



TUGAS AKHIR – TI 184833

**PENGENDALIAN PERSEDIAAN *SPARE PART* DAN KONSEKUENSI
MAINTENANCE MENGGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED
SPARES* DAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II*
(STUDI KASUS: PT. X)**

CHRISTINE INDAH SARI
NRP. 02411640000065

DOSEN PEMBIMBING :
Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197504081998022001

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



TUGAS AKHIR – TI 184833

**PENGENDALIAN PERSEDIAAN *SPARE PART* DAN KONSEKUENSI
MAINTENANCE MENGGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED
SPARES* DAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II*
(STUDI KASUS: PT. X)**

CHRISTINE INDAH SARI
NRP. 02411640000065

DOSEN PEMBIMBING :
Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197504081998022001

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



FINAL PROJECT – TI 184833

**SPARE PART INVENTORY CONTROL AND MAINTENANCE
CONSEQUENCES USING RELIABILITY CENTERED SPARES AND
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II
(CASE STUDY: PT. X)**

CHRISTINE INDAH SARI
NRP. 02411640000065

SUPERVISOR :
Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197504081998022001

DEPARTEMENT OF SYSTEM AND INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

PENGENDALIAN PERSEDIAAN *SPARE PART* DAN KONSEKUENSI *MAINTENANCE* MENGGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED SPARES* DAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II* (STUDI KASUS: PT. X)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S1 Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:
CHRISTINE INDAH SARI
NRP. 02411640000065

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197504081998022001



Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGENDALIAN PERSEDIAAN *SPARE PART* DAN KONSEKUENSI *MAINTENANCE* MENGGUNAKAN *RELIABILITY CENTERED SPARES* DAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II* (STUDI KASUS: PT. X)

Nama mahasiswa : Christine Indah Sari
NRP : 02411640000065
Pembimbing : Nani Kurniati, S.T., M.T., P.hD

ABSTRAK

PT. X merupakan industri manufaktur yang bergerak di bidang industri semen. Terdapat tiga unit utama dalam proses produksi semen yaitu *Crusher and Raw Mill*, *Pyroprocessing*, dan *Finish Mill*. Ketiga unit utama tersebut memiliki beberapa mesin yang digunakan untuk menunjang proses produksi semen. Data dari Departemen Pemeliharaan menunjukkan mesin *Coal Mill* sering mengalami *breakdown* yang menyebabkan proses produksi menjadi terhenti. Salah satu faktor utama penyebab *downtime* pada mesin adalah kehabisan stok *spare part*. Kehabisan stok pada *spare part* menandakan bahwa pengendalian persediaan *spare part* belum direncanakan dengan baik. Persediaan *spare part* dapat dikendalikan menggunakan metode *Reliability Centered Spares* (RCS). Terdapat lima jenis *spare part non-repairable* dan empat jenis *spare part repairable* yang telah mengalami kerusakan. RCS *Worksheet* mengkategorikan tingkat kekritisian *spare part* menjadi *medium critical* dan *low critical*. *Mean time to failure* (MTTF) digunakan untuk menghitung kebutuhan *spare part non-repairable* sedangkan *mean time between failure* (MTBF) dan *mean time to repair* (MTTR) digunakan untuk menghitung kebutuhan *spare part repairable*. Dari hasil perhitungan *Poisson Process* didapatkan jumlah kebutuhan persediaan *spare part*. Dengan probabilitas sebesar 95%, *spare part* akan tersedia saat dibutuhkan untuk kegiatan pemeliharaan selama 1 tahun. Setelah didapatkan jumlah kebutuhan persediaan *spare part*, maka perlu direncanakan kegiatan pemeliharaannya. Kegiatan pemeliharaan direncanakan dengan menjalankan *proactive maintenance* menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II). Dilakukan *failure mode and effect analysis* (FMEA) menggunakan RCM II *Information Worksheet*. Terdapat 9 fungsi, 9 kegagalan fungsi, 12 mode kegagalan serta 12 dampak kegagalan. Hasil penyusunan RCM II *Decision Worksheet* merekomendasikan tiga jenis kegiatan pemeliharaan. *Scheduled on condition task* dipilih untuk pemeliharaan tiga jenis *spare part*, *scheduled restoration task* dipilih untuk pemeliharaan dua jenis *spare part*, serta *scheduled discard task* dipilih untuk pemeliharaan empat jenis *spare part*.

Kata kunci : Persediaan *Spare Part*, Kegiatan Pemeliharaan, *Reliability Centered Spares*, *Reliability Centered Maintenance II*

Halaman ini sengaja dikosongkan

SPARE PART INVENTORY CONTROL AND MAINTENANCE CONSEQUENCES USING RELIABILITY CENTERED SPARES AND RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (CASE STUDY: PT. X)

Name : Christine Indah Sari
NRP : 02411640000065
Supervisor : Nani Kurniati, S.T., M.T., P.hD

ABSTRACT

PT. X is a manufacturing industry engaged in the cement industry. There are three main units in the cement production process, namely Crusher and Raw Mill, Pyroprocessing, and Finish Mill. The three main units have several machines used to support the cement production process. Data from the Maintenance Department shows that the Coal Mill machines often experiences a breakdown which causes the production process to stop. One of the main factors causing machine downtime is the spare parts stockout. Spare parts stockout indicates that spare parts inventory control has not been well planned. Spare parts inventory can be controlled using the Reliability Centered Spares (RCS) method. There are five non-repairable spare parts and four repairable spare parts that have been failed. RCS Worksheet categorizes the criticality level of spare parts into medium critical and low critical. The mean time to failure (MTTF) is used to calculate the number of non-repairable spare parts, while the mean time between failure (MTBF) and mean time to repair (MTTR) are used to calculate the number of repairable spare parts. From the calculation of the Poisson Process, it is obtained the number of spare part supplies needed. With a probability of 95%, spare parts will be available when needed for maintenance activities for 1 year period. After obtaining the number of spare parts inventory needs, it is necessary to plan maintenance activities. Maintenance activities can be planned by running proactive maintenance using the Reliability Centered Maintenance II (RCM II) method. The failure mode and effects analysis (FMEA) was performed using the RCM II Information Worksheet. There are 9 functions, 9 functional failures, 12 failure modes, and 12 failure effects. The results of the RCM II Decision Worksheet recommend three types of maintenance activities. The scheduled on condition task is selected for the maintenance of three spare parts, the scheduled restoration task is selected for the maintenance of two spare parts, and the scheduled discard task is selected for the maintenance of four spare parts.

Keywords : Spare Part Inventory, Maintenance Task, Reliability Centered Spares, Reliability Centered Maintenance II

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena senantiasa melimpahkan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengendalian Persediaan *Spare Part* dan Konsekuensi *Maintenance* menggunakan *Reliability Centered Spares* dan *Reliability Centered Maintenance II* (Studi Kasus: PT. X)” ini dengan lancar dan tepat pada waktunya.

Tugas Akhir ini merupakan persyaratan dalam menyelesaikan studi Strata-1 (S-1) di Departemen Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Sahat Halomoan Hasibuan dan Ibu Rismawaty Sianipar, serta keluarga besar penulis.
2. Ibu Nani Kurniati S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing penulis dan memberikan banyak saran selama pengerjaan Tugas Akhir sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Ir. H. Hari Supriyanto, M.S.I.E., Bapak Arief Rahman, S.T., M.Sc., dan Ibu Dewanti Anggrahini, S.T., M.T., selaku dosen penguji pada seminar proposal dan sidang akhir.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M.E., selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
5. Bapak Dedy Ermawanto yang telah memberikan banyak bimbingan dan ilmu selama pengambilan data di perusahaan.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen dan tenaga kependidikan Departemen Teknik Industri ITS.
7. Teman-teman Teknik Industri 2016 serta sahabat-sahabat penulis yang memberikan dukungan dan semangat selama pengerjaan Tugas Akhir.
8. Seluruh pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis meminta maaf atas segala kekurangan yang ada. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk perbaikan penulisan selanjutnya. Penulis mengharapkan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat baik bagi pembaca dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

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 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
1.5.1 Batasan Penelitian.....	6
1.5.2 Asumsi Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Spare Part	9
2.2 Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>).....	10
2.1.1 Tujuan Pemeliharaan	11
2.1.2 Kegiatan Pemeliharaan	12
2.3 Keandalan (<i>Reliability</i>)	14
2.3.1 Fungsi Keandalan.....	14
2.3.2 Laju Kegagalan	15
2.3.3 Mean Time to Failure (<i>MTTF</i>).....	16
2.3.4 Distribusi Probabilitas dalam Keandalan	16
2.4 <i>Reliability Centered Spares (RCS)</i>	19
2.4.1 <i>Komponen Non-Repairable</i>	20
2.4.2 <i>Komponen Repairable</i>	21
2.5 <i>Matriks Pairwise Comparison</i>	22

2.6	<i>Reliability Centered Maintenance II (RCM II)</i>	23
2.5.1	<i>RCM II Information Worksheet</i>	24
2.5.2	<i>RCM II Decision Diagram</i>	25
2.5.3	<i>RCM II Decision Worksheet</i>	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		31
3.1	Tahap Penentuan Ruang Lingkup Penelitian	32
3.1.1	<i>Penentuan Batasan Sistem</i>	32
3.2	Tahap <i>Reliability Centered Spares (RCS)</i>	32
3.2.1	<i>Penentuan Spare Part Mesin Coal Mill</i>	32
3.2.2	<i>Penyusunan Reliability Centered Spares (RCS) Worksheet</i>	33
3.2.3	<i>Analisis Reliability Centered Spares (RCS) Worksheet</i>	33
3.2.4	<i>Perhitungan Time to Failure, Mean Time to Failure (MTTF), dan Mean Time Between Failure (MTBF)</i>	34
3.2.5	<i>Perhitungan Time to Repair dan Mean Time to Repair (MTTR)</i>	34
3.2.6	<i>Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part</i>	34
3.2.7	<i>Analisis Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part</i>	35
3.3	Tahap <i>Reliability Centered Maintenance II (RCM II)</i>	35
3.3.1	<i>Penyusunan Failure Mode and Effect Analysis menggunakan RCM II Information Worksheet</i>	35
3.3.2	<i>Analisis RCM II Information Worksheet</i>	36
3.3.3	<i>Penentuan Kegiatan Pemeliharaan menggunakan RCM II Decision Worksheet</i>	36
3.3.4	<i>Analisis RCM II Decision Worksheet</i>	37
3.4	Tahap Kesimpulan dan Saran.....	37
BAB 4 RELIABILITY CENTERED SPARES (RCS)		39
4.1	Penentuan <i>Spare Part Mesin Coal Mill</i>	39
4.2	<i>Reliability Centered Spares (RCS) Worksheet</i>	40
4.4.1	<i>Penyusunan RCS Worksheet</i>	41
4.4.2	<i>Analisis RCS Worksheet</i>	46
4.3	<i>Time to Failure</i>	47
4.3.1	<i>Fitting Distribusi Time to Failure</i>	48

4.3.2	<i>Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time Between Failure (MTBF)</i>	50
4.4	<i>Time to Repair</i>	53
4.5	<i>Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part</i>	57
4.5.1	<i>Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part Non-Repairable</i>	57
4.5.2	<i>Analisis Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part Non-Repairable</i>	59
4.5.3	<i>Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part Repairable</i>	59
4.5.4	<i>Analisis Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part Repairable</i>	63
4.5.5	<i>Rekapitulasi Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part</i>	64
BAB 5	<i>RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (RCM II)</i>	67
5.1	<i>RCM II Information Worksheet</i>	67
5.2	<i>RCM II Decision Worksheet</i>	70
BAB 6	<i>KESIMPULAN DAN SARAN</i>	75
6.1	<i>Kesimpulan</i>	75
6.2	<i>Saran</i>	76
	<i>DAFTAR PUSTAKA</i>	77
	<i>LAMPIRAN 1</i>	79
	<i>LAMPIRAN 2</i>	81
	<i>LAMPIRAN 3</i>	82
	<i>LAMPIRAN 4</i>	85
	<i>LAMPIRAN 5</i>	89
	<i>LAMPIRAN 6</i>	93

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Interpretasi Nilai pada Matriks <i>Pairwise Comparisson</i>	22
Tabel 2. 2 RCM II <i>Information Worksheet</i>	24
Tabel 2. 3 RCM II <i>Decision Worksheet</i>	27
Tabel 4. 1 <i>Spare Part Mesin Coal Mill</i>	39
Tabel 4. 3 Penentuan Bobot Faktor RCS <i>Worksheet</i>	41
Tabel 4. 4 Perhitungan Bobot Faktor RCS <i>Worksheet</i>	41
Tabel 4. 5 Level untuk Setiap Faktor RCS <i>Worksheet</i>	42
Tabel 4. 6 RCS <i>Worksheet</i>	44
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Tingkat Kekritisn <i>Spare Part</i>	46
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Data <i>Time to Failure Conveyor Belt</i>	48
Tabel 4. 9 Rekapitulasi Jenis dan Parameter Distribusi <i>Time to Failure</i>	50
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Perhitungan MTTF	52
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Perhitungan MTBF.....	52
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Data <i>Time to Repair Wear Segment</i>	53
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Jenis dan Parameter Distribusi <i>Time to Repair</i>	55
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Perhitungan MTTR	56
Tabel 4. 15 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan <i>Conveyor Belt</i>	58
Tabel 4. 16 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan <i>Wear Segment</i>	61
Tabel 4. 17 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan <i>Wear Segment</i>	63
Tabel 4. 18 Rekapitulasi Jumlah Kebutuhan Persediaan <i>Spare Part</i>	64
Tabel 5. 1 RCM II <i>Information Worksheet Conveyor Belt</i>	68
Tabel 5. 2 RCM II <i>Decision Worksheet Conveyor Belt</i>	72
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Kegiatan Pemeliharaan Setiap <i>Spare Part</i>	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Unit dan Mesin dalam Proses Produksi Semen.....	1
Gambar 1. 2 Grafik <i>Downtime</i> Setiap Unit	2
Gambar 1. 3 <i>Downtime</i> Mesin pada Unit <i>Pyroprocessing</i>	2
Gambar 1. 4 Grafik Penyebab <i>Downtime</i>	3
Gambar 2. 1 Hubungan antara Sistem Pemeliharaan dengan Tujuan Organisasi .	10
Gambar 2. 2 Kegiatan Pemeliharaan	12
Gambar 2. 3 RCM II <i>Decision Diagram</i>	26
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	31
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Penyusunan RCS <i>Worksheet</i>	33
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> Penyusunan RCM II <i>Information Worksheet</i>	35
Gambar 3. 4 Penyusunan RCM II <i>Decision Worksheet</i>	36
Gambar 4. 1 <i>Fitting</i> Distribusi <i>Time to Failure Conveyor Belt</i>	49
Gambar 4. 2 Parameter Distribusi Weibull 2 <i>Conveyor Belt</i>	49
Gambar 4. 3 <i>Fitting</i> Distribusi <i>Time to Repair Wear Segment</i>	54
Gambar 4. 4 Parameter Distribusi Weibull 2 <i>Wear Segment</i>	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

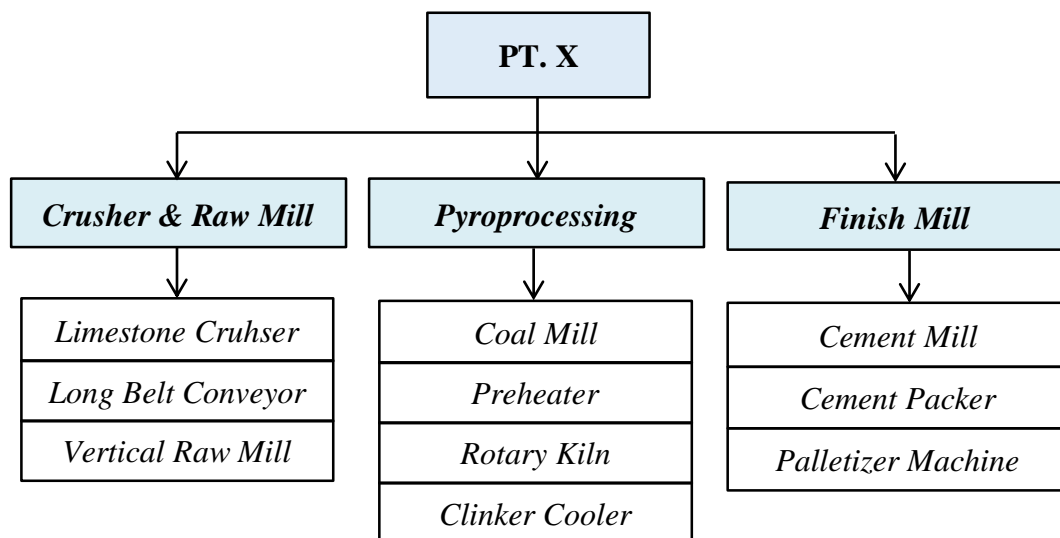
BAB 1

PENDAHULUAN

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

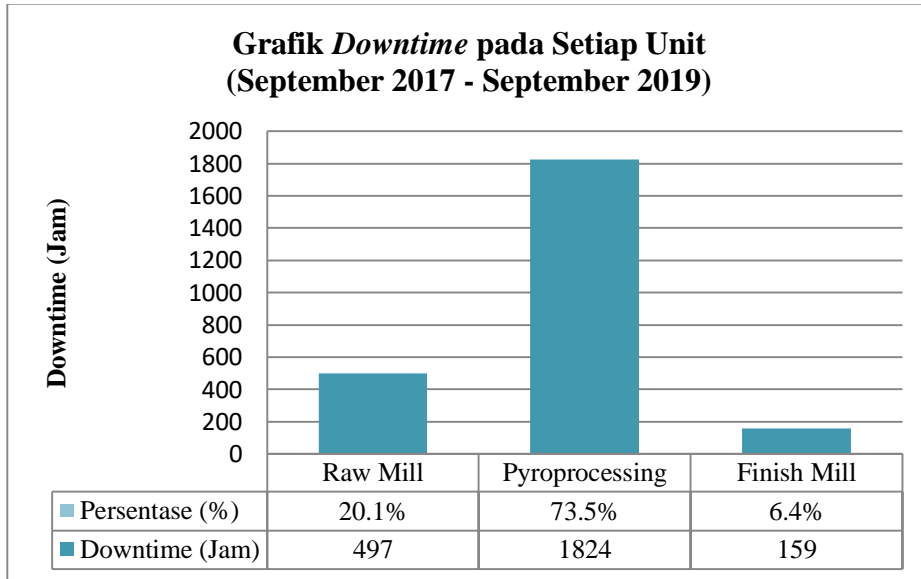
1.1 Latar Belakang

PT. X merupakan industri manufaktur yang memproduksi semen dan memiliki kapasitas sebesar 3 juta ton per tahun. Terdapat tiga unit utama dalam proses produksi semen di PT. X yaitu *Crusher and Raw Mill*, *Pyroprocessing*, serta *Finish Mill*. Unit *Crusher and Raw Mill* merupakan unit yang digunakan untuk proses persiapan bahan baku. Sedangkan unit *Pyroprocessing* digunakan proses pemanasan dan kalsinasi campuran bahan baku yang menghasilkan *clinker*. Kemudian *clinker* yang telah dihasilkan akan dibawa ke unit *Finish Mill* untuk proses penggilingan akhir hingga menjadi produk semen. Selanjutnya dilakukan proses pengemasan dan *palletizing* pada produk semen yang telah dihasilkan. Ketiga unit utama beserta mesinnya ditunjukkan pada Gambar 1.1.



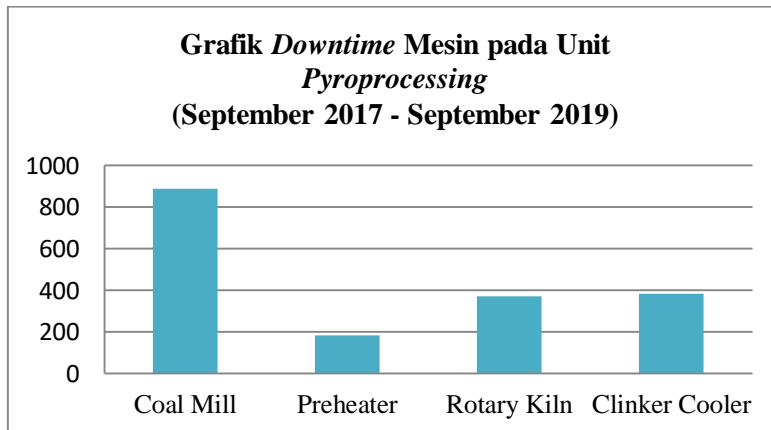
Gambar 1. 1 Unit dan Mesin dalam Proses Produksi Semen (PT. X, 2020)

Berdasarkan Gambar 1.1, dapat diketahui bahwa ketiga unit utama tersebut memiliki mesin yang digunakan untuk menunjang proses produksi semen. Namun, mesin yang digunakan sering mengalami *breakdown* yang menyebabkan proses produksi menjadi terhenti. *Downtime* yang terjadi pada setiap unit di PT. X ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Grafik *Downtime* Setiap Unit (PT. X, 2019)

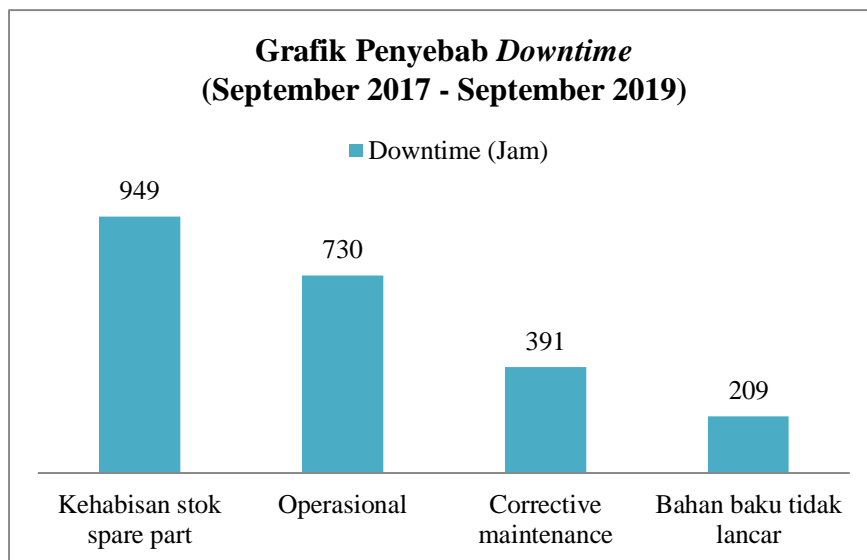
Berdasarkan Gambar 1.2 tersebut, dapat diketahui bahwa *downtime* terbesar terjadi pada unit *Pyroprocessing* yaitu sebesar 1824 jam. Unit ini memiliki empat mesin yaitu *Coal Mill*, *Preheater*, *Kiln*, dan *Clinker Cooler*. *Downtime* pada mesin di unit *Pyroprocessing* ditunjukkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1. 3 Grafik *Downtime* Mesin pada Unit *Pyroprocessing* (PT. X, 2019)

Berdasarkan Gambar 1.3 tersebut, dapat diketahui bahwa *downtime* paling besar terjadi pada mesin *Coal Mill* yaitu sebesar 889 jam. Lamanya *downtime* menunjukkan bahwa mesin *Coal Mill* merupakan mesin kritis di PT. X. Mesin *Coal Mill* berfungsi untuk proses penggilingan batu bara sebagai bahan bakar pembakaran. Bahan bakar yang dihasilkan akan digunakan untuk keseluruhan proses di unit *Pyroprocessing*. Sehingga, proses pembuatan semen sangat bergantung pada kinerja mesin *Coal Mill*. Proses pembuatan semen akan terhambat jika mesin *Coal Mill* mengalami *downtime* yang cukup lama.

