

**USULAN PERAWATAN MESIN *CRUSHER* UNTUK *CALCIUM
CARBONATE POWDER* DENGAN METODE *RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE II*
(STUDI KASUS: PT Dewata Sari Prima, Yogyakarta)**

SKRIPSI

KONSENTRASI MANAJEMEN SISTEM INDUSTRI

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



**NINDYA SARI HARDYANI
NIM. 125060707111017**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2016**



LEMBAR PENGESAHAN

**USULAN PERAWATAN MESIN *CRUSHER* UNTUK *CALCIUM CARBONATE POWDER* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II*
(Studi Kasus PT. Dewata Sari Prima, Yogyakarta)**

**SKRIPSI
TEKNIK INDUSTRI
KONSENTRASI MANAJEMEN SISTEM INDUSTRI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**NINDYA SARI HARDYANI
NIM 125060707111017**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 16 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I



**Ovong Novareza, ST., MT., Ph.D
NIP. 197411152006041002**

Dosen Pembimbing II



**Ihwan Hamdala, ST., MT
NIP. 2012088310181001**

**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Industri**



**Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730819 199903 1 002**



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 Agustus 2016
Mahasiswa,



Nindya Sari Hardyani
NIM. 125060707111017



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, maka penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga rahmat dan hidayah-Nya selalu dilimpahkan kepada penulis dan kita semua. Tidak lupa juga shalawat serta salam penulis panjatkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW.

Skripsi yang berjudul "USULAN PERAWATAN MESIN *CRUSHER* UNTUK *CALCIUM CARBONATE POWDER* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II*" ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik di Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bimbingan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Marsudiono dan Ibu Suryatmining Anik atas kasih sayang yang tak terhingga, semangat, motivasi, dukungan moril dan materil, nasehat serta doa yang tidak pernah terputus bagi penulis.
2. Kakak tercinta, Rizky Puteri Mardiani dan Addin Hendra Pratama yang selalu memberikan nasehat, semangat dan doa yang tidak pernah terputus bagi penulis.
3. Yudha Sesarahditya yang selalu memberikan semangat, dukungan, motivasi, nasehat serta doa yang tidak pernah terputus bagi penulis.
4. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, atas ketersediaan, saran, arahan, serta ilmu yang diberikan.
5. Bapak Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Skripsi I atas waktu yang telah diluangkan dan kesabaran dalam membimbing, memberikan arahan, motivasi serta ilmu yang sangat berharga bagi penulis.
6. Bapak Ihwan Hamdala, ST., MT, selaku Dosen Pembimbing Skripsi II atas waktu yang telah diluangkan dan kesabaran dalam membimbing, memberikan arahan, motivasi serta ilmu yang sangat berharga bagi penulis.
7. Bapak Rakhmat Himawan, ST., MSc, selaku dosen Pembimbing Akademik, yang selalu memberikan bimbingan dan arahan terhadap kegiatan akademik maupun non akademik penulis.
8. Bapak dan Ibu Dosen pengamat atau penguji pada seminar proposal, seminar hasil,

dan ujian komprehensif atas saran dan masukannya, serta seluruh dosen Teknik Industri yang telah banyak mencurahkan ilmunya kepada penulis.

9. Pegawai PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengadakan penelitian.
10. Sahabat penulis Intan, Risa, Lydia, Rizqy Aisyah, Niken, Petty, Elvira, Tantri, Amalia, Putri, Titis, Puteri Anin, Wanda, Amalia, Bayu Nafitri, Alimil, Dhani, Agil, Ega, Dody dan Dimas atas waktu kebersamaan yang berharga selama ini, selalu memberikan bantuan, dukungan, motivasi, dan dorongan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini serta selalu memberikan kebahagiaan kepada saya.
11. Teman-teman kelas B, Rizqi Aisyah, Asmaning, Lydia, Dwimaryani, Alfi, Andhika, Dyah, Dian Putra, Dinar, Ersas, Nurul, Suko, Fauzil dan lainnya yang telah memberikan kebahagiaan saat penulis jenuh dan sudah menjadi teman dekat penulis sejak mahasiswa baru sampai saat ini
12. Seluruh teman-teman Teknik Industri 2012 (STEEL 2012) atas kebersamaan, keakraban, dan dukungan dalam masa studi hingga penyelesaian skripsi ini.
13. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan studi dan skripsi yang tidak penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran sangat diharapkan bagi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Malang, 16 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xii
SUMMARY	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Penelitian	5
1.7 Asumsi Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Sebelumnya	7
2.2 Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>)	8
2.3 Tujuan Perawatan	10
2.4 <i>Size Reduction</i>	11
2.5 Diagram Pareto	12
2.7 <i>Functional Block Diagram</i>	12
2.7 <i>Reliability Centered Maintenance</i>	13
2.7.1 <i>System Function and Function Failure</i>	16
2.7.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	16
2.7.3 <i>Failure Consequence</i>	19
2.7.4 <i>Proactive Task and Initial Interval</i>	19
2.7.5 <i>Default Action</i>	20
2.8 Keandalan	20
2.8.1 Fungsi Keandalan	20

2.8.2 Laju Kerusakan	21
2.9 Penentuan Jenis Distribusi	21
2.9.1 Distribusi Eksponensial	21
2.9.2 Distribusi Weibull	22
2.9.3 Distribusi Lognormal	22
2.10 Identifikasi Distribusi	23
2.10.1 <i>Last Square Curve Fitting</i>	23
2.10.2 <i>Goodness of Fit Test</i>	24
2.11 <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF)	26
2.12 <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR)	26
2.13 Model Matematis Perawatan	26
2.14 <i>Availability Rate</i>	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Jenis Penelitian	29
3.2 Metode Penelitian	29
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.4 Prosedur Penelitian	30
3.5 Diagram Alir Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Gambaran Umum Obyek Penelitian	35
4.1.1 Profil Perusahaan	35
4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan	36
4.1.3 Lokasi Perusahaan	36
4.1.4 Struktur Organisasi Perusahaan	36
4.1.5 Proses Produksi	37
4.2 Pengumpulan Data	39
4.2.1 Pengumpulan Data Primer	39
4.2.2 Pengumpulan Data Sekunder	39
4.2.3 Deskripsi Objek Amatan	40
4.3 Pengolahan Data	42
4.3.1 <i>Functional Block Diagram</i> (FBD)	43
4.3.2 Identifikasi <i>System Function</i> dan <i>Functional Failure</i>	44
4.3.3 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA)	44
4.3.3.1 Perhitungan Nilai <i>Severity</i>	45

4.3.3.2 Perhitungan Nilai <i>Occurence</i>	46
4.3.3.3 Perhitungan Nilai <i>Detection</i>	46
4.3.3.4 Perhitungan Nilai RPN	47
4.3.4 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) Information Worksheet</i>	49
4.3.5 Perhitungan <i>Index of Fit</i> (r) dan Pendugaan Distribusi Data Waktu <i>Time To Failure (TTF) Bearing</i>	50
4.3.5.1 Uji Kesesuaian (<i>Goodness of Fit</i>) Distribusi Data Waktu <i>Time To Failure (TTF) Komponen Bearing</i>	55
4.3.6 Penentuan Distribusi, Nilai <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i> dan Nilai <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	57
4.3.6.1 Penentuan Distribusi <i>Time To Failure (TTF) Komponen Bearing</i> Sebagai <i>Downtime</i> Tertinggi	57
4.3.6.2 Penentuan Distribusi <i>Time To Repair (TTR) Komponen Bearing</i> Sebagai <i>Downtime</i> Tertinggi	59
4.3.6.3 Perhitungan <i>Mean Time To Failure (MTTF) Komponen Kritis Mesin Crusher</i>	61
4.3.6.4 Perhitungan <i>Mean Time To Repair (MTTR) Komponen Kritis Mesin Crusher</i>	61
4.3.7 Perhitungan Biaya Perawatan dan Interval Waktu Perawatan	62
4.3.8 Perhitungan Keandalan Dari Komponen Mesin <i>Crusher</i> Berdasarkan Interval Waktu Perawatan	66
4.3.9 Perhitungan <i>Availability Rate</i>	67
4.3.10 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet</i>	69
4.4 Analisis dan pembahasan	71
4.4.1 Analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	71
4.4.2 Analisis Pengujian <i>Index Of Fit</i> dan Pendugaan Parameter Pada TTF Komponen <i>Bearing</i>	73
4.4.3 Analisis <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i> Pada Komponen dengan <i>Downtime</i> Tertinggi Mesin <i>Crusher</i>	74
4.4.4 Analisis <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i> Pada Komponen dengan <i>Downtime</i> Tertinggi Mesin <i>Crusher</i>	74
4.4.5 Analisis Keandalan dan Total Biaya Perawatan untuk Menentukan Interval Perawatan yang Digunakan	75
4.4.6 Analisis <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II</i>	77

BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Penelitian Sebelumnya	6
Tabel 2.2	<i>RCM II Decision Worksheet</i>	11
Tabel 2.3	<i>Failure Consequences</i>	12
Tabel 2.4	<i>Proactive Task and Default Action</i>	12
Tabel 2.5	<i>Rating Severity</i>	14
Tabel 2.6	<i>Rating Occurance</i>	14
Tabel 2.7	<i>Rating Detection Rank 8-10</i>	17
Tabel 2.8	<i>Rating Detection Rank 1-7</i>	18
Tabel 2.9	<i>Functional Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	18
Tabel 4.1	Produk Mill PT. Dewata Sari Prima	37
Tabel 4.2	Data <i>Downtime Crusher</i> Periode Januari-Desember 2014	39
Tabel 4.3	Frekuensi dan <i>Downtime</i> Mesin <i>Crusher</i>	42
Tabel 4.4	<i>System Function</i> dan <i>Fuctional Failure</i> Komponen Kritis Mesin <i>Crusher</i>	44
Tabel 4.5	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> Komponen Kritis Mesin <i>Crusher</i>	45
Tabel 4.6	Nilai <i>Severity</i> Mesin <i>Crusher</i>	45
Tabel 4.7	Nilai <i>Occurence</i> Mesin <i>Crusher</i>	46
Tabel 4.8	Nilai <i>Detection</i> Mesin <i>Crusher</i>	47
Tabel 4.9	Nilai RPN Mesin <i>Crusher</i>	48
Tabel 4.10	<i>RCM II Information Worksheet</i>	49
Tabel 4.11	Perhitungan <i>Index of Fit</i> berdasarkan Distribusi Weibull Data 1-20	50
Tabel 4.12	Perhitungan <i>Index of Fit</i> berdasarkan Distribusi Weibull Data 21-34	51
Tabel 4.13	Perhitungan <i>Index of Fit</i> berdasarkan Distribusi Eksponensial	52
Tabel 4.14	Perhitungan <i>Index of Fit</i> berdasarkan Dist. Lognormal Data 1-18.....	53
Tabel 4.15	Perhitungan <i>Index of Fit</i> berdasarkan Dist. Lognormal Data 19-34	54
Tabel 4.16	Uji Kesesuaian Distribusi	56
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	61
Tabel 4.18	Hasil Perhitungan <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i>	62
Tabel 4.19	Biaya Tenaga Kerja	62
Tabel 4.20	Harga Komponen, Waktu Perbaikan <i>Corrective</i> dan <i>Preventive</i>	63

Tabel 4.21 Biaya *Failure Cost* (Cf) dan *Preventive Cost* (Cp) 63

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Interval Waktu Perawatan 64

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Total Biaya Perawatan 65

Tabel 4.24 Perhitungan Interval Waktu Perawatan dan Total Biaya Perawatan 65

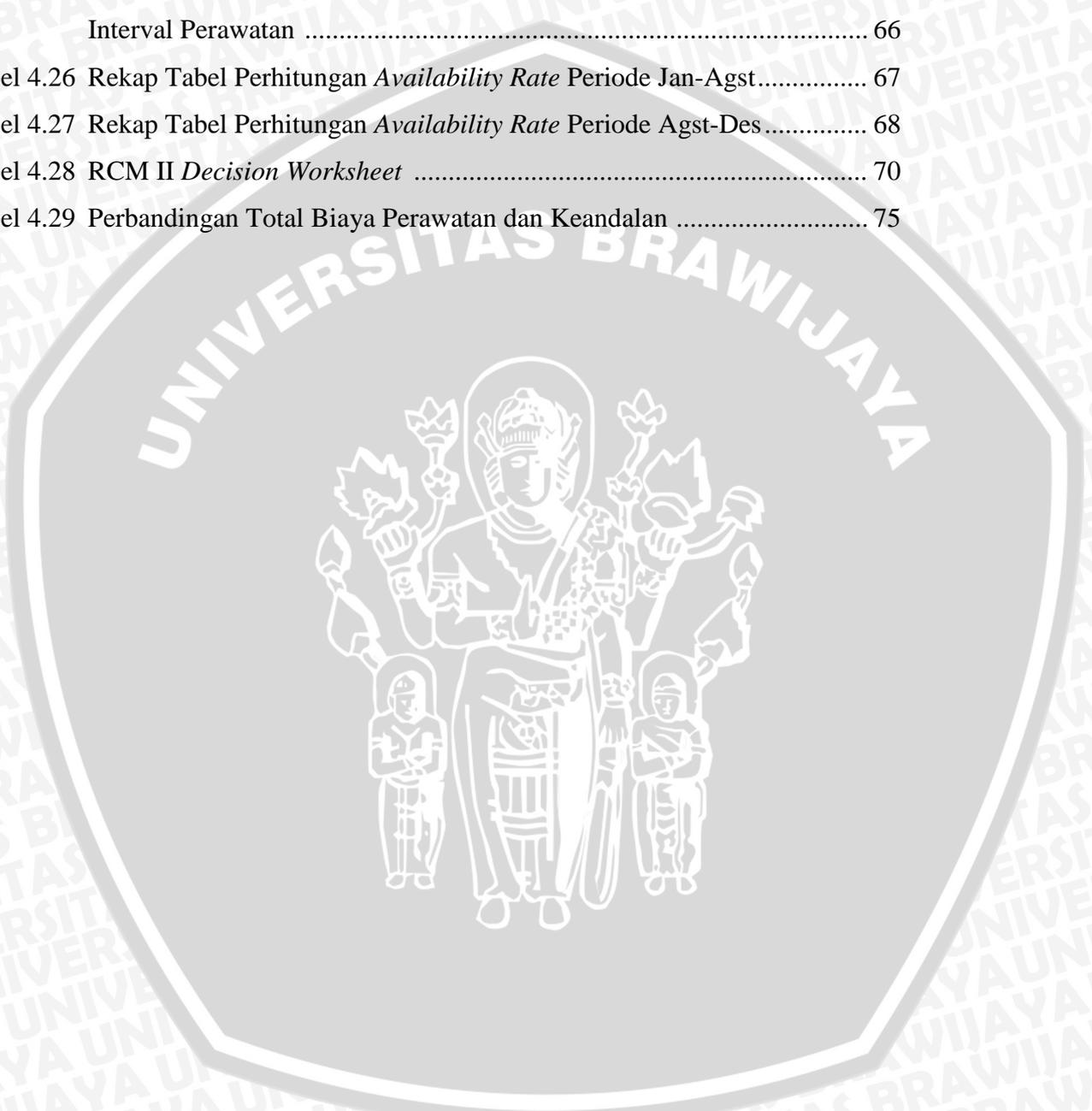
Tabel 4.25 Perbandingan Keandalan Sebelum dengan Sesudah Menggunakan Interval Perawatan 66

Tabel 4.26 Rekap Tabel Perhitungan *Availability Rate* Periode Jan-Agst..... 67

Tabel 4.27 Rekap Tabel Perhitungan *Availability Rate* Periode Agst-Des..... 68

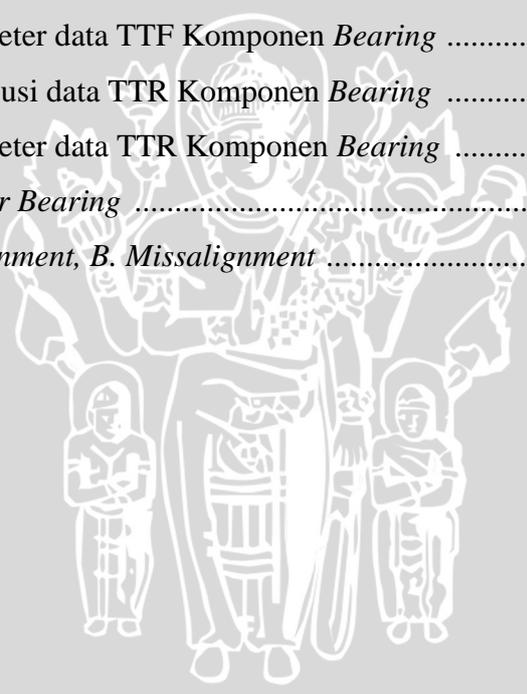
Tabel 4.28 RCM II *Decision Worksheet* 70

Tabel 4.29 Perbandingan Total Biaya Perawatan dan Keandalan 75



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Data Downtime Mesin.....	3
Gambar 2.1	Diagram Pareto	12
Gambar 2.2	<i>Functional Block Diagram</i>	12
Gambar 4.1	Struktur Organisasi PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.....	37
Gambar 4.2	Mesin <i>Superfine Pulverizer</i>	38
Gambar 4.3	Mesin <i>Crusher</i>	40
Gambar 4.4	<i>Downtime</i> Komponen Mesin <i>Crusher</i> PT. Dewata Sari Prima	42
Gambar 4.5	<i>Functional Block Diagram</i> Mesin <i>Crusher</i> PT. Dewata Sari Prima	43
Gambar 4.6	Pengujian distribusi data TTF Komponen <i>Bearing</i>	58
Gambar 4.7	Pengujian parameter data TTF Komponen <i>Bearing</i>	59
Gambar 4.8	Pengujian distribusi data TTR Komponen <i>Bearing</i>	60
Gambar 4.9	Pengujian parameter data TTR Komponen <i>Bearing</i>	60
Gambar 4.10	<i>Spherical Roller Bearing</i>	72
Gambar 4.11	A. <i>Correct Alignment</i> , B. <i>Missalignment</i>	73

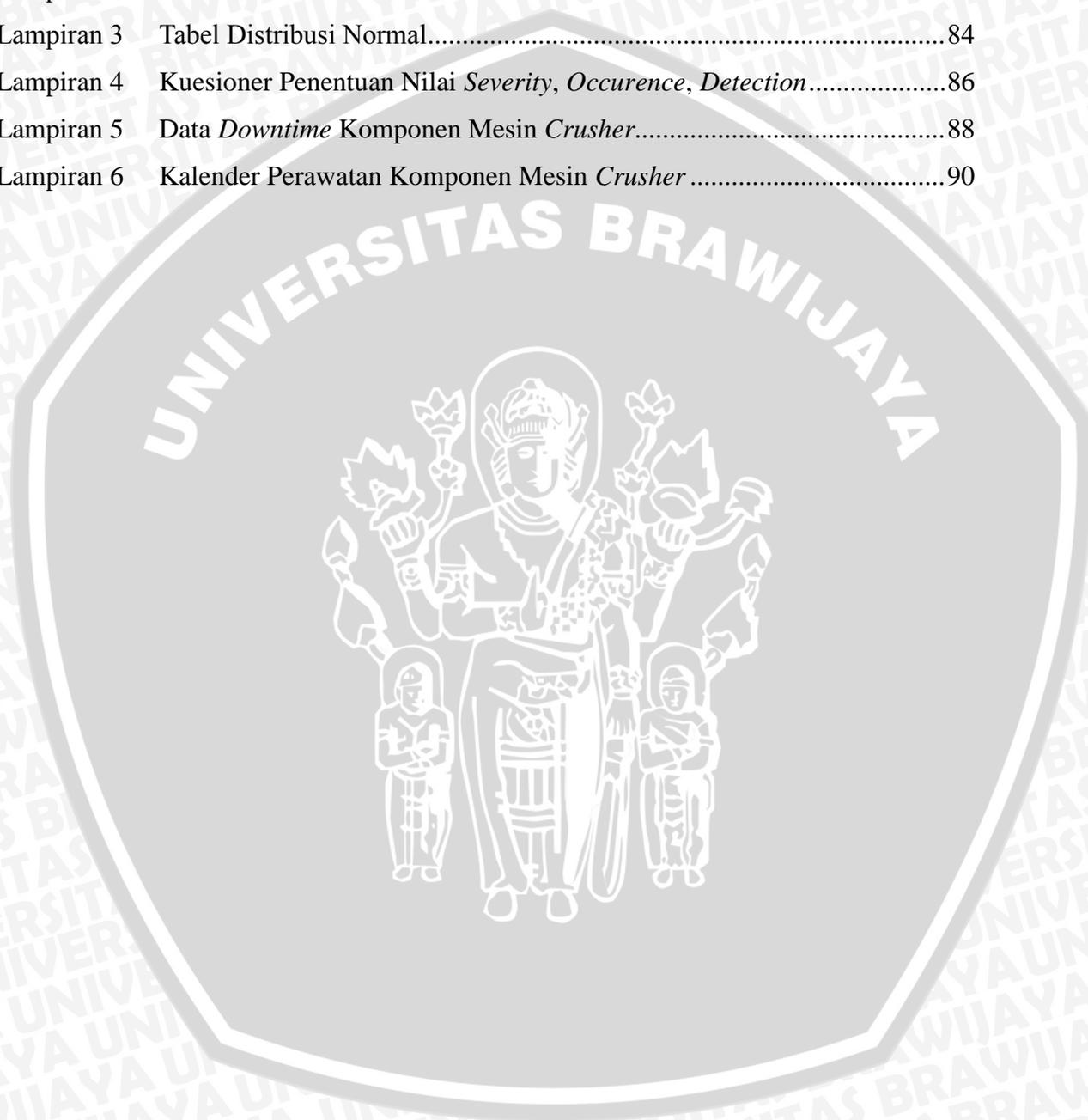


Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Tabel Fungsi Gamma	82
Lampiran 2	Tabel F <i>Distribution</i>	83
Lampiran 3	Tabel Distribusi Normal.....	84
Lampiran 4	Kuesioner Penentuan Nilai <i>Severity, Occurence, Detection</i>	86
Lampiran 5	Data <i>Downtime</i> Komponen Mesin <i>Crusher</i>	88
Lampiran 6	Kalender Perawatan Komponen Mesin <i>Crusher</i>	90



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RINGKASAN

Nindya Sari Hardyani, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2016, *Usulan Perawatan Mesin Crusher Dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (Studi Kasus: PT Dewata Sari Prima, Yogyakarta)*, Dosen Pembimbing : Oyong Novareza dan Ihwan Hamdala.

PT. Dewata Sari Prima adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang produksi tepung kapur (*mill*). Selama kegiatan produksi berlangsung terjadi permasalahan yaitu *breakdown* mesin sehingga penggunaan mesin menjadi tidak efektif, proses produksi yang terhambat, kerugian waktu serta pengeluaran biaya lebih untuk perbaikan mesin yang mengalami kerusakan. Produk yang dihasilkan oleh PT. Dewata Sari Prima adalah *calcium carbonate powder*. Mesin yang digunakan oleh PT. Dewata Sari Prima untuk memproduksi tepung kapur adalah mesin *Superfine Pulverizer*. PT. Dewata Sari Prima tidak memiliki jadwal perawatan yang tetap dan identifikasi biaya bagi mesin *crusher*, sehingga kegiatan perawatan dilakukan ketika telah terjadi kerusakan dan berdasarkan pengalaman bagian *maintenance* saja. Oleh karena itu diperlukan adanya langkah yang efektif dalam pemeliharaan mesin untuk dapat menanggulangi dan mencegah masalah tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui komponen kritis yang memberikan pengaruh pada kegagalan mesin *superfine pulverizer*, untuk menentukan interval perawatan yang efektif, untuk mengetahui biaya perawatan yang optimal, serta memberikan rekomendasi jadwal perawatan yang tepat untuk mesin *crusher*.

Pada penelitian ini hal pertama yang dilakukan yaitu melakukan penentuan komponen kritis dengan menggunakan diagram pareto berdasarkan *downtime* pada mesin *crusher*. Langkah selanjutnya mendeskripsikan sistem kerja dari mesin kritis *crusher* dengan menggunakan *functional block diagram*, setelah itu menganalisis terjadinya kegagalan pada komponen kritis yang telah diketahui dengan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Selanjutnya dilakukan perhitungan distribusi data waktu kerusakan dan perbaikan baik secara manual maupun *software*, dari perhitungan ini dihasilkan parameter yang digunakan untuk menentukan nilai *Mean Time to Failure* dan *Mean Time to Repair*. Langkah selanjutnya melakukan perhitungan interval waktu perawatan, total biaya perawatan yang efektif, dan *availability rate* untuk komponen kritis mesin *crusher*. Langkah terakhir adalah penyusunan *Reliability Centered Maintenance II Decision Worksheet* sebagai rekomendasi perbaikan berupa penjadwalan untuk pihak PT. Dewata Sari Prima.

Hasil dari penelitian memperlihatkan bahwa komponen kritis mesin *crusher* adalah *bearing*, motor listrik, *kinetic jaw plate*, *toggle plate*, dan *fixed jaw plate*. Dengan interval waktu perawatan untuk komponen kritis tersebut sebesar 111,27 jam untuk *bearing*, 194,94 jam untuk motor listrik, 396,640 jam untuk *kinetic jaw plate*, 162,801 jam untuk *toggle plate* dan 433,438 jam untuk *fixed jaw plate*. Dan total biaya perawatan yang optimal untuk komponen kritis mesin *crusher* sebesar Rp.7.304/jam untuk *bearing*, Rp.9.543/jam untuk motor listrik, Rp.55.206/jam untuk *kinetic jaw plate*, Rp.22.765/jam untuk *toggle plate* dan Rp.7.149/jam untuk *fixed jaw plate*.

Kata Kunci: *Downtime, Failure Mode and Effect Analysis, Interval Waktu Perawatan, Reliability Centered Maintenance II Decision Worksheet.*

SUMMARY

Nindya Sari Hardyani, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, August 2016, Proposed Treatment Method Crusher Machine Reliability Centered Maintenance II (Case Study: PT Dewata Prima Sari, Yogyakarta), Supervisor: Oyong Novareza and Ihwan Hamdala.

PT. Dewata Sari Prima is one of the company working in the production of mill. During production activities take place there is a problem that breakdown machine so that the use of the machine becomes ineffective, which hampered the production process, the loss of time and expense cost to repair damaged machinery. Products produced by PT. Dewata Sari Prima is calcium carbonate powder. Machines used by PT. Dewata Sari Prima to produce mill is Superfine Pulverizer machine. PT. Dewata Sari Prima does not have a fixed maintenance schedule and the identification of cost for the crusher machine, so that the maintenance activities carried out when there has been damage and based on the experience of maintenance parts only. Therefore, it is necessary to move effectively in the maintenance of the machine to be tackling and preventing the problem. The purpose of this study was to determine the critical components that give effect to the engine failure Superfine Pulverizer, to determine an effective initial interval, to determine optimal maintenance cost, and provide recommendations for the proper maintenance schedule crusher machine.

In this study, the first thing to do is the determination of critical components using Pareto Diagram based crusher downtime on the machine. The next step describes the working system of the critical engine crusher using Functional Block Diagrams (FBD), after analyzing the failure of a critical component that has been known by using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Furthermore, the calculation time data distribution and repair of both manual and software, resulting from this calculation parameters used to determine the value Mean Time To Failure and Mean Time to Repair. The next step did determine initial intervals, the total cost of effective treatments, and rate availability for critical engine components crusher. The last step is preparing Reliability Centered Maintenance II Decision Worksheet as recommendations for improvements in the form of scheduling for the PT. Dewata Sari Prima.

The result showed that the critical component is the crusher machine bearing, electric motor, kinetic jaw plate, toggle plate and fixed jaw plate. With the initial interval for the critical components is 111.27 hours for bearing, 194.94 hours for electric motors, 396.640 hours for kinetic jaw plate, toggle plate to 162.801 hours and 433.438 hours to fixed jaw plate. And the total cost of the optimal treatment for critical components crusher machine are Rp.7.304 / hour for bearing, Rp.9.543 / hour for electric motors, Rp.55.206 / hour for kinetic jaw plate, Rp.22.765 / hour for toggle plate and Rp. 7149 / hour for fixed jaw plate.

Keyword: *Downtime, Failure Mode and Effect Analysis, Interval Waktu Perawatan, Reliability Centered Maintenance II Decision Worksheet.*

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan menjelaskan gambaran umum permasalahan yang akan diteliti meliputi latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

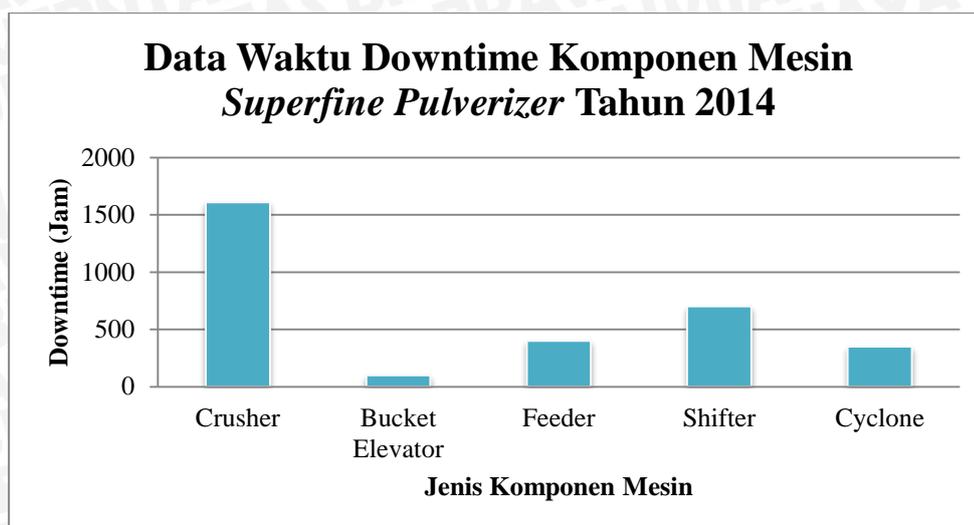
Seiring dengan perkembangan jaman dan teknologi menuntut bidang industri untuk menjalankan suatu kinerja dengan produktivitas yang lebih baik agar dapat menghasilkan output yang optimal, serta dapat digunakan sebagai daya saing dengan perusahaan lainnya. Produktivitas yang baik juga dipengaruhi oleh peranan mesin yang optimal sebagai aset utama perusahaan untuk menghasilkan output yang sesuai. Dengan adanya peranan mesin yang menjadi keunggulan maka mengharuskan perusahaan untuk menjaga dan melakukan perawatan agar mesin tersebut memiliki performansi yang optimal.

Dalam usaha untuk dapat terus menggunakan fasilitas produksi agar kontinuitas produksi dapat terjamin, maka direncanakan kegiatan perawatan yang dapat menunjang keandalan suatu mesin. Keandalan mesin dan fasilitas produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi serta produk yang dihasilkan. Keandalan dari suatu mesin dapat diwujudkan melalui perawatan mesin optimal. Jika perusahaan melakukan perawatan mesin pada saat sebelum terjadinya kerusakan atau disebut dengan pemeliharaan pencegahan, maka dengan adanya perawatan ini dapat memaksimalkan waktu produksi, meminimalkan biaya *downtime* dan resiko yang akan terjadi jika sistem tersebut adalah sistem yang besar dengan unit yang berharga mahal tiap komponennya. Hal ini dikarenakan pemeliharaan pencegahan hanya memerlukan waktu yang sedikit jika dibanding dengan perawatan ketika kerusakan sudah terjadi.

PT. Dewata Sari Prima merupakan perusahaan yang memproduksi *calcium carbonate powder*. *Calcium carbonate powder* merupakan batuan sedimen yang terdiri dari mineral *calcite* dengan rumus senyawa kimia CaCO_3 yang terdiri atas batu kapur dari kegiatan pertambangan. Sumber utama dari *calcite* adalah organisme laut. Batuan kapur yang digunakan oleh PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta termasuk batuan sedimen yang memiliki karakteristik berwarna putih kelabu, dapat mengeras dengan cepat sehingga

memberi kekuatan pengikat, sedikit lunak dan terbentuk dari hasil pemadatan cangkang hewan lunak atau hewan laut yang telah mati, cangkang tersebut terdiri dari kapur yang tidak musnah. *Calcium carbonate powder* terdiri atas dua jenis produk, yaitu *heavy and light types*. Kalsium karbonat yang digunakan oleh PT. Dewata Sari Prima adalah tipe *heavy types*, dikarenakan pada tipe ini batuan kapur diproduksi dengan cara menghancurkan batuan hasil penambangan menjadi *powder* halus, lalu disaring hingga menjadi ukuran *powder* yang diinginkan. Proses produksi *calcium carbonate powder* dengan menggunakan mesin *superfine pulverize*, pada mesin ini terdiri atas proses produksi yang menjadi satu kesatuan dalam pembuatan *calcium carbonate powder*, yaitu dari *crushing*, *sifter* dan *packaging*. Proses produksi ini merupakan proses produksi seri yang menyebabkan ketiga proses tersebut memiliki keterkaitan yang sangat kuat, karena apabila salah satu bagian mesin dari proses tersebut mengalami kerusakan maka proses produksi akan mengalami waktu proses yang lebih lama bahkan juga dapat mengakibatkan berhentinya proses produksi. Hal ini tentunya akan menimbulkan kerugian bagi pihak perusahaan PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta dalam segi waktu dan biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki kondisi bagian mesin yang sudah tidak berfungsi. Oleh karena itu, dengan adanya kejadian yang merugikan perusahaan, maka perlu diadakan pencegahan agar meminimasi faktor yang dapat menghentikan operasi produksi.

Kegiatan perawatan yang selama ini dilakukan perusahaan PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta merupakan tanggung jawab dari divisi *maintenance*. Namun, pelaksanaan kegiatan perawatan hanya ditentukan oleh pengalaman pihak *maintenance* dan dilakukan ketika bagian mesin telah mengalami kerusakan saja. Jenis perawatan yang digunakan oleh PT. Dewata Sari Prima tergolong pada jenis perawatan *corrective*, yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan ketika kerusakan pada komponen mesin telah terjadi atau juga sering disebut dengan kegiatan reparasi. Strategi perawatan yang digunakan dalam melakukan kegiatan perawatan mesin pun belum memiliki patokan dan jadwal yang jelas sehingga banyak terjadi kegagalan fungsi pada mesin produksi. Selain itu pada PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta juga tidak melakukan identifikasi biaya kerusakan pada setiap aktivitas perawatan yang menyebabkan perusahaan mengalami kerugian. Berikut ini merupakan Gambar 1.1 yang akan menyajikan data waktu *downtime* pada komponen mesin *superfine pulverizer* yang terjadi pada tahun 2014.



Gambar 1.1 Data *downtime* mesin
Sumber: PT. Dewata Sari Prima

Berdasarkan gambar 1.1 dapat diketahui bahwa *downtime* tertinggi yang terjadi pada mesin *superfine pulverizer* adalah komponen mesin *crusher* sebesar 1611 jam. Sehingga, komponen mesin *crusher* merupakan komponen yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini dibanding komponen mesin lain, karena dengan adanya *downtime* tersebut dapat mengganggu produktivitas di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta. Menurut Putra (2007), salah satu pendekatan yang digunakan untuk menanggulangi permasalahan yang terjadi di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta adalah dengan menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance II*. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan metode RCM II ini dapat membantu PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta untuk menentukan jenis perawatan yang sesuai interval perawatan untuk mesin *crusher*, selain itu juga dengan menggunakan metode RCM II dapat menentukan biaya perawatan agar meminimalkan pengeluaran perusahaan. Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* ini merupakan landasan dasar untuk perawatan fisik dan teknik yang dipakai untuk mengembangkan perawatan pencegahan yang terjadwal (Ben-Daya, 2008). Metode RCM II dipilih karena memiliki kelebihan dalam menentukan program pemeliharaan yang tepat. Pemeliharaan ini difokuskan pada komponen mesin kritis. Serta dapat mengeliminasi kegiatan perawatan yang tidak diperlukan.

Output penelitian ini akan menghasilkan sebuah interval perawatan untuk mesin *crusher*, penentuan biaya optimal, serta jenis perawatan yang efektif pada mesin *crusher* di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta. Dengan demikian PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta dapat melakukan perawatan yang tepat terhadap mesin *crusher* agar tidak mengalami kerusakan pada saat produksi berlangsung.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat diidentifikasi permasalahan yang terjadi pada PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta sebagai berikut.

1. Terjadinya *downtime* pada mesin *crusher* sehingga dapat mengganggu produktivitas dari perusahaan PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.
2. Tidak adanya jadwal perawatan yang tetap dan identifikasi biaya kerusakan bagi mesin *crusher*, perawatan mesin hanya dilakukan berdasarkan pengalaman bagian *maintenance* saja dan ketika telah terjadi kerusakan pada salah satu bagian mesin.
3. Tidak adanya sistem / metode perawatan untuk mesin *crusher*.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dapat dilakukan berdasarkan identifikasi masalah yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut ini rumusan masalah yang terjadi pada PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.

1. Apa sajakah komponen kritis mesin yang memberikan pengaruh pada kegagalan mesin *crusher*?
2. Bagaimana interval perawatan yang efektif untuk mesin *crusher*?
3. Berapa biaya perawatan optimal yang direncanakan pada mesin *crusher*?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui komponen kritis mesin yang memberikan pengaruh pada kegagalan mesin *crusher* dengan menggunakan *functional failure*.
2. Untuk menentukan interval perawatan yang efektif untuk mesin *crusher* dengan menggunakan perhitungan *Mean Time To Failure* dan *Mean Time To Repair*.
3. Untuk mengetahui biaya perawatan optimal yang dilakukan pada komponen mesin *crusher*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memberikan masukan pada PT. Dewata Sari prima Yogyakarta mengenai kebijakan perawatan mesin *crusher* yang sesuai yang dapat diterapkan oleh perusahaan sehingga kegiatan perawatan mesin *crusher* dapat dilakukan secara optimal serta dapat meminimalisir *downtime* dan biaya pada mesin *crusher*.

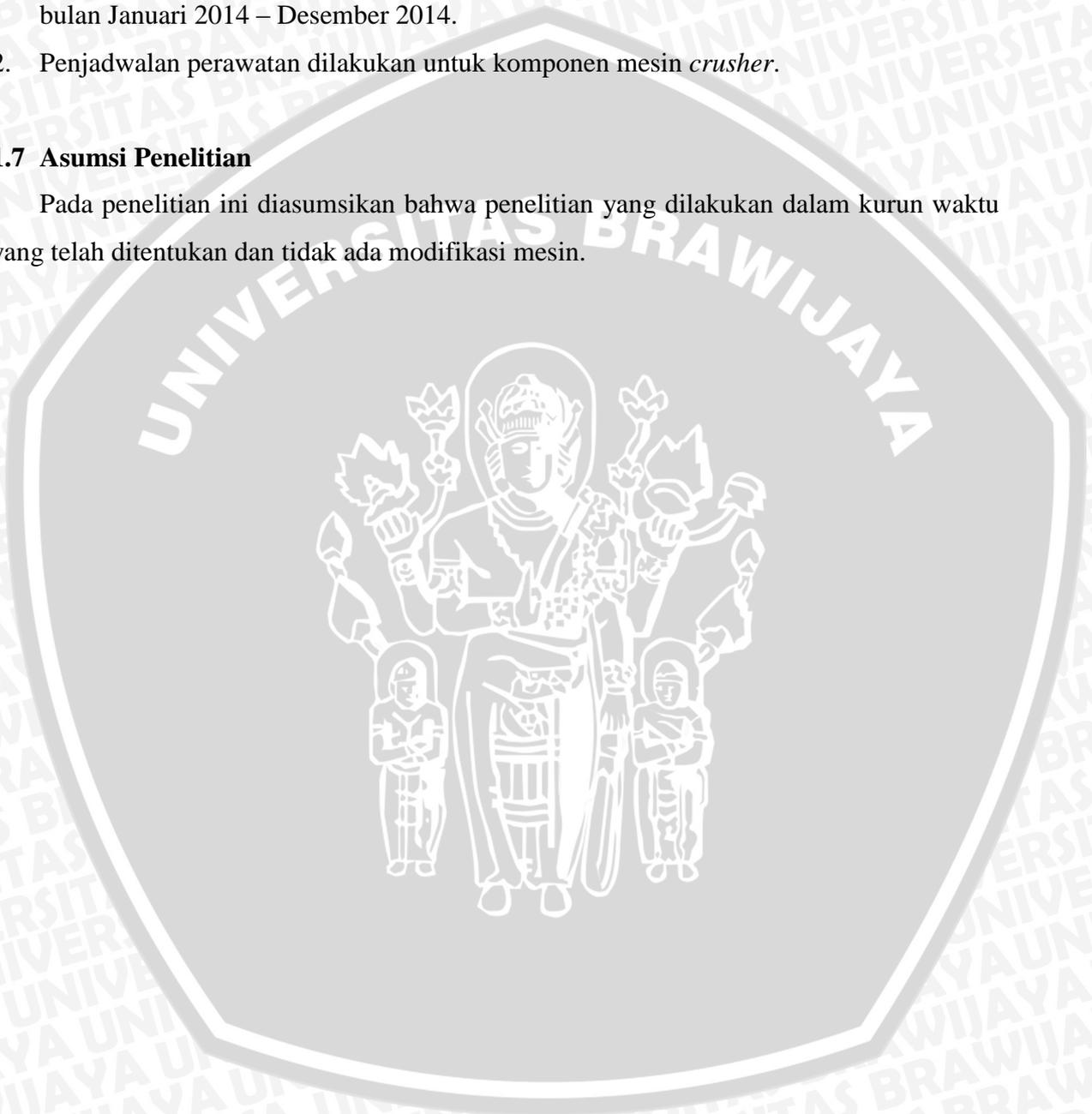
1.6 Batasan Penelitian

Untuk memfokuskan permasalahan yang dibahas tentang penelitian ini dan memudahkan dalam mencapai tujuan penelitian, maka diperlukan beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Data yang digunakan diperoleh dari PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta pada periode bulan Januari 2014 – Desember 2014.
2. Penjadwalan perawatan dilakukan untuk komponen mesin *crusher*.

1.7 Asumsi Penelitian

Pada penelitian ini diasumsikan bahwa penelitian yang dilakukan dalam kurun waktu yang telah ditentukan dan tidak ada modifikasi mesin.



Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi landasan teori yang dapat menambah wawasan dan dijadikan referensi dalam melakukan penelitian. Tinjauan pustaka ini nantinya akan digunakan sebagai kerangka berpikir dan penentuan langkah-langkah pemecahan masalah.

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sebelum penelitian ini dilakukan, telah terdapat beberapa penelitian yang cukup relevan dengan penelitian ini. Beberapa penelitian pendahulu tersebut adalah sebagai berikut:

1. Muhammad,dkk (2013) dalam jurnal yang berjudul *Evaluasi Manajemen Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance* pada PT.Z". Penelitian ini mengusulkan sistem perawatan mesin dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance*. Metode RCM diharapkan dapat menentukan kegiatan interval perawatan yang sesuai dengan fungsi dan sistem kerja pada mesin area produksi kemasan botol air minum ukuran medium.
2. Asisco (2012) dalam jurnal yang berjudul *Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) di PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero) Unit Usaha Sungai Niru Kab. Muara Enim*. Penelitian ini mengusulkan sistem perawatan mesin menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance*. Metode RCM diharapkan dapat menetapkan *schedule maintenance* dan dapat mengetahui secara pasti tindakan kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang harus dilakukan pada setiap komponen mesin.
3. Putra (2014) dalam jurnal yang berjudul *Evaluasi Manajemen Perawatan dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) Pada Mesin Danner 1.3 di PT.X"*. Penelitian ini digunakan untuk menentukan kegiatan dan interval perawatan berdasarkan pada RCM II *Decision Worksheet* sesuai dengan fungsi dan sistem dari mesin Danner 1.3 dan FMEA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan serta efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut.

4. Suryana (2015) dalam jurnal yang berjudul *Perencanaan Perawatan dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II*. Penelitian ini menentukan kegiatan perawatan yang tepat melalui RCM II *decision diagram*.

Berikut ini merupakan penjelasan secara ringkas dari masing-masing penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada keseluruhan penelitian sebelumnya, metode *Reliability Centered Maintenance* digunakan untuk menentukan kegiatan interval perawatan yang sesuai. Hanya yang membedakan dari masing-masing penelitian adalah metode yang digunakan. Yaitu pada penelitian 2, penulis menggunakan metode LTA (*Logic Tree Analysis*) dan *Total Minimum Downtime* yang menjadi pembeda dari penelitian lain.

Untuk lebih jelasnya perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

No.	Penulis	Metode	Obyek Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Muhammad, dkk, (2013)	FBD, FMEA, RCM II <i>Decision Worksheet</i>	PT. Z	Interval perawatan yang sesuai dengan fungsi dan sistem kerja pada mesin area produksi kemasan botol air minum ukuran medium.
2.	Asisco, (2012)	FMEA, LTA, <i>Total Minimum Downtime</i>	PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero) Unit Usaha Sungai Niru Kab. Muara Enim	Menetapkan <i>schedule maintenance</i> dan dapat mengetahui secara pasti tindakan kegiatan perawatan (<i>maintenance task</i>) yang harus dilakukan pada setiap komponen mesin.
3.	Putra, (2014)	FBD, FMEA, RCM II <i>Decision Worksheet</i>	PT. X	Menentukan kegiatan dan interval perawatan dan mengidentifikasi penyebab kegagalan serta efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut.
4.	Suryana, (2015)	FBD, FMEA, RCM II <i>Decision Worksheet</i>	PT. YTL Paiton	Menentukan kegiatan perawatan yang tepat melalui RCM II <i>decision diagram</i>
5.	Penelitian ini	FBD, FMEA, RCM II <i>Decision Worksheet</i>	PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta	<ul style="list-style-type: none"> - Interval waktu perawatan - Biaya perawatan optimal - Jenis perawatan yang sesuai

2.2 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Menurut Assauri (1999), pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan.

Menurut Sehwarat (2001), *maintenance* adalah sebuah pekerjaan yang dilakukan secara berurutan untuk menjaga atau memperbaiki fasilitas yang ada sehingga sesuai dengan standart (sesuai dengan standart fungsional dan kualitas).

Pemeliharaan (*maintenance*) dibedakan menjadi tiga yaitu *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, dan *predictive maintenance*. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut :

1. *Preventive maintenance*

Menurut Tampubolon (2004:250), *preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan atau perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang tidak terduga, yang menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan proses produksi. *Preventive maintenance* dibedakan menjadi dua yaitu *routine periodic* dan *periodic maintenance*. *Routine periodic* adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin. *Periodic maintenance* adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan dalam jangka waktu tertentu.

2. *Corrective maintenance*

Menurut Assauri (1999:104), *corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas mengalami kerusakan ataupun gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Dalam hal ini kegiatan *corrective maintenance* bersifat perbaikan yaitu menunggu sampai kerusakan terjadi terlebih dahulu, kemudian baru diperbaiki agar dapat beroperasi kembali. Dalam hal ini, kegiatan *corrective maintenance* sering disebut dengan kegiatan reparasi atau perbaikan. Tindakan perawatan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang sama. Tindakan *corrective maintenance* ini memerlukan biaya perawatan yang lebih murah daripada tindakan *preventive maintenance*. Hal ini dapat terjadi apabila kerusakan terjadi pada saat mesin atau fasilitas tidak melakukan proses produksi. Tetapi bila kerusakan terjadi selama proses produksi berlangsung maka biaya perawatan akan mengalami peningkatan yang disebabkan karena terhentinya proses produksi. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa tindakan *corrective maintenance* memusatkan permasalahan setelah permasalahan itu terjadi, bukan menganalisa masalah untuk mencegah agar tidak terjadi.

3. *Predictive maintenance*

Predictive maintenance merupakan suatu kegiatan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa dan memelihara pada saat perawatan sudah benar-benar memerlukan pemulihan ketinggian semula. Hal ini dilakukan dengan cara memonitoring kondisi

operasi peralatan berdasarkan data dan informasi. *Monitoring* yang dilakukan antara lain pengukuran suara, analisis getaran, analisis aliran dan komposisi gas. Menurut Mobley (2002), *predictive maintenance* bertujuan meningkatkan produktivitas, kualitas dan keseluruhan efektivitas dari proses manufaktur. Sebenarnya *predictive maintenance* adalah *preventive maintenance* yang didasarkan oleh kondisi sesungguhnya dari mesin. *Predictive maintenance* disebut juga sebagai *condition based maintenance* atau *machinery condition monitoring* yang artinya penentuan kondisi mesin dengan cara memeriksa mesin secara rutin sehingga keandalan mesin dan keselamatan kerja dapat dijamin.

2.3 Tujuan Perawatan

Menurut Daryus (2008), tujuan pemeliharaan yang utama dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang kegunaan aset.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi dan mendapatkan laba investasi maksimum yang mungkin.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Sedangkan menurut Patrick (2001:407), tujuan pemeliharaan adalah:

1. Mempertahankan kemampuan alat atau fasilitas produksi guna memenuhi kebutuhan yang sesuai dengan target serta rencana produksi.
2. Mengurangi pemakaian dan penyimpanan diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijakan perusahaan.
3. Menjaga agar kualitas produk berada pada tingkat yang diharapkan guna memenuhi apa yang dibutuhkan produk itu sendiri dan menjaga agar kegiatan produksi tidak mengalami kegagalan.
4. Memperhatikan dan menghindari kegiatan operasi mesin atau perangkat serta peralatan yang dapat membahayakan kegiatan kerja.
5. Mencapai tingkat biaya serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien untuk keseluruhannya.

6. Mengadakan kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan sebaik mungkin dan total biaya serendah mungkin.

2.4 Size reduction

Pengecilan ukuran (*size reduction*) adalah membagi suatu bagian padat menjadi bagian yang lebih kecil dengan menggunakan gaya mekanis atau menekan tanpa mengubah sifat kimia dari bahan. *Size reduction* merupakan salah satu operasi dalam dunia industri dimana komoditi pertanian dikecilkan ukurannya untuk menghasilkan suatu produk yang memiliki nilai mutu dan nilai tambah yang tinggi. Operasi pengecilan ukuran dibagi menjadi dua kategori, yaitu untuk bahan padatan dan untuk cairan (Smith, 1995). Tujuan dari pengecilan ukuran (*size reduction*) adalah untuk memperoleh produk dengan bentuk dan ukuran seragam sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, mendukung ekstraksi bahan dan mempertinggi reaktivitas bahan sehingga proses pengolahan berjalan dengan baik. Berdasarkan cara kerja dan ukuran produk yang diperoleh, maka peralatan *size reduction* dibagi menjadi empat kelompok, yaitu:

1. *Crusher* (mesin pemecah)

Mesin *crusher* (pemecah) bertugas sebagai pemecah bongkahan besar menjadi butiran kecil. *Crusher* terbagi menjadi dua, yaitu *primary crusher* dan *secondary crusher*. *primary crusher* digunakan untuk mengerjakan bahan mentah hasil tambang dan memecahkannya menjadi kepingan berukuran 6-10inch. Sedangkan *secodary crusher* bertugas untuk memecahkan kepingan dari pemecah primer menjadi partikel yang berukuran menjadi sekecil $\frac{1}{4}$ inch.

2. *Grinder* (mesin giling)

Mesin pemecah sekunder bertugas untuk memperkecil umpan yang berasal dari mesin pemecah hingga menjadi serbuk. Hasil pemecahan *intermediate grinder* dapat lolos dari ayakan 40 mesh.

3. *Ultrafine Grinder* (mesin giling ultra halus)

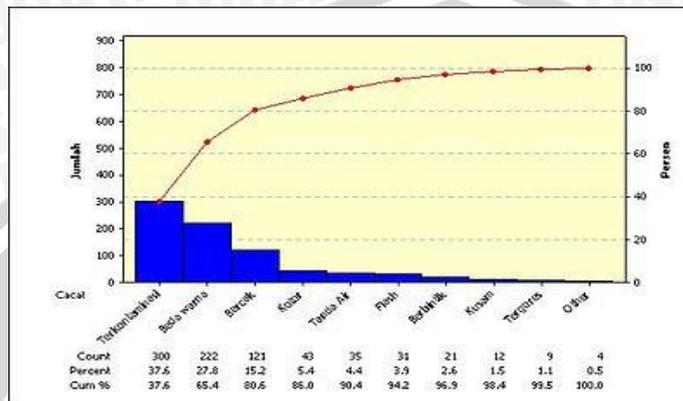
Mesin giling ultra halus (*ultrafine grinder*) menampung partikel umpan yang lebih besar dari $\frac{1}{4}$ inch dan hasilnya berukuran tertentu yaitu 1-50 μ m.

4. *Cutting Machine* (mesin pemotong)

Mesin potong (*cutting machine*) menghasilkan partikel atau material yang mempunyai ukuran dan bentuk tertentu dengan panjang 2 hingga 10 μ m.

2.5 Diagram Pareto

Pareto chart adalah sebuah diagram batang yang dipadukan dengan diagram garis untuk merepresentasikan suatu parameter yang diukur sehingga dapat diketahui parameter dominan. Diagram batang menunjukkan nilai aktual sedangkan diagram garis menunjukkan nilai prosentase kumulatif dari setiap parameter yang ditinjau. *Pareto chart* digunakan sebagai *tool* untuk mencari penyebab atau faktor dominan dari suatu masalah.



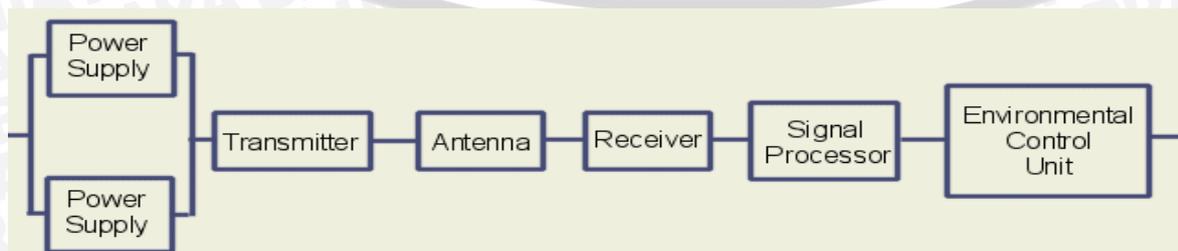
Gambar 2.1 Diagram Pareto

Sumber: Wikipedia

Prinsip pareto menyatakan bahwa untuk banyak kejadian, sekitar 80% daripada efeknya disebabkan oleh 20% dari penyebabnya. Prinsip ini diajukan oleh pemikir manajemen bisnis Joseph M. Juran, yang menamakannya berdasarkan ekonom Italia Vilfredo Pareto yang pada tahun 1906 mengamati bahwa 80% dari pendapatan di Italia dimiliki oleh 20% dari jumlah populasi.

2.6 Functional Block Diagram

Functional Block Diagram adalah diagram yang digunakan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari mesin seperti proses produksinya. Menurut Moubray (1997:329) *Functional Block Diagram* merupakan sebuah diagram yang menggambarkan hubungan antara fungsi setiap asset dalam suatu sistem. Pada *Reliability Centered Maintenance* dapat menggunakan *functional block diagram* untuk menggambarkan hierarki fungsi komponen. Pada gambar 2.2 merupakan contoh *functional block diagram*.



Gambar 2.2 *Functional Block Diagram*

Sumber: Wikipedia

2.7 Reliability Centered Maintenance (RCM) II

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah metode pemeliharaan yang menentukan langkah-langkah yang harus diambil untuk menjamin peralatan bekerja sesuai dengan fungsinya. Menurut Moubray (1997:7), *reliability centered maintenance* merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan dalam menjamin suatu aset fisik agar berjalan dengan dan baik sesuai dengan yang diinginkan oleh perusahaan. Metode RCM ini meliputi pembuatan kegagalan fungsi yang kemudian akan dicari mode kerusakannya. Dengan adanya mode kerusakan, penyebab kerusakan juga akan ditentukan sehingga dapat dianalisa pengaruh kerusakan terhadap peralatan kerja. Metode RCM II merupakan teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan 2 jenis tindakan perawatan pencegahan yakni *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.

Penelitian tentang RCM pada dasarnya akan menjawab 7 pertanyaan utama tentang aset atau peralatan yang diteliti (Moubray, 1997:7). Ketujuh pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standart dari peralatan dalam konteks operasional pada saat ini (*system function*)?
2. Bagaimana peralatan tersebut gagal dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure modes*)?
4. Apa yang terjadi saat terjadi kegagalan (*failure effect*)?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut berpengaruh (*failure consequence*)?
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi kegagalan tersebut (*proactive task and task interval*)?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil ditemukan (*default action*)?