Downtime pada mesin di PT. X disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu kehabisan stok *spare part*, operasional, *corrective maintenance*, dan bahan baku tidak lancar. Faktor yang pertama yaitu kehabisan stok *spare part* dapat memperpanjang *downtime* pada mesin yang rusak karena sangat dipengaruhi oleh *lead time* ketika *spare part* pengganti tidak tersedia (Ben-Daya, et al., 2009). Faktor yang kedua adalah kondisi operasional pabrik yang pada umumnya berupa permasalahan *electrical* dan instrumentasi. Faktor selanjutnya yaitu kegiatan *corrective maintenance* yang dilakukan ketika terjadi kerusakan mesin serta bahan baku yang tidak lancar. Lamanya *downtime* yang disebabkan oleh faktor-faktor tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1. 4 Grafik Penyebab *Downtime* (PT. X, 2019)

Berdasarkan Gambar 1.4 tersebut, dapat dilihat bahwa faktor kehabisan stok *spare part* menjadi penyebab utama terjadinya *downtime* pada mesin. Kehabisan stok *spare part* menandakan bahwa persediaan *spare part* belum dikendalikan dengan baik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengendalian persediaan *spare part* adalah *Reliability Centered Spares (RCS)*. *Reliability Centered Spares (RCS)* merupakan suatu metode pengelolaan *spare part* yang mempertimbangkan beberapa aspek seperti kuantitas *spare part*, kebijakan persediaan, konsekuensi yang terjadi karena kehabisan stok *spare part*, dan mengantisipasi kebutuhan *spare part* yang tidak terduga (Jaarsveld & Dekker, 2011).

Prinsip utama dalam metode RCS yaitu menjamin bahwa kebutuhan pemeliharaan suatu aset jelas dan dapat dipahami, menentukan tingkat kebutuhan *spare part*, serta menyediakan sumber daya, prosedur, dan sistem yang sesuai untuk aset tersebut (Dekker, et al., 1998). Konsekuensi dari kehabisan stok *spare part* akan dianalisis berdasarkan lima konsekuensi yaitu *hidden*, *safety*, *environment*, *operational*, dan *non-operational* (HSEON). Perhitungan jumlah kebutuhan *spare part* untuk satu periode tertentu dapat dilakukan dengan menggunakan *Poisson Process*. Perhitungan *Poisson Process* dilakukan untuk *spare part non-repairable* dan *spare part repairable*. Dengan menggunakan metode RCS akan didapatkan jumlah kebutuhan persediaan *spare part* pada PT. X.

Persediaan *spare part* akan digunakan untuk mendukung kegiatan penggantian atau perbaikan *spare part* yang rusak. Hal ini dikarenakan permintaan *spare part* timbul karena adanya kegiatan pemeliharaan. Pemeliharaan (*maintenance*) merupakan seluruh tindakan yang diperlukan untuk mempertahankan atau mengembalikan suatu item atau peralatan pada kondisi tertentu (Dhillon, 2006). Kegiatan pemeliharaan dapat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu *reactive/unplanned maintenance* dan *proactive/planned maintenance* (Ben-Daya, et al., 2009). *Reactive maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan ketika penurunan kondisi suatu item menyebabkan kegagalan fungsional (Dhillon, 2006). Jenis pemeliharaan ini cocok digunakan untuk item yang kegagalannya tidak memiliki konsekuensi keselamatan (Ben-Daya, et al., 2009). Sedangkan *proactive maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan

terencana yang dilakukan dalam interval waktu tertentu untuk memprediksi terjadinya kegagalan (Ben-Daya, et al., 2009).

Proactive maintenance tidak hanya memprediksi terjadinya kegagalan namun juga mempertimbangkan mekanisme kegagalan beserta dampaknya. Salah satu metode yang digunakan untuk menjalankan *proactive maintenance* adalah *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II). *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) merupakan suatu proses untuk menentukan persyaratan pemeliharaan dari aspek operasional suatu aset fisik (Moubray, 1997).

Penerapan RCM II memerlukan pemahaman mengenai fungsi aset fisik dan sifat kegagalan yang terkait dengan fungsi-fungsi tersebut (Jardine & Tsang, 2013). Pemahaman mengenai fungsi dan kegagalan fungsi tersebut dapat digunakan untuk penyusunan *failure mode and effect analysis* (FMEA) menggunakan RCM II *Information Worksheet*. Kemudian dilakukan penyusunan RCM II *Decision Worksheet* berdasarkan konsekuensi kegagalan yaitu *hidden*, *safety*, *environment*, *operational*, dan *non-operational* (HSEO). Selanjutnya dilakukan pemilihan kegiatan pemeliharaan menggunakan menggunakan RCM II *Decision Worksheet*.

Kegiatan pemeliharaan terjadwal yang diusulkan dalam metode RCM II yaitu *scheduled on-condition task*, *scheduled restoration task*, dan *scheduled discard task*. *Scheduled on-condition task* dijalankan dengan cara melakukan pengecekan rutin terhadap *potential failure*. *Scheduled restoration task* dijalankan dengan melakukan perbaikan rutin terhadap seluruh komponen. Sedangkan *scheduled discard task* merupakan kegiatan penggantian komponen yang dilakukan secara terjadwal. Dengan menggunakan metode RCM II akan diperoleh kegiatan pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi setiap *spare part*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dipaparkan, maka masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian Tugas Akhir adalah bagaimana mengendalikan persediaan *spare part* menggunakan metode *Reliability Centered Spares* (RCS) dan merencanakan kegiatan pemeliharaan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) di PT. X.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Menentukan mesin dan *spare part* kritis.
2. Merencanakan pengendalian persediaan *spare part* menggunakan metode *Reliability Centered Spares (RCS)*.
3. Mengidentifikasi fungsi, kegagalan fungsi, penyebab serta dampak dari kegagalan *spare part* menggunakan *RCM II Information Worksheet*.
4. Merencanakan kegiatan pemeliharaan pada *spare part* menggunakan *RCM II Decision Worksheet*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Memberikan rekomendasi pengendalian persediaan *spare part*.
2. Memberikan rekomendasi kegiatan pemeliharaan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Berikut ini merupakan batasan dan asumsi yang akan digunakan dalam penelitian Tugas Akhir.

1.5.1 Batasan Penelitian

Batasan yang akan digunakan pada penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada mesin *Coal Mill* di Unit *Pyroprocessing*.
2. Data kerusakan *spare part* yang digunakan adalah periode tahun 2017 sampai dengan 2019.
3. Rencana pengendalian persediaan *spare part* dilakukan untuk periode selama 1 tahun.

1.5.2 Asumsi Penelitian

Asumsi yang akan digunakan pada penelitian Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Proses produksi berjalan dalam kondisi normal selama penelitian Tugas Akhir berlangsung.
2. Kerusakan *spare part* tidak disebabkan oleh *human error*.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini akan dijelaskan mengenai sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan akan dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian yang terdiri dari batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka akan dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam pengerjaan penelitian Tugas Akhir. Tinjauan pustaka yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir merupakan teori atau konsep mengenai *spare part*, pemeliharaan, keandalan, *Reliability Centered Maintenance II (RCM)*, dan *Reliability Centered Spares (RCS)*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian akan dijelaskan mengenai alur pengerjaan dalam penelitian Tugas Akhir yang dilakukan oleh penulis yang dinyatakan melalui tahapan-tahapan yang sistematis. Tahapan-tahapan yang terdapat dalam metodologi penelitian yaitu tahap penentuan ruang lingkup penelitian, tahap *Reliability Centered Spares (RCS)*, tahap *Reliability Centered Maintenance II (RCM)*, serta tahap kesimpulan dan saran.

BAB 4 RELIABILITY CENTERED SPARES (RCS)

Pada bab *Reliability Centered Spares* (RCS) akan dijelaskan mengenai alur pengerjaan pengendalian persediaan *spare part*. Tahapan yang dilakukan adalah penentuan *spare part* mesin *Coal Mill*, penentuan tingkat kekritisitas *spare part*, perhitungan dan *fitting* distribusi *time to failure* dan *time to repair*, perhitungan *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time to repair* (MTTR). Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan jumlah kebutuhan persediaan *spare part* beserta analisisnya.

BAB 5 *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* II (RCM II)

Pada bab *Reliability Centered Maintenance* II (RCM II) akan dijelaskan mengenai alur pengerjaan perencanaan kegiatan pemeliharaan. Tahapan dalam RCM II yaitu penyusunan *failure mode and effect analysis* menggunakan RCM II *Information Worksheet* dan pemilihan kegiatan pemeliharaan menggunakan RCM II *Decision Worksheet* beserta analisisnya.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian Tugas Akhir yang telah ditetapkan. Selain itu, penulis juga memberikan saran bagi perusahaan maupun penelitian selanjutnya untuk dapat dikembangkan lebih lanjut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam pengerjaan penelitian Tugas Akhir yaitu teori atau konsep mengenai *spare part*, pemeliharaan, keandalan, *Reliability Centered Spares* (RCS), dan *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II),

2.1 Spare Part

Spare part atau suku cadang merupakan suatu komponen atau alat penunjang yang terdapat pada peralatan atau perlengkapan proses produksi (Indrajit & Djokopranoto, 2003). Pada umumnya, perusahaan membeli *spare part* secara langsung dari *Original Equipment Manufacturer* (OEM) sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan oleh perusahaan (Ben-Daya, et al., 2009). *Spare part* dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan penggunaannya yaitu sebagai berikut (Indrajit & Djokopranoto, 2003).

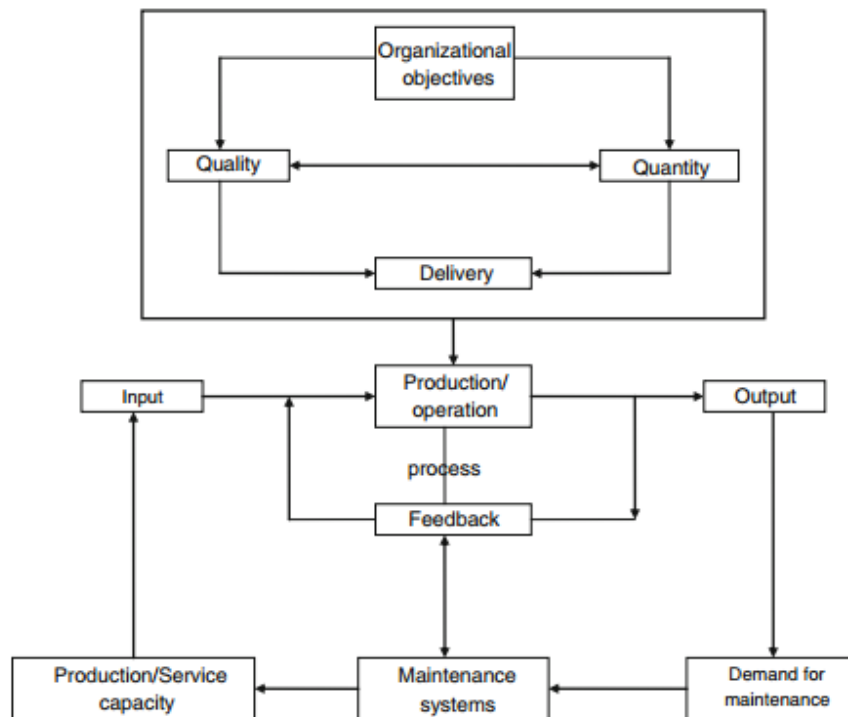
- a. *Consumable parts* (*spare part* habis pakai), merupakan *spare part* yang digunakan untuk pemakaian umum dan dapat rusak atau aus seiring berjalannya waktu sehingga persediaannya sangat diperlukan.
- b. *Replacement parts* (*spare part* pengganti), merupakan *spare part* yang digunakan untuk kegiatan penggantian pada saat *overhaul*.
- c. *Insurance parts* (*spare part* jaminan), merupakan *spare part* yang tidak mudah rusak namun dapat mengganggu jalannya proses produksi jika mengalami kerusakan.

Persediaan *spare part* memiliki peranan penting dalam kegiatan pemeliharaan karena sangat dibutuhkan untuk mendukung kelancaran *preventive maintenance* maupun *corrective maintenance* untuk menghindari *downtime* yang terlalu lama (Houtum & Kranenburg, 2015). Namun, *spare part* dirancang untuk penggunaan khusus sehingga konsumsinya sangat acak dan memiliki *lead time* yang bervariasi bahkan sering kali tidak diketahui (Ben-Daya, et al., 2009). Karena adanya ketidakpastian tersebut maka perusahaan memerlukan prosedur untuk

mengontrol persediaan *spare part* dari mesin atau peralatan yang digunakan dalam proses produksi.

2.2 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Pemeliharaan merupakan kombinasi dari beberapa kegiatan untuk merawat peralatan atau sistem agar dapat beroperasi sesuai dengan fungsi aslinya (Duffuaa & Raouf, 2015). Pemeliharaan juga dapat dianggap sebagai suatu sistem dengan serangkaian proses dan kegiatan yang dilakukan secara paralel dengan sistem produksi atau jasa. Hubungan antara tujuan organisasi, proses produksi atau operasi, dan pemeliharaan ditunjukkan oleh Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Hubungan antara Sistem Pemeliharaan dengan Tujuan Organisasi (Duffuaa & Raouf, 2015)

Berdasarkan Gambar 2.1 tersebut, *output* utama dari sistem produksi atau operasi adalah *finished product/service*, dan *output* sekunder yang dihasilkan adalah peralatan yang rusak sehingga menyebabkan permintaan untuk pemeliharaan. Sistem pemeliharaan menggunakan permintaan untuk pemeliharaan sebagai *input* dan menambahkan pengetahuan, tenaga kerja, dan *spare part*

sehingga menghasilkan peralatan atau fasilitas dalam kondisi operasi yang baik. Sistem pemeliharaan mendukung tercapainya tujuan organisasi dengan meningkatkan laba dan kepuasan pelanggan. Peningkatan laba dan kepuasan pelanggan dapat dicapai dengan melakukan kegiatan pemeliharaan yang dapat meminimalkan *downtime* pabrik, meningkatkan kualitas, meningkatkan produktivitas serta pengiriman pesanan yang tepat waktu kepada pelanggan (Duffuaa & Raouf, 2015).

Dalam menjalankan kegiatan pemeliharaan, diperlukan beberapa sumber daya utama yaitu sebagai berikut (Ben-Daya, et al., 2009).

- a. Peralatan dan fasilitas pemeliharaan
- b. Jenis dan kuantitas dari material dan *spare part*
- c. Tenaga kerja yang terampil
- d. *Support service*
- e. Pelatihan dan pengembangan tenaga kerja

2.1.1 Tujuan Pemeliharaan

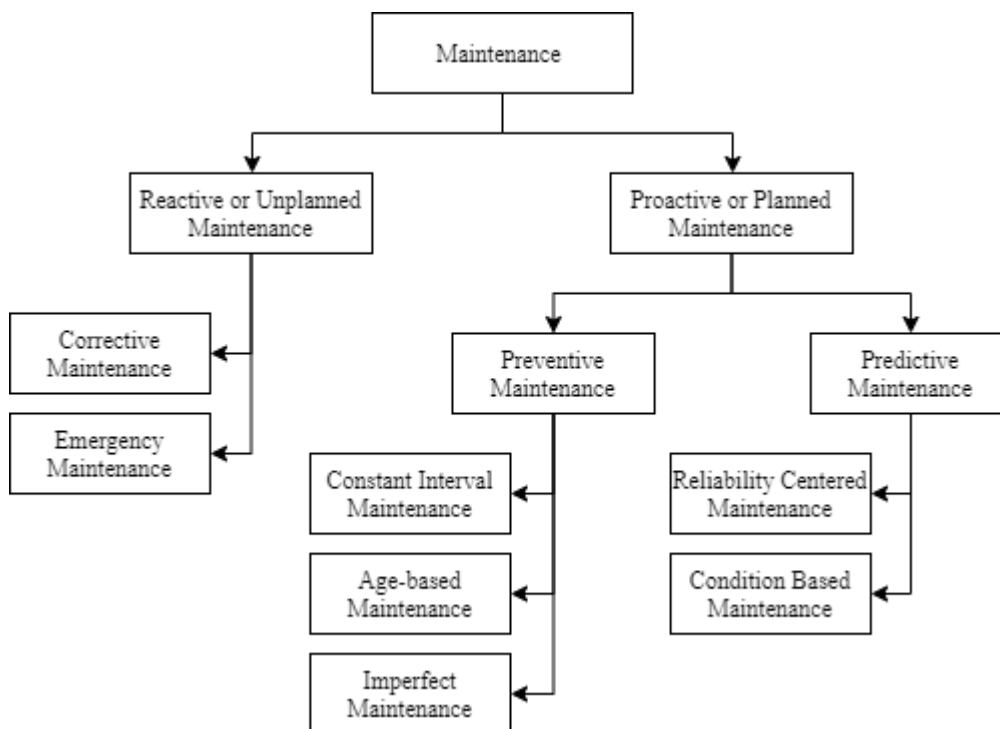
Terdapat dua jenis tujuan pemeliharaan pada fasilitas atau peralatan di industri manufaktur yaitu tujuan utama dan tujuan sekunder (Stephens, 2010). Berikut ini merupakan tujuan utama dan tujuan sekunder dari pemeliharaan.

- 1) Tujuan Utama
 - a) Menjaga peralatan eksisting.
 - b) Melakukan aktivitas rutin berupa inspeksi, pembersihan, dan pemberian pelumas pada peralatan.
 - c) Melakukan aktivitas non rutin berupa modifikasi, penggantian, dan instalasi peralatan.
 - d) Mengatur penggunaan energi yang digunakan dalam proses operasi.
 - e) Menjaga tanah serta bangunan eksisting.
 - f) Modifikasi dan perubahan bangunan, misalnya ekspansi pabrik.
- 2) Tujuan Sekunder
 - a) Perlindungan terhadap lingkungan hidup.
 - b) Menindaklanjuti peralatan usang dan pembuangan limbah.
 - c) Mengontrol polusi dan kebisingan.

- d) Mematuhi peraturan *Environmental Protection Agency* (EPA), dan *Occupational Safety and Health Act* (OSHA).

2.1.2 Kegiatan Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan merupakan serangkaian tindakan yang berkaitan dengan mempertahankan atau memulihkan suatu sistem dalam kondisi tertentu atau dalam kondisi kesiapan untuk menyelesaikan tugas tertentu (Ben-Daya, et al., 2009). Dalam mendukung tercapainya tujuan dari sistem pemeliharaan, maka diperlukan kegiatan pemeliharaan yang efektif jika diterapkan sesuai dengan kondisi suatu sistem atau item (Duffuaa & Raouf, 2015). Klasifikasi kegiatan pemeliharaan ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 2 Kegiatan Pemeliharaan (Ben-Daya, et al., 2009)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa kegiatan pemeliharaan dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu *reactive maintenance* dan *proactive maintenance*.

- 1) *Reactive Maintenance (Unplanned Maintenance)*.

Reactive maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan yang tidak direncanakan sebelumnya dan hanya dilakukan jika terjadi kerusakan atau *breakdown* pada mesin. Kegiatan pemeliharaan ini cocok digunakan untuk mesin dengan tingkat kegagalan yang kecil dan tidak memiliki konsekuensi keselamatan. *Reactive maintenance* terdiri dari *corrective maintenance* dan *emergency maintenance*.

a) *Corrective Maintenance*

Corrective maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan setelah kegagalan telah terjadi dan dimaksudkan untuk mengembalikan item ke keadaan fungsionalnya.

b) *Emergency Maintenance*

Emergency maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan yang perlu dilakukan secepatnya untuk menghindari konsekuensi serius yang mungkin terjadi.

2) *Proactive Maintenance (Planned Maintenance)*.