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu metode yang lebih menitikberatkan pada penggunaan analisis kualitatif untuk komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu sistem. Ketujuh pertanyaan diatas nantinya akan dituangkan dalam bentuk *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *RCM II Decision Diagram* (tabel 2.2) yang tergabung dalam *RCM Worksheet*. *RCM II Decision Worksheet* ini digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode*.

Tabel 2.2 RCM II Decision Worksheet

RCM II DECISION WORKSHEET			SYSTEM							System N*			Facilitator	Date	Sheet N*
			SUB-SYSTEM							Sub-system N*			Auditor:	Date	of
Information reference			Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed task	Initial interv al	Can be done by
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Sumber: Moubray (1997 : 199)

RCM II *Decision Worksheet* terdiri dari 5 bagian utama, yaitu:

1. Information Reference

Information reference merupakan informasi yang diperoleh dari FMEA/RCM II *decision worksheet*, yaitu dengan memasukkan informasi mengenai *function*, *failure function*, *failure mode* dari peralatan/komponen. Berikut ini penjelasan mengenai *information reference*.

- Kolom F (*Function*) adalah fungsi dari komponen atau item yang diharapkan oleh user tetap berada dalam level kemampuan dari item tersebut sejak awal dibuat.
- Kolom FF (*Function Failure*) adalah kegagalan dari suatu item untuk melaksanakan *system function* yang diharapkan.
- Kolom FM (*Function Mode*) adalah jenis kerusakan yang terjadi pada komponen sehingga menyebabkan komponen gagal beroperasi.

2. Failure Consequence

Pemetaan atau penentuan *failure consequences* dilakukan menggunakan RCM II *Decision Diagram*. Pemetaan dimulai dengan menjawab pertanyaan pada pojok kiri atas RCM II *Decision Diagram*. Misalnya untuk *information reference* 1-A-1, “apakah operator mengetahui jenis kegagalan dalam kondisi normal?”, jawabannya adalah “ya”, maka pada kolom H dalam RCM *Decision Worksheet* ditulis Y dan dilanjutkan ke pertanyaan berikutnya sesuai aturan dari RCM *decision diagram*, sehingga nanti akan didapatkan jenis tindakan perawatan yang sesuai dengan penyebab terjadinya kegagalan/kerusakan. Pada tabel 2.3 berikut ini berisi penjelasan mengenai *failure consequences* yang terdapat pada RCM II *Decision Diagram*.

Tabel 2.3 *Failure Consequences*

<i>Failure Consequences</i>	Keterangan	
	<i>Yes</i>	<i>No</i>
Kolom H (<i>Hidden Failure</i>)	<i>Failure mode</i> diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	<i>Failure mode</i> tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada keselamatan kerja operator	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada keselamatan kerja operator
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan
Kolom O (<i>Operational</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada <i>output</i> produksi	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada <i>output</i> produksi

Sumber: Moubray (1997:203)

3. *Proactive Task and Default Action*

Penjelasan tentang komponen *proactive task and default action* yang terdapat pada RCM II *Decision Diagram* ditunjukkan oleh Tabel 2.4. Apabila aktivitas *proactive task and default action* tidak dapat mengatasi kegagalan yang terjadi maka aktivitas perawatan digolongkan ke dalam *no scheduled maintenance* dimana tidak *redesign* terhadap peralatan perlu dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya kegagalan.

Tabel 2.4 *Proactive Task and Default Action*

<i>Proactive Task</i>	Persyaratan Kondisi
Kolom H1/S1/O1/N1	<ul style="list-style-type: none"> • Apakah <i>potential failure</i> (PF interval) dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal? • Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan
Kolom H2/S2/O2/N2	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan • Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut, jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan
Kolom H2/S2/O2/N2	<ul style="list-style-type: none"> • Memperbaiki dengan subsistem yang tahan terhadap kegagalan
Kolom H3/S3/O3/N3	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diidentifikasi umur dimana <i>item</i> tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan • Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan
Kolom H4 <i>scheduled failure finding task</i>	<i>Hidden Failure</i> dapat dicegah bila FM dapat dideteksi secara teknis
Kolom H5 <i>Redesign</i>	<i>Hidden Failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan <i>design</i> pada mesin
Kolom S4 <i>Combination Task</i>	<i>Safety effect</i> dapat dicegah, bila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan

Sumber: Moubray (1997:205)

4. *Propose Task*

Apabila *proactive task* telah dipilih, maka diskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom *proposed task*.

5. *Initial Interval*

Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan, atau bulanan.

6. *Can be done*

Kolom terakhir dalam RCM *worksheet* ini digunakan untuk mencatat siapa yang bisa melakukan tindakan perawatan tersebut.

2.7.1 *System Function dan Function Failure*

System function bertujuan untuk membuat suatu informasi yang dapat menyediakan atau mendefinisikan fungsi sistem. Analisa yang dilakukan adalah berdasarkan fungsi dan bukan mengenai peralatan yang ada pada sistem tersebut. Sedangkan untuk *functional failure* adalah menjelaskan bagaimana sistem mengalami kegagalan melaksanakan *system function* yang diharapkan untuk sebuah mesin.

2.7.2 *Failure Mode and Effect Analysis*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan (Moubray, 1997). *Failure Modes* bertujuan untuk menemukan akar permasalahan (*root cause*) dari kegagalan yang timbul. *Failure Effect* menjelaskan dampak yang ditimbulkan apabila *failure modes* tersebut telah terjadi. FMEA merupakan teknik evaluasi tingkat keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek dari kegagalan dari sistem tersebut. Tujuan dari FMEA adalah memprediksi potensial kegagalan dari produk atau proses yang dapat terjadi dan mengevaluasi pengaruh kegagalan pada fungsi dalam sistem yang ada. Tiga variabel utama dalam FMEA :

1. *Severity*, yakni rating yang mengacu pada besarnya dampak serius dari suatu *potential failure mode*. Berikut *rating severity* oleh *Cayman Business Systems* dijelaskan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 *Rating Severity*

Efek	Penjelasan	Non Productive Time	Rank
Sangat Berbahaya	Dapat membahayakan pegawai dan sistem itu sendiri tanpa ada peringatan	>6x24 jam	10
Berbahaya	Dapat membahayakan pegawai sendiri dengan ada peringatan terlebih dahulu	>24 jam-6x24 jam	9
Sangat Tinggi	Kegagalan mengganggu sistem kerja secara total	>24 jam-5x24 jam	8
Tinggi	Kegagalan mempengaruhi 50% kerja sistem	>24 jam-4x24 jam	7
Sedang	Kegagalan mempengaruhi 25% kerja sistem	>24 jam-3x24 jam	6
Rendah	Kegagalan mempengaruhi 10% kerja sistem	>24 jam-2x24 jam	5
Sangat Rendah	Kegagalan mempengaruhi kerja sistem	>12 jam-14 jam	4
Ringan	Kegagalan member efek minor pada sistem	>12 jam-14 jam	3
Sangat Ringan	Kegagalan member efek yang dapat diabaikan	>12 jam-14 jam	2
Tidak ada Akibat	Kegagalan tidak memberikan efek	≤3 jam	1

Sumber: *Cayman Business Systems, Failure Mode and Effect Analysis* (2002: 81)

2. *Occurrence*, yakni rating yang mengacu pada berapa banyak frekuensi *potential failure* yang terjadi. Berikut *rating occurrence* oleh *Cayman Business Systems* dijelaskan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 *Rating Occurance*

Probabilitas Kegagalan	Probabilitas terjadinya kegagalan per tahun	Possible Failure Rate	Rank
Hampir selalu	>500	≥ 1 dalam 2	10
Sangat Tinggi	366-500	1 dalam 3	9
Tinggi	300-365	1 dalam 8	8
Agak Tinggi	250-300	1 dalam 20	7
Medium	150-249	1 dalam 80	6
Rendah	50-149	1 dalam 400	5
Sedikit	10-49	1 dalam 2000	4
Sangat Sedikit	5-9	1 dalam 15000	3
Sangat Sedikit Sekali	1-4	1 dalam 150000	2
Hampir tidak pernah	<1	1 dalam 1500000	1

Sumber: *Cayman Business Systems, Failure Mode and Effect Analysis* (2002: 82)

3. *Detection*, yakni mengacu pada kemungkinan metode deteksi yang sekarang dapat mendeteksi *potential failure mode* sebelum produk tersebut dirilis untuk di produksi, di desain hingga untuk proses. Berikut *rating detection* akan dijelaskan pada Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

Tabel 2.7 *Rating Detection Rank 8-10*

Deteksi	Kemungkinan Deteksi Oleh Kontrol	Rank
Tidak Terdeteksi	Tidak mampu mendeteksi penyebab kegagalan	10
Sangat Sedikit kemungkinan	Sangat kecil kemungkinan pengecekan mendeteksi kegagalan	9
Sedikit Kemungkinan	Kecil kemungkinan pengecekan bisa mendeteksi kegagalan	8

Sumber: *Cayman Business Systems, Failure Mode and Effect Analysis* (2002: 82)

Tabel 2.8 *Rating Detection Rank 1-7*

Deteksi	Kemungkinan Deteksi Oleh Kontrol	Rank
Sangat Rendah	Pengecekan mempunyai peluang yang rendah untuk mendeteksi kegagalan	7
Rendah	Pengecekan kemungkinan mendeteksi kegagalan	6
Cukup	Pengecekan kemungkinan akan mendeteksi kegagalan	5
Cukup Tinggi	Pengecekan kemungkinan besar akan mendeteksi kegagalan	4
Tinggi	Pengecekan mempunyai peluang besar mendeteksi kegagalan	3
Sangat Tinggi	Pengecekan hampir dapat mendeteksi kegagalan	2
Hampir pasti	Pengecekan pasti dapat mendeteksi kegagalan	1

Sumber: *Cayman Business Systems, Failure Mode and Effect Analysis* (2002: 82)

Pada setiap komponennya, setiap bentuk kegagalan dan efek yang ditimbulkan pada sebuah sistem akan dituliskan pada form FMEA yang telah dibuat. Berikut ini merupakan Form FMEA yang digunakan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 *Functional Mode and Effect Analysis (FMEA)*

FMEA WORKSHEET			SYSTEM :	Facilitator:	
			SUB-SYSTEM :	Auditor:	
No.	Komponen	Function	Functional Failure (loss of function)	Failure Mode (cause of failure)	Failure Effect (what happen when it failure)

Sumber: (Moubray, 1997:89)

Langkah- langkah melakukan FMEA adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi proses atau produk/ jasa.
2. Identifikasi mode kegagalan (*failure mode*) potensial selama proses.
3. Identifikasi akibat kegagalan (*failure effect*) dan penyebabnya dari masalah potensial tersebut.
4. Tentukan nilai *severity* tiap resiko.
5. Tentukan nilai *occurance* tiap resiko.
6. Tentukan nilai *detection* tiap resiko.
7. Hitung nilai RPN untuk menentukan prioritas tindakan yang harus diambil.

Risk Priority Number (RPN) merupakan *rating severity*, *occurance*, dan *detection*.

RPN diperoleh dengan mengalikan *rating severity*, *occurance*, dan *detection*. *Rating* dan RPN hanya digunakan untuk menganalisis *ranking* kelemahan proses untuk mempertimbangkan tindakan yang mungkin untuk mengurangi kekritisan dan membuat proses lebih baik (Ford Motor Company, 1992). Berikut ini merupakan rumus perhitungan RPN:

$$RPN = severity \times occurrence \times detection \quad (2-1)$$

8. Mengambil tindakan untuk mengurangi atau menghilangkan risiko kritis.

2.7.3 Failure Consequence

Failure Consequence adalah konsekuensi kegagalan fungsi suatu item dalam produksi atau operasional. Menurut Moubray (1997), dalam *Reliability Centered Maintenance* konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam 4 bagian yaitu:

1. *Hidden Failure Consequence*, dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung.
2. *Safety and Environmental Consequence*, *safety consequence* terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi atau item mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja lainnya, jika *environmental consequence* terjadi apabila kegagalan fungsi suatu item berdampak pada kelestarian lingkungan.
3. *Operational Consequence*, kegagalan dikatakan mempunyai konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional.
4. *Non Operational Consequence*, kegagalan tidak termasuk dalam konsekuensi keselamatan atau produksi tetapi hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.7.4 Proactive Task and Initial Interval

Proactive Task adalah suatu tindakan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan, dalam rangka untuk menghindarkan item dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failed state*). Kegagalan ini dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*. Dalam RCM kegiatan *proactive* dibagi menjadi 2 sesuai dengan penggolongan *predictive* atau *preventive maintenance*, yaitu: (Mourbay, 1997)

1. Untuk *predictive maintenance*, aktivitas yang digunakan yaitu *scheduled and on condition task*, yaitu kegiatan pemeriksaan terhadap *potential failure* sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*.
2. Untuk *preventive maintenance* dibagi menjadi 2:
 - a. *Scheduled restoration task*, yaitu kegiatan pemulihan kemampuan item pada saat atau sebelum umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi saat itu.
 - b. *Scheduled discard task*, yaitu tindakan mengganti item pada saat batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi item pada saat itu.

Initial interval merupakan jarak perawatan yang optimal, terhadap *proposed task* yang ditentukan. *Proposed task* adalah tindakan pencegahan sebagai tindakan nyata untuk

menerjemahkan hasil dari *proactive task* dan *default action*. *Can be done* diisi tentang siapa yang diberikan tanggung jawab dalam melaksanakan *proposed task* tersebut.

2.7.5 Default Action

Default action adalah tindakan yang dilakukan ketika *predictive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan. *Default action* meliputi:

1. *Failure finding*, meliputi tindakan pemeriksaan, apakah komponen masih dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. *Failure finding* hanya diaplikasikan pada hidden atau kegagalan yang tidak dapat dibuktikan secara langsung.
2. *Redesign*, meliputi dengan cara membuat perubahan untuk membangun kembali kemampuan suatu sistem. Hal ini mencakup memodifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur.
3. *No scheduled maintenance*, meliputi untuk kegagalan yang nyata (*evident*) dan tidak mempengaruhi *safety* atau *environment*.

2.8 Keandalan

Keandalan (*reliability*) adalah probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diinginkan sepanjang suatu periode waktu tertentu bilamana digunakan pada kondisi-kondisi pengoperasian yang telah ditentukan (Ebeling, 1997). Keandalan dapat dirumuskan sebagai integral dari distribusi probabilitas suksesnya operasi suatu komponen atau sistem, sejak waktu mulai beroperasi (*switch on*) sampai dengan terjadinya kegagalan (*failure*) pertama.

2.8.1 Fungsi Keandalan

Menurut Lewis (1987:80), fungsi keandalan adalah probabilitas sistem yang beroperasi tanpa mengalami kerusakan dalam jangka waktu yang ditentukan (t). Berikut ini perumusan fungsi keandalan.

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t') dt' \quad (2-2)$$

Sumber: Lewis (1987:81)

Keterangan:

$F(t)$ = probabilitas kegagalan

$R(t)$ = keandalan dalam periode waktu

$f(t')$ = fungsi padat peluang dari variabel

2.8.2 Laju Kerusakan

Laju kerusakan dapat didefinisikan sebagai probabilitas banyaknya komponen yang mengalami kerusakan setiap satuan waktu, jika komponen sejenis dalam jumlah banyak dioperasikan secara bersamaan. Menurut Lewis (1987:84), berdasarkan sebuah percobaan diketahui laju kerusakan suatu produk mengikuti suatu pola dasar yang disebut dengan *bathup curve*. Laju kerusakan $\lambda(t)$ dirumuskan sebagai berikut.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-3)$$

Sumber: Lewis (1987: 82)

2.9 Penentuan Jenis Distribusi

Distribusi kegagalan dan probabilitas kegagalan harus diketahui untuk menentukan periode akan terjadinya kegagalan. Distribusi kegagalan diperlukan dalam perhitungan MTTF dan MTTR. Distribusi yang digunakan terdiri dari Distribusi Eksponensial, Weibull dan Lognormal.

2.9.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan model distribusi yang biasa digunakan memodelkan umur (*life time*) komponen. Jika selang waktu antar kerusakan dari suatu komponen adalah terdistribusi secara eksponensial, parameternya adalah λ , yang menunjukkan nilai rata-rata kerusakan terjadi. Persamaan yang digunakan dalam distribusi eksponensial adalah:

1. Fungsi keandalan Distribusi Eksponensial:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2-4)$$

Sumber: Lewis (1987:87)

2. Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2-5)$$

Sumber: Ebeling (1987:42)

3. MTTF dan MTTR

$$MTTF = MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad (2-6)$$

Sumber: Lewis (1987:87)

Keterangan:

t = interval waktu perbaikan

λ = parameter distribusi

2.9.2 Distribusi Weibull

Distribusi weibull merupakan distribusi yang digunakan untuk waktu kerusakan karena memiliki kemampuan untuk mendekati jenis sebaran data. Jika selang waktu antar kerusakan adalah t mengikuti distribusi Weibull dengan parameter β sebagai parameter skala dan θ sebagai parameter bentuk. Persamaan yang digunakan adalah:

1. Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2-7)$$

Sumber: Ebeling (1997:59)

2. Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2-8)$$

Sumber: Ebeling (1997:58)

3. MTTF dan MTTR

$$MTTF = MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-9)$$

Sumber: Ebeling (1997:58)

Keterangan:

Γ = pada tabel distribusi Gamma

2.9.3 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal adalah distribusi yang berguna untuk menggambarkan kerusakan untuk situasi yang bervariasi. Selang waktu antar kerusakan dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal dengan parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}). Persamaan yang digunakan dalam distribusi lognormal adalah:

1. Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (2-10)$$

Sumber: Ebeling (1997:71)

2. Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-11)$$

Sumber: Ebeling (1997:71)

3. MTTF

$$MTTF = t_{med} e^{\left(\frac{s^2}{2}\right)} \quad (2-12)$$

Sumber: Ebeling (1997:71)

4. MTTR

$$MTTR = e^{\left(v + \frac{\lambda^2}{2}\right)} \quad (2-13)$$

Sumber: Ebeling (1997:192)

2.10 Identifikasi Distribusi

Identifikasi distribusi dilakukan dalam dua tahap, yaitu: *Least Square Curve Fitting* dan *Goodness of Fit Test*.

2.10.1 Least Square Curve Fitting

Metode ini digunakan untuk menghitung nilai *index of fit* (r). Distribusi dengan nilai r yang terbesar akan dipilih untuk diuji dengan menggunakan *Goodness of Fit Test*. Menurut Ebeling (1997,p367) rumus yang digunakan dalam *Least Square Curve Fitting* adalah:

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad (2-14)$$

Keterangan:

i = data waktu ke i

n = jumlah data kerusakan

Rumus dari *index of fit* adalah

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n z_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2]}} \quad (2-15)$$

Untuk distribusi weibul dan lognormal.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2-16)$$

Untuk distribusi eksponensial.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (2-17)$$

$$a = \bar{y} - \bar{b}x \quad (2-18)$$

Rumus untuk masing-masing distribusi:

1. Distribusi Weibul

$$x_i = \ln t_i, \text{ dimana } t_i \text{ adalah waktu ke } i \quad (2-19)$$

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \quad (2-20)$$

$$\text{Parameter: } \beta = b \text{ dan } \theta = e^{-\frac{a}{b}} \quad (2-21)$$

2. Distribusi Eksponensial

$$x_i = t_i, \text{ dimana } t_i \text{ adalah waktu ke } i \quad (2-22)$$

$$y_i = \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \quad (2-23)$$

$$\text{Parameter: } \lambda = r/T \quad (2-24)$$

Dimana: $r = n$ = jumlah kerusakan

T = total waktu kerusakan

3. Distribusi Lognormal

$$x_i = \ln t_i, \text{ dimana } t_i \text{ adalah waktu ke } i \quad (2-25)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \quad (2-26)$$

$$\text{Parameter: } \mu = \bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} \quad (2-27)$$

$$s^2 = \frac{(\ln t_i - \mu)^2}{n} \text{ (parameter bentuk)} \quad (2-28)$$

$$t_{\text{med}} = e^{-\mu} \text{ (parameter lokasi)} \quad (2-29)$$

2.10.2 Goodness of Fit Test

Tahap selanjutnya setelah melakukan perhotungan *index of fit* adalah pengujian *goodness of fit* untuk nilai *index of fit* terbesar. Pengujian *goodness of fit* dilakukan dengan membandingkan hipotesa nol (H_0) yang menyatakan bahwa data kerusakan mengikuti distribusi pilihan dan hipotesa alternatif (H_1) menyatakan bahwa data kerusakan tidak mengikuti distribusi pilihan. Pengujian yang dilakukan pada *goodness of fit* terdapat 3 macam, yaitu *Mann Test* untuk distribusi weillull, *Bartlet Test* untuk distribusi eksponensial dan *Kolmogorov Smirnov* untuk distribusi normal/lognormal. Berikut ini merupakan penjelasan masing-masing pengujian.

1. Mann Test Untuk Pengujian Distribusi Weillull

Menurut Ebeling (1997, p400-401), hipotesa untuk melakukan uji ini adalah:

H_0 = data kerusakan berdistribusi weillull

H_1 = data kerusakan tidak berdistribusi weillull

Rumusnya adalah:

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]} \quad (2-30)$$

$$\text{Dimana: } k_1 = \frac{r}{2}, k_2 = \frac{r-1}{2}, M_i = z_{i+1} - z_i \quad (2-31)$$

$$z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad (2-32)$$

Jika nilai $M < F_{v_1, v_2}$ maka nilai H_0 diterima. Nilai M diperoleh dari tabel distribusi F dengan $V_1 = k_1$ dan $V_2 = k_2$

Keterangan:

t_i = data waktu kerusakan yang ke- i

X_i = $\ln(t_i)$

r, n = banyaknya data

M_i = nilai pendekatan *Mann* untuk data ke- i

$M\alpha_{,k1,k2}$ = nilai M_{tabel} untuk distribusi Weibull (lihat distribusi F)

2. *Bartlet Test* Untuk Pengujian Distribusi Eksponensial

Menurut Ebeling (1997,p399), hipotesa untuk melakukan uji ini adalah:

H_0 = data kerusakan berdistribusi eskponensial

H_1 = data kerusakan tidak berdistribusi eksponensial

Rumusnya adalah:

$$B = \frac{2r \left[\ln\left(\frac{1}{R}\right) \sum_{i=1}^r t_i - \left(\frac{1}{R}\right) \sum_{i=1}^r \ln t_i \right]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad (2-33)$$

Dimana:

t_i = data waktu kerusakan ke i

r = jumlah kerusakan

B = nilai statistik untuk uji *Bartlet Test*

Jika $X_{\frac{1-a}{2}, r-1}^2 < B < X_{\frac{a}{2}, r-1}^2$, maka H_0 diterima

3. *Kolmogorov-Smirnov Test* Untuk Prngujian Distribusi Normal / Lognormal

Menurut Ebeling (1997,p402-p404), hipotesa dalam melakukan uji ini adalah:

H_0 = data kerusakan berdistribusi normal / lognormal

H_1 = data kerusakan tidak berdistribusi normal / lognormal

Uji statistiknya adalah: $D_n = \max \{D_1, D_2\}$

$$\text{Dimana: } D_1 = \max \left\{ \Phi \left(\frac{\ln t_i - \bar{t}}{s} \right) - \frac{i-1}{n} \right\} \quad (2-34)$$

$$D_2 = \max \left\{ \frac{i}{n} - \Phi \left(\frac{\ln t_i - \bar{t}}{s} \right) \right\} \quad (2-35)$$

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{\ln t_i}{n} \quad (2-36)$$

Dan untuk menghitung standart deviasi (s):

$$s^2 = \frac{\sum (\ln t_i - \bar{t})^2}{n-1} \quad (2-37)$$

Dimana:

t_i = waktu kerusakan ke- i

s = standart deviasi

n = banyaknya data kerusakan

\bar{t} = rata-rata waktu kerusakan

Jika $D_n < D_{\text{tabel}}$ maka H_0 diterima. Nilai D_{tabel} diperoleh dari tabel *critical value for*

Kolmogorov Smirnov Test for Normality.

2.11 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan yang didefinisikan oleh $f(t)$ sebagai berikut. (Ebelling, 1997)

$$\text{Mean Time To Failure} = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2-38)$$

2.12 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time to Repair (MTTR) merupakan waktu rata-rata dari interval waktu untuk melakukan perbaikan yang dibutuhkan oleh suatu komponen atau sistem. Menurut Ebeling (1997), MTTR diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Mean Time to Repair} = \int_0^{\infty} t h(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t)) dt \quad (2-39)$$

2.13 MODEL MATEMATIS PERAWATAN

Penggunaan model matematis akan sangat membantu penelitian ini dalam mengkalkulasi usia pakai peralatan serta penentuan waktu optimal peralatan. Menurut Zahirah (2012:5), dirumuskan bahwa total biaya perawatan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} TC &= C_f F_f + C_m F_m \\ &= C_f \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + C_m \left[\frac{1}{TM} \right] \\ &= \frac{1}{TM} \left[C_f \int_0^{TM} \lambda(t) dt + C_m \right] \end{aligned} \quad (2-40)$$

Jika data berdistribusi Weibull maka:

$$TC = \frac{C_p}{TM} + \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1} \quad (2-41)$$

Untuk mendapatkan TC dengan nilai paling minimum maka $\frac{dT_c}{dT_m} = 0$, kemudian akan diperoleh:

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta-1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2-42)$$

$$C_o = \text{kecepatan produksi Kg/jam} \times \text{harga produk/kg} \quad (2-43)$$

Keterangan:

C_f = *failure cost*

C_p = *preventive cost*

TM = interval waktu perawatan optimal (*preventive maintenance*) dalam jam.

TC = total biaya perawatan

C_o = biaya kerugian /jam

2.14 Availability Rate

Availability rate merupakan rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin. *Loading time* merupakan waktu mesin bekerja sesuai yang direncanakan. *Downtime* mesin adalah waktu proses mesin yang hilang dikarenakan adanya gangguan pada mesin/peralatan yang mengakibatkan tidak ada *output* yang dihasilkan karena kegagalan mesin, kerusakan alat, *unplanned maintenance*, dan tidak tersedianya bahan baku. *Operation time* merupakan waktu bersih mesin bekerja (tanpa *downtime*). Nilai *availability* dihitung dengan rumus (Stephens, 2004):

$$\text{Operation time} = \text{Loading time} - \text{downtime} \quad (2-44)$$

$$\text{Availability rate} = \frac{\text{Operation time}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (2-45)$$



Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah analisis teoritis mengenai suatu cara atau metode. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai metodologi dalam melakukan penelitian yang dimana tahapannya dimulai dengan idenktifikasi masalah, studi pustaka dan lapangan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis hasil dan pembahasan, dan penarikan kesimpulan saran. Hal ini dilakukan agar penelitian bisa lebih terstruktur

3.1 JENIS PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif. Pada penelitian kuantitatif, teori berfungsi sebagai dasar penelitian untuk diuji. Oleh karena itu, sebelum memulai pengumpulan data, peneliti menjelaskan teori secara jelas pada desain penelitian. Teori menjadi kerangka kerja untuk keseluruhan proses penelitian sehingga memunculkan kesimpulan dari penelitian tersebut (John C. Reinard, 2006). Peneliti melakukan pengumpulan data yang terkait dengan pemeliharaan pada mesin *crusher* di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta dengan harapan dapat memberikan pemecahan masalah yang muncul.

3.2 METODE PENELITIAN

Dalam pelaksanaan penelitian ini digunakan dua metode, adapun metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Metode Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

Penelitian Kepustakaan (*Library Research*) adalah suatu metode yang digunakan dalam mendapatkan data dengan jalan studi literatur di perpustakaan serta dengan membaca sumber-sumber data informasi lainnya yang berhubungan dengan pembahasan. Sehingga dengan penelitian kepustakaan ini diperoleh secara teori mengenai permasalahan yang dibahas.

2. Metode Penelitian Lapangan (*Field Research*)

Metode ini digunakan dalam pengumpulan data, dimana peneliti secara langsung terjun pada proyek penelitian, sedangkan cara lain yang dipakai dalam *Field Research* ini adalah :

- a. *Interview*, yaitu suatu metode yang digunakan dalam mendapatkan data dengan jalan mengajukan pertanyaan secara langsung pada saat perusahaan mengadakan suatu kegiatan.
- b. Observasi, yaitu suatu metode dalam memperoleh data, dengan mengadakan pengamatan langsung terhadap keadaan yang sebenarnya dalam perusahaan.
- c. *Brainstorming*, yaitu suatu bentuk diskusi dalam rangka menghimpun gagasan, pendapat, informasi, pengetahuan, pengalaman, dari semua peserta.