Proactive Maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan yang telah direncanakan untuk menghindari terjadinya kegagalan. *Proactive maintenance* terdiri dari *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.

a) *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan yang dijalankan dalam interval waktu yang telah ditentukan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan atau penurunan kinerja dari suatu item. Interval waktu diperkirakan berdasarkan distribusi data historis kegagalan. *Preventive maintenance* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut.

- *Constant Interval Maintenance*, dilakukan pada interval yang tetap.
- *Age-based Maintenance*, dilakukan setelah sistem mencapai usia tertentu (t).

- *Imperfect Maintenance*, mempertimbangkan ketidakpastian kondisi peralatan saat ini untuk menjadwalkan kegiatan pemeliharaan di masa depan.

b) *Predictive Maintenance*

Predictive maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan yang dijalankan pada jadwal yang tetap.

- *Condition-based Maintenance* (CBM), kegiatan pemeliharaan yang direncanakan dengan mengamati "kondisi" dari sistem atau komponennya.
- *Reliability Centered Maintenance* (RCM), menggunakan estimasi keandalan sistem untuk merencanakan jadwal pemeliharaan.

2.3 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan merupakan probabilitas suatu sistem atau komponen dapat menjalankan fungsi yang diperlukan dalam kondisi operasi yang telah ditentukan selama periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Variabel paling penting yang berkaitan dengan keandalan adalah waktu, sehingga keandalan dinyatakan sebagai fungsi waktu dan juga mengarah pada pendefinisian laju kegagalan (Lewis, 1994).

2.3.1 Fungsi Keandalan

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem atau komponen dapat berfungsi selama periode waktu t sehingga keandalan dapat dinyatakan dalam fungsi sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$R(t) = \Pr\{T \geq t\} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$R(t)$ = Fungsi Keandalan

\Pr = Probabilitas

T = Waktu Kegagalan

Sedangkan probabilitas terjadinya kegagalan sebelum periode waktu t dinyatakan dalam fungsi sebagai berikut.

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr\{T < t\} \quad (2.2)$$

Keterangan:

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

\Pr = Probabilitas

T = Waktu Kegagalan

Selain kedua fungsi tersebut, terdapat fungsi yang menyatakan bentuk dari distribusi kegagalan yang disebut dengan *probability density function* (PDF). Fungsi PDF atau $f(t)$ dinyatakan sebagai berikut.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (2.3)$$

Setelah mendefinisikan fungsi PDF, selanjutnya fungsi $R(t)$ dan fungsi $F(t)$ dapat juga dinyatakan dalam fungsi sebagai berikut.

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.4)$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.5)$$

2.3.2 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (*failure rate*) merupakan probabilitas terjadinya kegagalan dalam interval (per unit waktu), ketika kegagalan terjadi sebelum periode waktu t yang merupakan awal interval (Ben-Daya, et al., 2009). *Failure rate* atau disebut juga dengan *hazard rate* dapat dinyatakan dengan fungsi sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$\lambda(t)$ = Laju Kegagalan

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

$R(t)$ = Fungsi Keandalan

2.3.3 Mean Time to Failure (MTTF)

Mean Time to Failure (MTTF) dapat dinyatakan dalam fungsi sebagai berikut (Ebeling, 1997)

$$MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.7)$$

Keterangan:

$E(t)$ = *Mean Time to Failure* (MTTF)

$R(t)$ = Fungsi Keandalan

2.3.4 Distribusi Probabilitas dalam Keandalan

Terdapat berbagai model matematis pada distribusi probabilitas yang sering digunakan untuk memodelkan keandalan yaitu sebagai berikut.

a. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan jika suatu peralatan memiliki laju kegagalan konstan (Ebeling, 1997). Distribusi ini menggunakan parameter λ (*constant failure rate*). Berikut ini merupakan model matematis pada distribusi eksponensial yang digunakan dalam keandalan.

➤ *Probability Density Function*

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

➤ Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

➤ Laju Kegagalan

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.10)$$

➤ *Mean Time to Failure*

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.11)$$

b. Distribusi Weibull

Distribusi weibull merupakan distribusi probabilitas yang sering digunakan dalam keandalan, terutama untuk memodelkan peningkatan atau penurunan laju kegagalan (Ebeling, 1997). Distribusi ini memiliki 2 parameter yaitu β (*shape parameter*) dan θ (*scale parameter*). Berikut ini merupakan model matematis pada distribusi weibull yang digunakan dalam keandalan.

➤ *Probability Density Function*

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

➤ *Fungsi Keandalan*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.13)$$

➤ *Laju Kegagalan*

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2.14)$$

➤ *Mean Time to Failure*

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.15)$$

Namun, jika suatu peralatan memiliki usia minimum yaitu t_0 sehingga $T > t_0$, maka digunakan distribusi weibull-3 parameter untuk mengasumsikan bahwa tidak ada kegagalan yang akan terjadi sebelum waktu t_0 (Ebeling, 1997). Parameter ketiga yang digunakan yaitu t_0 (*location parameter*). Berikut ini merupakan model matematis pada distribusi weibull-3 parameter yang digunakan dalam keandalan.

➤ *Probability Density Function*

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t - t_0}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.16)$$

➤ *Fungsi Keandalan*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.17)$$

➤ Laju Kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2.18)$$

➤ Mean Time to Failure

$$MTTF = t_0 + \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.19)$$

c. Distribusi Normal

Distribusi normal seringkali digunakan untuk memodelkan *wear out* dan *fatigue* (Ebeling, 1997). Distribusi ini memiliki dua parameter yaitu μ (*mean*) dan σ (standar deviasi). Berikut ini merupakan model matematis pada distribusi normal yang digunakan dalam keandalan.

➤ Probability Density Function

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2}\right] \quad (2.20)$$

➤ Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.21)$$

➤ Laju Kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad (2.22)$$

➤ Mean Time to Failure

$$MTTF = \mu \quad (2.23)$$

d. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal hanya didefinisikan untuk nilai t yang positif namun dapat digunakan untuk berbagai bentuk parameter jika dibandingkan dengan distribusi normal (Ebeling, 1997). Berikut ini merupakan model matematis pada distribusi lognormal yang digunakan dalam keandalan (Elsayed, 2012).

➤ *Probability Density Function*

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.24)$$

➤ *Fungsi Keandalan*

$$\begin{aligned} R(t) \\ = 1 - \int_0^t \frac{1}{\tau \sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln \tau - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] d\tau \end{aligned} \quad (2.25)$$

➤ *Laju Kegagalan*

$$h(t) = \frac{\phi \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)}{t \sigma R(t)} \quad (2.26)$$

➤ *Mean Time to Failure*

$$MTTF = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (2.27)$$

2.4 *Reliability Centered Spares (RCS)*

Reliability Centered Spares (RCS) merupakan suatu metode pengelolaan *spare part* yang mempertimbangkan beberapa aspek seperti kuantitas *spare part*, kebijakan persediaan, konsekuensi yang terjadi karena kehabisan stok *spare part*, dan mengantisipasi kebutuhan *spare part* yang tidak terduga (Jaarsveld & Dekker, 2011). Prinsip utama dalam metode RCS yaitu menjamin bahwa kebutuhan pemeliharaan suatu aset jelas dan dapat dipahami, menentukan tingkat kebutuhan *spare part*, serta menyediakan sumber daya, prosedur, dan sistem yang sesuai untuk aset tersebut (Dekker, et al., 1998). Kelebihan dari penerapan metode RCS adalah perusahaan dapat mengetahui komponen kritis dari suatu peralatan berdasarkan kebutuhan pemeliharaan dan operasional (Ahilman, et al., 2018).

Tingkat kekritisian komponen dapat dianalisis dengan menggunakan RCS *Worksheet*. Terdapat empat faktor yang mempengaruhi tingkat kekritisian komponen yaitu *consequences*, *anticipation*, *effect of stockout*, dan *cost*. Setiap faktor memiliki bobot yang dapat ditentukan berdasarkan *expert opinion*. Selain itu, masing-masing faktor juga terdiri dari lima level yang digunakan untuk menilai tingkat kekritisian komponen. Penilaian level untuk setiap faktor ini kemudian

dikalikan dengan bobot masing-masing faktor hingga didapatkan *criticality index*. Hasil perhitungan *criticality index* menunjukkan tingkat kekritisian dari suatu komponen. Terdapat empat tingkat kekritisian komponen yaitu *high critical* (4,0-5,0), *medium critical* (3,0-3,9), *low critical* (2,0-2,9), *not critical* (1,0-1,9).

Dalam metode RCS, perhitungan kebutuhan *spare part* untuk satu periode tertentu dapat dilakukan dengan menggunakan *Poisson Process*. Distribusi poisson dapat digunakan sebagai teknik *forecasting* dengan menggunakan analisis keandalan dalam penentuan jumlah *spare part* (Fukuda, 2008). Perhitungan menggunakan *Poisson Process* dilakukan berdasarkan jenis komponen yaitu *repairable* dan *non-repairable*. Terdapat beberapa variabel yang dipertimbangkan dalam pendekatan ini yaitu (Fukuda, 2008):

- a. Keandalan komponen yang akan disimpan (dinyatakan sebagai *failure, removal, atau replacement*). *Mean time to failure* (MTTF) untuk komponen *non-repairable* dan *mean time between failure* (MTBF) untuk komponen *repairable* (Elsayed, 2012).
- b. Jumlah komponen yang dipasang per mesin (A).
- c. *Confidence level* (P) yaitu probabilitas bahwa cadangan *spare part* akan tersedia saat dibutuhkan ($90\% \leq P \leq 95\%$).
- d. Jumlah mesin yang akan digunakan (N).
- e. Periode waktu operasional (T).
- f. Penggunaan mesin rata-rata atau waktu operasi mesin (M).
- g. Untuk komponen *repairable*, diperlukan waktu rata-rata perbaikan atau disebut dengan *mean time to repair* (MTTR). Selain itu, disarankan untuk mempertimbangkan tingkat stok tambahan *spare part* untuk mengimbangi *scrap* pada komponen *repairable*.
- h. *Scrap rate* (R) dari komponen *repairable* dapat diestimasi dari data historis.

2.4.1 *Komponen Non-Repairable*

Komponen *non-repairable* adalah komponen yang jika mengalami kerusakan harus dibuang dan diganti dengan komponen lainnya karena secara fisik tidak memungkinkan untuk diperbaiki atau menghasilkan biaya perbaikan yang lebih besar (Louit, et al., 2011). Berikut ini merupakan formula dalam *Poisson*

Process yang digunakan dalam menghitung kebutuhan komponen *non-repairable* (Fukuda, 2008).

$$\lambda t = \frac{A \times N \times M \times T}{MTTF} \quad (2.28)$$

$$P \leq \sum_{x=0}^n \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} = e^{-\lambda t} \left[1 + \lambda t + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n!} \right] \quad (2.29)$$

Keterangan:

- λt = Jumlah *Failure* Pada Waktu t
- A = Jumlah Komponen dalam Mesin
- N = Jumlah Mesin
- M = Waktu Operasi Mesin
- T = Periode Operasional
- $MTTF$ = *Mean Time to Failure*
- P = *Confidence Level*

2.4.2 *Komponen Repairable*

Komponen *repairable* adalah komponen yang jika mengalami kerusakan dapat dikirim ke fasilitas perbaikan untuk diperbaiki dan dapat dikembalikan ke kondisi operasional semula (Louit, et al., 2011). Tingkat persediaan *spare part* dihitung untuk mengimbangi atau mengganti *spare part* yang sedang dalam proses perbaikan (Sztandera, 2011).

Komponen *repairable* yang dibawa ke fasilitas perbaikan terkadang tidak diperbaiki karena melalui inspeksi diputuskan bahwa beberapa komponen tidak layak secara ekonomis untuk diperbaiki (Sztandera, 2011). Komponen ini disebut sebagai *scrap*. Adanya *scrap* akan meningkatkan jumlah kebutuhan *spare part* (Sztandera, 2011). Berikut ini merupakan formula dalam *Poisson Process* yang digunakan dalam menghitung kebutuhan komponen *repairable* (Fukuda, 2008).

$$\lambda t = \frac{A \times N \times M \times T}{MTBF} \quad (2.30)$$

$$\lambda 1 = R \times \lambda t \quad (2.31)$$

$$\lambda 2 = \frac{A \times N \times M \times MTTR}{MTBF} \quad (2.32)$$

$$P \leq \sum_{x=0}^n \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} = e^{-\lambda t} \left[1 + \lambda t + \dots + \frac{(\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} \right] \quad (2.33)$$

Keterangan:

- λt = Jumlah *Failure* Pada Waktu t
- A = Jumlah Komponen dalam Mesin
- N = Jumlah Mesin
- M = Waktu Operasi Mesin
- R = *Scrape Rate*
- T = Periode Operasional
- $MTTR$ = *Mean Time to Repair*
- $MTBF$ = *Mean Time Between Failure*
- P = *Confidence Level*

2.5 Matriks *Pairwise Comparison*

Penentuan bobot untuk setiap *objective* dapat dilakukan menggunakan matriks *Pairwise Comparison*. Matriks *Pairwise Comparison* merupakan matriks $n \times n$, dimana nilai pada baris i dan kolom j (A_{ij}) menunjukkan seberapa penting *objective* i terhadap *objective* j (Winston, 2004). Tingkat kepentingan *objective* dapat diukur pada skala 1-9 yang bernilai *integer*.

Tabel 2. 1 Interpretasi Nilai pada Matriks *Pairwise Comparison*

Nilai	Interpretasi
1	<i>Objective</i> i dan j memiliki tingkat kepentingan yang sama
3	<i>Objective</i> i sedikit lebih penting daripada <i>objective</i> j
5	<i>Objective</i> i lebih penting daripada <i>objective</i> j
7	<i>Objective</i> i sangat lebih penting daripada <i>objective</i> j
9	<i>Objective</i> i secara mutlak lebih penting daripada <i>objective</i> j (j)
2,4,6,8	Nilai <i>intermediate</i> (nilai diantara dua penilaian yang berdekatan)

Sumber : (Winston, 2004)

Prosedur dalam perhitungan bobot menggunakan matriks *Pairwise Comparison* adalah sebagai berikut (Winston, 2004).

1. Bagi setiap nilai pada kolom *i* dengan jumlah nilai pada kolom *i*. Pembagian ini menghasilkan matriks baru (matriks normalisasi), dengan jumlah nilai pada setiap kolom adalah 1.
2. Hitung rata-rata nilai pada baris *i* dari matriks normalisasi. Dari hasil perhitungan akan didapatkan bobot untuk setiap *objective*.

2.6 Reliability Centered Maintenance II (RCM II)

Reliability Centered Maintenance II (RCM II) merupakan suatu proses untuk menentukan persyaratan pemeliharaan dari aspek operasional suatu aset fisik (Moubray, 1997). Penerapan RCM II memerlukan pemahaman mengenai fungsi aset fisik dan sifat kegagalan yang terkait dengan fungsi-fungsi tersebut (Jardine & Tsang, 2013). RCM II memiliki beberapa tujuan utama yaitu sebagai berikut (Dhillon, 2006).

- a) Menentukan prioritas terkait desain yang dapat memfasilitasi *preventive maintenance* secara efektif.
- b) Merencanakan *preventive maintenance* yang dapat mengembalikan keandalan ke tingkat aslinya jika terjadi kerusakan sistem atau peralatan.
- c) Mengumpulkan data yang diperlukan untuk memperbaiki desain suatu item yang keandalannya tidak memuaskan.
- d) Mencapai tiga tujuan tersebut dengan total biaya seminimal mungkin.

Dalam metode RCM II, terdapat tujuh pertanyaan dasar mengenai kondisi suatu sistem atau aset yaitu sebagai berikut (Moubray, 1997).

- 1) Apa fungsi dan standar kinerja dari suatu aset dalam konteks pengoperasiannya (*function*).
- 2) Bagaimana aset tersebut gagal memenuhi fungsinya (*functional failure*).
- 3) Apa yang menyebabkan setiap kegagalan fungsional (*failure mode*).
- 4) Apa dampak dari kegagalan tersebut (*failure effect*).
- 5) Dalam hal apa saja setiap kegagalan itu penting (*failure consequences*).

- 6) Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan (*proactive task*).
- 7) Apa yang harus dilakukan jika tidak dapat menemukan *proactive task* yang sesuai (*default actions*).

2.5.1 RCM II Information Worksheet

RCM II *Information Worksheet* terdiri dari beberapa kolom yang berisi informasi mengenai fungsi (*function*), kegagalan fungsional (*functional failure*), mode kegagalan (*failure mode*), dan dampak kegagalan (*failure effect*) dari suatu mesin atau peralatan. RCM II *Information Worksheet* digunakan untuk penyusunan *failure mode and effect analysis* (FMEA). RCM II *Information Worksheet* ditunjukkan oleh Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 2 RCM II *Information Worksheet*

RCM II INFORMATION WORKSHEET		System :	Auditor :	
		Subsystem :	Resource :	
No.	Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Effect

Sumber : (Moubray, 1997)

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai informasi yang terdapat dalam RCM II *Information Worksheet* (Moubray, 1997).

a. *Function*

Function terbagi menjadi dua yaitu *primary function* (fungsi utama) yaitu kegunaan utama aset dan *secondary function* (fungsi sekunder) sebagai tambahan dari fungsi utama, atau disebut juga dengan ESCAPES (*Environmental integrity, Safety/structural integrity, Control/conainment, Appearance, Protection, Economy/efficiency, Superfluous function*).

b. *Functional Failure*

Functional failure didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu aset untuk berfungsi sesuai dengan standar kinerja yang dapat diterima oleh *user*.

c. *Failure Mode*

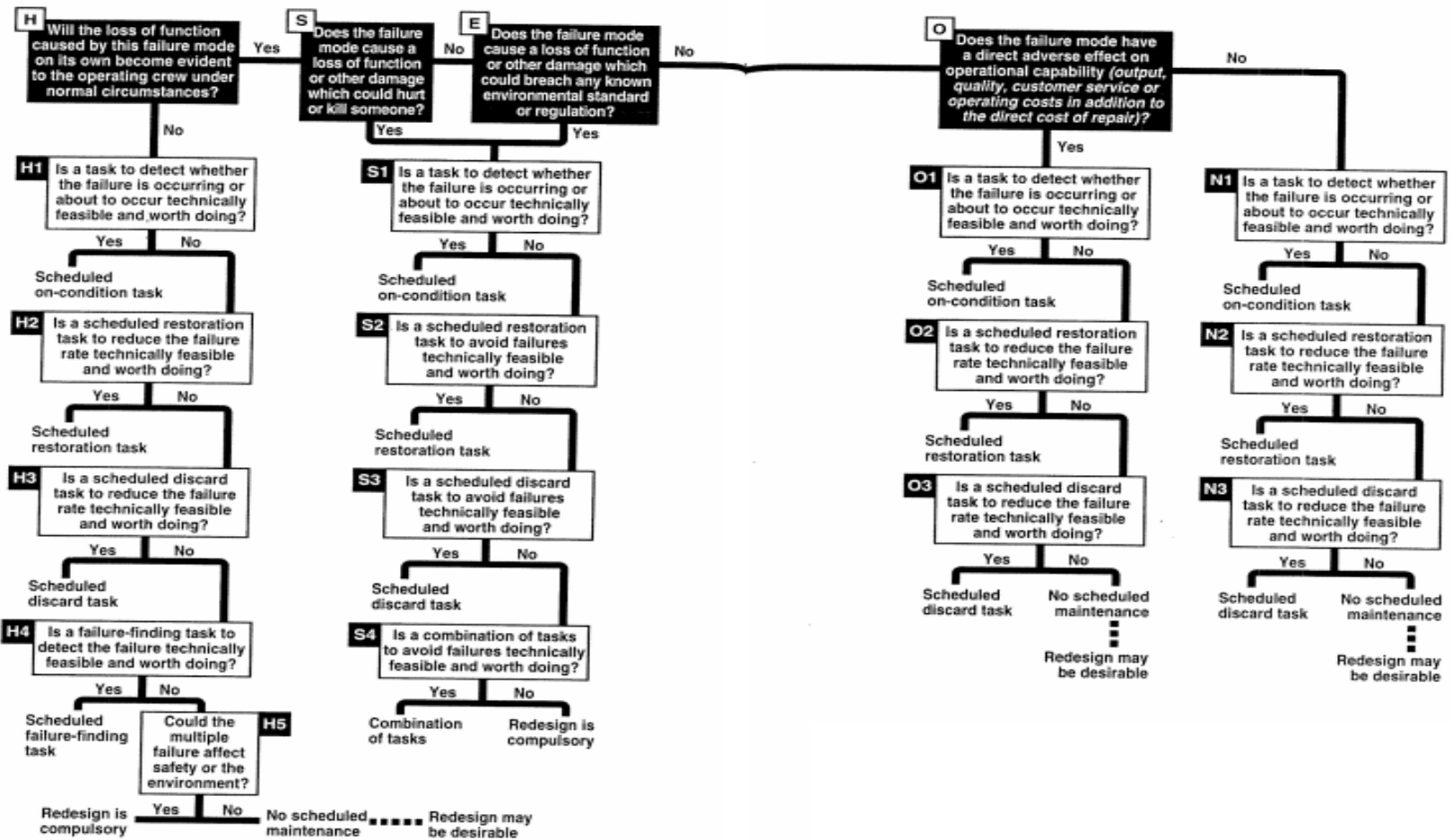
Failure mode merupakan setiap kejadian yang dapat mengakibatkan kegagalan fungsional. Terdapat dua kategori mode kegagalan yaitu *falling capability* (kemampuan suatu aset turun di bawah standar kinerja) dan *increase in desired performance* (standar kinerja yang diinginkan meningkat hingga berada di luar kemampuan suatu aset).

d. *Failure Effect*

Failure effect menjelaskan dampak yang dihasilkan jika suatu mode kegagalan terjadi.