3.3. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Dewata Sari Prima yang beralamat di Desa Ploso II, Dusun Sumberwungu, Kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul, Yogyakarta, Jawa Tengah. Penelitian ini dimulai pada bulan Desember 2015 hingga – Agustus 2016.

3.4. PROSEDUR PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan pada penelitian sebagai berikut :

1. Studi Lapangan

Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan pengamatan pada keadaan perusahaan PT. Dewata Sari Prima, terutama pada bagian produksi. Pengamatan ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran dari kondisi sebenarnya dari obyek yang akan diteliti. Hal ini nantinya akan bermanfaat bagi peneliti karena dapat memberikan gambaran yang jelas tentang obyek penelitian. Dari hasil studi lapangan ini peneliti dapat mengetahui permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut.

2. Studi Pustaka

Studi Pustaka berasal dari buku, jurnal, serta studi terhadap penelitian terdahulu dengan topik yang berkaitan dengan metode yang digunakan serta teori yang mendukung lingkup maintenance yang dalam penelitian ini meliputi *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*, *Mean Time To Failure (MTTF)*, *Mean Time to Repair (MTTR)* dan *Availability Rate*.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap dimana setelah mendapatkan input dari studi lapangan. Tahap ini merupakan tahapan awal dalam usaha memahami suatu permasalahan yang terjadi sehingga dapat menemukan solusi yang terbaik bagi permasalahan tersebut.

4. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan setelah memahami permasalahan yang terjadi kemudian merumuskannya sesuai dengan kenyataan yang terjadi pada lapangan.

5. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dilakukan sebelumnya sebelumnya. Tujuan penelitian perlu ditetapkan agar penulisan skripsi dapat dilakukan dengan sistematis dan tidak menyimpang dari permasalahan yang dibahas. Tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya dapat digunakan sebagai parameter keberhasilan penelitian ini.

6. Pengumpulan data

Pada proses ini, data atau informasi yang dikumpulkan harus sesuai dengan persoalan yang akan diteliti. Data ini nantinya akan menjadi input pada pengolahan data. Metode pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan observasi dan wawancara. Dalam penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data sekunder dan data primer

a. Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari arsip dan dokumen yang berhubungan dengan proses produksi perusahaan, diantaranya sebagai berikut:

1. Proses Produksi di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.
2. Data fungsi mesin di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.
3. Data waktu antar kerusakan mesin di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.
4. Data frekuensi kerusakan dan *downtime* mesin di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.
5. Data biaya kerusakan mesin di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.

b. Data Primer

Data Primer didapatkan melalui beberapa proses yaitu sebagai berikut:

1. Proses wawancara dengan kepala bagian *maintenance* untuk mengidentifikasi efek dan penyebab kegagalan.
2. Proses *brainstorming* guna mendapatkan data ranking FMEA untuk setiap kegagalan.

7. Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, maka langkah selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan metode yang sesuai dengan permasalahan yang diteliti. Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap pengolahan data ini adalah:

a. Penentuan *Functional Block Diagram* (FBD)

Dengan menggunakan data komponen mesin kritis beserta fungsi komponen tersebut. *Functional Block Diagram* (FBD) digunakan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari mesin kritis tersebut.

b. Penentuan *System Function* dan *Function Failure*

System Function adalah fungsi utama dari mesin yang diharapkan oleh *user*. *System Function* ini tidak menjelaskan fungsi tiap komponen melainkan fungsi dari komponen mesin kritis yang diamati.

c. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Selanjutnya data olahan *System Function and Function Failure* serta data penyebab dan efek kegagalan digunakan untuk menentukan *Failure Mode and Effect Analysis*. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk menganalisis terjadinya suatu kegagalan.

d. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II *Decision Worksheet*

Selanjutnya menganalisis dengan memasukkan semua *failure mode* ke dalam RCM II *decision worksheet* untuk mengetahui konsekuensi dari kegagalan yang terjadi dan jenis perawatan yang sesuai dengan penyebab kegagalan (*proactive task and default action*) setelah itu hasil keluaran dari konsekuensi kegagalan dan jenis perawatan yang sesuai dituangkan dalam RCM II *decision worksheet*. RCM II *decision worksheet* memiliki komponen sebagai berikut, yaitu:

1) *Failure Consequence*

Failure Consequence bertujuan untuk menganalisa dampak yang ditimbulkan oleh *function failure* yang terjadi pada komponen kritis.

2) *Proactive Task and Default Action*

Proactive Task merupakan langkah yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Sedangkan *default action* adalah tindakan yang dapat dilaksanakan apabila *proactive task* tidak dapat mencegah terjadinya *failure mode*.

3) *Proposed Task*

Proposed Task memberikan penjelasan mengenai tindakan pencegahan yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Tindakan ini usulan nyata dari *proactive task and default action*.

4) *Initial Interval*

Initial Interval adalah jarak waktu perawatan efektif terhadap *proactive task and default action* yang telah ditentukan sebelumnya.

5) *Can be done*

Can be done merupakan pihak yang akan melaksanakan atau yang akan bertanggung jawab terhadap tindakan perawatan yang telah ditentukan pada RCM II *decision worksheet*.

- e. Penentuan distribusi data *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR).
- f. Pengujian kesesuaian distribusi data kerusakan dengan perhitungan manual dan *software*.
- g. Penentuan parameter yang sesuai dengan perhitungan manual dan *software*.
- h. Penentuan jadwal perawatan mesin yang dilakukan dengan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR).
- i. Perhitungan total biaya perawatan optimal.

8. Analisis dan Pembahasan

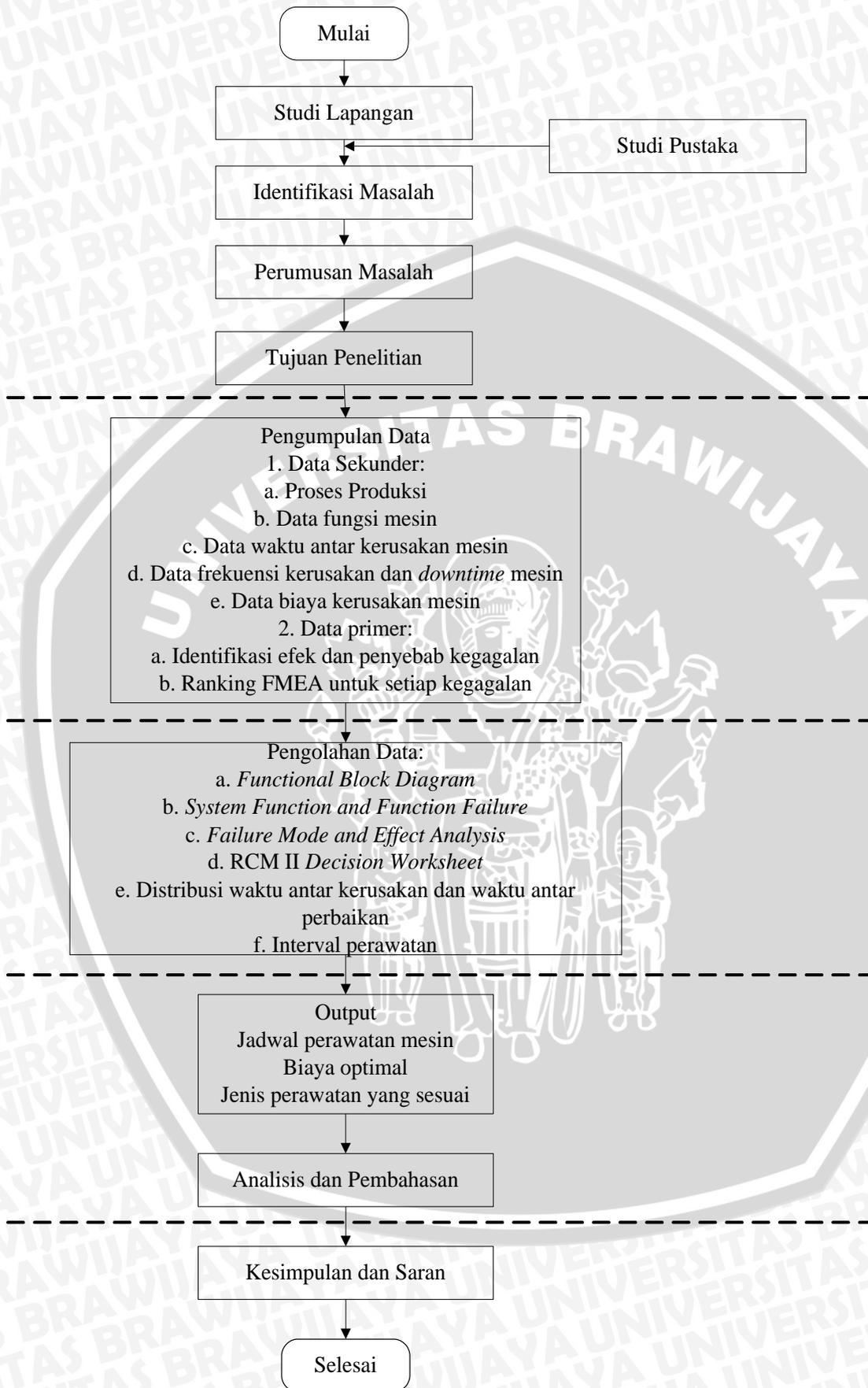
Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap hasil dari perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) yang menghasilkan interval perawatan serta menganalisis total biaya perawatan yang optimal.

9. Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran merupakan tahap terakhir dari penelitian. Kesimpulan berisi hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Saran berisi tentang saran yang diberikan penulis bagi perusahaan maupun penelitian yang akan datang yang berkaitan dengan perawatan mesin.

3.4 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Diagram alir pada penelitian di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta ini dimulai dari studi lapangan, studi pustaka, identifikasi masalah, perumusan masalah, penentuan tujuan penelitian, pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Berikut ini adalah diagram alir penelitian di PT. Dewata Sari Prima.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses pengumpulan dan pengolahan data yang diperlukan dalam melakukan penelitian. Data tersebut didapatkan dari data historis perusahaan. Dari data tersebut, maka dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* sehingga nantinya akan memberikan rekomendasi perbaikan berdasarkan analisis pembahasan.

4.1 Gambaran Umum Obyek Penelitian

Pada gambaran umum obyek penelitian akan dijelaskan mengenai profil perusahaan PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta, visi dan misi perusahaan, lokasi perusahaan, struktur organisasi perusahaan serta proses produksi secara umum pada PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.

4.1.1 Profil Perusahaan

PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta merupakan perusahaan yang berorientasi bisnis pada pengolahan bahan tambang galian C jenis CaCO_3 (batu kapur). Pada tahun 2006 PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta bernamakan PT. Dewata Cabang Yogyakarta, PT. Dewata Cabang Yogyakarta adalah anak perusahaan dari PT. Dewata (Darma Putera Wahana Pratama). Perusahaan ini bergerak di bidang penambangan dan pengolahan batu bara. PT. Dewata didirikan pada tahun 2001. Cabang di Yogyakarta didirikan pada tahun 2006 dan mulai beroperasi pada tahun 2007 bergerak dibidang pengolahan bahan tambang dan bekerjasama dengan *supplier* bahan baku lokal. Namun semenjak tahun 2012 PT. Dewata Cabang Yogyakarta berubah nama menjadi PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.

PT. Dewata Sari Prima memproduksi *Calcium Carbonate Powder Product* atau produk tepung kapur atau *mill*. Perusahaan ini menggunakan 3 mesin penggiling yaitu *Superfine Pulverizer* dengan kapasitas 2,5 ton per jam dan kapasitas maksimum 4.400 ton per bulan. PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta menyediakan *calcium carbonate powder* dengan berbagai variasi *mesh* (tingkatan kelembutan) yang diuji kualitas kehalusannya. Produk PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta digunakan sebagai bahan bangunan dan berbagai jenis industri dengan *brand* macan. *Brand* macan adalah simbolisasi mitos dan

legenda masyarakat sekitar dan adanya situs Lubang Gua Macan di lokasi berdirinya pabrik.

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

Adapun visi dan misi dari PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta adalah sebagai berikut:

1. Visi

Menjadi *top supplier calcium carbonate powder product* berbasis pada *customer* dan menjadi perusahaan yang memiliki bhakti terhadap masyarakat.

2. Misi

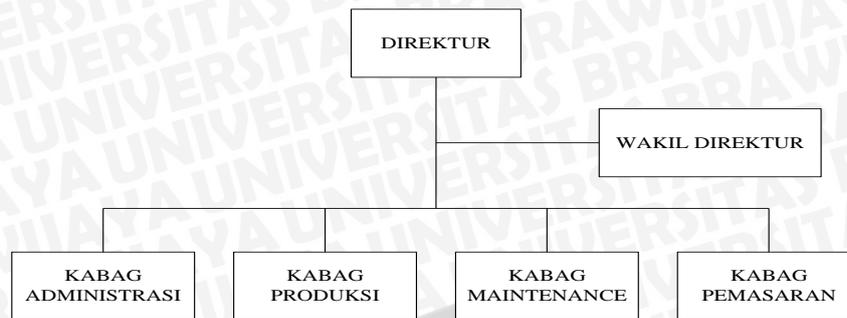
- a. Berkomitmen untuk terus memberikan kualitas sempurna yang menguntungkan pengguna terutama bagi *building construction*.
- b. Bersinergi dengan masyarakat Gunung Kidul untuk menunjang sektor perekonomian masyarakat dengan cara menjadikan masyarakat sekitar sebagai SDM utama PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.

4.1.3 Lokasi Perusahaan

PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta didirikan disebuah lokasi yang strategis yang memiliki keuntungan bagi masyarakat maupun perusahaan. PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta terletak di Desa Ploso II, Dusun Sumberwungu, Kecamatan Tepus Kabupaten Gunung Kidul, Yogyakarta. Kantor pemasaran dari PT. Dewata Sari Prima berada di Jalan Piyungan-Prambanan km.3, Bercak, Jogotirto, Berbah, Sleman, Yogyakarta. Lokasi PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta berada di lereng Gunung Kidul, hal ini sangat menguntungkan karena lokasi tersebut dekat dengan sumber daya alam bahan kapur yang digunakan sebagai bahan baku utama produk yang melimpah, serta disekeliling pabrik adalah tempat tinggal penduduk, sehingga 90% tenaga kerja didapatkan dari penduduk sekitar untuk meningkatkan sektor perekonomian warga.

4.1.4 Struktur Organisasi Perusahaan

Adapun struktur organisasi yang terdapat di PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta adalah sebagai berikut.



Gambar 4.1 Struktur Organisasi PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta
Sumber: PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta

4.1.5 Proses Produksi

PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta merupakan perusahaan pengolah bahan tambang berupa batu kapur (CaCO_3) dengan menggunakan mesin *Superfine Pulverizer*. Mesin ini bekerja dengan cara menghancurkan bongkahan batu kapur yang berukuran besar menjadi tepung kapur atau *mill* dengan berbagai tingkatan kelembutan yang diperlukan. Berikut ini merupakan produk *mill* yang diproduksi oleh PT. Dewata Sari Prima.

Tabel 4.1 Produk *Mill* PT. Dewata Sari Prima

Variasi Mesh	Kegunaan
Mesh 275 Mesh 325 Mesh 355	<i>Building Construction</i>
Mesh 400 Mesh 500 Mesh 600 Mesh 700 Mesh 800	<i>Cosmetics and toiletries, food and pharmaceuticals, paints and inks, paper, plastics, sealants and adhesives</i>

Sumber: PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta

Mesin yang digunakan oleh PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta terdapat 3 macam, dengan 2 mesin *type* CXLM4R dan 1 mesin *type* AMX4R. Perbedaan dari kedua mesin ini adalah pada kualitas produk yang dihasilkan, serta mesin dengan *type* AMX4R merupakan penyempurnaan dari mesin *type* CXLM4R. Berikut ini adalah mesin *superfine pulverizer* yang digunakan oleh PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.



Gambar 4.2 Mesin *Superfine Pulverizer*
 Sumber: PT. Dewata Sari Prima

Proses produksi pada PT. Dewata Sari Prima ini terdiri atas beberapa proses, berikut ini penjelasan proses produksi *mill* pada PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.

1. Proses penghancuran

Proses penghancuran dilakukan oleh komponen mesin *crusher* sebagai komponen awal mesin *superfine pulverizer*. Bongkahan batu kapur dimasukkan ke dalam rahang *crusher* hingga rahang terisi penuh, kemudian mesin *crusher* akan menghancurkan bongkahan batu kapur menjadi ukuran yang lebih kecil.

2. Setelah itu potongan batu kapur akan dipindahkan oleh alat pemindah secara vertikal yaitu *bucket elevator* untuk masuk kedalam *bin hopper*. *Bin hopper* merupakan alat penyimpanan butiran batu kapur sejenak.

3. Setelah *bin hopper* terisi penuh maka butiran batu kapur akan digetarkan agar mengalami perpindahan dengan bantuan gravitasi oleh *feeder* untuk menuju ke proses selanjutnya.

4. Selanjutnya proses penyaringan hingga menjadi butiran halus dilakukan oleh komponen mesin *shifter* untuk mendapatkan tingkat kehalusan *calcium carbonate powder* yang diinginkan.

5. Setelah disaring hingga menjadi halus maka *calcium carbonate powder* dimasukkan kedalam *cyclone*. *Cyclone* ini merupakan *dust separator* yang bekerja dengan cara bergerak secara *cyclonic* (pusaran) dari aliran udara yang nantinya akan menyebabkan gaya sentrifugal pada *powder*, yang selanjutnya *powder* akan terkumpul pada dinding *cyclone* dan jatuh melalui lubang bawah, sedangkan udara keluar dari cerobong.

6. Setelah melalui *cyclone*, maka *powder* yang jatuh pada lubang bawah akan melalui tahap akhir yaitu tahap pengemasan.

4.2 Pengumpulan Data

Dalam tahap pengumpulan data akan dikumpulkan data pendukung yang menjadi *input* dalam melakukan pengolahan data. Data yang dikumpulkan terdiri atas dua macam data, yaitu data primer dan data sekunder.

4.2.1 Pengumpulan Data Primer

Data primer didapatkan dari PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta melalui proses wawancara dengan bagian *maintenance*. Data primer yang diambil adalah data proses produksi, data komponen mesin kritis, data identifikasi efek dan penyebab kegagalan dari mesin yang sedang diamati, ranking FMEA untuk setiap kegagalan yang diperoleh dengan cara menggunakan kuesioner yang dibagikan pada kepala divisi *maintenance* dan divisi produksi.

4.2.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari arsip yang berhubungan dengan proses pemeliharaan mesin pada perusahaan yang berupa data historis selama periode tertentu. Data yang dikumpulkan meliputi data frekuensi dan *downtime* mesin, data *Time To Failure* (TTF) serta data *Time To Repair* (TTR). Berikut ini data sekunder berupa *downtime* mesin *crusher* selama Januari - Desember 2014 yang diperoleh dari PT. Dewata Sari Prima.

Tabel 4.2 Data *Downtime Crusher* Periode Januari-Desember 2014

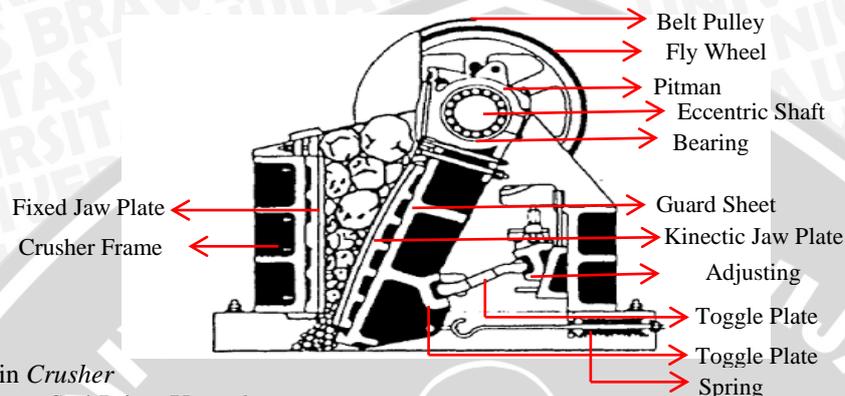
CRUSHER A			CRUSHER B			CRUSHER C		
No	Komponen	Downtime (jam)	No	Komponen	Downtime (jam)	No	Komponen	Downtime (jam)
1	Bearing	176	1	Bearing	92	1	Bearing	89
2	Belt Pulley	39	2	Belt Pulley	38	2	Belt Pulley	34
3	Kinetic Jaw Plate	90	3	Kinetic Jaw Plate	62	3	Kinetic Jaw Plate	56
4	Fixed Jaw Plate	89	4	Fixed Jaw Plate	61	4	Fixed Jaw Plate	52
5	Toggle Plate	119	5	Toggle Plate	87	5	Toggle Plate	85
6	Spring	19	6	Spring	18	6	Spring	16
7	Motor Listrik	123	7	Motor Listrik	90	7	Motor Listrik	86
8	Eccentric Shaft	35	8	Eccentric Shaft	29	8	Eccentric Shaft	26
Total		690	Total		477	Total		444

Sumber: PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa *Crusher A* dan *B* merupakan mesin *Crusher* dari *Superfine Pulverizer* dengan *type* CXLM4R, sementara mesin *Crusher C* merupakan mesin *Crusher* dari *Superfine Pulverizer* dengan *type* AMX4R.

4.2.3 Deskripsi Objek Amatan

Yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah mesin *crusher*. *Crusher* adalah mesin yang berfungsi untuk menghancurkan bongkahan batu kapur menjadi butiran yang nantinya akan diproses lebih lanjut oleh komponen lain agar memiliki tingkat kehalusan yang sesuai. Tingkat kehalusan yang diperlukan untuk output nantinya adalah 275 *mesh*. Berikut ini adalah mesin *crusher* yang terdapat pada PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.



Gambar 4.3 Mesin *Crusher*

Sumber: PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta

Crusher yang digunakan oleh PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta untuk menghancurkan batuan kapur adalah jenis *jaw crusher* sistem *blake*. *Jaw crusher* ini merupakan salah satu jenis mesin *crusher* dari mesin *superfine pulverizer* dengan *type CXLM4R*. Berikut ini penjelasan bagian-bagian dari mesin *crusher*.

1. *Fixed Jaw Plate*

Adalah bagian yang tidak bergerak, berfungsi untuk menahan pada saat bagian yang lain bergerak untuk menekan batuan.

2. *Kinetic Jaw Plate*

Adalah bagian yang bergerak dan berfungsi untuk memberikan tekanan pada batuan.

3. *Guard Sheet*

Adalah dinding yang bergerak dan bersifat kasar yang digunakan untuk menghancurkan batuan.

4. *Pitman*

Adalah bagian yang berfungsi untuk merubah gerakan berputar dari maju mundur menjadi gerakan naik turun.

5. *Toggle Plate*

Adalah bagian yang berbentuk seperti baut yang pecah, digunakan untuk menggerakkan alat penghancur.

6. *Toggle Seat*

Adalah bagian yang digunakan untuk mengatur naik turunnya dinding penghancur.

7. *Adjusting Wedge*

Adalah bagian penyesuai gerakan pada saat alat bekerja.

8. *Spring*

Adalah bagian yang digunakan untuk menggerakkan *Toggle Plate*.

9. *Fly Wheel*

Adalah bagian roda yang berputar pada saat alat bekerja.

10. *Crusher Frame*

Adalah bagian pelindung luar atau penutup.

11. *Eccentric Shaft*

Adalah bagian poros yang bergetar menyebabkan alat bergerak.

12. *Bearing*

Adalah bagian yang berfungsi sebagai bantalan bagi *eccentric shaft*.

13. *Belt Pulley*

Adalah bagian sabuk yang menggerakkan bagian roda dan dihubungkan ke motor penggerak.

Prinsip kerja dari mesin *crusher* ini adalah batuan kapur masuk melalui rahang kemudian bahan galian tersebut akan ditekan oleh dinding-dinding *Fixed Jaw Plate* dan *Kinetic Jaw Plate*. Kemudian *Kinetic Jaw Plate* akan bergerak akibat dari *eccentric shaft* yang digerakkan oleh *fly wheel* yang sumber penggerakannya adalah motor listrik. Kemudian dinding-dinding tersebut bergerak maju mundur dengan diatur oleh *Toggle Plate*. Sehingga batuan kapur akan tertumbuk oleh dinding-dinding tersebut sehingga batuan kapur akan pecah dan berubah ukuran menjadi lebih kecil dari yang sebelumnya. Batu yang telah hancur akan keluar melalui *discharge opening*. *Discharge opening* ini dapat diatur dengan menyetel baut *adjustment*.

Dan yang menjadi fokus penelitian adalah mesin *crusher* yang memiliki *downtime* paling tinggi, yaitu *crusher A*. Berdasarkan data yang diambil dari perusahaan, mesin *crusher A* memiliki *downtime* tertinggi dibandingkan dengan 3 mesin *crusher* lainnya dengan total *downtime* 690 jam. Berikut ini frekuensi dan *downtime* mesin *crusher A* selama Januari – Desember 2014 yang diperoleh dari PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.

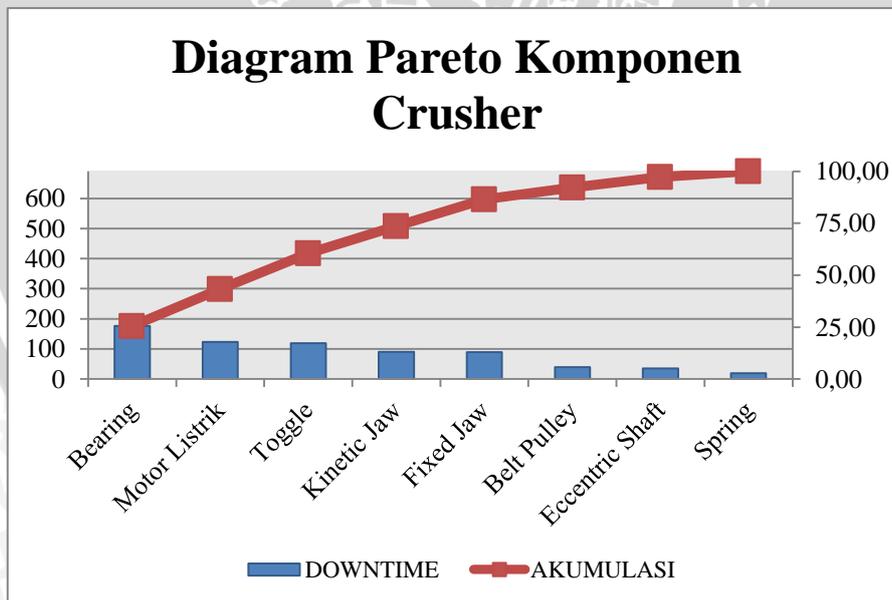
Tabel 4.3 Frekuensi dan *Downtime* Mesin *Crusher*

No	Komponen	Frekuensi	<i>Downtime</i> (jam)
1	<i>Bearing</i>	35	176
2	<i>Belt Pulley</i>	5	39
3	<i>Kinetic Jaw Plate</i>	15	90
4	<i>Fixed Jaw Plate</i>	15	89
5	<i>Toggle Plate</i>	18	119
6	Spring	3	19
7	Motor Listrik	20	123
8	<i>Eccentric Shaft</i>	5	35
Total		88	690

Sumber: PT. Dewata Sari Prima

Dari data frekuensi dan *downtime* mesin *Crusher* pada tabel 4.3, dapat ditentukan komponen kritis mesin *Crusher* dengan menggunakan diagram pareto. Gambar 4.4 menunjukkan diagram pareto dari frekuensi dan *downtime* mesin *Crusher*.

Berdasarkan gambar 4.4 sesuai dengan konsep diagram pareto (pembagian 80:20), dapat disimpulkan bahwa komponen *Bearing*, Motor Listrik, *Toggle Plate*, *Kinetic Jaw Plate* dan *Fixed Jaw Plate* memiliki 86,52% dari total *downtime* pada mesin *crusher*. Kelima komponen ini merupakan faktor yang paling berpengaruh dari 8 faktor yang dibandingkan, sehingga komponen tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai obyek amatan dalam penelitian ini.



Gambar 4.4 *Downtime* Komponen Mesin *Crusher* PT. Dewata Sari Prima

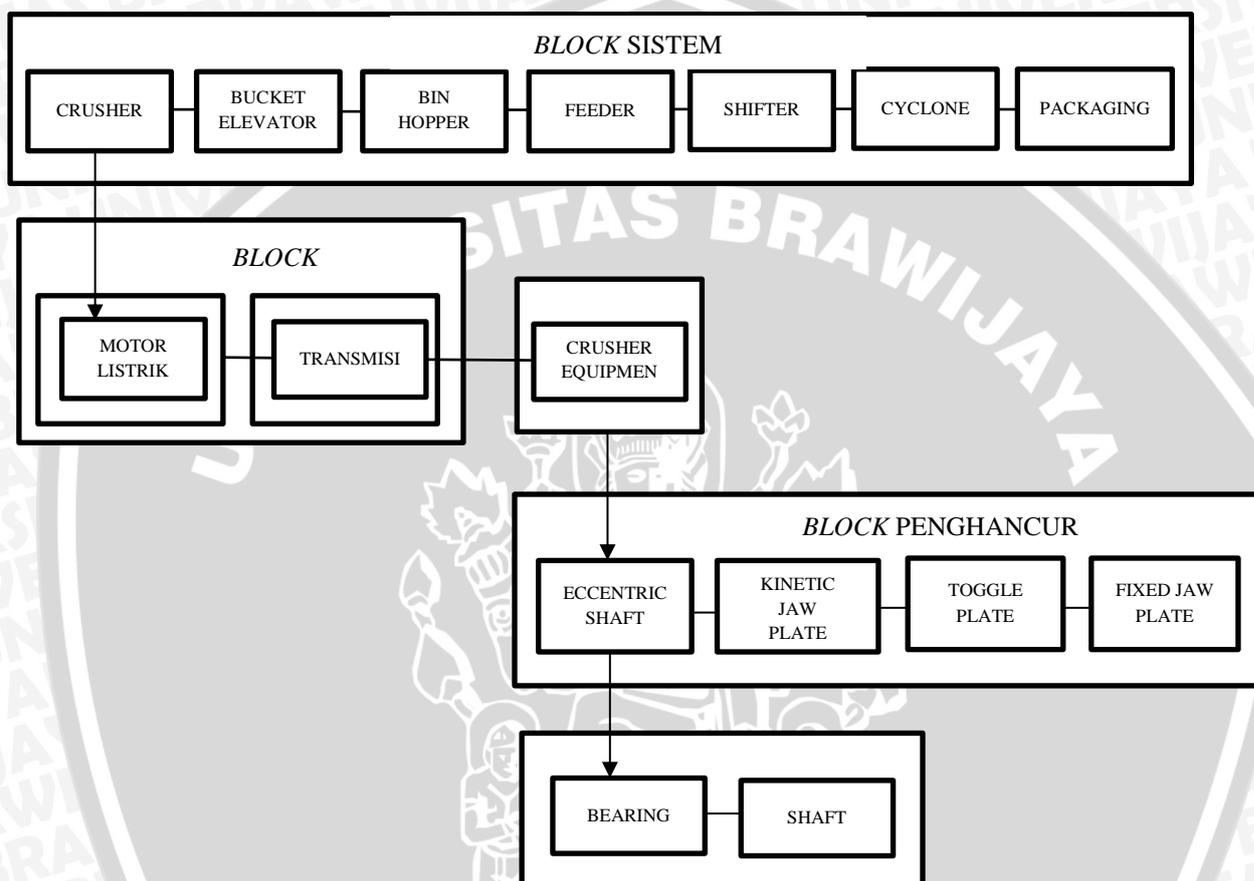
Sumber: Hasil Pengolahan Data *Downtime* Komponen *Crusher*

4.3 Pengolahan Data

Dalam tahap pengolahan data, akan ditentukan komponen kritis dari mesin *Crusher* dengan menggunakan diagram pareto. Setelah penentuan komponen kritis pada mesin *Crusher* maka akan dilakukan pengolahan data primer dan data sekunder.

4.3.1 Functional Block Diagram (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) dibuat untuk mendeskripsikan sistem kerja dari komponen mesin kritis. Gambar 4.5 merupakan ilustrasi dari *Functional Block Diagram* (FBD) Mesin *Crusher*. *Functional Block Diagram Crusher* dibagi menjadi beberapa *block*, yaitu *block* sistem, *block* penggerak, *block* penghancur serta *block* bearing dan shaft. Berikut ini merupakan gambar dan penjelasan dari masing-masing *block*.



Gambar 4.5 *Functional Block Diagram* Mesin *Crusher* PT. Dewata Sari Prima
Sumber: Hasil Pengolahan Data *Downtime* Komponen *Crusher*

Pada *block* pertama yaitu *block* sistem menggambarkan tentang mesin *superfine pulverizer*. Sistem pada mesin tersebut secara seri atau berurutan yang diawali proses dengan menggunakan mesin *crusher* sebagai penghancur, lalu melewati *bucket elevator*, kemudian tersimpan dalam *bin hopper* lalu digetarkan oleh *feeder* untuk menuju ke *shifter*, kemudian butiran tepung kapur yang telah tersaring akan tersimpan di *cyclone* dan berakhir pada *packaging*. Pada *block* 2 yaitu *block* penggerak terdapat motor listrik sebagai penggerak yang dihubungkan dengan transmisi guna menyuplai energi untuk menggerakkan komponen pada *crusher*. Pada *block* 3 menjelaskan mengenai *block* penghancur yang menggambarkan tentang kinerja komponen mesin *crusher*. Pada langkah

sebelumnya *block* penggerak berupa motor listrik yang dihubungkan dengan transmisi akan menggerakkan komponen *crusher* yaitu *eccentric shaft*. Kemudian poros akan menggerakkan *Kinetic Jaw Plate* untuk menghancurkan batu kapur. Kemudian *Toggle Plate* mengalami pergerakan secara maju mundur untuk membantu menggerakkan alat penghancur. Setelah *Kinetic Jaw Plate* bergerak maka batuan kapur akan hancur dengan bantuan tekanan dari *Fixed Jaw Plate*. Setelah itu batuan bergerak ke tahap selanjutnya. Dan pada *block* terakhir terdapat *bearing* yang berfungsi sebagai bantalan bagi *eccentric shaft*.

4.3.2 Identifikasi System Function dan Functional Failure

Identifikasi *system function* dan *functional failure* dilakukan agar mengetahui fungsi dan jenis kegagalan yang dialami oleh komponen mesin yang diteliti guna dalam penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Berikut ini merupakan *system function* dan *functional failure* dari komponen kritis mesin *Crusher*.

Tabel 4.4 *System Function* dan *Functional Failure* Komponen Kritis Mesin *Crusher*

No	Komponen	Function	Function Failure
1	<i>Bearing</i>	Berfungsi sebagai bantalan bagi <i>eccentric shaft</i> , <i>eccentric shaft</i> adalah bagian yang bergetar menyebabkan benda bergerak.	<i>Overheating</i>
2	Motor Listrik	Berfungsi untuk menggerakkan <i>flywheel</i>	<i>Overloading</i>
3	<i>Toggle Plate</i>	Bagian yang menggerakkan alat penghancur.	<i>Toggle Plate</i> patah
4	<i>Kinetic Jaw Plate</i>	Bagian yang bergerak untuk memberikan tekanan pada batuan	- Aus - Perpindahan panas secara konduksi
5	<i>Fixed Jaw Plate</i>	Bagian yang tidak bergerak, yang berfungsi untuk menahan pada saat <i>Kinetic Jaw Plate</i> memberikan tekanan	- Aus - Perpindahan panas secara konduksi

4.3.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Setelah melakukan identifikasi *system function* dan *functional failure* dari komponen mesin *Crusher*, maka akan dilakukan penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menganalisis terjadinya suatu kegagalan tertinggi pada tiap komponen kritis mesin *Crusher*. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) didasarkan pada 3 kategori penilaian yaitu nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Ketiga kategori penilaian didapatkan melalui kuisisioner yang diberikan kepada bagian *maintenance* dan bagian produksi. Kuisisioner diberikan hanya kepada 2 responden dikarenakan agar merepresentasikan keadaan mesin yang sesuai dengan keadaan di perusahaan. Hal ini

dilakukan agar dapat menentukan strategi perawatan yang tepat dan dapat menyelesaikan permasalahan PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta.

Berikut ini merupakan tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk komponen mesin *Crusher*.

Tabel 4.5 *Failure Mode and Effect Analysis* Komponen Kritis Mesin *Crusher*

No	<i>Functional Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>Overheating</i> pada <i>bearing</i>	Pelumasan ulang yang jarang dilakukan	Menyebabkan kotoran menumpuk pada rongga <i>bearing</i> dan menjadi aus
2	<i>Overloading</i> pada motor listrik	Ukuran motor tidak sesuai dengan spesifikasi	Kegiatan produksi terhambat dan hasil tidak maksimal
3	<i>Toggle Plate</i> mengalami patah	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> tidak dapat bergerak secara maju mundur
4	<i>Kinetic Jaw Plate</i> Aus	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> bekerja tidak maksimal
5	<i>Fixed Jaw Plate</i> mengalami perpindahan panas secara konduksi	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Fixed Jaw Plate</i> yang terlalu panas akan menghantarkan panas dari <i>flywheel</i> hingga ke <i>bearing</i> .

4.3.3.1 Perhitungan Nilai *Severity*

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisa resiko yaitu menghitung seberapa besar dampak / intensitas kejadian mempengaruhi *output* proses. Nilai *severity* diperoleh melalui hasil diskusi dengan bagian *maintenance* PT. Dewata Sari Prima. Penjelasan kriteria faktor *severity* pada PT. Dewata Sari Prima telah dijelaskan pada tabel 2.5. Berikut ini merupakan nilai *severity* pada mesin *Crusher* yang terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.6 Nilai *Severity* Mesin *Crusher*

No	<i>Functional Failure (Loss of Function)</i>	<i>Failure Mode (Cause of Failure)</i>	<i>Failure Effect (What Happen When it Failure)</i>	Estimasi Waktu Perbaikan	<i>Severity</i>
1	<i>Overheating</i> pada <i>bearing</i>	Pelumasan ulang yang jarang dilakukan	Menyebabkan putaran menjadi kasar dan <i>bearing</i> menjadi aus	Lama perbaikan ± 319 Menit	4
2	<i>Overloading</i> pada motor listrik	Ukuran motor tidak sesuai dengan spesifikasi	Kegiatan produksi terhambat dan hasil tidak maksimal	Lama perbaikan ± 328 Menit	4
3	<i>Toggle Plate</i> mengalami patah	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> tidak dapat bergerak secara maju mundur	Lama perbaikan ± 431 Menit	4
4	<i>Kinetic Jaw Plate</i> Aus	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> bekerja tidak maksimal	Lama perbaikan ± 321 Menit	4
5	<i>Fixed Jaw Plate</i> mengalami perpindahan panas secara konduksi	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Fixed Jaw Plate</i> yang terlalu panas akan menghantarkan panas dari <i>flywheel</i> hingga ke <i>bearing</i> .	Lama perbaikan ± 365 Menit	4

Dari tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa untuk jenis kerusakan komponen *crusher* memiliki nilai *severity* yang sama besar yaitu 4. *Rank* 4 berarti bahwa efek yang

ditimbulkan oleh kegagalan pada mesin sangat rendah sehingga kegagalan mempengaruhi kinerja sistem dan waktu kegagalan dengan interval antara 310 – 370 menit

4.3.3.2 Perhitungan Nilai *Occurence*

Nilai *occurence* merupakan rating yang mengacu pada berapa banyak frekuensi *potential failure* yang terjadi. Nilai *occurence* diperoleh melalui hasil diskusi dengan bagian maintenance PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta. Berikut ini adalah nilai *occurence* pada komponen mesin *crusher* yang dapat dilihat pada tabel 4.7.

Dari tabel 4.7 dapat disimpulkan bahwa untuk jenis kerusakan komponen *bearing*, motor listrik dan *Toggle Plate* memiliki nilai *occurence* yang sama besar dan paling tinggi yaitu 4. *Rank* 4 memiliki arti probabilitas kegagalan yang dialami oleh mesin pada taraf sedikit dengan probabilitas terjadinya kegagalan per tahunnya adalah 10-49 kali per tahun.

Tabel 4.7 Nilai *Occurence* Mesin *Crusher*

No	<i>Funcional Failure (Loss of Function)</i>	<i>Failure Mode (Cause of Failure)</i>	<i>Failure Effect (What Happen When it Failure)</i>	Frekuensi Waktu Perbaikan	<i>Occurence</i>
1	<i>Overheating</i> pada <i>bearing</i>	Pelumasan ulang yang jarang dilakukan	Menyebabkan putaran menjadi kasar dan <i>bearing</i> menjadi aus	35 kali / tahun	4
2	<i>Overloading</i> pada motor listrik	Ukuran motor tidak sesuai dengan spesifikasi	Kegiatan produksi terhambat dan hasil tidak maksimal	17 kali / tahun	4
3	<i>Toggle Plate</i> mengalami patah	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> tidak dapat bergerak secara maju mundur	10 kali / tahun	4
4	<i>Kinetic Jaw Plate</i> Aus	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> bekerja tidak maksimal	9 kali / tahun	3
5	<i>Fixed Jaw Plate</i> mengalami perpindahan panas secara konduksi	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Fixed Jaw Plate</i> yang terlalu panas akan menghantarkan panas dari <i>flywheel</i> hingga ke <i>bearing</i> .	6 kali / tahun	3

4.3.3.3 Perhitungan Nilai *Detection*

Nilai *detection* adalah mengacu pada kemungkinan metode deteksi yang sekarang dapat mendeteksi *potential failure mode* sebelum produk tersebut dirilis untuk di produksi, didesain hingga untuk proses. Nilai *detection* diperoleh melalui hasil diskusi dengan bagian maintenance PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta. Berikut ini merupakan nilai *detection* pada komponen mesin *crusher* dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai *Detection* Mesin *Crusher*

No	<i>Funcional Failure (Loss of Function)</i>	<i>Failure Mode (Cause of Failure)</i>	<i>Failure Effect (What Happen When it Failure)</i>	<i>Detection</i>	<i>Rank</i>
1	<i>Overheating</i> pada <i>bearing</i>	Pelumasan ulang yang jarang dilakukan	Menyebabkan putaran menjadi kasar dan <i>bearing</i> menjadi aus	Bagian <i>maintenance</i> cukup sulit mengetahui terjadinya kegagalan	8
2	<i>Overloading</i> pada motor listrik	Ukuran motor tidak sesuai dengan spesifikasi	Kegiatan produksi terhambat dan hasil tidak maksimal	Bagian <i>maintenance</i> cukup mudah mendeteksi terjadinya kegagalan	5
3	<i>Toggle Plate</i> mengalami patah	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> tidak dapat bergerak secara maju mundur	Bagian <i>maintenance</i> memiliki peluang yang rendah untuk melakukan pengecekan terhadap kekerasan batu	7
4	<i>Kinetic Jaw Plate</i> Aus	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> bekerja tidak maksimal	Bagian <i>maintenance</i> cukup sulit untuk mengetahui keadaan batu yang akan digunakan, sehingga kegagalan terhadap mesin dapat sering terjadi	7
5	<i>Fixed Jaw Plate</i> mengalami perpindahan panas secara konduksi	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Fixed Jaw Plate</i> yang terlalu panas akan menghantarkan panas dari <i>flywheel</i> hingga ke <i>bearing</i> .		7

Dari tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa untuk jenis kerusakan *bearing* memiliki nilai *detection* yang tertinggi, dengan nilai *detection* sebesar 8. *Rank* 8 memiliki arti bahwa deteksi hanya memiliki sedikit kemungkinan dan kemungkinan deteksi oleh kontrol hanya kecil untuk melakukan pengecekan terhadap kegagalan. Hal ini dikarenakan jenis kerusakan yang dialami oleh *bearing* atas dasar kesalahan dari sumber daya manusia sendiri yang jarang melakukan pengecekan untuk melakukan pelumasan ulang agar meminimalisir kegagalan.

4.3.3.4 Perhitungan Nilai RPN

Setelah mendapatkan nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* dari jenis kerusakan yang terjadi pada komponen kritis mesin *crusher* maka kemudian akan dilakukan perhitungan mengenai nilai *Risk Priority Number* (RPN). Perhitungan RPN ini diperoleh dengan cara mengkalikan *rating severity*, *occurrence* dan *detection*. Perhitungan RPN digunakan untuk melakukan analisis *ranking* kelemahan proses untuk mempertimbangkan tindakan yang mungkin untuk mengurangi kekritisan dan membuat proses lebih baik. Perhitungan nilai RPN untuk komponen mesin *crusher* dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai RPN Mesin *Crusher*

No	Functional Failure	Failure Mode	Failure Effect	S	O	D	RPN
1	<i>Overheating</i> pada <i>bearing</i>	Pelumasan ulang yang jarang dilakukan	Menyebabkan putaran menjadi kasar dan <i>bearing</i> menjadi aus	4	4	8	128
2	<i>Overloading</i> pada motor listrik	Ukuran motor tidak sesuai dengan spesifikasi	Kegiatan produksi terhambat dan hasil tidak maksimal	4	4	5	80
3	<i>Toggle Plate</i> mengalami patah	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> tidak dapat bergerak secara maju mundur	4	4	7	112
4	<i>Kinetic Jaw Plate</i> Aus	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> bekerja tidak maksimal	4	3	7	84
5	<i>Fixed Jaw Plate</i> mengalami perpindahan panas secara konduksi	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Fixed Jaw Plate</i> yang terlalu panas akan menghantarkan panas dari <i>flywheel</i> hingga ke <i>bearing</i> .	4	3	7	84

Berdasarkan tabel 4.9 maka dapat disimpulkan bahwa nilai RPN yang tertinggi adalah untuk jenis kerusakan pada komponen *bearing* yang memiliki nilai RPN sebesar 128. Hal ini dapat menjadi patokan bahwa komponen *bearing* yang paling membutuhkan prioritas untuk dilakukannya perbaikan dibanding dengan komponen lain.

4.3.4 Reliability Centered Maintenance (RCM) II Information Worksheet

Pada tabel 4.10 akan dijelaskan mengenai penyusunan RCM II *Information Worksheet*. Pada tabel tersebut menghasilkan nilai RPN tertinggi jatuh pada komponen *bearing*. Hal ini berarti menjadi patokan bahwa komponen *bearing* sebagai komponen yang memiliki prioritas utama untuk dilakukan penggantian komponen.

Tabel 4.10 RCM II *Information Worksheet*

RCM II <i>Information Worksheet</i>		Sistem: Mesin <i>Crusher</i>							
		Sus Sistem: Mesin <i>Crusher</i>							
		Fungsi Sub Sistem: Menghancurkan Batuan Kapur							
No	<i>Equipment</i>	<i>Function</i> (F)	<i>Functional Failure</i> (FF)	<i>Failure Mode</i> (FM)	<i>Failure Effect</i>	S	O	D	RPN
1	<i>Bearing</i>	Sebagai bantalan bagi <i>eccentric shaft</i> , <i>eccentric shaft</i> adalah bagian yang bergetar menyebabkan benda bergerak	<i>Overheating</i> pada bearing	Pelumasan ulang yang jarang dilakukan	Menyebabkan putaran menjadi kasar dan <i>bearing</i> menjadi aus	4	4	8	128
2	Motor Listrik	Berfungsi untuk menggerakkan <i>flywheel</i>	<i>Overloading</i> pada motor listrik	Ukuran motor tidak sesuai spesifikasi	Kegiatan produksi terhambat dan hasil tidak maksimal	4	4	5	80
3	<i>Toggle Plate</i>	Bagian yang menggerakkan alat penghancur	<i>Toggle Plate</i> mengalami patah	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> tidak dapat bergerak secara maju mundur	4	4	7	112
4	<i>Kinetic Jaw Plate</i>	Bagian yang bergerak untuk memberikan tekanan pada batuan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> aus	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Kinetic Jaw Plate</i> berkerja tidak maksimal	4	3	7	84
5	<i>Fixed Jaw Plate</i>	Bagian yang tidak bergerak, yang tidak berfungsi untuk menahan pada saat <i>Kinetic Jaw Plate</i> memberikan tekanan	<i>Fixed Jaw Plate</i> mengalami perpindahan panas secara konduksi	Terdapat batuan yang keras dan susah dihancurkan	<i>Fixed Jaw Plate</i> yang terlalu panas akan menghantarkan panas dari <i>flywheel</i> hingga ke <i>bearing</i>	4	3	7	84

4.3.5 Perhitungan *Index of Fit* (r) dan Pendugaan Parameter Distribusi Data Waktu

Time to Failure (TTF) Bearing

Perhitungan *Index of fit* (r) dilakukan untuk mengetahui jenis distribusi yang digunakan pada data *time to failure*. Berikut ini merupakan contoh perhitungan yang digunakan untuk mencari *index of fit* (r) pada komponen *bearing*, ada 3 distribusi yang digunakan dalam mencari nilai *index of fit* (r) yaitu distribusi weibull, lognormal dan eksponensial.

a. *Index of Fit* (r) pada komponen *bearing* dengan distribusi weibull.

Berdasarkan persamaan 2.14, diperoleh nilai $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{34+0,4} = 0,020$

Berdasarkan persamaan 2.19, diperoleh nilai $x_i = \ln(t_i) = \ln(84,25) = 4,434$

Berdasarkan persamaan 2.20, diperoleh nilai

$$y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-0,020} \right) \right] = -3,913$$

Pada tabel 4.11 dan 4.12 akan menjelaskan hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* (r) yang berdistribusi weibull.

Tabel 4.11 Perhitungan *Index of Fit* berdasarkan Distribusi Weibull Data 1-20 Komponen TTF Bearing

i	t_i (jam)	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	84,25	4,434	0,020	-3,884	-17,22	19,658	15,089
2	112,17	4,720	0,049	-2,982	-14,08	22,279	8,893
3	129,25	4,862	0,078	-2,504	-12,17	23,637	6,271
4	134,50	4,902	0,108	-2,173	-10,65	24,025	4,724
5	135,50	4,909	0,137	-1,918	-9,42	24,098	3,678
6	139,50	4,938	0,166	-1,708	-8,44	24,384	2,919
7	158,08	5,063	0,195	-1,530	-7,74	25,635	2,340
8	176,08	5,171	0,224	-1,373	-7,10	26,739	1,885
9	188,17	5,237	0,253	-1,232	-6,45	27,430	1,519
10	207,42	5,335	0,282	-1,105	-5,89	28,460	1,221
11	208,25	5,339	0,311	-0,987	-5,27	28,502	0,975
12	212,17	5,357	0,340	-0,878	-4,70	28,702	0,771
13	224,25	5,413	0,369	-0,775	-4,19	29,298	0,600
14	226,50	5,423	0,398	-0,677	-3,67	29,406	0,459
15	230,08	5,438	0,427	-0,584	-3,18	29,576	0,342
16	230,58	5,441	0,456	-0,495	-2,69	29,600	0,245
17	239,08	5,477	0,485	-0,409	-2,24	29,995	0,167
18	243,08	5,493	0,515	-0,325	-1,78	30,177	0,106
19	247,75	5,512	0,544	-0,243	-1,34	30,387	0,059
20	255,17	5,542	0,573	-0,162	-0,90	30,713	0,026

Tabel 4.12 Perhitungan *Index of Fit* berdasarkan Distribusi Weibull Data 21-34 Komponen TTF Bearing

I	t_i (jam)	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
21	257,50	5,551	0,602	-0,083	-0,46	30,814	0,007
22	259,25	5,558	0,631	-0,004	-0,02	30,889	0,000
23	264,33	5,577	0,660	0,076	0,42	31,105	0,006
24	271,08	5,602	0,689	0,155	0,87	31,387	0,024
25	272,58	5,608	0,718	0,236	1,32	31,449	0,056
26	291,33	5,674	0,747	0,318	1,81	32,199	0,101
27	293,00	5,680	0,776	0,403	2,29	32,264	0,163
28	294,42	5,685	0,805	0,492	2,80	32,319	0,242
29	297,42	5,695	0,834	0,586	3,34	32,435	0,344
30	317,17	5,759	0,863	0,688	3,96	33,171	0,474
31	322,67	5,777	0,892	0,802	4,63	33,369	0,643
32	345,67	5,845	0,922	0,934	5,46	34,170	0,872
33	355,58	5,874	0,951	1,101	6,47	34,501	1,212
34	391,42	5,970	0,980	1,360	8,12	35,638	1,849
Total	8015,25	183,862	17,000	-18,880	-88,13	998,413	58,280
Rata-Rata	235,742						

$$\begin{aligned}
 r_{\text{weibull}} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
 &= \frac{(34 \times -88,13) - (183,862)(-18,880)}{\sqrt{[34 \times 998,413 - (183,862)^2][34 \times 58,280 - (-18,880)^2]}} \\
 &= \frac{-2996,56 + 3471,373}{\sqrt{[33946,026 - (33805,126)][1981,53 - 356,468]}} \\
 &= \frac{474,817}{\sqrt{[140,899][1625,059]}} \\
 &= \frac{474,817}{\sqrt{[228970]}} \\
 &= \frac{474,817}{478,508} = 0,991
 \end{aligned}$$

b. *Index of Fit* (r) pada komponen *bearing* dengan distribusi eksponensial.

Berdasarkan persamaan 2.14, diperoleh nilai $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{34+0,4} = 0,020$

Berdasarkan persamaan 2.22, diperoleh nilai $x_i = t_i$

Berdasarkan persamaan 2.23, diperoleh nilai

$$y_i = \left[\ln\left(\frac{1}{1-F(t_i)}\right) \right] = \left[\ln\left(\frac{1}{1-0,020}\right) \right] = 0,020$$

Pada tabel 4.13 menjelaskan hasil perhitungan *index of fit* (r) distribusi eksponensial.

Tabel 4.13 Perhitungan *Index of Fit* berdasarkan Distribusi Eksponensial pada Data Komponen TTF Bearing

I	t_i (jam)	$x_i = t_i$	$F(t_i)$	y_i	$x_i y_i$	x_i^2	y_i^2
1	84,25	84,25	0,020	0,021	1,732	7098,063	0,0004
2	112,17	112,17	0,049	0,051	5,685	12582,11	0,0026
3	129,25	129,25	0,078	0,082	10,565	16705,56	0,0067
4	134,50	134,50	0,108	0,114	15,305	18090,25	0,0129
5	135,50	135,50	0,137	0,147	19,906	18360,25	0,0216
6	139,50	139,50	0,166	0,181	25,272	19460,25	0,0328
7	158,08	158,08	0,195	0,217	34,244	24989,29	0,0469
8	176,08	176,08	0,224	0,253	44,617	31004,17	0,0642
9	188,17	188,17	0,253	0,292	54,864	35407,95	0,0850
10	207,42	207,42	0,282	0,331	68,709	43023,06	0,1097
11	208,25	208,25	0,311	0,373	77,590	43368,06	0,1388
12	212,17	212,17	0,340	0,416	88,197	45016,11	0,1728
13	224,25	224,25	0,369	0,461	103,322	50288,06	0,2123
14	226,50	226,50	0,398	0,508	115,045	51302,25	0,2580
15	230,08	230,08	0,427	0,557	128,255	52936,81	0,3107
16	230,58	230,58	0,456	0,610	140,546	53167,14	0,3715
17	239,08	239,08	0,485	0,664	158,867	57159,25	0,4415
18	243,08	243,08	0,515	0,723	175,661	59087,89	0,5222
19	247,75	247,75	0,544	0,784	194,334	61380,06	0,6153
20	255,17	255,17	0,573	0,850	216,948	65111,73	0,7229
21	257,50	257,50	0,602	0,921	237,070	66306,25	0,8476
22	259,25	259,25	0,631	0,996	258,331	67210,56	0,9929
23	264,33	264,33	0,660	1,078	285,071	69870,35	1,1631
24	271,08	271,08	0,689	1,168	316,571	73484,37	1,3638
25	272,58	272,58	0,718	1,266	345,067	74299,86	1,6026
26	291,33	291,33	0,747	1,375	400,501	84873,17	1,8899
27	293,00	293,00	0,776	1,497	438,573	85849	2,2405
28	294,42	294,42	0,805	1,636	481,656	86683,14	2,6763
29	297,42	297,42	0,834	1,798	534,639	88458,66	3,2313
30	317,17	317,17	0,863	1,990	631,325	100596,8	3,9621
31	322,67	322,67	0,892	2,230	719,465	104115,9	4,9717
32	345,67	345,67	0,922	2,545	879,663	119487,7	6,4760
33	355,58	355,58	0,951	3,007	1069,381	126437,1	9,0446
34	391,42	391,42	0,980	3,895	1524,476	153209,6	15,1689
Total	8015,25	8015,25	17,000	33,035	9801,454	2066421	59,7803
Rata-Rata	235,74						

$$\begin{aligned}
 r_{\text{eksponensial}} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \\
 &= \frac{34 \times 9801,454 - (8015,25)(33,035)}{\sqrt{[34 \times 2066421 - (8015,25)^2][34 \times 59,7803 - (33,035)^2]}} \\
 &= \frac{333249,4 - 264783,408}{\sqrt{[70258309,862 - 6424423,56][2032,532 - 1091,308]}} \\
 &= \frac{68466,03}{\sqrt{[6014077,300][941,224]}} \\
 &= \frac{68466,03}{75236,904} = 0,910
 \end{aligned}$$

c. *Index of Fit* (r) pada komponen *bearing* dengan distribusi lognormal.