2.5.2 *RCM II Decision Diagram*

RCM II Decision Diagram merupakan kerangka kerja strategis yang mengintegrasikan seluruh proses keputusan terkait pemilihan kegiatan pemeliharaan yang sesuai untuk suatu aset atau peralatan (Moubray, 1997). Berikut ini merupakan gambar yang menunjukkan *RCM II Decision Diagram*.



Gambar 2. 3 RCM II Decision Diagram (Moubray, 1997)

2.5.3 RCM II Decision Worksheet

RCM II *Decision Worksheet* digunakan untuk merangkum jawaban-jawaban dari pertanyaan yang terdapat dalam RCM II *Decision Diagram*. RCM II *Decision Worksheet* ditunjukkan oleh Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 3 RCM II *Decision Worksheet*

RCM II DECISION WORKSHEET			System :									Auditor :			
			Subsystem :									Resource :			
Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action				Proposed Task	
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Sumber : (Moubray, 1997)

Informasi yang akan dirangkum dalam RCM II *Decision* yaitu sebagai berikut (Moubray, 1997).

a. *Information Reference*

Information reference terdiri dari tiga kolom yang berasal dari RCM II *Information Worksheet* yaitu *Function* (F), *Functional Failure* (FF), dan *Function Mode* (FM).

b. *Consequence Evaluation*

Dalam mengevaluasi *failure consequences* terlebih dahulu harus memisahkan antara *hidden failure* dan *evident failure*. *Hidden failure* (H) yaitu kegagalan yang tidak akan terlihat jelas bagi operator yang bekerja dalam keadaan normal. Sedangkan *evident failure* yaitu kegagalan pada akhirnya akan terlihat jelas (dapat diketahui) bagi operator yang bekerja dalam keadaan normal. *Evident failure* terdiri dari *safety consequences* (S), *environmental consequences* (E), *operational consequences* (O), dan *non-operational consequences* (N).

c. *Proactive Task*

Proactive task lebih menekankan pada menghindari atau mengurangi konsekuensi kegagalan daripada mencegah kegagalan itu sendiri sehingga *task* ini layak dilakukan jika berhasil menangani konsekuensi dari kegagalan yang akan dicegah. *Proactive task* terdiri dari beberapa *task* yaitu sebagai berikut.

- *Scheduled On-Condition Task (H1/S1/O1/N1)*

Scheduled On-Condition Task merupakan kegiatan *predictive maintenance*. *Task* ini dijalankan dengan cara melakukan pengecekan pada *potential failure* sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang dapat mencegah kegagalan fungsional atau menghindari konsekuensi dari kegagalan fungsional tersebut.

- *Scheduled Restoration Task (H2/S2/O2/N2)*

Scheduled Restoration Task merupakan kegiatan *preventive maintenance*. *Task* ini dijalankan dengan melakukan *remanufacturing* terhadap suatu komponen tunggal atau *overhauling* terhadap seluruh komponen pada atau sebelum batas usia tertentu, terlepas dari kondisinya pada saat itu. Frekuensi *task* ditentukan oleh usia saat item atau komponen tersebut menunjukkan peningkatan yang cepat dalam probabilitas kegagalan bersyarat (berdasarkan data historis).

- *Scheduled Discard Task (H3/S3/O3/N3)*

Scheduled Discard Task merupakan kegiatan *preventive maintenance*. *Task* ini dilakukan dengan mengganti item atau komponen pada saat atau sebelum batas usia yang telah ditentukan tanpa mempertimbangkan kondisinya pada saat itu. Frekuensi *task* ditentukan oleh usia saat item atau komponen tersebut menunjukkan peningkatan yang cepat dalam probabilitas kegagalan bersyarat.

d. *Default Actions*

Jika tidak ditemukan *proactive task* yang sesuai dengan kondisi mesin atau peralatan maka dilakukan tindakan seperti *scheduled failure finding task*, *no scheduled maintenance*, dan *redesign*.

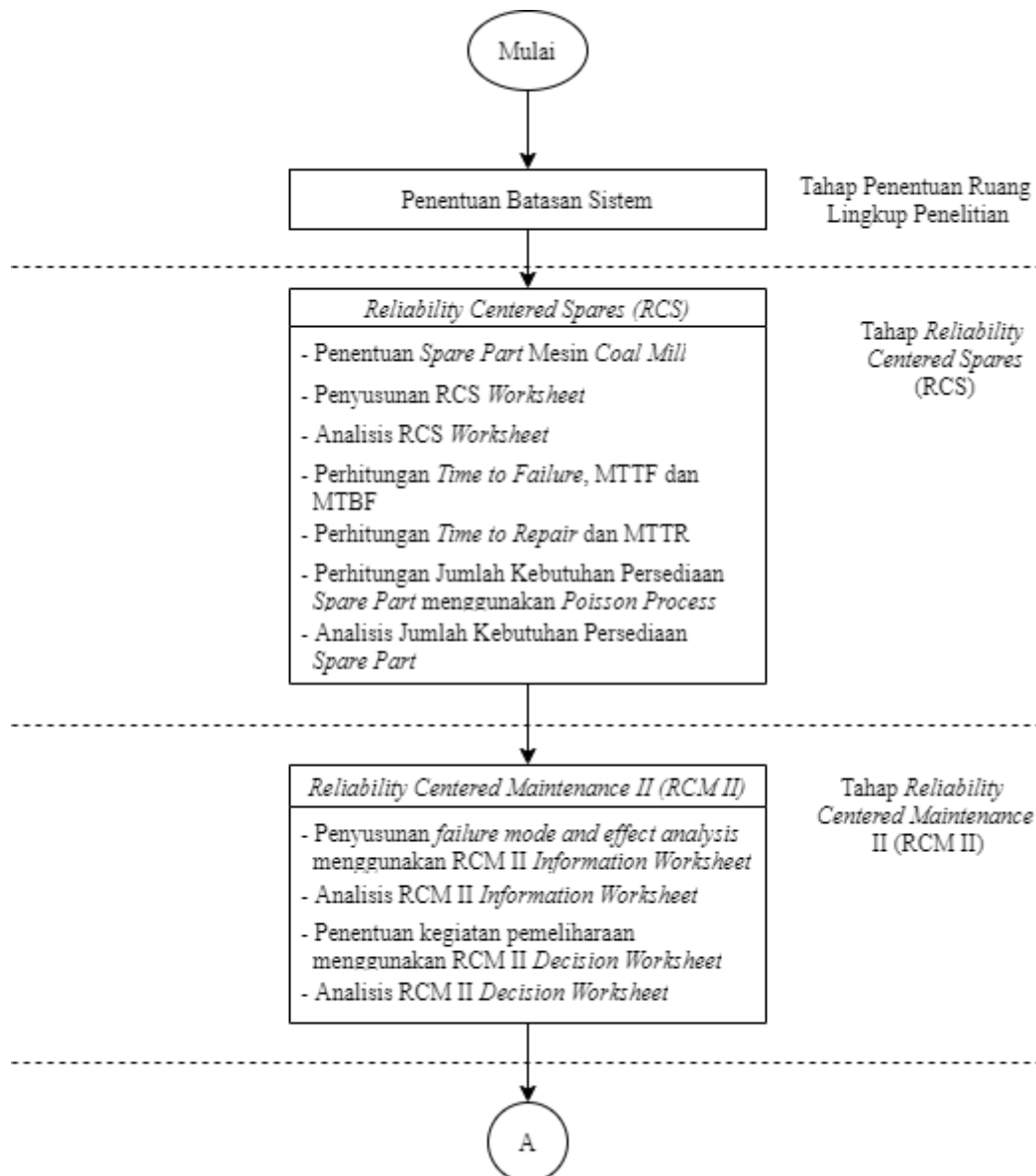
- *Scheduled Failure Finding Task* (H4)
Scheduled Failure Finding Task dijalankan dengan cara melakukan pengecekan terhadap *hidden function* secara berkala untuk menentukan apakah aset tersebut mengalami kegagalan.
- *No Scheduled Maintenance* (H5)
No Scheduled Maintenance dilakukan jika suatu kegagalan baik *hidden* maupun *evident* dan tidak mempengaruhi keselamatan atau lingkungan. Selain itu, *task* ini juga dilakukan jika tidak dapat ditemukan *preventive task* yang sesuai untuk *failure* yang memiliki konsekuensi operasional dan non operasional.
- *Redesign* (S4)
Redesign merujuk pada setiap perubahan terhadap spesifikasi dari suatu item peralatan. Contoh dari *redesign* yaitu mengubah spesifikasi suatu komponen, menambah item baru, mengganti keseluruhan mesin dengan jenis yang lain, atau memindahkan mesin. Namun, dalam konsep RCM II pemeliharaan lebih diutamakan daripada *redesign* karena sebagian modifikasi memerlukan waktu yang lama, tergantung pada biaya dan kompleksitasnya sedangkan pemeliharaan dilakukan pada saat ini (bukan untuk masa yang akan datang). Selain itu, *design improvement* yang diinginkan belum tentu *feasible* secara ekonomi maupun fisik bagi perusahaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

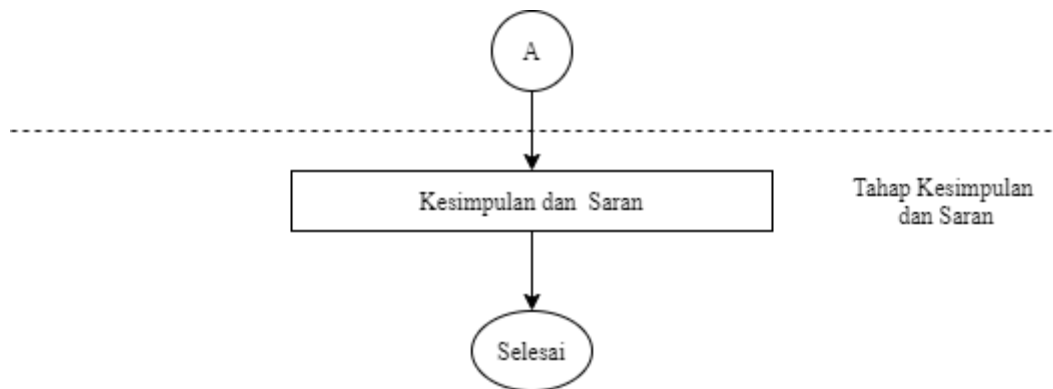
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai alur pengerjaan dalam penelitian Tugas Akhir yang dinyatakan melalui tahapan-tahapan yang sistematis dalam *flowchart*. *Flowchart* metodologi penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1 *Flowchart* Metodologi Penelitian (Lanjutan)

3.1 Tahap Penentuan Ruang Lingkup Penelitian

Pada tahapan ini dijelaskan mengenai penentuan batasan sistem untuk menetapkan ruang lingkup sistem yang akan diamati.

3.1.1 *Penentuan Batasan Sistem*

Penentuan batasan sistem dilakukan dengan cara mengidentifikasi *input* dan *output* dari sistem. Informasi yang didapatkan dari hasil identifikasi tersebut digunakan untuk menetapkan ruang lingkup sistem yang akan diamati. Penentuan batasan sistem juga digunakan untuk mengidentifikasi komponen-komponen penyusun sistem yang telah dipilih.

3.2 Tahap *Reliability Centered Spares (RCS)*

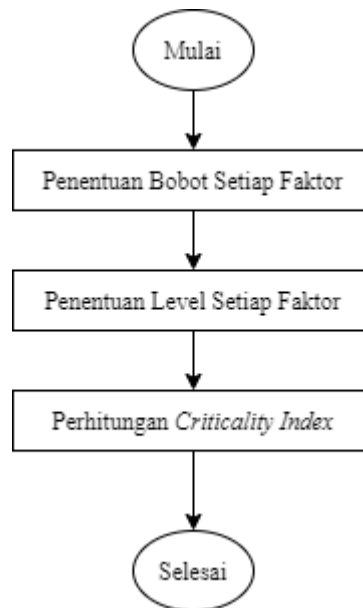
Pada tahapan ini dijelaskan mengenai alur pengerjaan pengendalian persediaan *spare part* menggunakan metode *Reliability Centered Spares (RCS)*.

3.2.1 *Penentuan Spare Part Mesin Coal Mill*

Pada tahap ini dilakukan penentuan *spare part* mesin *Coal Mill*. Mesin *Coal Mill* memiliki *spare part* yang dapat diklasifikasikan menjadi *spare part non-repairable* dan *repairable*. Penentuan *spare part* mesin *Coal Mill* dilakukan berdasarkan data historis kerusakan *spare part*. Dari data kerusakan yang telah dikumpulkan, akan didapatkan jenis-jenis *spare part* yang telah mengalami kerusakan.

3.2.2 Penyusunan Reliability Centered Spares (RCS) Worksheet

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan RCS *Worksheet* untuk setiap *spare part* yang telah ditentukan sebelumnya. Penyusunan RCS *Worksheet* bertujuan untuk mengetahui tingkat kekritisitas *spare part*. *Flowchart* penyusunan RCS *Worksheet* ditunjukkan oleh Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 *Flowchart* Penyusunan RCS *Worksheet*

Berdasarkan Gambar 3.2, langkah pertama dalam penyusunan RCS *Worksheet* adalah menentukan bobot faktor. Terdapat empat faktor dalam RCS *Worksheet* yaitu *consequences*, *anticipation*, *effect of stockout*, dan *cost*. Selanjutnya dilakukan penentuan level untuk setiap faktor. Setiap faktor terdiri dari lima level yang akan digunakan untuk penilaian setiap *spare part*. Kemudian dilakukan perhitungan *criticality index* yang didapatkan dari perkalian bobot dan penilaian level. Hasil perhitungan *criticality index* ini akan digunakan untuk mengetahui tingkat kekritisitas setiap *spare part*.

3.2.3 Analisis Reliability Centered Spares (RCS) Worksheet

Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap hasil penyusunan RCS *Worksheet*. Analisis dilakukan berdasarkan hasil perhitungan *criticality index* yang menunjukkan tingkat kekritisitas setiap *spare part*. Terdapat empat tingkat kekritisitas

spare part yaitu *high critical*, *medium critical*, *low critical*, dan *not critical*. *Spare part* dengan tingkat kekritisan *high critical*, *medium critical* serta *low critical* akan dihitung jumlah kebutuhan persediaannya.

3.2.4 Perhitungan Time to Failure, Mean Time to Failure (MTTF), dan Mean Time Between Failure (MTBF)

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *time to failure* dari *spare part*. Kemudian dilakukan *fitting* distribusi terhadap *time to failure* dari setiap *spare part*. *Fitting* distribusi akan dilakukan menggunakan *software Weibull++ 6*. Dari hasil *fitting* distribusi akan didapatkan parameter distribusi. Parameter distribusi yang didapatkan akan digunakan untuk perhitungan MTTF untuk *spare part non-repairable* dan MTBF untuk *spare part repairable*.

3.2.5 Perhitungan Time to Repair dan Mean Time to Repair (MTTR)

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *time to repair spare part repairable*. Kemudian dilakukan *fitting* distribusi terhadap *time to repair* menggunakan *software Weibull++ 6*. Dari hasil *fitting* distribusi akan didapatkan parameter distribusi. Parameter distribusi yang didapatkan akan digunakan untuk perhitungan MTTR *spare part repairable*.

3.2.6 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan persediaan *spare part*. Perhitungan kebutuhan *spare part* untuk satu periode tertentu dapat dilakukan dengan menggunakan *Poisson Process*. Hasil perhitungan MTTF, MTBF serta MTTR yang telah didapatkan sebelumnya akan digunakan dalam perhitungan *Poisson Process*. Selain itu, dibutuhkan informasi lainnya yaitu laju kerusakan *spare part*, jumlah komponen dalam mesin, jumlah mesin, waktu operasi mesin, *scrape rate*, periode operasional, serta *confidence level* yang akan digunakan. Perhitungan jumlah kebutuhan *spare part* dilakukan berdasarkan klasifikasi *spare part* yaitu *spare part non-repairable* dan *spare part repairable*. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan akan didapatkan jumlah kebutuhan untuk setiap *spare part*.

3.2.7 Analisis Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part

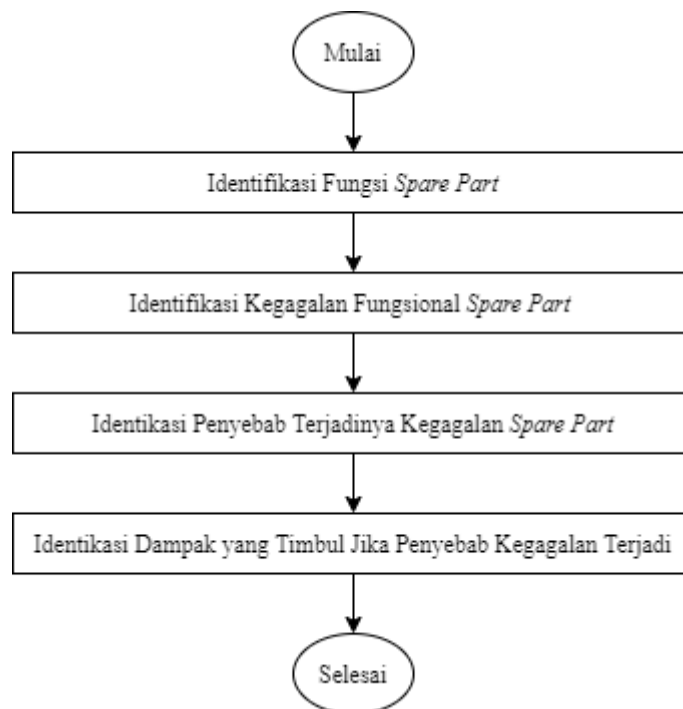
Pada tahap ini akan dilakukan analisis mengenai persediaan *spare part*. Analisis dilakukan terhadap hasil perhitungan jumlah kebutuhan *spare part* untuk *spare part non-repairable* dan *spare part repairable*.

3.3 Tahap *Reliability Centered Maintenance II (RCM II)*

Pada tahapan ini dijelaskan mengenai alur pengerjaan perencanaan kegiatan pemeliharaan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II (RCM II)*.

3.3.1 Penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis* menggunakan *RCM II Information Worksheet*

Pada tahap berikut akan dilakukan penyusunan *RCM II Information Worksheet*. *RCM II Information Worksheet* digunakan untuk penyusunan *failure mode and effect analysis (FMEA)*. *Flowchart* penyusunan *RCM II Information Worksheet* ditunjukkan oleh Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3. 3 *Flowchart* Penyusunan *RCM II Information Worksheet*

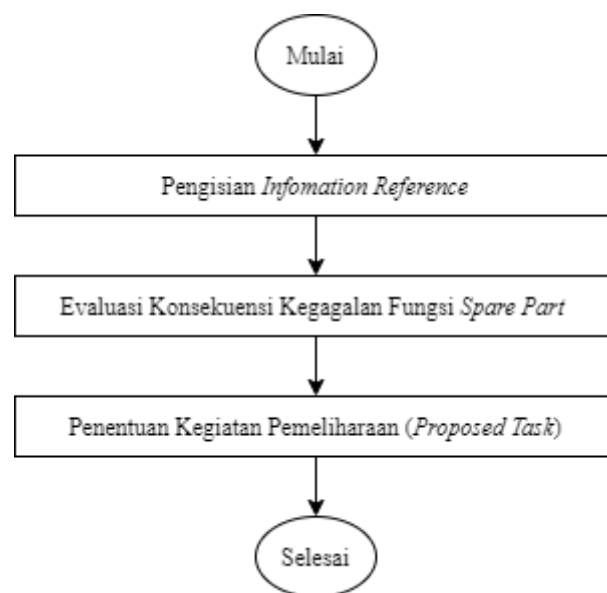
Berdasarkan Gambar 3.3, langkah pertama dalam penyusunan RCM II *Information Worksheet* dilakukan identifikasi fungsi (*function*) setiap *spare part*. Dari fungsi yang telah diidentifikasi tersebut, dapat diketahui kegagalan fungsional (*functional failure*) yang dapat terjadi pada *spare part*. Selanjutnya dilakukan identifikasi terhadap mode kegagalan (*failure mode*) serta dampak kegagalan (*failure effect*) dari *spare part* yang diamati. RCM II *Information Worksheet* digunakan untuk penyusunan *failure mode and effect analysis* (FMEA).

3.3.2 Analisis RCM II *Information Worksheet*

Pada tahap berikut akan dilakukan analisis mengenai RCM II *Information Worksheet*. Analisis dilakukan terhadap fungsi, kegagalan fungsi, mode kegagalan, serta dampak kegagalan dari sistem yang diamati.

3.3.3 Penentuan Kegiatan Pemeliharaan menggunakan RCM II *Decision Worksheet*

Penyusunan RCM II *Decision Worksheet* digunakan untuk memilih kegiatan pemeliharaan yang sesuai dengan *spare part*. *Flowchart* penyusunan RCM II *Decision Worksheet* ditunjukkan oleh Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Penyusunan RCM II *Decision Worksheet*

Berdasarkan Gambar 3.4, langkah pertama dalam penyusunan RCM II *Decision Worksheet* adalah mengisi *information reference* yang terdiri dari *function* (F), *functional failure* (FF), dan *failure mode* (FM). Selanjutnya dilakukan evaluasi *failure consequences* berdasarkan jenis-jenis konsekuensi yaitu *hidden consequences* (H), *safety consequences* (S), *environmental consequences* (E), *operational consequences* (O), dan *non-operational consequences* (N). Dari hasil evaluasi tersebut akan dipilih kegiatan pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi *spare part*. Kemudian dilakukan penentuan pihak yang akan menjalankan kegiatan pemeliharaan yang telah dipilih tersebut.

3.3.4 Analisis RCM II *Decision Worksheet*

Pada tahap ini akan dilakukan analisis mengenai RCM II *Decision Worksheet* yang telah disusun. Analisis dilakukan terhadap kegiatan pemeliharaan yang telah ditentukan untuk setiap *spare part*.

3.4 Tahap Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dalam penelitian Tugas Akhir ini yaitu penarikan kesimpulan dari tujuan yang telah ditetapkan. Selain itu, penulis juga memberikan saran bagi perusahaan maupun penelitian selanjutnya untuk dapat dikembangkan lebih lanjut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

RELIABILITY CENTERED SPARES (RCS)

Pada bab ini dijelaskan mengenai alur pengerjaan perencanaan persediaan *spare part* menggunakan metode *Reliability Centered Spares (RCS)* yaitu penentuan *spare part*, *time to failure*, *time to repair*, *RCS Worksheet*, dan perhitungan jumlah kebutuhan *spare part*.

4.1 Penentuan *Spare Part* Mesin *Coal Mill*

Pada tahap ini akan dilakukan penentuan *spare part* mesin *Coal Mill* yang akan dihitung jumlahnya. *Spare part* di mesin *Coal Mill* dapat diklasifikasikan menjadi *spare part non-repairable* dan *repairable*. *Spare part non-repairable* merupakan *spare part* yang jika rusak tidak dapat diperbaiki sehingga harus diganti dengan yang baru. Sedangkan *spare part repairable* merupakan *spare part* yang dapat diperbaiki jika mengalami kerusakan. *Spare part* mesin *Coal Mill* dapat ditentukan berdasarkan pengumpulan data historis kerusakan. Dari data kerusakan yang telah dikumpulkan, terdapat sembilan jenis *spare part* yang telah mengalami kerusakan. Frekuensi kerusakan dan klasifikasi *spare part* mesin *Coal Mill* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 *Spare Part* Mesin *Coal Mill*

No.	Nama <i>Spare Part</i>	Klasifikasi <i>Spare Part</i>	Frekuensi Kerusakan
1	<i>Conveyor Belt</i>	<i>Non-Repairable</i>	8
2	<i>Wear Segment</i>	<i>Repairable</i>	4
3	<i>Retainer Clamp</i>	<i>Non-Repairable</i>	4
4	<i>Weld Rod</i>	<i>Non-Repairable</i>	5
5	<i>Roller Shaft</i>	<i>Non-Repairable</i>	4
6	<i>Solenoid Valve</i>	<i>Non-Repairable</i>	4
7	<i>Hydraulic Cylinder</i>	<i>Repairable</i>	4
8	<i>Pull Rod Kit</i>	<i>Repairable</i>	5
9	<i>Fan Cooler</i>	<i>Repairable</i>	5

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat diketahui bahwa terdapat lima jenis *spare part non-repairable* dan empat jenis *spare part repairable*. Lima jenis *spare part non-repairable* yaitu *conveyor belt*, *retainer clamp*, *weld rod*, *roller shaft*, dan *solenoid valve*. Sedangkan empat jenis *spare part repairable* yaitu *wear segment*, *hydraulic cylinder*, *pull rod kit*, dan *fan cooler*. Berikut merupakan penjelasan singkat mengenai sembilan *spare part* mesin *Coal Mill*.

- a. *Conveyor belt*, merupakan *spare part* berupa sabuk (*belt*) yang membawa material di atas *conveyor*.
- b. *Wear segment*, merupakan *spare part* berupa segmen permukaan pada *grinding table*.
- c. *Retainer clamp*, merupakan *spare part* berupa klep penahan *wear segment* ke *grinding table*.
- d. *Weld rod*, merupakan *spare part* berupa *rod* yang terhubung pada *grinding roller*.
- e. *Roller shaft*, merupakan *spare part* berupa baja poros tempat berputarnya *grinding roller*.
- f. *Solenoid valve*, merupakan *spare part* berupa katup yang mengeluarkan udara bertekanan.
- g. *Hydraulic cylinder*, merupakan *spare part* berupa aktuator yang menghasilkan tekanan hidrolik.
- h. *Pull rod kit*, merupakan *spare part* berupa *rod* yang mentransmisikan *grinding force* ke *grinding roller*.
- i. *Fan cooler*, merupakan *spare part* berupa *fan* yang menerbangkan debu agar dapat ditampung di *main filter*.

4.2 Reliability Centered Spares (RCS) Worksheet

Pada tahap ini dilakukan penyusunan *RCS Worksheet* untuk setiap *spare part*. Penyusunan *RCS Worksheet* mempertimbangkan empat faktor yaitu *consequences*, *anticipation*, *effect of stockout*, dan *cost*. Empat faktor ini akan digunakan untuk menilai tingkat kekritisitas setiap *spare part*. Hasil penyusunan *RCS Worksheet* untuk setiap *spare part* kemudian akan dianalisis.

4.4.1 Penyusunan RCS Worksheet

Penyusunan RCS *Worksheet* dimulai dengan menentukan bobot faktor RCS *Worksheet*. Setelah didapatkan bobot untuk setiap faktor, selanjutnya dilakukan penentuan level. Dari penilaian ini maka akan dihitung *criticality index* yang didapatkan dari mengalikan bobot faktor dan level setiap *spare part*. Hasil perhitungan *criticality index* ini akan menentukan tingkat kekritisitas setiap *spare part*.

➤ Penentuan Bobot Faktor RCS *Worksheet*

Penentuan bobot empat faktor RCS *Worksheet* dapat dilakukan menggunakan matriks *Pairwise Comparison*. Langkah pertama adalah melakukan penilaian tingkat kepentingan faktor i terhadap faktor j. Penilaian tingkat kepentingan setiap faktor dengan menggunakan matriks *Pairwise Comparison* Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Penentuan Bobot Faktor RCS *Worksheet*

	<i>Consequences</i>	<i>Anticipation</i>	<i>Effect of Stockout</i>	<i>Cost</i>
<i>Consequences</i>	1	3	1/2	4
<i>Anticipation</i>	1/3	1	5	3
<i>Effect of Stockout</i>	2	1/5	1	2
<i>Cost</i>	1/4	1/3	1/2	1
<i>Total Column</i>	3,58	4,53	7,00	10,00

Selanjutnya dilakukan pembagian setiap nilai pada baris i di kolom j dengan jumlah nilai pada kolom j (*total column*) tersebut. Pembagian ini menghasilkan matriks normalisasi dengan jumlah nilai pada setiap kolom adalah 1. Setelah itu dilakukan perhitungan rata-rata nilai pada baris i (*row average*). Dari hasil perhitungan akan didapatkan bobot untuk setiap faktor. Hasil perhitungan bobot faktor RCS *Worksheet* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Perhitungan Bobot Faktor RCS *Worksheet*

	<i>Consequences</i>	<i>Anticipation</i>	<i>Effect of Stockout</i>	<i>Cost</i>	<i>Row Average</i>
<i>Consequences</i>	0,2791	0,6618	0,0714	0,4000	35%

	<i>Consequences</i>	<i>Anticipation</i>	<i>Effect of Stockout</i>	<i>Cost</i>	<i>Row Average</i>
<i>Anticipation</i>	0,0930	0,2206	0,7143	0,3000	33%
<i>Effect of Stockout</i>	0,5581	0,0441	0,1429	0,2000	24%
<i>Cost</i>	0,0698	0,0735	0,0714	0,1000	8%

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bobot untuk setiap faktor RCS *Worksheet*. Bobot paling tinggi dimiliki oleh faktor *consequences* yaitu sebesar 35%. Faktor *anticipation* memiliki bobot sebesar 33% dan *effect of stockout* memiliki bobot sebesar 24%. Bobot paling rendah dimiliki oleh faktor *cost* yaitu sebesar 8%.

➤ Penentuan Level untuk Setiap Faktor RCS *Worksheet*

Setelah menghitung bobot untuk keempat faktor, selanjutnya dilakukan penentuan level untuk setiap faktor. Keempat faktor masing-masing memiliki lima level. Adapun kelima level ini ditentukan melalui hasil wawancara dengan Departemen Pemeliharaan di PT. X. Penentuan level untuk setiap faktor RCS *Worksheet* dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4 Level untuk Setiap Faktor RCS *Worksheet*

Faktor	Level	Keterangan
<i>Consequence</i>	1	<i>Non-operational</i> (kehabisan stok <i>spare part</i> menimbulkan konsekuensi berupa pengeluaran untuk perbaikan atau penggantian <i>spare part</i>)
	2	<i>Operational</i> (kehabisan stok <i>spare part</i> menimbulkan konsekuensi berupa kerugian produksi atau kerugian ekonomis lainnya)
	3	<i>Environmental</i> (kehabisan stok <i>spare part</i> menimbulkan konsekuensi langsung terhadap lingkungan hidup)
	4	<i>Safety</i> (kehabisan stok <i>spare part</i> menimbulkan konsekuensi langsung terhadap keselamatan)
	5	<i>Hidden</i> (kehabisan stok <i>spare part</i> menimbulkan konsekuensi berupa peningkatan risiko kerusakan <i>spare part</i> lain)
<i>Anticipation</i>	1	<i>Not critical without spares available</i> (frekuensi kerusakan 1 kali dalam ≥ 5 tahun)

Faktor	Level	Keterangan
	2	<i>Not critical without spares available</i> (frekuensi kerusakan 1 kali dalam 4 tahun)
	3	<i>Not critical without spares available</i> (frekuensi kerusakan 1 kali dalam 3 tahun)
	4	<i>Not critical without spares available</i> (frekuensi kerusakan 1 kali dalam 2 tahun)
	5	<i>Critical without spares available</i> (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)
<i>Effect of Stockout</i>	1	Mesin masih dapat beroperasi
	2	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki 1-2 jam
	3	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki ± 4 jam
	4	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki ± 8 jam
	5	Mesin mati dan tidak dapat diperbaiki
<i>Cost</i>	1	Harga <i>spare part</i> \leq Rp 100.000,00
	2	Harga <i>spare part</i> Rp 101.000,00 - Rp 500.000,00
	3	Harga <i>spare part</i> Rp 501.000,00 - Rp 2.000.000,00
	4	Harga <i>spare part</i> Rp 2.001.000,00 - Rp 5.000.000,00
	5	Harga <i>spare part</i> $>$ Rp 5.000.000,00

➤ Perhitungan *Criticality Index*

Setelah dilakukan penentuan level faktor untuk setiap *spare part*, selanjutnya dilakukan perhitungan *criticality index*. Perhitungan *criticality index* didapatkan dari hasil perkalian antara bobot faktor dan level *spare part* untuk setiap faktor. Contoh perhitungan *Criticality Index* pada *spare part conveyor belt* adalah sebagai berikut.

$$\text{Criticality Index} = (n1 \times 35\%) + (n2 \times 33\%) + (n3 \times 24\%) + (n4 \times 8\%)$$

$$\text{Criticality Index} = (2 \times 35\%) + (5 \times 33\%) + (4 \times 24\%) + (4 \times 8\%)$$

$$\text{Criticality Index} = 3,63$$

Hasil penyusunan RCS *Worksheet* dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4. 5 RCS Worksheet

No.	Spare Part	Consequences		Anticipation		Effect of Stockout		Cost		Criticality Index
		Keterangan	Level	Keterangan	Level	Keterangan	Level	Harga	Level	
1	Conveyor Belt	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki ± 8 jam	4	Rp2.700.000	4	3,63
2	Wear Segment	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin masih dapat beroperasi	1	Rp71.800.000	5	3,00
3	Retainer Clamp	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin masih dapat beroperasi	1	Rp52.750	1	2,68
4	Weld Rod	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin masih dapat beroperasi	1	Rp235.000	2	2,76
5	Roller Shaft	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki 1-2 jam	2	Rp582.750	3	3,07

No.	Spare Part	Consequences		Anticipation		Effect of Stockout		Cost		Criticality Index
		Keterangan	Level	Keterangan	Level	Keterangan	Level	Harga	Level	
6	Solenoid Valve	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki ± 4 jam	3	Rp5.009.400	5	3,47
7	Hydraulic Cylinder	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki ± 8 jam	4	Rp678.917.500	5	3,70
8	Pull Rod Kit	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki ± 8 jam	4	Rp270.000.000	4	3,63
9	Fan Cooler	Operasional	2	Critical without spares available (frekuensi kerusakan ≥ 1 kali dalam 1 tahun)	5	Mesin mati dengan kerusakan dapat diperbaiki ± 8 jam	4	Rp21.000.000	5	3,70

4.4.2 Analisis RCS Worksheet

RCS *Worksheet* digunakan untuk menilai tingkat kekritisitas setiap *spare part* berdasarkan empat faktor. Empat faktor tersebut adalah *consequences*, *anticipation*, *effect of stockout*, dan *cost*. *Consequences* merupakan faktor untuk menilai konsekuensi yang timbul akibat kehabisan stok *spare part*. *Anticipation* merupakan faktor untuk menilai apakah kebutuhan *spare part* dapat diantisipasi. *Effect of stockout* merupakan faktor untuk menilai dampak yang ditimbulkan dari kehabisan stok *spare part*. Sedangkan *cost* merupakan faktor untuk menilai harga *spare part*.

Berdasarkan Tabel 4.3 yang menunjukkan hasil perhitungan bobot faktor untuk setiap faktor, dapat diketahui bahwa bobot paling tinggi dimiliki oleh faktor *consequences* yaitu sebesar 35%. Hal ini dikarenakan PT. X sangat mementingkan konsekuensi yang timbul akibat kehabisan stok *spare part*. Kemudian *anticipation* juga memiliki bobot yang cukup tinggi yaitu sebesar 33%. Faktor *anticipation* juga sangat dipertimbangkan karena menunjukkan *criticality* dari persediaan *spare part* berdasarkan frekuensi kerusakannya. Selanjutnya *effect of stockout* memiliki bobot sebesar 24% dan *cost* memiliki bobot sebesar 8%.

Berdasarkan Tabel 4.5 yang menunjukkan hasil penyusunan RCS *Worksheet*, dapat diketahui *criticality index* untuk setiap *spare part*. Rekapitulasi tingkat kekritisitas *spare part* dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Tingkat Kekritisitas Spare Part

No.	Nama Spare Part	Criticality Index	Criticality
1	Conveyor Belt	3,63	Medium Critical
2	Wear Segment	3,00	Medium Critical
3	Retainer Clamp	2,68	Low Critical
4	Weld Rod	2,76	Low Critical
5	Roller Shaft	3,07	Medium Critical
6	Solenoid Valve	3,47	Medium Critical
7	Hydraulic Cylinder	3,70	Medium Critical
8	Pull Rod Kit	3,63	Medium Critical
9	Fan Cooler	3,70	Medium Critical

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat diketahui bahwa terdapat tujuh *spare part medium critical* dan dua *spare part low critical*. Dari tujuh *spare part medium critical*, *criticality index* paling tinggi dimiliki oleh *spare part hydraulic cylinder* dan *fan cooler* yaitu sebesar 3,70. Hal ini dikarenakan jika terjadi kehabisan stok pada kedua *spare part* ini maka akan terjadi konsekuensi operasional. Selain itu, *hydraulic cylinder* dan *fan cooler* juga termasuk *spare part* yang kritis jika tidak terdapat persediaannya karena frekuensi kerusakannya lebih dari satu kali dalam satu tahun. Faktor lainnya yaitu kehabisan stok pada kedua *spare part* ini dapat menyebabkan mesin mati dan menimbulkan *downtime* pada mesin. Kemudian untuk faktor harga, kedua *spare part* ini merupakan *spare part* yang memiliki harga yang cukup tinggi yaitu Rp 678.917.500,00 untuk *hydraulic cylinder* dan Rp 21.000.000,00 untuk *fan cooler*.

Sedangkan *criticality index* paling rendah dimiliki oleh *spare part retainer clamp* dan *weld rod*. Kehabisan stok pada kedua *spare part* ini memiliki konsekuensi operasional dan termasuk *spare part* yang kritis jika tidak tersedia. Namun, kehabisan stok pada *retainer clamp* dan *weld rod* tidak terlalu mempengaruhi mesin. Selain itu, kedua harga *spare part* ini cukup rendah yaitu Rp 52.750 untuk *retainer clamp* dan Rp 235.000 untuk *weld rod*.

Dari hasil penyusunan RCS *Worksheet* didapatkan tingkat kekritisian untuk setiap *spare part*. Perhitungan jumlah kebutuhan *spare part* akan dilakukan untuk semua *spare part* kritis yaitu *spare part* yang masuk ke dalam kategori *high critical*, *medium critical* serta *low critical*.

4.3 Time to Failure

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *time to failure* dari data waktu kerusakan setiap *spare part*. Kemudian dilakukan *fitting* distribusi terhadap *time to failure* yang telah diperoleh. *Fitting* distribusi dilakukan menggunakan *software Weibull++ 6* untuk mengetahui jenis distribusi yang sesuai dengan data *time to failure* tersebut. Dari hasil *fitting* distribusi akan didapatkan parameter distribusi. Jenis dan parameter distribusi yang didapatkan akan digunakan untuk perhitungan *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time between failure* (MTBF). MTTF

merupakan rata-rata waktu kerusakan pada *spare part non-repairable*. Sedangkan MTBF merupakan rata-rata waktu antar kerusakan pada *spare part repairable*.

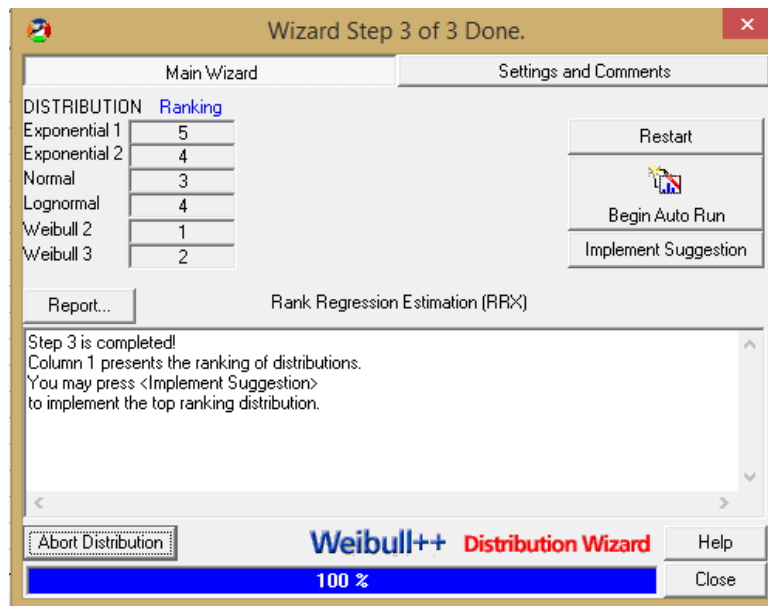
4.3.1 Fitting Distribusi Time to Failure

Tahap *fitting* distribusi akan dilakukan menggunakan *software Weibull++ 6*. Dari data kerusakan setiap *spare part* yang telah dikumpulkan, akan didapatkan *time to failure*. Selanjutnya *fitting* distribusi akan dilakukan terhadap data *time to failure* setiap *spare part*. Rekapitulasi *time to failure* setiap *spare part* dapat dilihat pada Lampiran 1. Contoh rekapitulasi *time to failure conveyor belt* dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7 Rekapitulasi Data *Time to Failure Conveyor Belt*

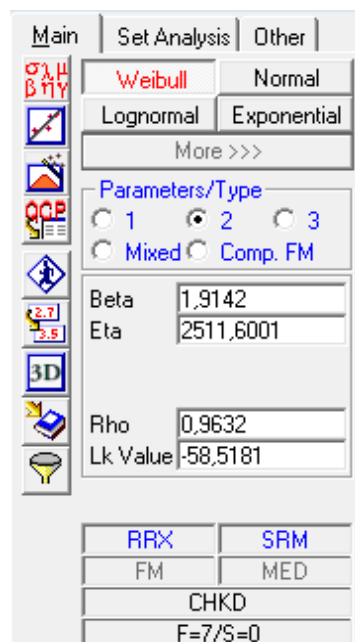
<i>Time to Failure</i> ke-	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure</i> (hari)	<i>Time to Failure</i> (jam)
1	15 Oktober 2017	0	0
2	02 Februari 2018	110	2640
3	02 April 2018	59	1416
4	25 Juli 2018	114	2736
5	06 September 2018	43	1032
6	20 Februari 2019	167	4008
7	15 Juni 2019	115	2760
8	20 Juli 2019	35	840

Tabel 4.7 menunjukkan data *time to failure spare part conveyor belt* dalam satuan jam. Langkah pertama dalam melakukan *fitting* distribusi *time to failure* adalah membuka file baru pada *software Weibull++ 6* dan memilih jenis data “*Time to Failure*”. Data *time to failure conveyor belt* yang telah diperoleh menjadi input pada kolom *time failed*. Setelah melakukan *input* data *time to failure* selanjutnya menjalankan fungsi *distribution wizard*. Hasil *distribution wizard* akan menunjukkan urutan distribusi yang sesuai dengan karakteristik kegagalan *spare part conveyor belt*. *Fitting* distribusi *spare part conveyor belt* dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 *Fitting Distribusi Time to Failure Conveyor Belt*

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa distribusi Weibull 2 merupakan distribusi yang sesuai dengan *spare part Conveyor Belt*. Setelah diperoleh distribusi yang sesuai maka dapat diketahui nilai parameter dari distribusi tersebut. Parameter distribusi Weibull 2 pada *spare part Conveyor Belt* dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 *Parameter Distribusi Weibull 2 Conveyor Belt*

Gambar 4.2 menunjukkan nilai dari dua parameter distribusi Weibull 2 pada *spare part Conveyor Belt*. Dua parameter tersebut adalah $\beta = 1,9142$ dan $\eta = 2511,6001$. Rekapitulasi jenis dan parameter distribusi *time to failure* setiap *spare part* dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Jenis dan Parameter Distribusi *Time to Failure*

No.	Nama <i>Spare Part</i>	Distribusi	Parameter		
			Beta (β)	Eta (η)	Gamma (γ)
1	<i>Conveyor Belt</i>	Weibull 2	1,9142	2511,60	-
2	<i>Wear Segment</i>	Weibull 3	0,7316	2038,12	1836,88
3	<i>Retainer Clamp</i>	Weibull 2	0,8542	6769,85	-
4	<i>Weld Rod</i>	Weibull 3	0,6383	1502,82	1319,80
5	<i>Roller Shaft</i>	Weibull 3	0,7676	202,34	1746,04
6	<i>Solenoid Valve</i>	Weibull 3	0,4215	1238,93	345,64
7	<i>Hydraulic Cylinder</i>	Weibull 3	0,7316	2038,12	1836,88
8	<i>Pull Rod Kit</i>	Weibull 3	0,5505	725,67	571,00
9	<i>Fan Cooler</i>	Weibull 3	0,6383	1502,82	1319,80

Berdasarkan Tabel 4.8, dapat diketahui bahwa terdapat dua *spare part* yang memiliki jenis distribusi Weibull 2 dan tujuh *spare part* yang memiliki jenis distribusi Weibull 3. Jenis dan parameter distribusi dari waktu kerusakan setiap *spare part* yang telah didapatkan akan digunakan untuk menghitung *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time between failure* (MTBF).