Berdasarkan persamaan 2.14, diperoleh nilai $F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = \frac{1-0,3}{34+0,4} = 0,020$

Berdasarkan persamaan 2.25, diperoleh nilai $x_i = \ln(t_i) = \ln(84,25) = 4,434$

Berdasarkan persamaan 2.26, diperoleh nilai

$$y_i = z_i = 0,50400$$

Pada tabel 4.14 dan 4.15 menjelaskan hasil dari perhitungan untuk mencari *index of fit* (r) yang berdistribusi lognormal.

Tabel 4.14 Perhitungan *Index of Fit* berdasarkan Distribusi Lognormal Data 1-18 Komponen TTF *Bearing*

i	t_i (jam)	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	Z_i	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
1	84,25	4,434	0,020	0,508	2,252	19,658	0,258
2	112,17	4,720	0,049	0,5199	2,454	22,279	0,270
3	129,25	4,862	0,078	0,5319	2,586	23,637	0,283
4	134,50	4,902	0,108	0,5438	2,665	24,025	0,296
5	135,50	4,909	0,137	0,5517	2,708	24,098	0,304
6	139,50	4,938	0,166	0,5675	2,802	24,384	0,322
7	158,08	5,063	0,195	0,5753	2,913	25,635	0,331
8	176,08	5,171	0,224	0,5871	3,036	26,739	0,345
9	188,17	5,237	0,253	0,5987	3,136	27,430	0,358
10	207,42	5,335	0,282	0,6103	3,256	28,460	0,372
11	208,25	5,339	0,311	0,6217	3,319	28,502	0,387
12	212,17	5,357	0,340	0,6331	3,392	28,702	0,401
13	224,25	5,413	0,369	0,6406	3,467	29,298	0,410
14	226,50	5,423	0,398	0,6517	3,534	29,406	0,425
15	230,08	5,438	0,427	0,6628	3,605	29,576	0,439
16	230,58	5,441	0,456	0,6772	3,684	29,600	0,459
17	239,08	5,477	0,485	0,6844	3,748	29,995	0,468
18	243,08	5,493	0,515	0,695	3,818	30,177	0,483

Tabel 4.15 Perhitungan *Index of Fit* berdasarkan Distribusi Lognormal Data 19-34 Komponen TTF *Bearing*

I	t_i (jam)	$x_i = \ln(t_i)$	$F(t_i)$	Z_i	$x_i z_i$	x_i^2	z_i^2
19	247,75	5,512	0,544	0,7054	3,888	30,387	0,498
20	255,17	5,542	0,573	0,7157	3,966	30,713	0,512
21	257,50	5,551	0,602	0,7257	4,028	30,814	0,527
22	259,25	5,558	0,631	0,7357	4,089	30,889	0,541
23	264,33	5,577	0,660	0,7454	4,157	31,105	0,556
24	271,08	5,602	0,689	0,7517	4,211	31,387	0,565
25	272,58	5,608	0,718	0,7642	4,286	31,449	0,584
26	291,33	5,674	0,747	0,7734	4,389	32,199	0,598
27	293,00	5,680	0,776	0,7823	4,444	32,264	0,612
28	294,42	5,685	0,805	0,7881	4,480	32,319	0,621
29	297,42	5,695	0,834	0,7967	4,537	32,435	0,635
30	317,17	5,759	0,863	0,8051	4,637	33,171	0,648
31	322,67	5,777	0,892	0,8133	4,698	33,369	0,661
32	345,67	5,845	0,922	0,8212	4,800	34,170	0,674
33	355,58	5,874	0,951	0,8289	4,869	34,501	0,687
34	391,42	5,970	0,980	0,8365	4,994	35,638	0,700
Total	8015,25	183,862	17,000	23,25	126,850	998,413	16,231
Rata-Rata	235,742						

$$\begin{aligned}
 r_{\text{Lognormal}} &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n z_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2]}} \\
 &= \frac{34 \times 126,850 - (183,862)(23,25)}{\sqrt{[34 \times 998,413 - (183,862)^2][34 \times 16,231 - (23,25)^2]}} \\
 &= \frac{4312,895 - 4274,785}{\sqrt{[33946,026 - 33805,126][551,851 - 540,563]}} \\
 &= \frac{38,110}{\sqrt{[140,899][11,288]}} \\
 &= \frac{38,110}{39,881} = 0,955
 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah ringkasan nilai *index of fit* (r) dari 3 distribusi:

$$r_{\text{Weibull}} = 0,991 \text{ (Paling besar)}$$

$$r_{\text{Eksponensial}} = 0,910$$

$$r_{\text{Lognormal}} = 0,955$$

Berdasarkan hasil ringkasan nilai *index of fit* (r) diatas maka dapat disimpulkan bahwa nilai yang terbesar terdapat pada distribusi Weibull dengan nilai 0.991, maka parameter yang digunakan adalah β dan θ . Menurut persamaan (2-21), berikut ini merupakan perhitungan parameter pada distribui weibull.

$$\beta = b \quad \theta = e^{-\left(\frac{a}{b}\right)}$$

Menurut persamaan (2-17) dan (2-18):

$$a = \bar{y} - \bar{b}x$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \\ &= \frac{34 x (-88,13) - (183,862)(-18,880)}{34 x 998,413 - (183,862)^2} \\ &= \frac{(-2996,42) + (3471,314)}{33946,042 - 33805,235} \\ &= \frac{474,894}{140,807} = 3,373 \end{aligned}$$

$$a = \bar{y} - \bar{b}x$$

$$a = -18,880 - (3,373)(183,862)$$

$$a = -18,880 - 620,166$$

$$a = -639,046$$

$$\theta = e^{-\left(\frac{-639,046}{3,373}\right)}$$

$$\theta = 1,800 \times 10^{82}$$

Dengan nilai $\beta > 2$ ini menunjukkan bahwa laju kerusakan untuk komponen *bearing* terus meningkat.

4.3.5.1 Uji Kesesuaian (*Goodness of Fit*) Distribusi Data Waktu Time to Failure (TTF) Komponen Bearing

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui apakah data kegagalan membentuk suatu distribusi tertentu. Pengujian ini didasarkan pada nilai *index of fit* (r) yang terbesar. Kemudian data kegagalan dibandingkan antara hipotesis nol (H_0) yang menyatakan data kegagalan mengikuti distribusi pilihan serta hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan data tidak mengikuti distribusi pilihan. Berikut ini merupakan uji kesesuaian distribusi data waktu *time to failure* (TTF) pada komponen *bearing*.

Dikarenakan nilai *index of fit* (r) yang terbesar terdapat pada distribusi weibull maka pengujian dilakukan menggunakan uji *Mann*. Hipotesisnya sebagai berikut.

H_0 = data waktu TTF *Bearing* berdistribusi weibull

H_1 = data waktu TTF *Bearing* tidak berdistribusi weibull

Berikut ini merupakan tabel pengujian kesesuaian distribusi weibull data waktu TTF pada Komponen *Bearing*.

Tabel 4.16 Uji Kesesuaian Distribusi

I	t_i (jam)	$\ln(t_i)$	Z_i	M_i	$\ln t_{i+1} - \ln t_i$	$\ln t_{i+1} - \ln t_i / M_i$
1	84,25	4,434	-4,2195	1,1136	0,286	0,2570
2	112,17	4,720	-3,1059	0,5262	0,142	0,2694
3	129,25	4,862	-2,5797	0,3522	0,040	0,1130
4	134,50	4,902	-2,2275	0,2675	0,007	0,0277
5	135,50	4,909	-1,9600	0,2173	0,029	0,1339
6	139,50	4,938	-1,7427	0,1842	0,125	0,6789
7	158,08	5,063	-1,5585	0,1608	0,108	0,6708
8	176,08	5,171	-1,3978	0,1434	0,066	0,4632
9	188,17	5,237	-1,2544	0,1300	0,097	0,7491
10	207,42	5,335	-1,1244	0,1195	0,004	0,0334
11	208,25	5,339	-1,0048	0,1111	0,019	0,1679
12	212,17	5,357	-0,8937	0,1042	0,055	0,5312
13	224,25	5,413	-0,7895	0,0986	0,010	0,1012
14	226,50	5,423	-0,6909	0,0940	0,016	0,1668
15	230,08	5,438	-0,5969	0,0902	0,002	0,0241
16	230,58	5,441	-0,5067	0,0871	0,036	0,4158
17	239,08	5,477	-0,4196	0,0845	0,017	0,1963
18	243,08	5,493	-0,3351	0,0826	0,019	0,2305
19	247,75	5,512	-0,2525	0,0811	0,030	0,3640
20	255,17	5,542	-0,1714	0,0800	0,009	0,1136
21	257,50	5,551	-0,0914	0,0795	0,007	0,0852
22	259,25	5,558	-0,0119	0,0794	0,019	0,2443
23	264,33	5,577	0,0675	0,0799	0,025	0,3157
24	271,08	5,602	0,1474	0,0809	0,006	0,0682
25	272,58	5,608	0,2283	0,0826	0,067	0,8052
26	291,33	5,674	0,3109	0,0852	0,006	0,0671
27	293,00	5,680	0,3961	0,0889	0,005	0,0544
28	294,42	5,685	0,4850	0,0941	0,010	0,1077
29	297,42	5,695	0,5791	0,1017	0,064	0,6321
30	317,17	5,759	0,6808	0,1130	0,017	0,1521
31	322,67	5,777	0,7939	0,1312	0,069	0,5247
32	345,67	5,845	0,9251	0,1648	0,028	0,1715
33	355,58	5,874	1,0899	0,2507	0,096	0,3831
34	391,42	5,970	1,3406			9,3190
Σ	8015,25	183,862				

Selang kepercayaan 95%, maka nilai $\alpha = 0,05$.

Berdasarkan persamaan 2.31 diperoleh nilai $k_1 = 17$, $k_2 = 16$, $r = n = 34$

Berdasarkan persamaan 2.32 diperoleh nilai $z_i = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1-0,5}{34+0,25} \right) \right] = -4,2195$

Contoh perhitungan:

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i$$

$$M_1 = Z_2 - Z_1 = -3,1059 - (-4,2195) = 1,1136$$

$$k_1 = r/2 = 34/2 = 17$$

$$k_2 = r-1/2 = 33/2 = 16 \text{ (bilangan bulat terbesar yang lebih kecil dari } (r/2))$$

$$M_{0,05, 17, 16} = 2,32 \text{ (terdapat pada tabel distribusi F)}$$

Menurut persamaan (2-30):

$$M = \frac{k_1 \sum_{i=k_1+1}^{r-1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}{k_2 \sum_{i=1}^{k_1} \left[\frac{(\ln t_{i+1} - \ln t_i)}{M_i} \right]}$$

$$= \frac{17(0,6136)}{16(4,9996)} = \frac{10,431}{79,994} = 0,130$$

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa $M_{hitung} < M_{tabel} = 0,130 < 2,32$, sehingga H_0 diterima dan waktu TTF pada komponen *bearing* berdistribusi weibull.

4.3.6 Penentuan Distribusi, Nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan Nilai *Mean Time to Repair* (MTTR)

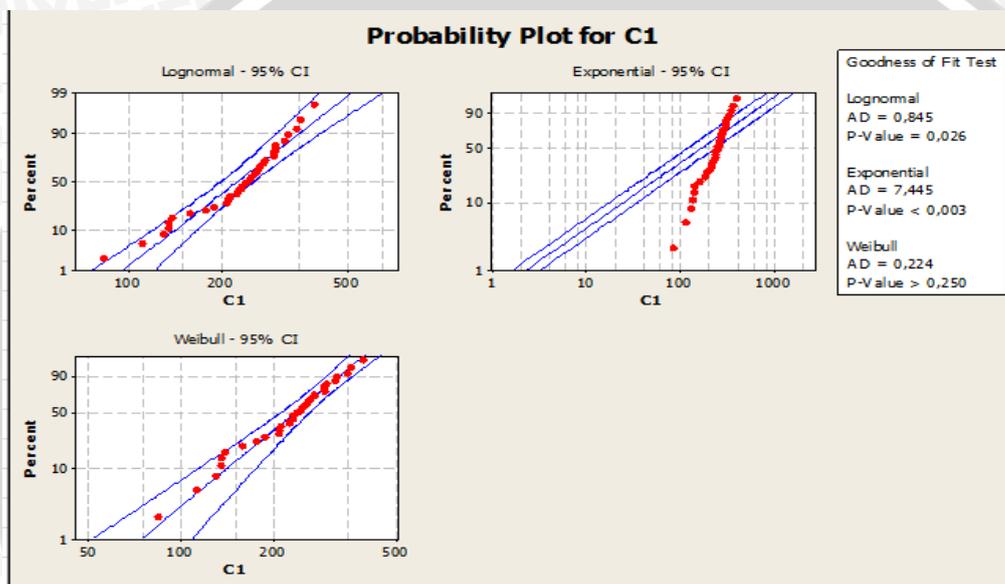
Perhitungan yang selanjutnya dilakukan adalah dengan melakukan identifikasi pola distribusi data *time to failure* (TTF) dan data *time to repair* (TTR) pada masing-masing komponen. Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan cara menduga suatu distribusi dari data waktu kerusakan berdasarkan dari macam-macam jenis distribusi kerusakan. Distribusi yang digunakan untuk menggambarkan pola kerusakan suatu komponen mesin adalah distribusi *Weibull*, Eksponensial, dan Lognormal. Setelah pendugaan jenis distribusi data *time to failure* (TTF) dan data *time to repair* (TTR), lalu langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) dari distribusi yang terpilih untuk komponen kritis mesin *Crusher*.

4.3.6.1 Penentuan Distribusi *Time To Failure* (TTF) Komponen *Bearing* sebagai *Downtime* Tertinggi

Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan penentuan jenis distribusi suatu data kerusakan dengan cara membuat hipotesa apakah data kerusakan mengikuti salah satu ketiga jenis distribusi antara lain *Weibull*, Eksponensial, dan Lognormal. *Downtime* tertinggi pada data *time to failure* (TTF) yaitu komponen *Bearing*. Komponen *Bearing*

pada Mesin *Crusher* ini diduga berdistribusi Weibull. Hal tersebut dikarenakan distribusi Weibull merupakan distribusi yang digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini memiliki kemampuan untuk mendekati berbagai jenis sebaran data. Maka, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memperkuat hipotesa tersebut. Pengujian distribusi *time to failure* (TTF) dari tiap komponen dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16.

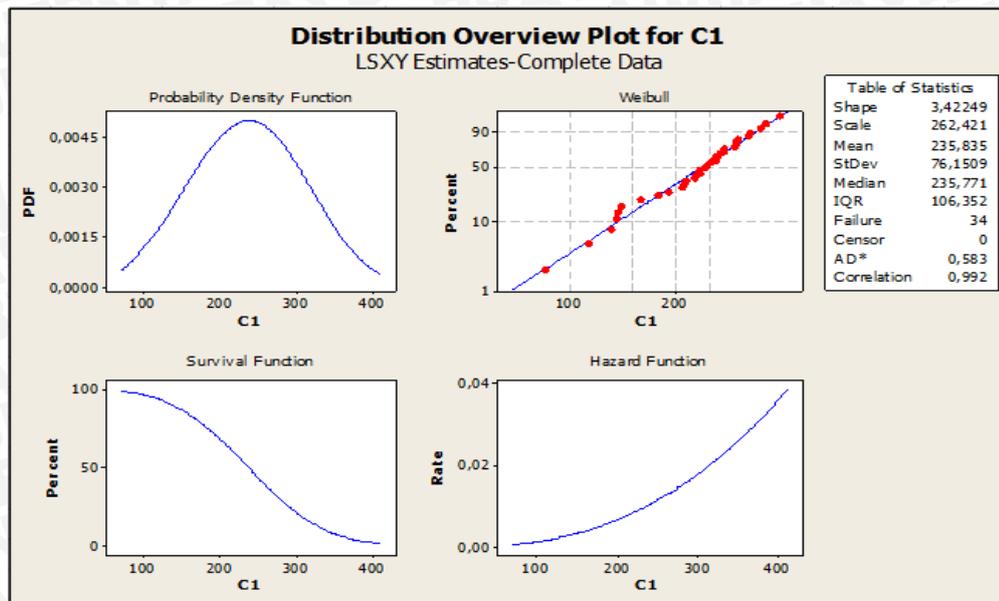
Berikut ini merupakan gambar 4.6 yang menunjukkan hasil pengujian Komponen *Bearing* pada mesin *Crusher* yang dilakukan dengan uji *goodness of fit test* menggunakan *software* Minitab 16.



Gambar 4.6 Pengujian distribusi data TTF Komponen *Bearing*
 Sumber : Pengolahan data menggunakan *software* Minitab 16

Pada gambar 4.6 menunjukkan terdapat tiga jenis distribusi yang muncul ketika dilakukan pengujian menggunakan *software* Minitab 16. Dari hasil ketiga distribusi tersebut dipilih nilai *Anderson-Darling* (AD) yang terkecil, hasilnya yaitu distribusi lognormal sebesar 0,845; distribusi eksponensial sebesar 7,445; dan distribusi weibull sebesar 0,224. Dari hasil ketiga distribusi tersebut, yang terpilih dengan nilai *Anderson-Darling* (AD) terkecil adalah distribusi weibull dengan nilai *Anderson-Darling* (AD) sebesar 0,224. Sehingga dapat disimpulkan data *time to failure* (TTF) pada komponen *Bearing* berdistribusi weibull.

Kemudian langkah selanjutnya yaitu melakukan penentuan parameter pada data *time to failure* (TTF) komponen *Bearing* yang berdistribusi Weibull. Penentuan parameter menggunakan *software* Minitab 16. Berikut ini merupakan penentuan parameter dari data *time to failure* (TTF) dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16.



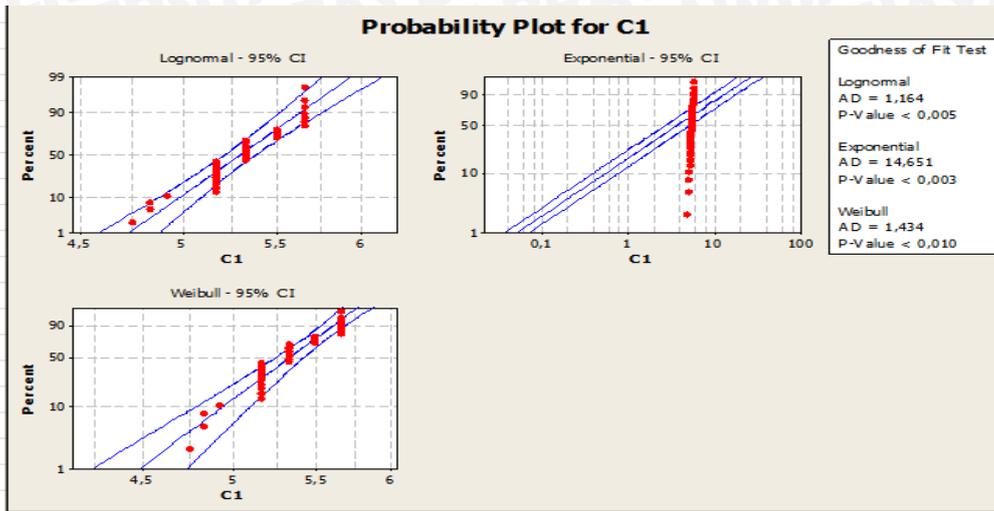
Gambar 4.7 Pengujian parameter data TTF Komponen *Bearing*
Sumber : Pengolahan data menggunakan *software* Minitab 16

Berdasarkan hasil pengujian parameter dari data *time to failure* (TTF) komponen *Bearing*, dapat diperoleh informasi bahwa nilai dari parameter skala (θ) sebesar 262,421 dan nilai parameter bentuk (β) sebesar 3,42249. Nilai dari parameter skala dan parameter bentuk ini nantinya akan digunakan dalam melakukan perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF).

4.3.6.2 Penentuan Distribusi *Time To Repair* (TTR) Komponen *Bearing* sebagai *Downtime* Tertinggi

Data *time to repair* (TTR) komponen *Bearing* diduga berdistribusi Lognormal. Pendugaan ini dikarenakan distribusi Lognormal banyak digunakan dalam merepresentasikan jenis distribusi untuk waktu perbaikan. Pada suatu komponen mesin, waktu perbaikan diasumsikan membutuhkan waktu yang singkat untuk melakukan perbaikan diawal, namun seiring dnegan berjalannya waktu mesin digunakan maka jenis kerusakan pada mesin akan semakin kompleks, maka menyebabkan laju perbaikan akan menurun.

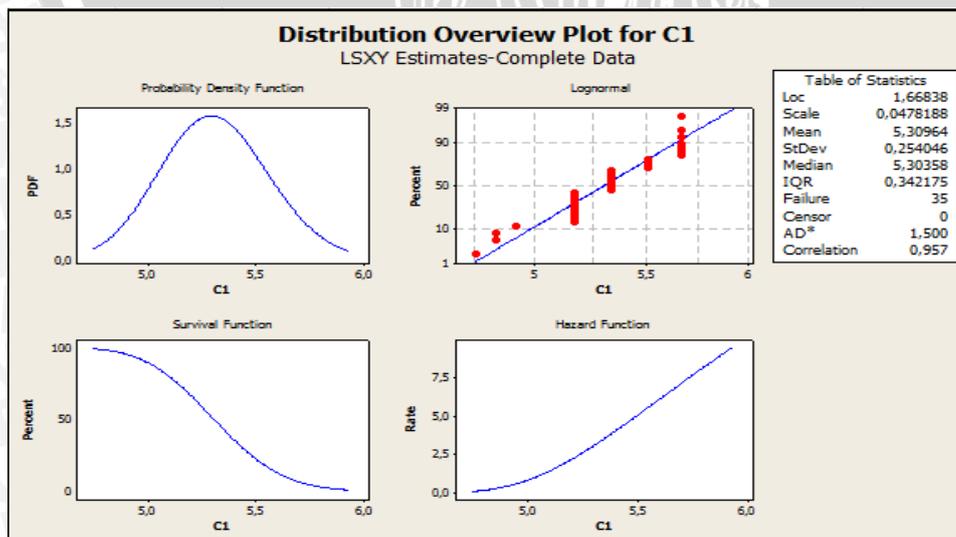
Berikut ini merupakan gambar 4.8 yang menunjukkan hasil pengujian Komponen *Bearing* pada mesin *Crusher* yang dilakukan dengan uji *goodness of fit test* menggunakan *software* Minitab 16.



Gambar 4.8 Pengujian distribusi data TTR Komponen *Bearing*
Sumber : Pengolahan data menggunakan *software* Minitab 16

Pada gambar 4.8 menunjukkan terdapat tiga jenis distribusi yang muncul ketika dilakukan pengujian menggunakan *software* Minitab 16. Dari hasil ketiga distribusi tersebut dipilih nilai *Anderson-Darling* (AD) yang terkecil. Hasilnya yaitu distribusi weillbull sebesar 1,434; distribusi eksponensial sebesar 14,651; dan distribusi lognormal 1,164. Dari hasil ketiga distribusi tersebut, yang terpilih dengan nilai *Anderson-Darling* (AD) terkecil adalah distribusi Lognormal dengan nilai *Anderson-Darling* (AD) sebesar 1,164. Sehingga dapat disimpulkan data *time to repair* (TTR) pada komponen *Bearing* berdistribusi Lognormal.

Kemudian langkah selanjutnya yaitu melakukan penentuan parameter pada data *time to repair* (TTR) komponen *Bearing* yang berdistribusi Lognormal. Penentuan parameter menggunakan *software* Minitab 16. Berikut ini merupakan penentuan parameter dari data *time to repair* (TTR) dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16.



Gambar 4.9 Pengujian parameter data TTR Komponen *Bearing*
Sumber : Pengolahan data menggunakan *software* Minitab 16

Berdasarkan hasil pengujian parameter dari data *time to repair* (TTR) komponen *Bearing*, dapat diperoleh informasi bahwa nilai dari parameter skala (λ) sebesar 0,0478188 dan nilai parameter lokasi (v) sebesar 1,66838. Nilai dari parameter skala dan parameter lokasi ini nantinya akan digunakan dalam melakukan perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR).

4.3.6.3 Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) Komponen Kritis Mesin *Crusher*

Setelah dilakukan perhitungan distribusi data, langkah selanjutnya yaitu menghitung *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk masing-masing jenis kegagalan pada komponen kritis Mesin *Crusher*. Berikut ini merupakan hasil perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk jenis distribusi weibull.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF)

Jenis Komponen	Nilai MTTF (jam)
<i>Bearing</i>	235,927
Motor Listrik	347,815
<i>Kinetic Jaw Plate</i>	507,983
<i>Toggle Plate</i>	257,784
<i>Fixed Jaw Plate</i>	546,784

Dari tabel 4.17 dapat disimpulkan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dari masing-masing komponen adalah *bearing* = 235,927 jam, motor listrik = 347,815 jam, *Kinetic Jaw Plate* = 507,983 jam, *Toggle Plate* = 257,784 jam dan yang tertinggi pada komponen *Fixed Jaw Plate* = 546,989 jam. Nilai MTTF yang tertinggi ini berarti komponen *Fixed Jaw Plate* dapat bekerja maksimal sekitar 546,989 jam hingga waktu kerusakan tiba. Berdasarkan persamaan (2-9), berikut ini merupakan contoh perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk komponen *bearing*.

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

$$MTTF = 262,421 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,42249} \right)$$

$$MTTF = 262,421 \times \Gamma (1,292185)$$

$$MTTF = 262,421 \times 0,89904 = 235,927 \text{ jam}$$

4.3.6.4 Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) Komponen Kritis Mesin *Crusher*

Setelah dilakukan penentuan distribusi data, langkah selanjutnya yaitu menghitung *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk masing-masing jenis kegagalan pada komponen kritis Mesin *Crusher*. Berikut ini merupakan hasil perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR).

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR)

Jenis Komponen	Nilai MTTR (jam)
<i>Bearing</i>	5,31
Motor Listrik	7,00
<i>Kinetic Jaw Plate</i>	6,83
<i>Toggle Plate</i>	9,56
<i>Fixed Jaw Plate</i>	6,07

Dari tabel 4.18 dapat disimpulkan nilai *Mean Time to Repair* (MTTR) dari masing-masing komponen adalah *bearing* = 5.31 jam, motor listrik = 7 jam, *Kinetic Jaw Plate plate* = 6.83 jam, *Fixed Jaw Plate plate* = 6,07 jam dan yang tertinggi pada komponen *Toggle Plate plate* = 9.56 jam. Nilai *Mean Time to Repair* (MTTR) yang cukup besar dapat diartikan karena kerusakan komponen yang lamban memiliki waktu yang lebih lama dibanding dengan kerusakan dari komponen lain. Menurut persamaan (2-9) dan (2-13), berikut ini merupakan contoh perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR).

a. *Bearing* (distribusi lognormal)

$$MTTR = e^{v + \frac{\lambda^2}{2}}$$

$$MTTR = e^{1,66838 + \frac{0,047819^2}{2}}$$

$$MTTR = 5,31 \text{ jam}$$

b. *Fixed Jaw Plate Plate* (distribusi weibull)

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$MTTR = 6,23177 \times \Gamma \left(1 + \frac{1}{20,9269} \right)$$

$$MTTR = 6,23177 \times \Gamma (1,047785)$$

$$MTTR = 6,23177 \times 0,97844 = 6,07 \text{ jam}$$

4.3.7 Perhitungan Biaya Perawatan dan Interval Waktu Perawatan

Setelah melakukan perhitungan terhadap nilai *mean time to failure* (MTTF) dan nilai *mean time to repair* (MTTR) komponen kritis mesin *crusher*, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan terhadap total biaya perawatan yang optimum.

1. Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja yang dikeluarkan oleh PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta untuk 8jam kerja akan dijelaskan pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Biaya Tenaga Kerja

	Jumlah Tenaga Kerja	Jumlah Gaji/Jam	Jumlah Gaji/Hari
Teknisi <i>Maintenance</i>	2	15.825	126.600
Jumlah	2	31.650	253.200

2. Biaya Kerugian Produksi

Biaya kerugian produksi adalah biaya yang muncul ketika terjadi *downtime* pada mesin. Biaya ini merupakan biaya kesempatan yang hilang akibat dilakukannya kegiatan *maintenance*. Hal tersebut menyebabkan perusahaan mengalami kerugian (*loss production*) karena mesin tidak dapat memproduksi. Berikut ini perhitungan biaya kerugian produksi.

Jumlah produksi *mill* perjam = 2,5ton/jam

Harga pokok produksi *mill* = Rp. 300.000/ton

Co = Jumlah produksi perjam x harga pokok produksi

$$= 2,5 \text{ ton} \times \text{Rp. } 300.000/\text{ton} = \text{Rp. } 750.000/\text{jam}$$

3. Harga Komponen, Waktu Perbaikan *Corrective* dan Waktu Perbaikan *Preventive*.

Harga komponen timbul karena adanya kerusakan komponen yang membutuhkan penggantian dengan komponen yang baru pada mesin *crusher*. Sedangkan waktu perbaikan *corrective* adalah waktu yang diperoleh dari hasil perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) dan waktu perbaikan *preventive* adalah waktu yang digunakan oleh perusahaan untuk melakukan perbaikan serta pengecekan sebelum mesin dioperasikan. Pada tabel 4.20 akan dijelaskan mengenai biaya penggantian komponen, waktu perbaikan *corrective* dan waktu perbaikan *preventive*.

Tabel 4.20 Harga Komponen, Waktu Perbaikan *Corrective* dan *Preventive*

No	Nama Komponen	Harga	Waktu Perbaikan <i>Corrective</i> (jam)	Waktu Perbaikan <i>Preventive</i> (jam)
1	<i>Bearing</i>	Rp. 340.000	5,31	0,30
2	Motor Listrik	Rp. 1.185.600	7,00	0,25
3	<i>Toggle Plate</i>	Rp. 17.968.500	9,56	0,50
4	<i>Kinetic Jaw Plate</i>	Rp. 2.662.000	6,83	0,25
5	<i>Fixed Jaw Plate</i>	Rp. 2.662.000	6,07	0,25

4. Biaya *Failure Cost* (Cf) dan *Preventive Cost* (Cp)

Berikut ini merupakan hasil perhitungan biaya *Failure Cost* (Cf) dan *Preventive Cost* (Cp) yang dikeluarkan untuk masing-masing komponen mesin *crusher*.

Tabel 4.21 Biaya *Failure Cost* (Cf) dan *Preventive Cost* (Cp)

Jenis Komponen	Biaya <i>Failure Cost</i> (Cf)	<i>Preventive Cost</i> (Cp)
<i>Bearing</i>	Rp. 4.490.562	Rp. 574.495
Motor Listrik	Rp. 6.657.150	Rp. 1.381.013
<i>Kinetic Jaw Plate</i>	Rp. 25.441.074	Rp. 18.359.325
<i>Toggle Plate</i>	Rp. 8.000.670	Rp. 2.857.413
<i>Fixed Jaw Plate</i>	Rp. 7.406.616	Rp. 2.857.413

Berikut ini merupakan contoh perhitungan biaya *Failure Cost* (Cf) dan biaya *Preventive Cost* (Cp) *bearing*

$$\begin{aligned}
 C_f &= (\text{Biaya komponen} + (\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times T_f) \\
 &= (340.000 + (31.650 + 750.000) \times 5,31) \\
 &= 4.490.562,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_p &= (\text{Biaya komponen} + (\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times T_p) \\
 &= (340.000 + (31.650 + 750.000) \times 0,30) \\
 &= 574.495
 \end{aligned}$$

5. Interval Waktu Perawatan

Langkah selanjutnya adalah dengan menghitung interval waktu perawatan untuk komponen mesin *crusher*. Berikut ini merupakan hasil perhitungan interval waktu perawatan untuk komponen mesin *crusher*.

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Interval Waktu Perawatan

Jenis Komponen	Nilai TM (jam)
<i>Bearing</i>	111,27
Motor Listrik	194,94
<i>Kinetic Jaw Plate</i>	396,640
<i>Toggle Plate</i>	162,801
<i>Fixed Jaw Plate</i>	433,438

Dari tabel 4.20 didapatkan informasi mengenai nilai interval waktu perawatan pada masing-masing komponen *crusher*. Dan yang memiliki nilai interval waktu perawatan yang paling tinggi terletak pada komponen *Fixed Jaw Plate* dengan nilai sebesar 433,438jam. Menurut persamaan (2-42), berikut ini merupakan contoh perhitungan interval waktu perawatan untuk komponen *bearing*.

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f (\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$TM = 262,421 \left[\frac{574.495}{4.490.562(3,42249 - 1)} \right]^{\frac{1}{3,42249}}$$

$$TM = 262,421 (0,424)$$

$$TM = 111,27 \text{ jam}$$

6. Total Biaya Perawatan

Kemudian yang dilakukan adalah melakukan perhitungan total biaya perawatan berdasarkan interval waktu perawatan untuk komponen mesin *crusher*. Pada tabel 4.21 berikut ini merupakan perbandingan hasil perhitungan total biaya perawatan untuk komponen mesin *crusher* sebelum menggunakan interval perawatan dan setelah menggunakan interval perawatan.

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Total Biaya Perawatan

Jenis Komponen	Nilai TC MTF (Rp)	Nilai TC TM (Rp)
<i>Bearing</i>	15.658	7.304
Motor Listrik	17.100	9.543
<i>Kinetic Jaw Plate</i>	68.125	55.206
<i>Toggle Plate</i>	32.950	25.765
<i>Fixed Jaw Plate</i>	13.800	7.149

Dari tabel 4.23 didapatkan informasi total biaya perawatan dari masing masing komponen *crusher* terdapat perbedaan pada saat mesin yang sebelum menggunakan interval perawatan dengan mesin yang setelah menggunakan interval perawatan. Dan yang memiliki biaya perawatan yang paling tinggi adalah komponen *Kinetic Jaw Plate* pada saat sebelum menggunakan interval perawatan dengan biaya sebesar Rp. 68.125, sedangkan setelah menggunakan interval perawatan dengan biaya sebesar Rp. 55.206. Dari hasil perhitungan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi penurunan total biaya perawatan yang dibutuhkan oleh komponen mesin *crusher* setelah menggunakan interval perawatan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan total biaya perawatan untuk komponen *bearing* sebelum menggunakan interval perawatan.

$$TC = \frac{C_p}{MTTF} + \frac{C_f}{\theta^\beta} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC = \frac{574,495}{235,927} + \frac{4.490.562}{262,421^{3,42249}} 235,927^{3,42249-1}$$

$$TC = 15.658/\text{jam}$$

Menurut persamaan (2-41), berikut ini merupakan contoh perhitungan total biaya perawatan untuk komponen *bearing* setelah menggunakan interval perawatan.

$$TC = \frac{C_p}{TM} + \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1}$$

$$TC = \frac{574,495}{111,27} + \frac{4.490.562}{262,421^{3,42249}} 111,27^{3,42249-1}$$

$$TC = 7.304/\text{jam}$$

Pada tabel 4.24, menjelaskan mengenai hasil perhitungan interval waktu perawatan dan total biaya perawatan dari kegagalan yang terjadi pada komponen mesin *crusher*.

Tabel 4.24 Perhitungan Interval Waktu Perawatan dan Total Biaya Perawatan

Jenis Komponen	TM	MTTF	TC MTF	TC TM
<i>Bearing</i>	111,27	235,927	Rp.15.658	Rp.7.304
Motor Listrik	194,94	347,815	Rp.17.100	Rp.9.543
<i>Kinetic Jaw Plate</i>	396,640	507,983	Rp.68.125	Rp.55.206
<i>Toggle Plate</i>	162,801	257,784	Rp.32.950	Rp.25.765
<i>Fixed Jaw Plate</i>	433,438	546,989	Rp.13.800	Rp.7.149

Pada tabel 4.24 dapat disimpulkan mengenai hasil perhitungan total biaya perawatan setelah menggunakan interval waktu perawatan dari komponen mesin *crusher*, dimana

pada komponen *Kinetic Jaw Plate* memiliki total biaya tertinggi dibanding dengan komponen yang lain yaitu sebesar Rp. 55.206.

4.3.8 Perhitungan Keandalan Dari Komponen Mesin *Crusher* Berdasarkan Interval Waktu Perawatan

Setelah dilakukan perhitungan mengenai interval waktu perawatan, maka kemudian akan dilakukan perhitungan mengenai keandalan dari komponen kritis mesin *crusher* berdasarkan perhitungan interval waktu perawatan dan berdasarkan nilai dari *Mean Time to Failure* (MTTF). Perhitungan nilai keandalan ini berfungsi untuk menentukan interval waktu perawatan yang terbaik untuk komponen mesin *crusher*. Pada tabel 4.25 berikut ini merupakan perbandingan hasil perhitungan keandalan untuk komponen mesin *crusher* sebelum menggunakan interval perawatan dan setelah menggunakan interval perawatan.

Tabel 4.25 Perbandingan Keandalan Sebelum dengan Sesudah menggunakan Interval Perawatan

Jenis Komponen	R(MTTF)	R(TM)
<i>Bearing</i>	0,499	0,948
Motor Listrik	0,506	0,931
<i>Kinetic Jaw Plate</i>	0,528	0,870
<i>Toggle Plate</i>	0,494	0,846
<i>Fixed Jaw Plate</i>	0,534	0,968

Dari tabel 4.25 didapatkan informasi nilai keandalan dari masing masing komponen terdapat perbedaan pada saat keandalan mesin yang sebelum menggunakan interval perawatan dengan mesin yang setelah menggunakan interval perawatan. Terjadi peningkatan keandalan terhadap komponen mesin *crusher* setelah menggunakan interval perawatan. Dari nilai keandalan ini dapat menentukan interval waktu perawatan yang terbaik untuk komponen mesin *crusher*. Menurut persamaan (2-7), berikut ini merupakan contoh perhitungan keandalan untuk komponen *bearing* pada mesin *crusher* sebelum menggunakan interval perawatan.

Keandalan *Bearing*

$$R(t) = e^{-\frac{t^\beta}{\theta}}$$

$$R(\text{MTTF}) = e^{-\frac{235,927^{3,42249}}{262,421}}$$

$$R(\text{MTTF}) = 0,499$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan keandalan untuk komponen *bearing* pada mesin *crusher* setelah menggunakan interval perawatan.

Keandalan *Bearing*

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\theta}}$$

$$R(TM) = e^{-\frac{111,27}{262,421} 3,42249}$$

$$R(TM) = 0,948$$

4.3.9 Perhitungan *Availability Rate*

Availability rate merupakan rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin. Pada tahap ini akan menghitung nilai *availability rate* pada saat sebelum dilaksanakan perencanaan interval perawatan dan setelah dilaksanakan interval perawatan. Keuntungan menggunakan *availability rate* ini PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta dapat mengetahui peningkatan *availability* setelah dilakukan perawatan yang optimal. Untuk melakukan perhitungan *availability rate* menggunakan persamaan (2-45) dan (2-46):

$$\text{Operation time} = \text{loading time} - \text{downtime}$$

$$\text{Availability rate} = \frac{\text{operation time}}{\text{loading time}} \times 100\%$$

Pada tabel 4.26 dan 4.27 akan dijelaskan mengenai rekap tabel perhitungan *availability rate* pada komponen dengan *downtime* tertinggi yaitu komponen *bearing* pada saat sebelum dan sesudah dilaksanakan waktu interval perawatan optimal pada periode bulan Januari – Desember 2014.

Tabel 4.26 Rekap Tabel Perhitungan *Availability Rate* Periode Jan-Agst

Tanggal	Corrective Maintenance				Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
03/01/2014	22	5,667	16,333	74,24	22	0,3	21,7	98,64
15/01/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
29/01/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
14/02/2014	22	5,667	16,333	74,24	22	0,3	21,7	98,64
27/02/2014	22	4,917	17,083	77,65	22	0,3	21,7	98,64
10/03/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
19/03/2014	22	4,750	17,250	78,41	22	0,3	21,7	98,64
29/03/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
10/04/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
24/04/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
07/05/2014	22	4,833	17,167	78,03	22	0,3	21,7	98,64
19/06/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
28/06/2014	22	5,500	16,500	75,00	22	0,3	21,7	98,64
03/07/2014	22	5,500	16,500	75,00	22	0,3	21,7	98,64
10/07/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
14/07/2014	22	4,833	17,167	78,03	22	0,3	21,7	98,64
19/07/2014	22	5,667	16,333	74,24	22	0,3	21,7	98,64
20/07/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
01/08/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
12/08/2014	22	5,667	16,333	74,24	22	0,3	21,7	98,64

Tabel 4.27 Rekap Tabel Perhitungan *Availability Rate* Periode Agst-Des

Tanggal	<i>Corrective Maintenance</i>				<i>Preventive Maintenance</i>			
	LT(jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
21/08/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
29/08/2014	22	5,500	16,500	75,00	22	0,3	21,7	98,64
03/09/2014	22	5,500	16,500	75,00	22	0,3	21,7	98,64
06/09/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
12/09/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
20/09/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
30/09/2014	22	5,667	16,333	74,24	22	0,3	21,7	98,64
10/10/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
20/10/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
31/10/2014	22	5,667	16,333	74,24	22	0,3	21,7	98,64
09/11/2014	22	5,333	16,667	75,76	22	0,3	21,7	98,64
17/11/2014	22	5,667	16,333	74,24	22	0,3	21,7	98,64
22/11/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
29/11/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
08/12/2014	22	5,167	16,833	76,52	22	0,3	21,7	98,64
TOTAL								
Loading Time	770				770			
Downtime		185,833				10,5		
Operation Time			584,167				759,5	
Availability Rate				75,87				98,63

Pada tabel 4.26 dan 4.27 akan dijelaskan mengenai rekap tabel perhitungan *availability rate* pada komponen dengan *downtime* tertinggi yaitu komponen *bearing* pada saat sebelum dan setelah dilaksanakan waktu interval perawatan optimal. Setelah dilakukan perhitungan maka total *availability rate* saat terjadi kerusakan sebelum dilakukan interval perawatan adalah 75,87%, dan total *availability rate* saat terjadi kerusakan setelah dilakukan interval perawatan adalah 98,63%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan *availability rate* sebesar 22,76% dibandingkan dengan *availability rate* yang pada saat sebelum menggunakan penerapan waktu interval perawatan optimal.

Berikut ini merupakan contoh perhitungan *availability rate* sebelum melakukan interval perawatan pada komponen *bearing* pada tanggal 14 Februari 2014.

$$\begin{aligned} \text{Operation time} &= \text{loading time} - \text{downtime} \\ &= 22 \text{ jam} - 5,667 \text{ jam} = 16,333 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Availability rate} &= \frac{\text{operation time}}{\text{loading time}} \times 100\% \\ &= \frac{16,333}{22} \times 100\% \\ &= 74,24\% \end{aligned}$$

4.3.10 Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet

Setelah mengetahui kegagalan fungsi komponen mesin *crusher* kemudian masuk ke dalam tahapan RCM II *Decision Worksheet*. RCM II *decision worksheet* digunakan untuk mencari jenis kegiatan *maintenance* yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap kegagalan yang terjadi. Pada tabel 4.25 akan dijelaskan mengenai RCM II *decision worksheet*.

RCM II *Decision Worksheet* berisi beberapa kolom seperti *information reference*, *consequence evaluation*, *default action*, *proposed task*, *initial interval*, dan *can be done*. Penyusunan RCM II *Decision Worksheet* pada kolom *information reference* disusun berdasarkan hasil dari RCM II *Information Worksheet*. Pada kolom *consequence evaluation* penyusunan mengenai *hidden failure*, *safety*, *environment* dan *operational* dilakukan berdasarkan hasil diskusi dengan pihak PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta. Pemilihan *proposed task* dilakukan sesuai dengan pertimbangan kondisi dan jenis kegagalan yang terjadi pada mesin *crusher* di PT. Dewata Sari Prim Yogyakarta. Pada kolom *initial interval* berisi perhitungan mengenai interval waktu perawatan yang telah dihitung sebelumnya dengan mempertimbangkan *failure cost* dan *preventive cost*. Pada kolom terakhir *can be done by*, menjelaskan tentang pihak yang akan melakukan kegiatan perawatan/perbaikan terhadap komponen mesin yang telah mengalami kegagalan.

Tabel 4.28 RCM II Decision Worksheet

RCM II Decision Worksheet		Sistem: Mesin Crusher										Date:	Sheet No:										
		Sub Sistem: Mesin Crusher											Of:	Can be done by									
		Fungsi Sub Sistem: Menghancurkan batuan																					
Information Reference					Consequence Evaluation				H1			H2			H3			Default Action			Proposed Task	Initial Interval (hour)	Can be done by
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	S1			S2			S3								
									O1	O2	O3	H4	H5	S4									
1	Bearing	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled Discard Task	111,27	Teknisi						
2	Motor listrik	1	A	1	Y	Y	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled Discard Task	194,94	Teknisi						
3	Toggle Plate	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled Discard Task	396,640	Teknisi						
4	Kinetic Jaw Plate	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled Discard Task	162,801	Teknisi						
5	Fixed Jaw Plate	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled Discard Task	433,438	Teknisi						

Berikut ini merupakan *proposed task* yang dapat dilakukan untuk komponen mesin *Crusher*.

1. *Schedule Discard Task* pada komponen *bearing* yaitu:

- Dilakukan pembersihan dan pelumasan ulang berkali-kali untuk meminimalisir keausan *bearing*
- Dilakukan penggantian komponen *bearing* sesuai dengan interval waktu perawatan yang telah ditentukan

2. *Schedule Discard Task* pada Motor Listrik:

- Dilakukan penggantian motor listrik sesuai dengan model yang telah ditentukan untuk mesin *jaw crusher* yaitu (Model Y250M-6, daya 37KW dan rotasi kecepatan 1480rpm)

3. *Schedule Discard Task* pada *Toggle Plate*

- Dilakukan penggantian komponen *Toggle Plate* dan pengecekan spesifikasi batu yang akan dihancurkan

4. *Schedule Discard Task* pada *Kinetic Jaw Plate*

- Dilakukan penggantian komponen *Kinetic Jaw Plate* dan pengecekan spesifikasi batu yang akan dihancurkan

5. *Schedule Discard Task* pada *Fixed Jaw Plate*

- Dilakukan penggantian komponen *Fixed Jaw Plate* dan pengecekan spesifikasi batu yang akan dihancurkan

4.4 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan yang dilakukan meliputi analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), Pengujian *Index of Fit* dan Pendugaan Parameter Pada TTF Komponen *Bearing*, penentuan *Mean Time to Failure* (MTTF), *Mean Time to Repair* (MTTR) pada komponen mesin *crusher*. Kemudian analisis interval waktu perawatan dan toal biaya perawatan, analisis keandalan komponen mesin dan analisis RCM II *decision worksheet*.

4.4.1 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) pada komponen mesin *crusher*. Pada komponen mesin *bearing*, *functional failure* yang terjadi adalah *overheating*, hal ini dikarenakan pelumasan ulang yang jarang dilakukan oleh pihak *maintenance*, sehingga hal ini menyebabkan perputaran *bearing* menjadi kasar, *bearing* menjadi aus serta pada rongga *bearing* terdapat kotoran dari luar. Pada komponen mesin *bearing* ini menghasilkan *rank severity* sebesar 4, *occurence* sebesar 4 dan *detection* sebesar 8, sehingga nilai RPN yang dihasilkan oleh komponen mesin *bearing* adalah 128.

Untuk komponen motor listrik, *functional failure* yang terjadi adalah *overloading*, hal ini dikarenakan ukuran motor yang tidak sesuai dengan spesifikasi, sehingga hal ini menyebabkan kegiatan produksi terhenti dan hasil produksi tidak maksimal. Pada komponen motor listrik ini menghasilkan *rank severity* sebesar 4, *occurence* sebesar 4 dan *detection* sebesar 5, sehingga nilai RPN yang dihasilkan oleh komponen motor listrik adalah 80. Berikut ini merupakan spesifikasi motor listrik yang sesuai dengan standart yang telah ditentukan.

Product code: Motor Listrik model Y250M-6

Rotasi kecepatan: 1480rpm

Berat: 6800kg

Voltase: 380V

Frekuensi: 50Hz

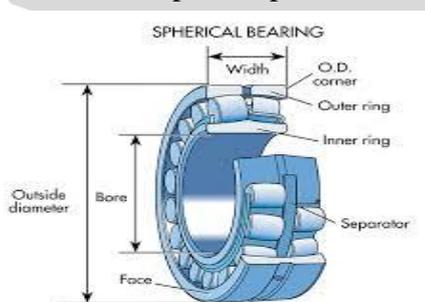
Berdasarkan hasil FMEA menunjukkan bahwa kegagalan motor listrik dikarenakan spesifikasi motor yang tidak sesuai, pihak perusahaan tidak menggunakan motor listrik model Y250M-6 sehingga menghasilkan rotasi kecepatan yang rendah. Dengan adanya kegagalan tersebut menyebabkan nilai RPN pada motor listrik sebesar 80, maka pihak *maintenance* dapat melakukan penggantian motor listrik sesuai dengan interval waktu perawatan yang telah dihitung sebelumnya dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan untuk mesin *jaw crusher*.

Untuk komponen mesin *Kinetic Jaw Plate*, *functional failure* yang terjadi adalah keausan pada *Kinetic Jaw Plate*, hal ini dikarenakan ukuran batuan yang tidak sesuai dan susah dihancurkan. Sehingga hal ini menyebabkan *Kinetic Jaw Plate* bekerja tidak maksimal. Pada komponen mesin *Kinetic Jaw Plate* ini menghasilkan *rank severity* sebesar 4, *occurrence* sebesar 3 dan *detection* sebesar 7, sehingga nilai RPN yang dihasilkan oleh komponen *Kinetic Jaw Plate* adalah 84. Berdasarkan kerusakan yang dialami oleh komponen *Kinetic Jaw Plate*, ukuran batu yang sesuai dengan standart yaitu berukuran 30-60cm. Dengan memilah ukuran batuan yang sesuai dengan standar maka hal ini dapat meminimalisir terjadinya keausan pada komponen mesin *Kinetic Jaw Plate*.

Untuk komponen mesin *Toggle Plate*, *functional failure* yang terjadi adalah *Toggle Plate* mengalami patah, hal ini dikarenakan batuan yang keras dan susah dihancurkan. Batuan yang dihancurkan memiliki ukuran lebih dari 30-60 cm dan memiliki tingkat kekerasan melebihi dari standart 2,7-3,4 skala mohs. Sehingga hal ini menyebabkan *Kinetic Jaw Plate* tidak dapat bergerak maju mundur. Pada komponen mesin *Toggle Plate* ini menghasilkan *rank severity* sebesar 4, *occurrence* sebesar 4 dan *detection* sebesar 7, sehingga nilai RPN yang dihasilkan oleh komponen *Toggle Plate* adalah 112.

Dan untuk komponen mesin *Fixed Jaw Plate*, *functional failure* yang terjadi adalah perpindahan panas secara konduksi. Perpindahan panas secara konduksi ini timbul diakibatkan karena ukuran batuan yang tidak sesuai sehingga menyebabkan *Fixed Jaw Plate*, *Kinetic Jaw Plate*, dan *Toggle Plate* bekerja dengan sangat keras untuk menghancurkan batu. Dengan adanya kegagalan ini menyebabkan *Fixed Jaw Plate* yang terlalu panas akan menghantarkan panas secara konduksi dari *flywheel* hingga ke *bearing*. Pada komponen mesin *Fixed Jaw Plate* ini menghasilkan *rank severity* sebesar 4, *occurrence* sebesar 3 dan *detection* sebesar 7, sehingga nilai RPN yang dihasilkan oleh komponen *Fixed Jaw Plate* adalah 84.

Berdasarkan analisa tersebut, komponen *bearing* merupakan komponen mesin dengan nilai RPN tertinggi. Berikut ini merupakan spesifikasi komponen *bearing*.



Gambar 4.10 *Spherical Roller Bearing*
Sumber: Pankadude (2015)

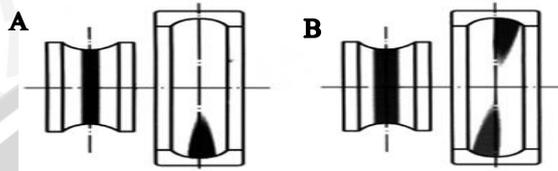
Product code: 23026 CC / W33 / skf

Jenis: *Spherical Roller Bearing*

Inside/outside diameter: 130mm/200mm

Width: 52mm

Spherical roller bearing memiliki sudut yang diperbolehkan untuk *missalignment* dibawah beban normal (setara beban unuk 0,09 Cr): $\text{rad}(4^\circ)$. Berikut ini merupakan *correct alignment* dan *misalignment* yang terjadi pada *bearing*.



Gambar 4.12 A. *Correct Alignment*, B. *Misalignment*
Sumber: *Pump And System* (2014)

Pada gambar A terjadi *correct alignment* pada *spherical roller bearing* dengan radius tidak melebihi dari 4° . Sedangkan pada gambar B terjadi *misalignment* pada *spherical roller bearing* dengan radius melebihi dari 4° . Kegagalan yang dialami oleh komponen mesin *bearing* ada beberapa hal, yaitu masuknya partikel asing (kotoran, debu, serat, *abrasive grit*, dll) yang masuk pada bagian *bearing*, pemasangan poros dan cincin yang tidak benar, terjadi *missalignment* dari batas sudut normal yang diperbolehkan sehingga poros bengkok dan pelumasan yang tidak cukup untuk *bearing* sehingga menjadi aus. Dengan adanya berbagai macam kegagalan pada *bearing* ini menyebabkan nilai RPN *bearing* menjadi nilai RPN tertinggi, maka menjadi patokan pada komponen mesin *bearing* sebagai komponen yang paling membutuhkan prioritas untuk dilakukannya perbaikan dengan cara penggantian komponen sesuai dengan interval waktu perawatan yang telah dihitung sebelumnya dibandingkan dengan komponen lain. Perbaikan yang dapat dilakukan pada komponen mesin *bearing* agar meminimalisir kegagalan dan merugikan perusahaan yaitu dapat melakukan penggantian komponen sesuai dengan interval perawatan, pelumasan secara berulang dan rutin, melakukan pembersihan terhadap seluruh bagian *bearing*, pemasangan poros dan cincin yang tepat serta meminimalisir beban normal agar meminimalisir terjadinya *missalignment*.

4.4.2 Analisis Pengujian *Index of Fit* dan Pendugaan Parameter Pada TTF Komponen *Bearing*

Berdasarkan hasil perhitungan *index of fit* pada waktu TTF komponen *bearing* dengan menggunakan 3 jenis distribusi yaitu weibul, lognormal dan eksponensial, menghasilkan

nilai $r_{Weibull}$ sebesar 0,991, $r_{Ekspensial}$ sebesar 0,910 dan $r_{Lognormal}$ sebesar 0,955. Dari ketiga nilai r tersebut dipilih nilai r yang terbesar, yaitu $r_{Weibull}$ sebesar 0,991. Selanjutnya dilakukan uji pendugaan parameter sesuai dengan distribusi yang terpilih yaitu distribusi weibull. Berdasarkan dari pengujian *goodness of fit* menghasilkan bahwa nilai $M_{hitung} < M_{tabel}$ dengan nilai sebesar $0,130 < 2,32$, sehingga H_0 diterima dan waktu TTF pada komponen *bearing* berdistribusi weibull.

4.4.3 Analisis Mean Time to Failure (MTTF) Pada Komponen dengan Downtime Tertinggi Mesin Crusher

Setelah mengetahui komponen dengan *downtime* tertinggi yaitu komponen *bearing* maka langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi pola distribusi yang dimiliki oleh komponen tersebut. Data *time to failure* pada mesin *crusher* diduga memiliki distribusi weibull. Hal ini dikarenakan distribusi weibull memiliki nilai parameter bentuk yang dapat menggambarkan kenaikan dan penurunan laju kerusakan yang dialami oleh komponen mesin. Sehingga distribusi weibull ini sering digunakan dalam merepresentasikan kerusakan dari data *time to failure*.