4.3.2 Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time Between Failure (MTBF)

Mean time to failure (MTTF) merupakan waktu rata-rata suatu *spare part non-repairable* hingga mengalami kerusakan. Waktu hingga kerusakan dihitung dari waktu awal pengoperasian hingga *spare part* tersebut rusak dan tidak dapat digunakan lagi. Jika *spare part non-repairable* mengalami kerusakan, maka *spare part* tersebut akan diganti dengan *spare part* yang baru. Sehingga dapat diketahui bahwa MTTF digunakan untuk *spare part* yang hanya bisa digunakan untuk sekali pakai. Perhitungan *mean time to failure* (MTTF) dilakukan dengan menggunakan

jenis dan parameter distribusi dari data *time to failure* setiap *spare part non-repairable*.

Sedangkan *mean time between failure* (MTBF) merupakan waktu rata-rata antar kerusakan yang terjadi pada *spare part repairable*. *Spare part repairable* yang mengalami kerusakan akan dibawa ke fasilitas bengkel untuk diperbaiki. *Spare part repairable* yang telah diperbaiki kemudian akan dioperasikan kembali. Waktu antar kerusakan dihitung dari waktu *spare part* mengalami kerusakan pertama hingga waktu *spare part* mengalami kerusakan selanjutnya. Perhitungan *mean time between failure* (MTBF) menggunakan jenis dan parameter distribusi dari setiap *spare part repairable*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan MTTF pada *spare part non-repairable* yaitu *conveyor belt* dan *weld rod*.

➤ *Conveyor Belt* (Weibull 2)

$$\beta = 1,9142$$

$$\eta = 2511,60$$

$$\begin{aligned} MTTF &= \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 2511,60 \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,9142} \right) \\ &= 2228,1851 \text{ jam} \end{aligned}$$

➤ *Weld Rod* (Weibull 3)

$$\beta = 0,6383$$

$$\eta = 1502,82$$

$$\gamma = 1319,80$$

$$\begin{aligned} MTTF &= \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 1319,80 + 1502,82 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0,6383} \right) \\ &= 3415,8243 \text{ jam} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan MTTF pada setiap *spare part non-repairable* ditunjukkan pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Perhitungan MTTF

No.	Nama Spare Part	Distribusi	MTTF (jam)
1	<i>Conveyor Belt</i>	Weibull 2	2228,1851
2	<i>Retainer Clamp</i>	Weibull 2	7391,7750
3	<i>Weld Rod</i>	Weibull 3	3415,8243
4	<i>Roller Shaft</i>	Weibull 3	1982,4904
5	<i>Solenoid Valve</i>	Weibull 3	3931,9719

Berdasarkan Tabel 4.9, dapat diketahui bahwa MTTF tertinggi dimiliki oleh *spare part retainer clamp* yaitu sebesar 7391,7750 jam. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata waktu kerusakan *spare part retainer clamp* adalah sekitar 308 hari. Sedangkan MTTF terendah dimiliki oleh *spare part roller shaft* yaitu sebesar 1982,4904 jam. Selanjutnya dilakukan perhitungan MTBF untuk *spare part repairable*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan MTBF pada *spare part repairable* yaitu *wear segment*.

➤ *Wear Segment* (Weibull 3)

$$\beta = 0,7316$$

$$\eta = 2038,12$$

$$\gamma = 1836,88$$

$$\begin{aligned} MTTF &= \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 1836,88 + 2038,12 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0,7316} \right) \\ &= 4314,9904 \text{ jam} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan MTBF pada *spare part* ditunjukkan pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Perhitungan MTBF

No.	Nama Spare Part	Distribusi	MTBF (jam)
1	<i>Wear Segment</i>	Weibull 3	4314,9904
2	<i>Hydraulic Cylinder</i>	Weibull 3	4314,9904
3	<i>Pull Rod Kit</i>	Weibull 3	1804,5209
4	<i>Fan Cooler</i>	Weibull 3	3415,8243

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat diketahui bahwa MTBF tertinggi dimiliki oleh *spare part wear segment* dan *hydraulic cylinder* yaitu sebesar 4314,9904 jam. Sedangkan MTBF terendah dimiliki oleh *spare part pull rod kit* yaitu sebesar 1804,5209 jam.

4.4 Time to Repair

Pada tahap ini dilakukan perhitungan *time to repair* dari data waktu perbaikan *spare part repairable*. Selanjutnya dilakukan *fitting* distribusi terhadap *time to repair* yang telah diperoleh. *Fitting* distribusi dilakukan menggunakan *software* Weibull++ 6 untuk mengetahui jenis distribusi yang sesuai dengan data *time to repair* tersebut. Dari hasil *fitting* distribusi akan didapatkan parameter distribusi. Jenis dan parameter distribusi yang didapatkan akan digunakan untuk perhitungan *mean time to repair* (MTTR) setiap jenis *spare part repairable*.

4.4.1 Fitting Distribusi Time to Repair

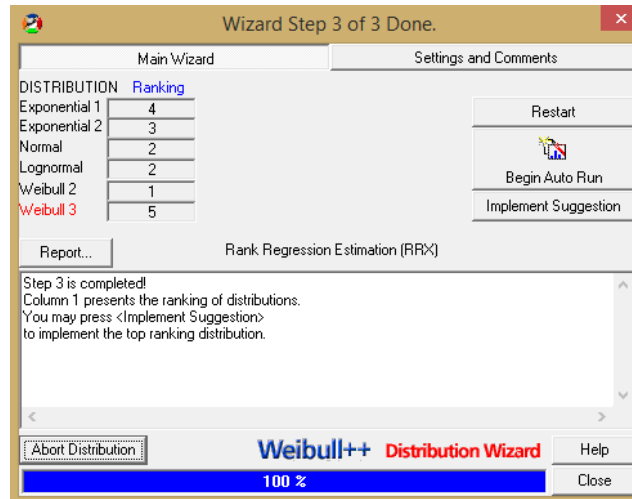
Tahap *fitting* distribusi akan dilakukan menggunakan *software* Weibull++ 6. Dari data waktu perbaikan setiap *spare part repairable* yang telah dikumpulkan, akan didapatkan *time to repair*. Selanjutnya *fitting* distribusi akan dilakukan terhadap data *time to repair* setiap *spare part repairable*. Rekapitulasi *time to repair* setiap *spare part* dapat dilihat pada Lampiran 2. Contoh rekapitulasi *time to repair wear segment* dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Data *Time to Repair Wear Segment*

<i>Time to Repair</i> ke-	Tanggal Perbaikan	Tanggal Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair</i> (jam)
1	20-Apr-18	23-Apr-18	88
2	11-Dec-18	15-Dec-18	109
3	9-Mar-19	14-Mar-19	127
4	15-Jul-19	21-Jul-19	144

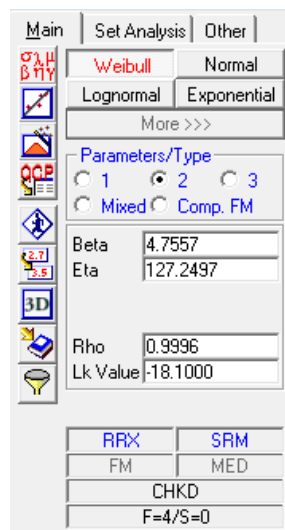
Tabel 4.11 menunjukkan data *time to repair spare part wear segment* dalam satuan jam. Data *time to repair* yang telah diperoleh menjadi input pada kolom *time failed*. Setelah melakukan *input data time to repair* selanjutnya menjalankan fungsi

distribution wizard. Hasil *distribution wizard* akan menunjukkan urutan distribusi yang sesuai. *Fitting* distribusi *spare part wear segment* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 3 *Fitting* Distribusi *Time to Repair Wear Segment*

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat diketahui bahwa distribusi Weibull 2 merupakan distribusi yang sesuai dengan *spare part wear segment*. Setelah diperoleh distribusi yang sesuai maka dapat diketahui nilai parameter dari distribusi tersebut. Parameter distribusi Weibull 2 pada *spare part wear segment* dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 4 Parameter Distribusi Weibull 2 *Wear Segment*

Gambar 4.4 menunjukkan nilai dari dua parameter distribusi Weibull 2 pada *spare part wear segment*. Dua parameter tersebut adalah $\beta = 4,7557$ dan $\eta = 127,2497$. Rekapitulasi jenis dan parameter distribusi *time to repair* setiap *spare part* dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Jenis dan Parameter Distribusi *Time to Repair*

No.	Nama Spare Part	Distribusi	Parameter				
			Beta (β)	Eta (η)	Gamma (γ)	Mean (μ)	Standar Deviasi (σ)
1	<i>Wear Segment</i>	Weibull 2	4,756	127,250	-	-	-
2	<i>Hydraulic Cylinder</i>	Weibull 3	1,272	10,957	16,298	-	-
3	<i>Pull Rod Kit</i>	Lognormal	-	-	-	3,144	0,269
4	<i>Fan Cooler</i>	Weibull 2	2,373	26,982	-	-	-

Berdasarkan Tabel 4.12, dapat diketahui bahwa terdapat dua *spare part repairable* yang memiliki jenis distribusi Weibull 2, satu *spare part repairable* yang memiliki jenis distribusi Weibull 3, dan satu *spare part repairable* yang memiliki jenis distribusi Lognormal. Jenis dan parameter distribusi dari waktu perbaikan setiap *spare part repairable* yang telah didapatkan akan digunakan untuk menghitung *mean time to repair* (MTTR).

4.4.2 Perhitungan Mean Time to Repair (MTTR)

Mean time to repair (MTTR) merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki suatu *spare part repairable*. Perhitungan *mean time to repair* (MTTR) dilakukan dengan menggunakan jenis dan parameter distribusi dari waktu perbaikan setiap *spare part repairable*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan MTTR pada *spare part wear segment*, *hydraulic cylinder*, dan *pull rod kit*.

- *Wear Segment* (Weibull 2)
 $\beta = 4,756$

$$\eta = 127,250$$

$$\begin{aligned} MTTR &= \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 127,250 \Gamma \left(1 + \frac{1}{4,756} \right) \\ &= 116,4977 \text{ jam} \end{aligned}$$

➤ *Hydraulic Cylinder* (Weibull 3)

$$\beta = 1,272$$

$$\eta = 10,957$$

$$\gamma = 16,298$$

$$\begin{aligned} MTTF &= \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 16,298 + 10,957 \Gamma \left(1 + \frac{1}{1,272} \right) \\ &= 26,4634 \text{ jam} \end{aligned}$$

➤ *Pull Rod Kit* (Lognormal)

$$\mu = 3,144$$

$$\sigma = 0,269$$

$$\begin{aligned} MTTF &= \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \\ &= \exp \left(3,144 + \frac{0,269^2}{2} \right) \\ &= 24,1802 \text{ jam} \end{aligned}$$

Rekapitulasi perhitungan MTTR pada setiap *spare part repairable* ditunjukkan pada Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Perhitungan MTTR

No.	Nama Spare Part	Distribusi	MTTR (jam)
1	<i>Wear Segment</i>	Weibull 2	116,4977
2	<i>Hydraulic Cylinder</i>	Weibull 3	26,4634
3	<i>Pull Rod Kit</i>	Lognormal	24,1802
4	<i>Fan Cooler</i>	Weibull 3	23,9144

Berdasarkan Tabel 4.13, dapat diketahui bahwa MTTR tertinggi dimiliki oleh *spare part wear segment* yaitu sebesar 116,4977 jam. Hal ini menunjukkan

bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki *spare part wear segment* adalah sekitar 5 hari. Sedangkan MTTR terendah dimiliki oleh *spare part fan cooler* yaitu sebesar 23,9144 jam.

4.5 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part

Pada tahap ini dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan persediaan *spare part* menggunakan metode *Poisson Process*. Perhitungan menggunakan *Poisson Process* dilakukan berdasarkan jenis komponen yaitu *repairable* dan *non-repairable*. Variabel yang digunakan dalam perhitungan ini yaitu jumlah komponen pada mesin (A), jumlah mesin yang akan digunakan (N), periode waktu operasional (T), waktu operasi mesin (M), dan *confidence level* (P). Selain itu, diperlukan nilai *mean time to failure* (MTTF) untuk *spare part non-repairable* dan *mean time between failure* (MTBF) untuk *spare part repairable*.

4.5.1 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part Non-Repairable

Pada *spare part non-repairable*, jika terjadi kerusakan maka *spare part* tersebut akan diganti dengan *spare part* yang baru. Dari data kerusakan *spare part non-repairable* yang telah diolah didapatkan hasil perhitungan MTTF. Untuk menghitung jumlah kebutuhan *spare part non-repairable*, dilakukan perhitungan jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t (λt) terlebih dahulu. Berikut merupakan contoh perhitungan λt pada *spare part conveyor belt*.

$$\lambda t = \frac{A \times N \times M \times T}{MTTF}$$

$$\lambda t = \frac{1 \times 1 \times 720 \times 12}{2228,19}$$

$$\lambda t = 3,8776$$

Keterangan:

- λt = Jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t
- A = Jumlah komponen dalam mesin
- N = Jumlah mesin

- M = Waktu operasi mesin
- T = Periode operasional
- MTTF = *Mean time to failure*
- P = *Confidence level* (95%)

Setelah memperoleh nilai λt , dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan *spare part*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan jumlah kebutuhan *spare part conveyor belt*.

$$P \leq \sum_{x=0}^n \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} = e^{-\lambda t} \left[1 + \lambda t + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n!} \right]$$

Keterangan:

- λt = Jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t
- x = Jumlah *failure* (jumlah *spare part* yang dibutuhkan)

Untuk $n = 0$ *spare part*, maka perhitungan nilai P adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{(3,8766)^0 e^{-3,8766}}{0!}$$

$$P = 0,020700545$$

$$P = 2\% < 95\%$$

Kemudian dilakukan iterasi untuk mencari nilai n yang memenuhi *confidence level* (P) sebesar 95%. *Confidence level* ditentukan berdasarkan pertimbangan PT. X yang menginginkan *spare part* yang dibutuhkan dalam 1 tahun akan tersedia dengan probabilitas sebesar 95%. Iterasi perhitungan jumlah kebutuhan *spare part conveyor belt* dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4. 14 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan *Conveyor Belt*

n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P	P (%)
0	1	0,020701	1,000000	0,020700545	2%

n	n!	EXP(-λt)	λt ⁿ /n!	P	P (%)
1	1	0,020701	3,877595	0,100968879	10%
2	2	0,020701	7,517873	0,256592934	26%
3	6	0,020701	9,717089	0,457741969	46%
4	24	0,020701	9,419735	0,652735605	65%
5	120	0,020701	7,305184	0,803956885	80%
6	720	0,020701	4,721091	0,901686038	90%
7	5040	0,020701	2,615211	0,955822338	96%
8	40320	0,020701	1,267591	0,982062171	98%
9	362880	0,020701	0,546134	0,993367443	99%
10	3628800	0,020701	0,211769	0,997751170	100%

Berdasarkan Tabel 4.14, dapat diketahui nilai n yang memenuhi *confidence level* sebesar 95% adalah 7 item. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah kebutuhan *spare part conveyor belt* yang direkomendasikan adalah 7 item.

4.5.2 Analisis Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part Non-Repairable

Perhitungan jumlah kebutuhan persediaan *spare part non-repairable* memerlukan beberapa variabel. Variabel yang digunakan dalam perhitungan ini yaitu jumlah komponen pada mesin (A), jumlah mesin yang akan digunakan (N), periode waktu operasional (T), waktu operasi mesin (M), *confidence level* (P), dan MTTF. Kemudian dilakukan perhitungan λt yaitu jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t. Waktu t yang digunakan dalam perhitungan ini adalah waktu operasional *spare part* yaitu 1 tahun. Perhitungan λt dilakukan dengan mengalikan A, N, T, M lalu dibagi dengan MTTF. Dari hasil perhitungan didapatkan λt = 3,8776. Setelah didapat λt maka dilakukan iterasi perhitungan dengan *confidence level* sebesar 95%. Dari hasil iterasi ini akan didapatkan jumlah *spare part* yang direkomendasikan (n) adalah 7 item. Hal ini menunjukkan dengan probabilitas sebesar 95%, *spare part conveyor belt* yang akan tersedia saat dibutuhkan untuk kegiatan pemeliharaan selama 1 tahun adalah sebanyak 7 item.

4.5.3 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part Repairable

Pada *spare part repairable*, jika terjadi kerusakan maka *spare part* tersebut akan diperbaiki. Dari data waktu kerusakan *spare part repairable* yang telah diolah

didapatkan hasil perhitungan MTBF. *Spare part repairable* juga memiliki waktu perbaikan sehingga didapatkan hasil perhitungan MTTR. Selain itu, pada *spare part repairable* juga terdapat variabel *scrap rate* yang menunjukkan persentase *spare part repairable* yang gagal diperbaiki. Perhitungan jumlah kebutuhan persediaan *spare part repairable* dilakukan mengimbangi atau mengganti *spare part* yang sedang dalam proses perbaikan. Untuk menghitung jumlah kebutuhan *spare part repairable*, dilakukan perhitungan jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t (λt) terlebih dahulu. Berikut merupakan contoh perhitungan λt_1 pada *spare part wear segment*.

$$\lambda t_1 = \frac{A \times N \times M \times MTTR}{MTBF}$$

$$\lambda t_1 = \frac{1 \times 1 \times 720 \times 0,1618}{4314,9904}$$

$$\lambda t_1 = 0,0270$$

Keterangan:

- λt = Jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t
- A = Jumlah komponen dalam mesin
- N = Jumlah mesin
- M = Waktu operasi mesin
- T = Periode operasional
- MTTF = *Mean time to failure*
- MTTR = *Mean time to repair*
- P = *Confidence level* (95%)

Setelah memperoleh nilai λt , dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan *spare part*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan jumlah kebutuhan *spare part wear segment*.

$$P \leq \sum_{x=0}^n \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} = e^{-\lambda t} \left[1 + \lambda t + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n!} \right]$$

Keterangan:

λt = Jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t

x = Jumlah *failure* (jumlah *spare part* yang dibutuhkan)

Untuk $n_1 = 0$ *spare part*, maka perhitungan nilai P adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{(0,0270)^0 e^{-0,0270}}{0!}$$

$$P = 0,9734$$

$$P = 97,34\% > 95\%$$

Untuk mengganti *spare part* yang rusak pertama, diperlukan *initial spare part* sehingga n yang sebelumnya digunakan dalam rumus *non-repairable* diganti dengan $n-1$. Selanjutnya dilakukan iterasi untuk mencari nilai $n-1$ yang memenuhi *confidence level* (P) sebesar 95%. *Confidence level* ditentukan berdasarkan pertimbangan $PT. X$ yang menginginkan *spare part* yang dibutuhkan dalam 1 tahun akan tersedia dengan probabilitas sebesar 95%. Iterasi perhitungan jumlah kebutuhan *spare part Wear Segment* dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4. 15 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan *Wear Segment*

n_1-1	$(n_1-1)!$	$EXP(-\lambda t)$	$\lambda t^n/n!$	P_1	P_1 (%)
0	1	0,973362830	1,0	0,9734	97%
1	1	0,973362830	0,0	0,9996	100%
2	2	0,973362830	0,0	1,0000	100%
3	6	0,973362830	0,0	1,0000	100%
4	24	0,973362830	0,0	1,0000	100%
5	120	0,973362830	0,0	1,0000	100%

Berdasarkan Tabel 4.15, didapatkan nilai n_1 yang memenuhi *confidence level* sebesar 95% adalah 1 item. Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah *spare part repairable* yang dianggap sebagai *scrap*. Untuk menghitung jumlah *scrap* pada *spare part repairable*, dilakukan perhitungan λt terlebih dahulu. Berikut merupakan contoh perhitungan λt_2 pada *spare part wear segment*.

$$\lambda t_2 = \frac{A \times N \times M \times T}{MTBF}$$

$$\lambda t_2 = \frac{1 \times 1 \times 720 \times 12}{4314,9904}$$

$$\lambda t_2 = 2,0023$$

Keterangan:

- λt = Jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t
A = Jumlah komponen dalam mesin
N = Jumlah mesin
M = Waktu operasi mesin
T = Periode operasional
MTTF = *Mean time to failure*
P = *Confidence level* (95%)

Setelah memperoleh nilai λt_2 , dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan *spare part* (n_2). Berikut ini merupakan contoh perhitungan jumlah kebutuhan *spare part* *Wear Segment*.

$$P \leq \sum_{x=0}^n \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} = e^{-\lambda t} \left[1 + \lambda t + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n!} \right]$$

Keterangan:

- λt = Jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t
x = Jumlah *failure* (jumlah *spare part* yang dibutuhkan)

Untuk $n_2 = 0$ *spare part*, maka perhitungan nilai P adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{(2,0023)^0 e^{-2,0023}}{0!}$$

$$P = 0,135021406$$

$$P = 14\% < 95\%$$

Iterasi perhitungan jumlah kebutuhan *spare part wear segment* dapat dilihat pada Tabel 4.16 berikut.

Tabel 4. 16 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Persediaan *Wear Segment*

n_2	$n_2!$	$EXP(-\lambda t)$	$\lambda t^n/n!$	P_2	P_2 (%)
0	1	0,135021	1,000000	0,135021406	14%
1	1	0,135021	2,002322	0,405377731	41%
2	2	0,135021	2,004647	0,676047932	68%
3	6	0,135021	1,337983	0,856704228	86%
4	24	0,135021	0,669768	0,947137245	95%
5	120	0,135021	0,268218	0,983352448	98%
6	720	0,135021	0,089510	0,995438197	100%
7	5040	0,135021	0,025604	0,998895277	100%
8	40320	0,135021	0,006408	0,999760551	100%
9	362880	0,135021	0,001426	0,999953057	100%
10	3628800	0,135021	0,000285	0,999991603	100%

Berdasarkan Tabel 4.16, didapatkan nilai n_2 yang memenuhi *confidence level* sebesar 95% adalah 4 item. Dengan menggunakan *scrap rate* sebesar 10%, maka jumlah *spare part repairable* yang dianggap *scrap* dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Jumlah scrap} = R \times n_2$$

$$\text{Jumlah scrap} = 0,10 \times 4$$

$$\text{Jumlah scrap} = 0,4 \approx 1 \text{ item}$$

Selanjutnya jumlah kebutuhan *spare part repairable* dapat dihitung dengan menambahkan nilai n_1 dan n_2 . Kemudian didapatkan jumlah kebutuhan *spare part repairable* yang direkomendasikan adalah sebesar 2 item.

4.5.4 Analisis Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part Repairable

Perhitungan jumlah kebutuhan persediaan *spare part repairable* memerlukan beberapa variabel. Variabel yang digunakan dalam perhitungan ini

yaitu jumlah komponen pada mesin (A), jumlah mesin yang akan digunakan (N), periode waktu operasional (T), waktu operasi mesin (M), *confidence level* (P), dan MTBF. Kemudian dilakukan perhitungan λt_1 yaitu jumlah *failure* yang akan terjadi pada waktu t. Waktu t yang digunakan dalam perhitungan ini adalah waktu operasional *spare part* yaitu 1 tahun. Perhitungan λt_1 dilakukan dengan mengalikan A, N, M, MTTR lalu dibagi dengan MTBF. Dari hasil perhitungan didapatkan $\lambda t_1 = 0,0270$. Setelah didapat λt_1 maka dilakukan iterasi perhitungan dengan *confidence level* sebesar 95%. Dari hasil iterasi ini akan didapatkan jumlah *spare part* yang dibutuhkan (n_1) adalah 1 item.

Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah *scrap* pada *spare part repairable*. Perhitungan jumlah *scrap* dapat dilakukan dengan cara menghitung λt_2 terlebih dahulu. Perhitungan λt_2 dilakukan dengan mengalikan A, N, M, T lalu dibagi dengan MTBF. Dari hasil perhitungan didapatkan $\lambda t_2 = 2,0023$. Selanjutnya dilakukan iterasi sehingga didapatkan jumlah *spare part scrap* yang dibutuhkan (n_2) adalah 1 item. Jumlah kebutuhan *spare part repairable* yang direkomendasikan dihitung dengan cara menambahkan nilai n_1 dan n_2 . Dari hasil perhitungan ini didapatkan jumlah kebutuhan *spare part wear segment* yang direkomendasikan adalah sebesar 2 item. Hal ini menunjukkan dengan probabilitas sebesar 95%, *spare part wear segment* yang akan tersedia saat dibutuhkan untuk kegiatan pemeliharaan selama 1 tahun adalah sebanyak 2 item.

4.5.5 Rekapitulasi Jumlah Kebutuhan Persediaan Spare Part

Dari hasil perhitungan *Poisson Process*, didapatkan jumlah kebutuhan persediaan *spare part non-repairable* dan *spare part repairable*. Rekapitulasi jumlah kebutuhan persediaan sembilan *spare part* mesin *Coal Mill* ditunjukkan pada Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4. 17 Rekapitulasi Jumlah Kebutuhan Persediaan *Spare Part*

No.	Nama <i>Spare Part</i>	Klasifikasi <i>Spare Part</i>	Jumlah Kebutuhan <i>Spare Part</i>
1	<i>Conveyor Belt</i>	<i>Non-Repairable</i>	7
2	<i>Wear Segment</i>	<i>Repairable</i>	2
3	<i>Retainer Clamp</i>	<i>Non-Repairable</i>	8
4	<i>Weld Rod</i>	<i>Non-Repairable</i>	5

No.	Nama Spare Part	Klasifikasi Spare Part	Jumlah Kebutuhan Spare Part
5	<i>Roller Shaft</i>	<i>Non-Repairable</i>	8
6	<i>Solenoid Valve</i>	<i>Non-Repairable</i>	5
7	<i>Hydraulic Cylinder</i>	<i>Repairable</i>	2
8	<i>Pull Rod Kit</i>	<i>Repairable</i>	2
9	<i>Fan Cooler</i>	<i>Repairable</i>	2

Tabel 4.17 menunjukkan jumlah kebutuhan persediaan *spare part non-repairable* dan *spare part repairable*. Jumlah kebutuhan persediaan *spare part non-repairable* yaitu *conveyor belt* sebanyak 7 item, *retainer clamp* sebanyak 8 item, *weld rod* sebanyak 5 item, *roller shaft* sebanyak 8 item, dan *solenoid valve* sebanyak 5 item. Sedangkan jumlah kebutuhan persediaan *spare part repairable* yaitu *wear segment* sebanyak 2 item, *hydraulic cylinder* sebanyak 2 item, *pull rod kit* sebanyak 2 item, dan *fan cooler* sebanyak 2 item.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (RCM II)

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai alur pengerjaan perencanaan kegiatan pemeliharaan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) yaitu penyusunan RCM II *Information Worksheet* dan RCM II *Decision Worksheet* beserta analisisnya.

5.1 RCM II *Information Worksheet*

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan RCM II *Information Worksheet*. RCM II *Information Worksheet* digunakan untuk penyusunan *failure mode and effect analysis* (FMEA). Kemudian dilakukan analisis terhadap RCM II *Information Worksheet*.

5.1.1 *Penyusunan RCM II Information Worksheet*

Penyusunan RCM II *Information Worksheet* dilakukan berdasarkan informasi mengenai fungsi (*function*) dan kegagalan fungsional (*functional failure*) dari sistem yang diamati. Fungsi merupakan kegunaan dan standar performansi dari suatu aset. Sedangkan kegagalan fungsional didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu aset dalam menjalankan fungsi yang telah ditetapkan. Kemudian dilakukan identifikasi terhadap mode kegagalan (*failure mode*) yang dapat mengakibatkan kegagalan fungsional. Jika mode kegagalan terjadi, maka akan menghasilkan dampak kegagalan (*failure effect*) dari sistem yang diamati.

Rekapitulasi RCM II *Information Worksheet* ditunjukkan pada Lampiran 5. Contoh penyusunan RCM II *Information Worksheet* pada *spare part conveyor belt* ditunjukkan oleh Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 RCM II Information Worksheet Conveyor Belt

RCM II INFORMATION WORKSHEET		System : Coal Mill		Resource : Departemen Pemeliharaan	
				Spare Part : Conveyor Belt	
No.	Function	Functional Failure		Failure Mode	Failure Effect
1	Mengangkut batu bara dari Coal Storage masuk ke dalam mesin Coal Mill	A	Batu bara tidak dapat diangkut masuk ke dalam mesin Coal Mill	1	<i>Tie rubber</i> robek <i>Tie rubber</i> yang robek akan menyebabkan tumpahnya batu bara yang diangkut. Tumpahnya batu bara ke <i>idler belt</i> dapat menghambat pergerakan <i>conveyor belt</i> . Hal ini menyebabkan batu bara tidak dapat diangkut ke dalam mesin <i>Coal Mill</i> .
				2	<i>Bottom cover</i> aus <i>Bottom cover</i> yang aus dapat menyebabkan <i>belt</i> menjadi kendur. Hal ini akan menghambat pergerakan dari <i>belt</i> saat mengangkat batu bara. Jika pergerakan <i>belt</i> terhambat maka batu bara sulit untuk diangkut masuk ke dalam <i>Coal Mill</i> .
				3	<i>Belt mistracking</i> (keluar dari jalur) Jika <i>belt</i> keluar dari jalur maka pergerakan <i>belt</i> menjadi tidak lurus sehingga <i>belt</i> melengkung. <i>Belt</i> yang melengkung menyebabkan tumpahnya batu bara yang diangkut. Kuantitas batu bara yang diangkut ke mesin <i>Coal Mill</i> akan berkurang.
				4	<i>Belt slippage</i> Jika <i>belt</i> mengalami <i>slip</i> maka <i>belt</i> tidak mampu mengangkut batu bara dalam jumlah yang tepat. Selain itu, <i>slip</i> juga menyebabkan keausan yang tidak merata pada <i>belt</i> .

5.1.2 Analisis RCM II Information Worksheet

Penyusunan RCM II *Information Worksheet* bertujuan untuk melakukan *failure mode and effect analysis* (FMEA) pada *spare part* mesin *Coal Mill*. RCM II *Information Worksheet* terdiri dari beberapa kolom yang berisi informasi mengenai fungsi (*function*), kegagalan fungsional (*functional failure*), mode kegagalan (*failure mode*), dan dampak kegagalan (*failure effect*) dari suatu aset. Langkah pertama adalah melakukan identifikasi terhadap fungsi setiap *spare part*. Berdasarkan fungsi yang telah diketahui dapat dilakukan identifikasi kegagalan fungsional dari *spare part*. Kegagalan fungsional terjadi jika *spare part* tidak mampu menjalankan fungsinya. Selanjutnya diidentifikasi mode kegagalan yang dapat menjadi penyebab terjadinya kegagalan fungsional tersebut. Kemudian dilakukan analisis terhadap dampak kegagalan yang akan timbul jika mode kegagalan terjadi. Beberapa mode kegagalan pada *spare part* mesin *Coal Mill* yaitu sebagai berikut.

➤ *Spare part* patah atau retak

Jenis *spare part* mesin *Coal Mill* yang dapat mengalami patah atau retak yaitu *retainer clamp*, *weld rod*, *roller shaft*, *pull rod kit*. Hal ini dikarenakan keempat *spare part* tersebut berbentuk batang (*rod* atau *shaft*) sehingga seringkali mengalami patah atau retak. *Spare part weld rod* dan *pull rod kit* merupakan *spare part* yang terhubung dengan sub-sistem *grinding roller*. Patah atau retak pada kedua *spare part* ini akan mempengaruhi kinerja dari *grinding roller* dalam menggiling batu bara. Selain itu, dua *spare part* lainnya memiliki fungsi sebagai penahan komponen lain, yaitu *retainer clamp* untuk menahan *wear segment* dan *roller shaft* untuk menahan *grinding roller*. Jika mode kegagalan ini terjadi maka *spare part wear segment* dan *roller shaft* tidak dapat menjalankan fungsinya untuk menahan komponen lain.

➤ *Spare part* aus

Keausan dapat terjadi pada *spare part wear segment* dan *conveyor belt*. Keausan pada *spare part* umum terjadi akibat adanya gerakan mekanik. Keausan pada *wear segment* dapat menyebabkan permukaan sub-sistem *grinding table* menjadi lebih tipis. Sedangkan aus pada bagian *bottom cover*

conveyor belt menyebabkan *belt* menjadi *conveyor belt* kendur. Hal ini mempengaruhi kinerja dalam membawa batu bara.

➤ *Spare part* robek

Spare part yang dapat mengalami robek adalah *conveyor belt*. Hal ini dikarenakan bagian atas *conveyor belt* terbuat dari karet atau disebut juga dengan *tie-rubber*. Robeknya karet ini mempengaruhi fungsi *conveyor belt* karena dapat menyebabkan tumpahnya batu bara yang sedang dibawa.

➤ Posisi *spare part* tidak sesuai

Perubahan posisi *spare part* akan mempengaruhi kinerja *spare part* dalam menjalankan fungsinya. *Spare part* yang dapat mengalami perubahan posisi adalah *conveyor belt*. *Conveyor belt* dapat mengalami *mistracking* (keluar dari jalur) dan *slippage* (selip) yang dapat mengganggu jalannya *belt* saat membawa batu bara.

➤ *Spare part* bocor

Spare part yang dapat mengalami kebocoran adalah *hydraulic cylinder* dan *solenoid valve*. Kebocoran dapat menyebabkan *spare part* terkontaminasi debu dan kotoran. Kontaminasi debu dan kotoran akan mengganggu kinerja *spare part* dapat menyebabkan kerusakan pada *spare part*.

➤ *Spare part* *overheating*

Spare part yang dapat mengalami *overheating* adalah *fan cooler*. *Overheating* pada *fan cooler* terjadi pada bagian *bearing*. Jika mengalami *overheating*, *fan cooler* tidak dapat dinyalakan untuk menjalankan fungsinya.

5.2 RCM II *Decision Worksheet*

Pada tahap ini akan dilakukan penyusunan RCM II *Decision Worksheet*. Penyusunan dilakukan berdasarkan informasi yang diperoleh dari RCM II *Information Worksheet*. Penyusunan RCM II *Decision Worksheet* dilakukan untuk memilih kegiatan pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi *spare part*. Kemudian dilakukan analisis terhadap hasil penyusunan RCM II *Decision Worksheet*.

5.2.1 Penyusunan RCM II *Decision Worksheet*

Penyusunan RCM II *Decision Worksheet* dilakukan dengan cara mengevaluasi *failure consequences* berdasarkan jenis-jenis konsekuensi yaitu *hidden consequences* (H), *safety consequences* (S), *environmental consequences* (E), *operational consequences* (O), dan *non-operational consequences* (N). Dari hasil evaluasi tersebut akan dipilih kegiatan pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi *spare part*. Kegiatan pemeliharaan dapat berupa *proactive task* maupun *default actions*. *Proactive task* terdiri dari *scheduled on condition task*, *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*. Sedangkan *default actions* terdiri dari *scheduled failure finding task*, *no maintenance*, dan *redesign*. Penyusunan RCM II *Decision Worksheet* pada setiap *spare part* dapat dilihat pada Lampiran 6. Contoh RCM II *Decision Worksheet* pada *spare part conveyor belt* dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 RCM II Decision Worksheet Conveyor Belt

RCM II DECISION WORKSHEET			System : Coal Mill											Resource : Departemen Pemeliharaan			
Spare Part	Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action				Proposed Task	Can Be Done By	
								S1	S2	S3							
	F	FF	FM	O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
Conveyor Belt	1	A	1	Y	Y	N	Y	Y							Melakukan <i>schedule on condition task</i> , yaitu melakukan pengecekan kondisi secara rutin sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang dapat mencegah kegagalan fungsional. Kegiatan pemeliharaan dilakukan dengan melakukan pengecekan kondisi <i>conveyor belt</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin	
			2	Y	N	N	Y	Y							Melakukan <i>schedule on condition task</i> , yaitu melakukan pengecekan kondisi secara rutin sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang dapat mencegah kegagalan fungsional. Kegiatan pemeliharaan dilakukan dengan melakukan pengecekan kondisi <i>conveyor belt</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin	
			3	Y	Y	N	Y	Y								Melakukan <i>schedule on condition task</i> , yaitu melakukan pengecekan kondisi secara rutin sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang dapat mencegah kegagalan fungsional. Kegiatan pemeliharaan dilakukan dengan melakukan pengecekan kondisi <i>conveyor belt</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin
			4	Y	N	N	Y	Y								Melakukan <i>schedule on condition task</i> , yaitu melakukan pengecekan kondisi secara rutin sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang dapat mencegah kegagalan fungsional. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berupa pengecekan kondisi <i>conveyor belt</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin

5.2.2 Analisis RCM II Decision Worksheet

RCM II *Decision Worksheet* disusun berdasarkan informasi yang terdapat pada RCM II *Information Worksheet*. Informasi tersebut berupa fungsi, kegagalan fungsional, dan penyebab kegagalan. Langkah selanjutnya adalah mengevaluasi konsekuensi kegagalan *spare part*. Konsekuensi yang dipertimbangkan dalam RCM II *Decision Worksheet* yaitu *hidden*, *safety*, *environmental*, dan *operational*. Dari hasil evaluasi tersebut, didapatkan kegiatan pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi *spare part*. Kegiatan pemeliharaan yang direkomendasikan dalam RCM II *Decision Worksheet* yaitu *scheduled on condition task*, *scheduled discard task*, *scheduled restoration task*. Rekapitulasi kegiatan pemeliharaan pada setiap *spare part* ditunjukkan oleh Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Kegiatan Pemeliharaan Setiap *Spare Part*

No.	Nama <i>Spare Part</i>	Proposed Task
1	<i>Conveyor Belt</i>	<i>Scheduled on condition task</i>
2	<i>Wear Segment</i>	<i>Scheduled on condition task</i>
3	<i>Retainer Clamp</i>	<i>Scheduled discard task</i>
4	<i>Weld Rod</i>	<i>Scheduled discard task</i>
5	<i>Roller Shaft</i>	<i>Scheduled discard task</i>
6	<i>Solenoid Valve</i>	<i>Scheduled on condition task</i>
7	<i>Hydraulic Cylinder</i>	<i>Scheduled restoration task</i>
8	<i>Pull Rod Kit</i>	<i>Scheduled discard task</i>
9	<i>Fan Cooler</i>	<i>Scheduled restoration task</i>

Berdasarkan Tabel 5.3, dapat diketahui bahwa terdapat tiga *spare part* yang sesuai dengan kegiatan pemeliharaan *scheduled on condition task* yaitu *conveyor belt*, *wear segment*, dan *solenoid valve*. *Schedule on condition task* merupakan kegiatan pemeliharaan dengan cara melakukan pengecekan kondisi secara rutin sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang dapat mencegah kegagalan fungsional. *Task* ini digunakan untuk mengetahui adanya indikasi bahwa kegagalan fungsional akan terjadi atau sedang dalam proses untuk terjadi.

Kemudian, terdapat dua *spare part* yang sesuai dengan kegiatan pemeliharaan *scheduled restoration task* yaitu *hydraulic cylinder* dan *fan cooler*. *Schedule restoration task* merupakan kegiatan pemeliharaan dengan cara

melakukan perbaikan rutin terhadap suatu item. *Task* ini bertujuan untuk mengembalikan kondisi *spare part* ke kondisi awal. *Task* dapat dilakukan dengan cara *remanufacturing*, *overhauling*, pembersihan serta pelumasan *spare part*.

Selanjutnya terdapat empat *spare part* yang sesuai dengan kegiatan pemeliharaan *scheduled discard task* yaitu *retainer clamp*, *weld rod*, *roller shaft*, dan *pull rod kit*. *Schedule discard task* merupakan kegiatan pemeliharaan dengan cara melakukan penggantian item pada waktu yang telah ditentukan. Penggantian item dilakukan pada saat atau sebelum batas usia yang telah ditentukan, tanpa mempertimbangkan kondisinya pada saat itu.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan didapatkan dari penelitian Tugas Akhir serta saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berikut ini merupakan kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian Tugas Akhir.

1. Mesin kritis di PT. X adalah mesin *Coal Mill*. Dari sembilan jenis *spare part* mesin *Coal Mill* yang telah mengalami kerusakan, terdapat tujuh *spare part medium critical* dan dua *spare part low critical*. Tujuh *spare part medium critical* yaitu *conveyor belt*, *roller shaft*, *solenoid valve wear segment*, *hydraulic cylinder*, *pull rod kit*, dan *fan cooler*. Sedangkan dua *spare part low critical* yaitu *retainer clamp* dan *weld rod*.
2. Berdasarkan hasil perhitungan *Poisson Process*, dapat diketahui jumlah kebutuhan *spare part*. Hasil perhitungan jumlah kebutuhan *spare part* yaitu *conveyor belt* sebanyak 7 item, *wear segment* sebanyak 2 item, *retainer clamp* sebanyak 8 item, *weld rod* sebanyak 5 item, *roller shaft* sebanyak 8 item, *solenoid valve* sebanyak 5 item, *hydraulic cylinder* sebanyak 2 item, *pull rod kit* sebanyak 2 item, dan *fan cooler* sebanyak 2 item. Dengan probabilitas sebesar 95%, *spare part* akan tersedia saat dibutuhkan untuk kegiatan pemeliharaan selama 1 tahun.
3. Dari hasil penyusunan RCM II *Information Worksheet* dapat diketahui fungsi, kegagalan fungsional, mode kegagalan, serta dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan tersebut. Terdapat 9 fungsi, 9 kegagalan fungsi, 12 mode kegagalan serta 12 dampak kegagalan. Beberapa penyebab kegagalan yang umumnya dialami oleh *spare part* mesin *Coal Mill* antara lain *spare part* patah atau retak. Selain itu, *spare part* juga dapat mengalami aus, robek, bocor, dan *overheating*, dan perubahan posisi yang tidak sesuai.

Jika penyebab kegagalan yang terjadi maka akan menimbulkan dampak bagi *spare part* dalam menjalankan fungsinya.

4. Berdasarkan hasil penyusunan RCM II *Decision Worksheet*, dapat diketahui bahwa terdapat tiga *spare part* yang sesuai dengan kegiatan pemeliharaan *scheduled on condition task* yaitu *conveyor belt*, *wear segment*, dan *solenoid valve*. Terdapat dua *spare part* yang sesuai dengan kegiatan pemeliharaan *scheduled restoration task* yaitu *hydraulic cylinder* dan *fan cooler*. Selanjutnya terdapat empat *spare part* yang sesuai dengan kegiatan pemeliharaan *scheduled discard task* yaitu *retainer clamp*, *weld rod*, *roller shaft*, dan *pull rod kit*.

6.2 Saran

Berikut ini merupakan saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1. Melakukan pencatatan secara rinci terkait data kerusakan dan perbaikan mesin dan *spare part*.
2. Menggunakan metode pengendalian persediaan *spare part* yang mempertimbangkan pola permintaan *spare part*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahilman, J., Atmaji, F. T. D. & Aulia, V., 2018. Maintenance System of Universal Goss Printing Machine Based on Failure Data Using RCM and RCS Method. *International Journal of Innovation in Enterprise System, Volume 2, Issue 02*, pp. 57-62.
- Ben-Daya, M. et al., 2009. *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. London: Springer-Verlag London.
- Dekker, R., Kleijn, M. J. & Rooij, P. J. d., 1998. A Spare Parts Stocking Policy Based on Equipment Criticality. *International Journal of Production Economics 56-57*, pp. 69-77.
- Dhillon, B. S., 2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Duffuaa, S. O. & Raouf, A., 2015. *Planning and Control of Maintenance System Modelling and Analysis: 2nd ed.*. Cham: Springer International Publishing Switzerland .
- Ebeling, C., 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: Mc-Graw Hill.
- Elsayed, E. A., 2012. *Reliability Engineering*. 2nd penyunt. New York: John Wiley & Sons.
- Fukuda, J., 2008. *Reliability, Excel, Kettelle's Algorithm, and Inventory of Repairable Spare Parts*. s.l.:s.n.
- Houtum, G.-J. v. & Kranenburg, B., 2015. *Spare Parts Inventory Control under System Availability Constraints*. New York: Springer.
- Indrajit, R. E. & Djokopranoto, R., 2003. *Manajemen Persediaan Barang Umum dan Suku Cadang Untuk Pemeliharaan dan Operasi*. Jakarta: Grasindo..
- Jaarsveld, W. v. & Dekker, R., 2011. Spare Parts Stock Control for Redundant Systems Using Reliability Centered Maintenance Data. *Reliability Engineering System Safety, vol. 96, no. 11*, pp. 1576-1586.
- Jardine, A. K. S. & Tsang, A. H. C., 2013. *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

- Lewis, E. E., 1994. *Introduction to Reliability Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Louit, D., Pascual, R., Banjevic, D. & Jardine, A. K. S., 2011. Optimization Models for Critical Spare Parts Inventories—A Reliability Approach. *Journal of the Operational Research Society Vol. 62, No. 6*, pp. 992-1004.
- Moubray, J., 1997. *Reliability-Centered Maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Stephens, M. P., 2010. *Productivity and Reliability-Based Maintenance Management*. Indiana: Purdue University Press.
- Sztandera, L. M., 2011. Extracting information from failure equipment notifications – use of fuzzy sets to determine optimal inventory. *WSEAS TRANSACTIONS on COMPUTERS*, 10(11), pp. 390-395.
- Winston, W. L., 2004. *Operation Research Applications and Algorithms*. 4th penyunt. California: Thomson Learning.

LAMPIRAN 1

<i>Wear Segment</i>		
<i>Time to Failure ke-</i>	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure (jam)</i>
1	20-Apr-18	0
2	11-Dec-18	5640
3	9-Mar-19	2112
4	15-Jul-19	3072

<i>Retainer Clamp</i>		
<i>Time to Failure ke-</i>	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure (jam)</i>
1	11-Sep-17	0
2	1-Aug-18	7776
3	9-Sep-18	936
4	24-Aug-19	8376

<i>Weld Rod</i>		
<i>Time to Failure ke-</i>	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure (jam)</i>
1	20-Apr-18	0
2	02-Dec-18	5424
3	17-Feb-19	1848
4	03-Jun-19	2544
5	01-Aug-19	1416

<i>Roller Shaft</i>		
<i>Time to Failure ke-</i>	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure (jam)</i>
1	12-Dec-18	0
2	24-Feb-19	1776
3	23-May-19	2112
4	9-Aug-19	1872

<i>Solenoid Valve</i>		
<i>Time to Failure ke-</i>	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure (jam)</i>
1	10-Oct-18	0
2	15-Nov-18	864
3	1-Dec-18	384
4	17-May-19	4008

<i>Hydraulic Cylinder</i>		
<i>Time to Failure ke-</i>	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure (jam)</i>
1	20-Apr-18	0
2	11-Dec-18	5640
3	9-Mar-19	2112
4	15-Jul-19	3072

<i>Pull Rod Kit</i>		
<i>Time to Failure ke-</i>	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure (jam)</i>
1	17-Feb-19	0
2	11-May-19	1992
3	18-Jul-19	1632
4	12-Aug-19	600
5	13-Sep-19	768

<i>Fan Cooler</i>		
<i>Time to Failure ke-</i>	Tanggal Kerusakan	<i>Time to Failure (jam)</i>
1	20-Apr-18	0
2	02-Dec-18	5424
3	17-Feb-19	1848
4	03-Jun-19	2544
5	01-Aug-19	1416

LAMPIRAN 2

<i>Hydraulic Cylinder</i>			
<i>Time to Repair ke-</i>	Tanggal Perbaikan	Tanggal Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair (jam)</i>
1	20-Apr-18	21-Apr-18	25
2	11-Dec-18	12-Dec-18	34
3	09-Mar-19	10-Mar-19	24
4	15-Jul-19	16-Jul-19	19

<i>Pull Rod Kit</i>			
<i>Time to Repair ke-</i>	Tanggal Perbaikan	Tanggal Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair (jam)</i>
1	17-Feb-19	18-Feb-19	19
2	11-May-19	12-May-19	24
3	18-Jul-19	19-Jul-19	28
4	12-Aug-19	13-Aug-19	17
5	13-Sep-19	14-Sep-19	31

<i>Fan Cooler</i>			
<i>Time to Repair ke-</i>	Tanggal Perbaikan	Tanggal Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair (jam)</i>
1	20-Apr-18	21-Apr-18	26
2	02-Dec-18	02-Dec-18	11
3	17-Feb-19	19-Feb-19	37
4	03-Jun-19	03-Jun-19	20
5	01-Aug-19	02-Aug-19	24

LAMPIRAN 3

<i>Retainer Clamp</i>					
A	4 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTTF	7391,78				
P	95%				
λt	4,6755				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P	P (%)
0	1	0,009321	1	0,009321171	1%
1	1	0,009321	4,675467	0,052902000	5%
2	2	0,009321	10,93	0,154782362	15%
3	6	0,009321	17,03428	0,313561786	31%
4	24	0,009321	19,9108	0,499153774	50%
5	120	0,009321	18,61846	0,672699617	67%
6	720	0,009321	14,50833	0,807934260	81%
7	5040	0,009321	9,690461	0,898260705	90%
8	40320	0,009321	5,663429	0,951050493	95%
9	362880	0,009321	2,94213	0,978474595	98%
10	3628800	0,009321	1,375583	0,991296643	99%

<i>Weld Rod</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTTF	3415,82				
P	95%				
λt	2,5294				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P	P (%)
0	1	0,079707	1,000000	0,079706503	8%
1	1	0,079707	2,529404	0,281316459	28%
2	2	0,079707	3,198943	0,5362929833	54%
3	6	0,079707	2,697139	0,7512725392	75%
4	24	0,079707	1,705539	0,8872150818	89%
5	120	0,079707	0,862799	0,9559858069	96%
6	720	0,079707	0,363728	0,9849772992	98%

<i>Weld Rod</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTTF	3415,82				
P	95%				
λt	2,5294				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P	P (%)
7	5040	0,079707	0,131431	0,9954531849	100%
8	40320	0,079707	0,041555	0,9987654034	100%
9	362880	0,079707	0,011679	0,9996962855	100%
10	3628800	0,079707	0,002954	0,9999317433	100%

<i>Roller Shaft</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTTF	1982,49				
P	95%				
λt	4,3582				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P	P (%)
0	1	0,012802	1,000000	0,012801988	1%
1	1	0,012802	4,358155	0,068595035	7%
2	2	0,012802	9,496757	0,190172403	19%
3	6	0,012802	13,796112	0,366790063	37%
4	24	0,012802	15,031397	0,559221839	56%
5	120	0,012802	13,101831	0,726951331	73%
6	720	0,012802	9,516635	0,848783179	85%
7	5040	0,012802	5,924995	0,924634900	92%
8	40320	0,012802	3,227756	0,965956593	97%
9	362880	0,012802	1,563007	0,985966185	99%
10	3628800	0,012802	0,681182	0,994686676	99%

<i>Solenoid Valve</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTTF	3931,97				
P	95%				
λt	2,1974				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P	P (%)
0	1	0,111095	1,000000	0,111094872	11%
1	1	0,111095	2,197371	0,355211493	36%
2	2	0,111095	2,414219	0,623418854	62%
3	6	0,111095	1,768311	0,819869189	82%
4	24	0,111095	0,971409	0,927787743	93%
5	120	0,111095	0,426909	0,975215158	98%
6	720	0,111095	0,156346	0,992584427	99%
7	5040	0,111095	0,049079	0,998036816	100%
8	40320	0,111095	0,013481	0,999534431	100%
9	362880	0,111095	0,003291	0,999900077	100%
10	3628800	0,111095	0,000723	0,999980423	100%

LAMPIRAN 4

<i>Hydraulic Cylinder</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTBF	4314,9904				
MTTR	0,0368				
P	95%				
λt_1	0,0061				
n-1	(n-1)!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P ₁	P ₁ (%)
0	1	0,993886	1,000000	0,9938858689	99%
1	1	0,993886	0,006133	0,9999812705	100%
2	2	0,993886	0,000019	0,9999999617	100%
3	6	0,993886	0,000000	0,9999999999	100%
4	24	0,993886	0,000000	1,0000000000	100%
5	120	0,993886	0,000000	1,0000000000	100%

<i>Hydraulic Cylinder</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTBF	4314,9904				
R	0,1				
P	95%				
λt_2	2,0023				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P ₂	P ₂ (%)
0	1	0,135021	1,000000	0,1350214058	14%
1	1	0,135021	2,002322	0,4053777305	41%
2	2	0,135021	2,004647	0,6760479324	68%
3	6	0,135021	1,337983	0,8567042281	86%
4	24	0,135021	0,669768	0,9471372448	95%
5	120	0,135021	0,268218	0,9833524476	98%
6	720	0,135021	0,089510	0,9954381969	100%
7	5040	0,135021	0,025604	0,9988952771	100%
8	40320	0,135021	0,006408	0,9997605505	100%
9	362880	0,135021	0,001426	0,9999530567	100%

<i>Hydraulic Cylinder</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTBF	4314,9904				
R	0,1				
P	95%				
λt_2	2,0023				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P ₂	P ₂ (%)
10	3628800	0,135021	0,000285	0,9999916027	100%

<i>Pull Rod Kit</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTBF	1804,5209				
MTTR	0,0336				
P	95%				
λt_1	4,7780				
n-1	(n-1)!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P ₁	P ₁ (%)
0	1	0,986690	1,00	0,9867	99%
1	1	0,986690	0,01	0,9999	100%
2	2	0,986690	0,00	1,0000	100%
3	6	0,986690	0,00	1,0000	100%
4	24	0,986690	0,00	1,0000	100%
5	120	0,986690	0,00	1,0000	100%

<i>Pull Rod Kit</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTBF	1804,5209				
R	0,1				
P	95%				
λt_2	4,7780				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P ₂	P ₂ (%)
0	1	0,008329	1,000000	0,008329312	1%
1	1	0,008329	4,787974	0,048209843	5%
2	2	0,008329	11,462350	0,143683325	14%
3	6	0,008329	18,293813	0,296058191	30%
4	24	0,008329	21,897577	0,478449933	48%
5	120	0,008329	20,969008	0,653107333	65%
6	720	0,008329	16,733179	0,792483196	79%
7	5040	0,008329	11,445433	0,887815778	89%
8	40320	0,008329	6,850055	0,944872023	94%
9	362880	0,008329	3,644210	0,975225784	98%
10	3628800	0,008329	1,744838	0,989759088	99%

<i>Fan Cooler</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTBF	3415,8243				
MTTR	0,0332				
P	95%				
λt_1	0,0070				
n-1	(n-1)!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P ₁	P ₁ (%)
0	1	0,993023	1,000000	0,9930233877	99%
1	1	0,993023	0,007001	0,9999756066	100%
2	2	0,993023	0,000025	0,9999999431	100%
3	6	0,993023	0,000000	0,9999999999	100%
4	24	0,993023	0,000000	1,0000000000	100%
5	120	0,993023	0,000000	1,0000000000	100%

<i>Fan Cooler</i>					
A	1 komponen				
N	1 mesin				
M	720 jam/bulan				
T	12 bulan				
MTBF	3415,8243				
R	0,1				
P	95%				
λt_2	2,5294				
n	n!	EXP(- λt)	$\lambda t^n/n!$	P ₂	P ₂ (%)
0	1	0,079707	1,000000	0,079706503	8%
1	1	0,079707	2,529404	0,281316459	28%
2	2	0,079707	3,198943	0,5362929833	54%
3	6	0,079707	2,697139	0,7512725392	75%
4	24	0,079707	1,705539	0,8872150818	89%
5	120	0,079707	0,862799	0,9559858069	96%
6	720	0,079707	0,363728	0,9849772992	98%
7	5040	0,079707	0,131431	0,9954531849	100%
8	40320	0,079707	0,041555	0,9987654034	100%
9	362880	0,079707	0,011679	0,9996962855	100%
10	3628800	0,079707	0,002954	0,9999317433	100%

LAMPIRAN 5

<i>RCM II INFORMATION WORKSHEET</i>		<i>System : Coal Mill</i>		<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>		
				<i>Spare Part : Wear Segment</i>		
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Effect</i>
1	Menggiling batu bara hingga menjadi serbuk halus	A	Batu bara yang berada di grinding table tidak tergiling hingga menjadi serbuk halus	1	Permukaan <i>liner</i> aus	Keausan pada permukaan <i>liner wear segment</i> menyebabkan ketebalan <i>grinding table</i> berkurang. Permukaan <i>grinding table</i> yang menipis akan membentuk cekungan. Hal ini akan mengganggu proses penggilingan batu bara sehingga batu bara yang dihasilkan kurang halus.

<i>RCM II INFORMATION WORKSHEET</i>		<i>System : Coal Mill</i>		<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>		
				<i>Spare Part : Retainer Clamp</i>		
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Effect</i>
1	Menahan <i>wear segment</i> ke grinding table	A	<i>Wear segment</i> terlepas dari grinding table	1	Clamp patah	Clamp yang patah dapat menyebabkan <i>wear segment</i> terlepas dari grinding table. Jika <i>wear segment</i> terlepas dari grinding table maka batu bara tidak dapat digiling hingga menjadi serbuk.

<i>RCM II INFORMATION WORKSHEET</i>		<i>System : Coal Mill</i>		<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>		
				<i>Spare Part : Weld Rod</i>		
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Effect</i>
1	Menggiling batu bara ke <i>grinding table</i> hingga menjadi serbuk halus	A	Batu bara tidak dapat digiling ke <i>grinding table</i> hingga menjadi serbuk halus	1	<i>Weld rod</i> putus	Jika <i>weld rod</i> putus maka <i>grinding roller</i> tidak bekerja dengan maksimal sehingga batu bara tidak dapat digiling hingga menjadi serbuk halus.

<i>RCM II INFORMATION WORKSHEET</i>		<i>System : Coal Mill</i>		<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>		
				<i>Spare Part : Roller Shaft</i>		
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Effect</i>
1	Menahan atau menopang <i>grinding roller</i> yang berputar untuk menggiling batu bara	A	<i>Grinding roller</i> yang berputar untuk menggiling batu bara tidak dapat ditopang	1	<i>Shaft</i> patah	<i>Shaft</i> yang patah dapat mengakibatkan <i>grinding roller</i> tidak dapat ditopang dengan baik. Jika tidak dapat ditopang dengan baik maka perputaran <i>grinding roller</i> tidak berpusat pada <i>grinding table</i> . Hal ini menyebabkan batu bara akan sulit untuk digiling hingga menjadi halus.

<i>RCM II INFORMATION WORKSHEET</i>		<i>System : Coal Mill</i>		<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>	
				<i>Spare Part : Solenoid Valve</i>	
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
1	Mengeluarkan udara bertekanan untuk menggerakkan <i>hydraulic cylinder</i>	A	<i>Hydraulic cylinder</i> tidak dapat digerakkan	1 <i>Piston</i> terkontaminasi udara kotor	Udara kotor dapat menghambat kerja <i>piston</i> pada <i>solenoid valve</i> . Hal ini menyebabkan udara bertekanan tidak dapat dikeluarkan untuk menggerakkan <i>hydraulic cylinder</i> .

<i>RCM II INFORMATION WORKSHEET</i>		<i>System : Coal Mill</i>		<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>	
				<i>Spare Part : Hydraulic Cylinder</i>	
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
1	Menghasilkan tekanan hidrolik yang akan digunakan sebagai <i>grinding force</i> oleh <i>grinding roller</i> dalam proses penggilingan batu bara	A	<i>Grinding force</i> yang dibutuhkan tidak dapat dihasilkan untuk proses penggilingan batu bara	1 <i>Seal kit</i> bocor	<i>Seal kit</i> yang bocor menyebabkan oil hidrolik merembes keluar. Selain itu, debu dan kotoran dari luar dapat masuk ke <i>hydraulic cylinder</i> . Kontaminasi debu dan kotoran mengakibatkan keausan pada <i>hydraulic cylinder</i> . Jika terjadi keausan maka <i>hydraulic cylinder</i> tidak mampu menghasilkan tekanan hidrolik yang sesuai dengan kebutuhan <i>grinding roller</i> .

<i>RCM II INFORMATION WORKSHEET</i>		<i>System : Coal Mill</i>		<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>	
				<i>Spare Part : Pull Rod Kit</i>	
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
1	Mentransmisikan <i>grinding force</i> dari <i>hydraulic cylinder</i> secara vertikal pada <i>grinding roller</i>	A	<i>Grinding force</i> tidak dapat ditransmisikan pada <i>grinding roller</i>	1 Permukaan <i>rod</i> retak	Permukaan <i>pull rod</i> yang retak tidak dapat mentransmisikan <i>grinding force</i> secara maksimal. Hal ini menyebabkan <i>grinding roller</i> tidak dapat berputar.

<i>RCM II INFORMATION WORKSHEET</i>		<i>System : Coal Mill</i>		<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>	
				<i>Spare Part : Fan Cooler</i>	
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Functional Failure</i>		<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
1	Menampung debu dari hasil penggilingan batu bara	A	Debu dari hasil penggilingan batu bara tidak dapat ditampung	1 <i>Bearing fan</i> panas	<i>Bearing</i> pada <i>fan cooler</i> yang panas dapat mengakibatkan <i>fan</i> tidak dapat berputar. Hal ini menyebabkan <i>fan cooler</i> tidak mampu menghisap debu dari hasil penggilingan batu bara.

LAMPIRAN 6

<i>RCM II DECISION WORKSHEET</i>				<i>System : Coal Mill</i>								<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>					
<i>Spare Part</i>	<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							
	F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	N1	N2	N3			H4	H5
<i>Wear Segment</i>	1	A	1	Y	N	N	Y	Y								Melakukan <i>schedule on condition task</i> , yaitu melakukan pengecekan kondisi secara rutin sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang dapat mencegah kegagalan fungsional. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berupa pengecekan kondisi <i>wear segment</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin
<i>Retainer Clamp</i>	1	A	1	Y	N	N	Y					Y				Melakukan <i>schedule discard task</i> , yaitu melakukan penggantian item pada waktu yang telah ditentukan. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berupa penggantian <i>retainer clamp</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin
<i>Weld Rod</i>	1	A	1	Y	N	N	Y					Y				Melakukan <i>schedule discard task</i> , yaitu melakukan penggantian item pada waktu yang telah ditentukan. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berupa penggantian <i>weld rod</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin

RCM II DECISION WORKSHEET				System : Coal Mill									Resource : Departemen Pemeliharaan				
Spare Part	Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task			Can Be Done By
								S1	S2	S3							
	O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5	S4								
<i>Roller Shaft</i>	1	A	1	Y	N	N	Y			Y				Melakukan <i>schedule discard task</i> , yaitu melakukan penggantian item pada waktu yang telah ditentukan. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berupa penggantian <i>roller shaft</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin		
<i>Solenoid Valve</i>	1	A	1	Y	N	N	Y		Y					Melakukan <i>schedule on condition task</i> , yaitu melakukan pengecekan kondisi secara rutin sehingga dapat dilakukan suatu tindakan yang dapat mencegah kegagalan fungsional. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berupa pengecekan kondisi <i>solenoid valve</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin		
<i>Hydraulic Cylinder</i>	1	A	1	Y	N	N	Y	Y						Melakukan <i>schedule restoration task</i> , yaitu melakukan perbaikan rutin terhadap suatu item. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berupa pembersihan <i>hydraulic cylinder</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin		
<i>Pull Rod Kit</i>	1	A	1	Y	N	N	Y			Y				Melakukan <i>schedule discard task</i> , yaitu melakukan penggantian item pada waktu yang telah ditentukan. Kegiatan	Seksi Pemeliharaan Mesin		

<i>RCM II DECISION WORKSHEET</i>				<i>System : Coal Mill</i>									<i>Resource : Departemen Pemeliharaan</i>			
<i>Spare Part</i>	<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						
	O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
															pemeliharaan yang dilakukan berupa penggantian <i>pull rod kit</i> .	
<i>Fan Cooler</i>	1	A	1	Y	N	N	Y	Y							Melakukan <i>schedule restoration task</i> , yaitu melakukan perbaikan rutin terhadap suatu item. Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan berupa pelumasan terhadap <i>bearing fan cooler</i> secara berkala.	Seksi Pemeliharaan Mesin