Nilai *Mean Time to Failure* adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan dari suatu distribusi kerusakan, nilai ini menunjukkan seberapa lama mesin dapat melakukan operasi hingga waktu kerusakan berikutnya. Untuk komponen *bearing* sebagai komponen yang memiliki *downtime* paling besar memiliki nilai MTTF sebesar 235,927 jam, sedangkan komponen yang memiliki nilai MTTF terbesar adalah komponen *Fixed Jaw Plate* dengan nilai MTTF 546,989 jam. Nilai MTTF yang cukup besar ini dapat diartikan bahwa rata-rata komponen *bearing* dapat beroperasi sekitar 546,989 jam hingga tiba waktu kerusakan yang berikutnya.

4.4.4 Analisis Mean Time to Repair (MTTR) Pada Komponen dengan Downtime Tertinggi Mesin Crusher

Setelah mengetahui komponen dengan *downtime* tertinggi yaitu komponen *bearing* maka langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi pola distribusi yang dimiliki oleh komponen tersebut. Data *time to repair* pada mesin *crusher* diduga memiliki distribusi lognormal. Hal ini dikarenakan distribusi lognormal banyak digunakan dalam merepresentasikan jenis distribusi waktu perbaikan, karena laju perbaikan sangat tinggi di fase awal dan akan menurun yang menandakan bahwa semakin bertambahnya usia komponen maka waktu yang diperlukan untuk memperbaiki kerusakan semakin tinggi.

Nilai *Mean Time to Repair* (MTTR) menunjukkan nilai rata-rata interval waktu untuk melakukan perbaikan yang dibutuhkan oleh suatu komponen mesin. Untuk komponen *bearing* sebagai komponen yang memiliki *downtime* paling besar memiliki nilai MTTR sebesar 5,31 jam, sedangkan komponen yang memiliki nilai MTTR terbesar adalah komponen *Toggle Plate* dengan nilai MTTR sebesar 9,56 jam. Nilai MTTR yang cukup besar dapat diartikan karena kerusakan komponen yang lambat memiliki waktu perbaikan yang lebih lama dibanding dengan kerusakan dari komponen lain. Selain itu, nilai MTTR pada komponen mesin *crusher* memiliki nilai yang cukup besar hal ini dikarenakan lokasi pabrik PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta dengan lokasi penyimpanan *spare part* di kantor pemasaran terletak cukup jauh yaitu membutuhkan waktu sekitar 4 jam untuk kegiatan transportasi, sehingga hal ini menyebabkan nilai *time to repair* (TTR) terlampaui cukup besar hanya untuk melakukan penggantian komponen mesin *crusher*.

4.4.5 Analisis Keandalan dan Total Biaya Perawatan untuk Menentukan Interval Perawatan yang Digunakan

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai keandalan dan total biaya perawatan yang akan digunakan untuk menentukan interval perawatan dengan biaya perawatan yang minimal dan akan disarankan untuk PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta. Dari interval perawatan yang telah dihitung, maka hasilnya akan digunakan untuk mendapatkan total biaya perawatan yang nantinya akan dibandingkan dengan total biaya perawatan *Mean Time to Failure*, dan juga membandingkan keandalan dari komponen mesin *crusher* tersebut. Berikut ini tabel 4.29 akan dijelaskan mengenai perbandingan keandalan dan total biaya perawatan pada komponen mesin *crusher*.

Tabel 4.29 Perbandingan Total Biaya Perawatan dan Keandalan

Jenis Komponen	TM	MTTF	TC MTTF	TC TM	R MTTF	R TM
<i>Bearing</i>	111,27	235,927	Rp.15.658	Rp.7.304	0,499	0,948
Motor Listrik	194,94	347,815	Rp.17.100	Rp.9.543	0,506	0,931
<i>Kinetic Jaw Plate</i>	396,640	507,983	Rp.68.125	Rp.55.206	0,528	0,870
<i>Toggle Plate</i>	162,801	257,784	Rp.32.950	Rp.25.765	0,494	0,846
<i>Fixed Jaw Plate</i>	433,438	546,989	Rp.13.800	Rp.7.149	0,534	0,968

Dari tabel 4.29 dapat disimpulkan bahwa pada komponen *bearing* apabila menggunakan interval perawatan maka akan terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 15.658/jam menjadi Rp. 7.304/jam. Selain itu dengan penggunaan interval perawatan maka nilai keandalan dari komponen mesin *bearing* meningkat sebesar 89,97% dari nilai keandalan awal 0,499 menjadi 0,948. Untuk komponen motor listrik apabila menggunakan interval perawatan maka akan terjadi penurunan biaya perawatan

yang awalnya sebesar Rp. 17.100/jam menjadi Rp. 9.543/jam. Selain itu dengan penggunaan interval perawatan maka nilai keandalan dari komponen motor listrik meningkat sebesar 83,99% dari nilai keandalan awal 0,506 menjadi 0,931. Sedangkan untuk komponen *Kinetic Jaw Plate* apabila menggunakan interval perawatan maka akan terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 68.125/jam menjadi Rp. 55.206/jam. Selain itu dengan penggunaan interval perawatan maka nilai keandalan dari komponen mesin *Kinetic Jaw Plate* meningkat sebesar 64,77% dari nilai keandalan awal 0,528 menjadi 0,870. Untuk jenis komponen *Toggle Plate* apabila menggunakan interval perawatan maka akan terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 32.950/jam menjadi Rp. 25.765/jam. Selain itu dengan penggunaan interval perawatan maka nilai keandalan dari komponen mesin *Toggle Plate* meningkat sebesar 71,25% dari nilai keandalan awal 0,494 menjadi 0,846. Dan untuk komponen *Fixed Jaw Plate* apabila menggunakan interval perawatan maka akan terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 13.800/jam menjadi Rp. 7.149/jam. Selain itu dengan penggunaan interval perawatan maka nilai keandalan dari komponen mesin *Fixed Jaw Plate* meningkat sebesar 81,27% dari nilai keandalan awal 0,534 menjadi 0,968.

Berikut ini merupakan analisis perhitungan *total cost* sebelum dilakukan interval perawatan dan setelah dilakukan interval perawatan selama 1 tahun untuk komponen mesin *crusher*, perhitungan ini dapat dijadikan pertimbangan oleh pihak PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta. Untuk komponen mesin *bearing* terjadi penurunan biaya sebesar 81,67% dari total biaya awal Rp. 2.909.778/tahun menjadi Rp. 533.192/tahun. Untuk komponen motor listrik terjadi penurunan biaya sebesar 79,59% dari total biaya awal Rp. 1.871.025/tahun menjadi Rp. 381.720/tahun. Untuk komponen mesin *Kinetic Jaw Plate* terjadi penurunan biaya sebesar 79,82% dari total biaya awal Rp. 5.472.708/tahun menjadi Rp. 1.104.120/tahun. Untuk komponen mesin *Toggle Plate* terjadi penurunan biaya sebesar 68,09% dari total biaya awal Rp. 4.261.533/tahun menjadi Rp. 1.359.780/tahun. Dan untuk komponen mesin *Fixed Jaw Plate* terjadi penurunan biaya sebesar 89,78% dari total biaya awal Rp. 1.259.250/tahun menjadi Rp. 128.682/tahun.

Berdasarkan tabel 4.27 dan analisa sebelumnya, dengan mempertimbangkan dari sudut pandang total biaya dan keandalan maka dapat diusulkan interval waktu perawatan yang terbaik untuk komponen mesin *crusher* pada PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta, yaitu berdasarkan nilai interval waktu perawatan (TM).

4.4.6 Analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II

Pada subbab ini akan menjelaskan tentang *proposed task* dan interval waktu perawatan yang diusulkan pada RCM II *decision worksheet*. Berikut ini merupakan uraian mengenai RCM II *decision worksheet*. Pada komponen *bearing*, kolom F tertulis 1, ini berarti fungsi dari *bearing* adalah sebagai bantalan bagi *eccentric shaft*. Selanjutnya pada baris pertama kolom FF tertulis A, ini berarti *function failure* yang dialami oleh *function* 1 yaitu mengalami *overheating*. Apabila *function* 1 mengalami kegagalan fungsi lainnya maka akan ditulis B pada baris kedua kolom FF, dengan terlebih dahulu memberikan uraian jenis kegagalan tersebut pada kolom *function failure*. Pada kolom FM tertulis angka 1 yang berarti *function* 1 dengan *function failure* A disebabkan oleh *failure mode* 1 yaitu pelumasan ulang yang jarang dilakukan. Apabila *function* 1 dengan *function failure* 1 disebabkan oleh *function mode* lainnya, maka kolom FM pada baris kedua akan diberi angka 2, dengan terlebih dulu memberikan uraian tentang *failure mode* tersebut pada kolom *failure mode*. Sehingga F1 dengan FF1 disebabkan oleh FM2, tetapi dalam penelitian ini setiap fungsi komponen memiliki 1 *function failure* dan 1 *function mode*. Pada *information reference* menghasilkan 1-A-1, sehingga pada kolom H di *consequence evaluation* di tulis Y, yang berarti *failure mode* diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal. Pada kolom S ditulis N, yang berarti *failure mode* tidak berdampak pada keselamatan operator. Pada kolom E ditulis N, yang berarti *failure mode* tidak berdampak pada keselamatan lingkungan. Dan pada kolom O ditulis Y, yang berarti *failure mode* berdampak pada output produksi. Selanjutnya pada kolom H1/S1/O1/N1 ditulis N, yang berarti dalam interval waktu sebelum dilakukan perawatan pencegahan tidak cukup untuk melakukan tindakan terhadap pencegahan kegagalan. Sehingga *proposed task* yang dipilih adalah *schedule discard task*, yang berarti dilakukan penggantian komponen *bearing* sesuai dengan interval waktu 111,27 jam dan dilakukan perawatan dengan cara pemberian pelumas secara berulang oleh teknisi.

Pada tabel 4.25 menjelaskan bahwa *proposed task* yang dapat dilakukan oleh komponen mesin *crusher* adalah *scheduled on condition task* dan *cheduled on discard task*. Untuk kerusakan komponen *bearing* dilakukan tindakan *cheduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 111,27 jam. Hal ini dikarenakan kegagalan pada *bearing* adalah terjadi *overheating* karena pelumasan ulang yang jarang dilakukan sehingga menyebabkan bagian *bearing* terdapat kotoran yang menghambat kinerjanya. Dengan adanya tindakan *cheduled on discard task*, teknisi dapat mengganti komponen *bearing* pada saat batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi *bearing* pada saat itu.

Pada komponen motor listrik dilakukan tindakan *schduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 194,94 jam. Kegagalan pada komponen motor listrik adalah terjadi *overloading* pada motor listrik tersebut dikarenakan ukuran motor yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan untuk mesin *superfine pulverizer*. Sehingga dengan adanya tindakan *schduled on discard task*, teknisi dapat mengganti motor listrik dengan spesifikasi yang sesuai agar meminimalisir kegagalan.

Pada komponen *Toggle Plate* dilakukan tindakan *schduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 162,801 jam. Tindakan ini dilakukan karena terjadi kegagalan pada komponen *Toggle Plate* yaitu patahnya *Toggle Plate* dikarenakan batuan yang sangat keras dan susah dihancurkan sehingga ketika *Toggle Plate* bekerja dengan sangat kuat untuk menghancurkan batu *Toggle Plate* mengalami patah dan menyebabkan *Kinetic Jaw Plate* tidak dapat bergerak maju mundur. Tindakan yang dilakukan untuk komponen *Toggle Plate* ini adalah dengan *schduled on discard task*, tindakan ini dapat menjadi solusi karena dilakukan kegiatan penggantian komponen setelah mesin bekerja selama 162,801 jam dan dilakukan pemeriksaan terhadap *potential failure* sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan pada komponen mesin.

Pada komponen *Kinetic Jaw Plate* dilakukan tindakan *schduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 396,640 jam. Pada komponen ini terjadi keausan dikarenakan adanya batuan yang memiliki ukuran tidak sesuai, keras dan susah dihancurkan sehingga menyebabkan *Kinetic Jaw Plate* bekerja tidak maksimal. Dengan adanya kegagalan ini tindakan yang dipilih yaitu *schduled on discard task*, dengan adanya tindakan ini teknisi dapat melakukan penggantian komponen *Kinetic Jaw Plate* setiap 396,640 jam dan melakukan pengecekan terhadap batuan yang akan masuk ke dalam rahang mesin *crusher* agar meminimalisir terjadinya keausan.

Pada komponen *Fixed Jaw Plate* dilakukan tindakan *schduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 433,438 jam. Pada komponen ini terjadi perpindahan panas secara konduksi, hal ini dikarenakan batuan yang dihancurkan memiliki ukuran yang tidak sesuai, keras dan susah untuk dihancurkan, sehingga *Fixed Jaw Plate* yang terlalu panas akan menghantarkan panas dari *flywheel* hingga ke *bearing*. Dengan adanya kegagalan ini tindakan yang dipilih untuk komponen *Fixed Jaw Plate* sama dengan tindakan yang dilakukan pada komponen *Kinetic Jaw Plate* yaitu melakukan melakukan penggantian komponen *Fixed Jaw Plate* setiap 433,438 jam dan melakukan pengecekan terhadap batuan yang akan masuk ke mesin *crusher*.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan menjelaskan kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisis data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dan saran dapat menjadi masukan bagi perusahaan maupun penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisis data yang telah dilakukan sebelumnya, maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu:

1. Berdasarkan hasil pengolahan diagram pareto pada data *downtime* komponen mesin *crusher*, maka komponen kritis mesin *crusher* adalah *bearing*, motor listrik, *kinetic jaw*, *toggle*, dan *fixed jaw*.
2. Berdasarkan perhitungan interval waktu perawatan yang efektif untuk komponen mesin *crusher*, maka pada kerusakan komponen *bearing* dilakukan tindakan *cheduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 111,27 jam. Pada komponen motor listrik dilakukan tindakan *cheduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 194,94 jam. Pada komponen *toggle* dilakukan tindakan *cheduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 162,801 jam. Pada komponen *kinetic jaw* dilakukan tindakan *cheduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 396,640 jam. Dan pada komponen *fixed jaw* dilakukan tindakan *cheduled on discard task* dengan interval waktu perawatan sebesar 433,438 jam.
3. Berdasarkan hasil perhitungan biaya perawatan optimal yang direncanakan untuk komponen mesin *crusher*, pada komponen *bearing* biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk melakukan perawatan adalah Rp. 7.304 per jam / Rp. 533.192 per tahun, pada motor listrik biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk melakukan perawatan adalah Rp. 9.543 per jam / Rp. 381.720 per tahun, pada komponen *kinetic jaw* biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk melakukan perawatan adalah Rp. 55.206 per jam / Rp. 1.104.120, pada komponen *toggle* biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk melakukan perawatan adalah Rp. 25.765 per jam / Rp. 1.359.780 per tahun, dan pada komponen *fixed jaw* biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk melakukan perawatan adalah Rp. 7.149 per jam / Rp. 128.682 per tahun.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dibagikan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dapat dilakukan secara menyeluruh, yang melibatkan seluruh mesin dan komponen mesin *superfine pulverizer* yang memiliki *downtime* tertinggi pada proses produksi agar hasil yang diperoleh lebih baik dan lebih kompleks.
2. Mengembangkan penelitian serupa dengan menambahkan *tools* untuk membantu pendekatan RCM yang lebih baik
3. Diharapkan kepada PT. Dewata Sari Prima Yogyakarta dapat menjalankan rekomendasi perawatan dari hasil penelitian ini.

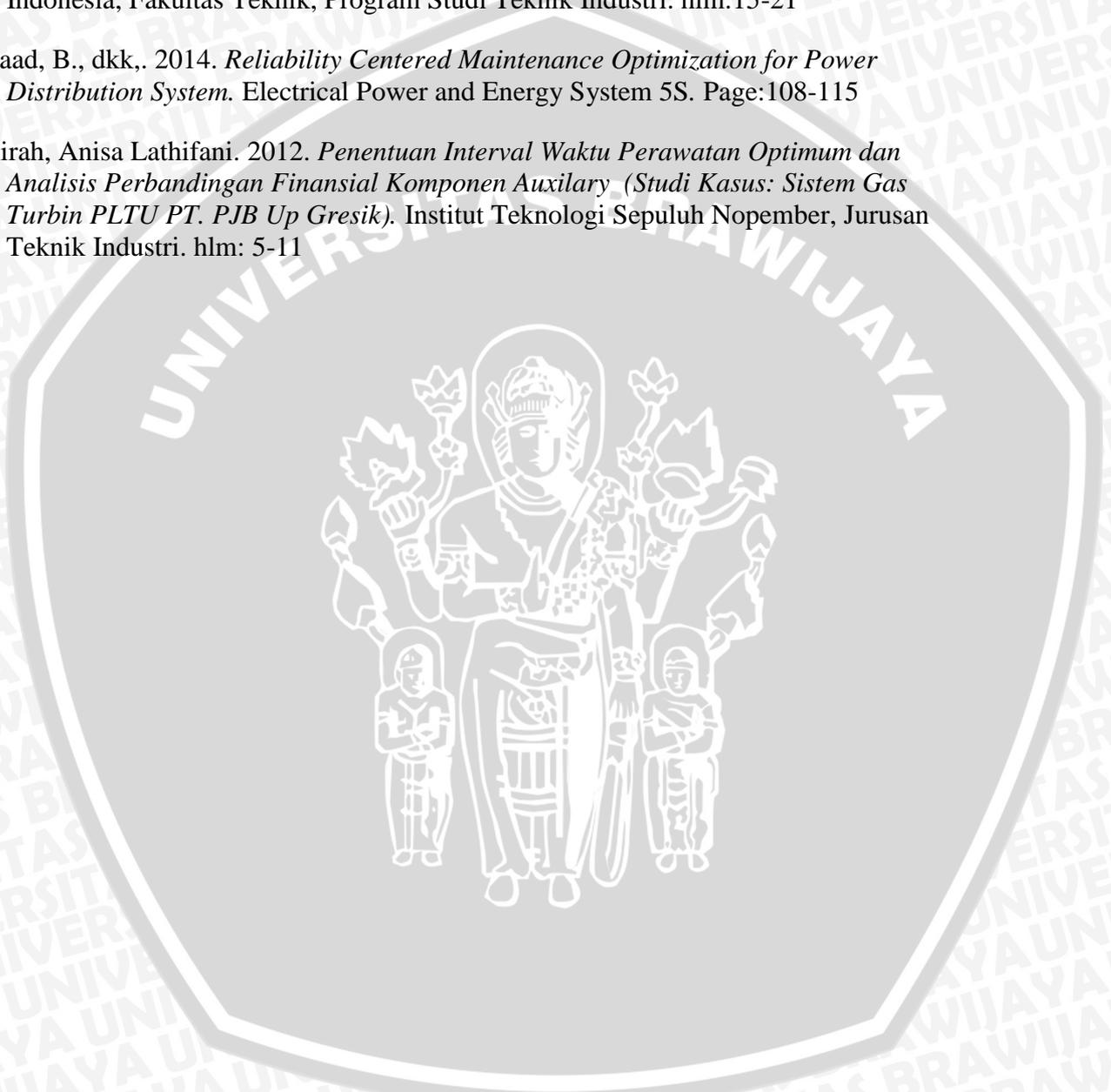
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Asisco, Hendro. 2012. *Usulan Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) di PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero) Unit Usaha Sungai Niru Kab. Muara Enim*. Kaunia Vol VIII No2. hlm:78-98
- Assauri, Sofjan. 1999. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia
- Ben-Daya, Mohamed. 2009. *Maintenance Management and Engineering Handbook*. London: Springer.
- Cayman Business System. 2004. *Failure Mode and Effect Analysis*.
- Daryus, Asyari. 2008. *Diktat Management Pemeliharaan Mesin*. Jakarta: Universitas Darma Persada
- Ebbeling, Charles E., 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Ford Motor Company. 1996. *Failure Mode and Effect Analysis*. Handbook Supplement for Machinery
- Lewis, E.E. 1994. *Introduction to Reliability Engineering*. Second Edition. John Willey & Sons, LTD.
- Masruroh, Nisa. 2008. *Perencanaan Kegiatan Perawatan Pada Unit Produksi Butiran (Padat) dengan Basic RCM (Reliability Centered Maintenance) di PT. Petrokimia Kayayu Gresik*. UPN Veteran Jatim.
- Mobley, R. Keith. 2002. *An Introduction to Predictive Maintenance, 2nd ed*. USA: Butterworth-heinemann
- Mourbay, John. 1997. *Reliability Centered Maintenance (RCM II)*. Biddles Ltd: Great Britain.
- Muhammad. 2013. *Evaluasi Manajemen Perawatan Mesin dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance pada PT.Z*. Malikussaleh Industrial Engineering Journal Vol 2 No1. hlm:9-13
- Putra, Boy Isma. 2014. *Evaluasi Manajemen Perawatan dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) pada Mesin Danner 1.3 di PT.X*. Teknolojia Vol.5. hlm:1-8.
- Reinard, John C. 2006. *Communication Research Statistic*. London: SAGE.
- Sehrawat, MS. Dan JS Narang. 2001. *Production Management*. 3rd Edition. Delhi: Dhompat Rai & Co. (P) Ltd.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta

- Suryana, A., 2015. *Perencanaan Perawatan Pulverizer dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II*. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri Vol 3 No8. Hlm:718-729
- Tampubolon, Manahan P., 2004. *Manajemen Operasi*. Edisi 1. Jakarta: Galia Indonesia.
- Yumaida. 2011. *Analisis Resiko Kegagalan Pemeliharaan Pada Pabrik Pengolahan Pupuk NPK Granular (Studi Kasus: PT. Pupuk Kujang Cikampek)*. Universitas Indonesia, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri. hlm:15-21
- Yssaad, B., dkk., 2014. *Reliability Centered Maintenance Optimization for Power Distribution System*. Electrical Power and Energy System 5S. Page:108-115
- Zahirah, Anisa Lathifani. 2012. *Penentuan Interval Waktu Perawatan Optimum dan Analisis Perbandingan Finansial Komponen Auxilary (Studi Kasus: Sistem Gas Turbin PLTU PT. PJB Up Gresik)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Industri. hlm: 5-11



Lampiran 1. Tabel Fungsi Gamma

TABEL FUNGSI GAMMA

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1.00	1.00000	1.50	.88023
1.01	.99433	1.51	.88659
1.02	.98884	1.52	.88704
1.03	.98355	1.53	.88757
1.04	.97844	1.54	.88818
1.05	.97350	1.55	.88887
1.06	.96874	1.56	.88964
1.07	.96415	1.57	.89049
1.08	.95973	1.58	.89142
1.09	.95546	1.59	.89243
1.10	.95135	1.60	.89352
1.11	.94740	1.61	.89468
1.12	.94359	1.62	.89592
1.13	.93993	1.63	.89724
1.14	.93642	1.64	.89864
1.15	.93304	1.65	.90012
1.16	.92980	1.66	.90167
1.17	.92670	1.67	.90330
1.18	.92373	1.68	.90500
1.19	.92089	1.69	.90678
1.20	.91817	1.70	.90864
1.21	.91558	1.71	.91057
1.22	.91311	1.72	.91258
1.23	.91075	1.73	.91467
1.24	.90852	1.74	.91683
1.25	.90640	1.75	.91906
1.26	.90440	1.76	.92137
1.27	.90250	1.77	.92376
1.28	.90072	1.78	.92623
1.29	.89904	1.79	.92877
1.30	.89747	1.80	.93138
1.31	.89600	1.81	.93408
1.32	.89464	1.82	.93685
1.33	.89338	1.83	.93969
1.34	.89222	1.84	.94261
1.35	.89115	1.85	.94561
1.36	.89018	1.86	.94869
1.37	.88931	1.87	.95184
1.38	.88854	1.88	.95507
1.39	.88785	1.89	.95838
1.40	.88726	1.90	.96177
1.41	.88676	1.91	.96523
1.42	.88636	1.92	.96877
1.43	.88604	1.93	.97240
1.44	.88581	1.94	.97610
1.45	.88566	1.95	.97988
1.46	.88560	1.96	.98374
1.47	.88563	1.97	.98768
1.48	.88575	1.98	.99171
1.49	.88595	1.99	.99581
1.50	.88623	2.00	1.00000



Lampiran 2. Tabel F Distribusi ($\alpha=0,05$)

df2 \ df1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80	100	200	500	1000	>1000	df1 / df2		
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63	8.62	8.62	8.60	8.59	8.59	8.58	8.57	8.57	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	8.54	8.53	3	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80	5.79	5.77	5.76	5.75	5.75	5.73	5.72	5.71	5.70	5.69	5.68	5.67	5.66	5.65	5.64	5.63	5.63	5.63	4	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.54	4.53	4.52	4.50	4.50	4.48	4.46	4.45	4.44	4.43	4.42	4.42	4.41	4.39	4.37	4.37	4.36	4.36	5	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.84	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.76	3.75	3.74	3.73	3.72	3.71	3.69	3.68	3.67	3.67	3.67	6	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44	3.43	3.41	3.40	3.39	3.38	3.36	3.34	3.33	3.32	3.30	3.29	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	3.23	3.23	7	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.13	3.12	3.10	3.09	3.08	3.06	3.04	3.03	3.02	3.01	2.99	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	2.93	2.93	8	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94	2.92	2.90	2.89	2.87	2.86	2.84	2.83	2.81	2.80	2.79	2.78	2.77	2.76	2.75	2.72	2.71	2.71	2.71	2.71	9
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.75	2.74	2.72	2.71	2.70	2.68	2.66	2.65	2.64	2.62	2.61	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54	2.54	2.54	2.54	10
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65	2.63	2.61	2.59	2.58	2.57	2.55	2.53	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.46	2.43	2.42	2.41	2.41	2.41	2.41	11
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.44	2.43	2.41	2.40	2.38	2.37	2.36	2.35	2.32	2.31	2.30	2.30	2.30	2.30	12
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46	2.44	2.42	2.41	2.39	2.38	2.36	2.34	2.33	2.31	2.30	2.28	2.27	2.26	2.23	2.22	2.21	2.21	2.21	2.21	13
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39	2.37	2.35	2.33	2.32	2.31	2.28	2.27	2.25	2.24	2.22	2.21	2.20	2.19	2.16	2.14	2.14	2.14	2.14	14	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22	2.20	2.19	2.18	2.16	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.07	2.07	15	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28	2.25	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	2.15	2.14	2.12	2.11	2.09	2.08	2.07	2.04	2.02	2.02	2.02	2.02	16	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23	2.21	2.19	2.17	2.16	2.15	2.12	2.10	2.09	2.08	2.06	2.05	2.03	2.02	1.99	1.97	1.97	1.97	1.96	17	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19	2.17	2.15	2.13	2.12	2.11	2.08	2.06	2.05	2.04	2.02	2.00	1.99	1.98	1.95	1.93	1.92	1.92	1.92	18	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.97	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88	1.88	1.88	19	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.23	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.05	2.04	2.01	1.99	1.98	1.97	1.95	1.93	1.92	1.91	1.88	1.86	1.85	1.84	1.84	20	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.86	1.85	1.82	1.80	1.79	1.78	1.78	1.78	22
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03	2.00	1.98	1.97	1.95	1.94	1.91	1.89	1.88	1.86	1.84	1.83	1.82	1.80	1.77	1.75	1.74	1.73	1.73	1.73	24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.87	1.85	1.84	1.82	1.80	1.79	1.78	1.76	1.73	1.71	1.70	1.69	1.69	1.69	26
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.84	1.82	1.80	1.79	1.77	1.75	1.74	1.73	1.69	1.67	1.66	1.66	1.66	28	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93	1.91	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.71	1.67	1.66	1.64	1.63	1.62	1.62	30	
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.08	2.04	2.01	1.99	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.85	1.83	1.82	1.80	1.79	1.76	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.63	1.60	1.57	1.56	1.56	1.56	35	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66	1.64	1.62	1.61	1.59	1.55	1.53	1.52	1.51	1.51	1.51	40
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82	1.81	1.78	1.76	1.74	1.73	1.71	1.68	1.66	1.64	1.63	1.60	1.59	1.57	1.55	1.51	1.49	1.48	1.47	1.47	45	
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87	1.85	1.83	1.81	1.80	1.78	1.76	1.74	1.72	1.70	1.69	1.66	1.63	1.61	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.48	1.46	1.45	1.44	1.44	50	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.82	1.80	1.78	1.76	1.75	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.62	1.59	1.57	1.56	1.53	1.52	1.50	1.48	1.44	1.41	1.40	1.39	1.39	60	
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81	1.79	1.77	1.75	1.74	1.72	1.70	1.67	1.65	1.64	1.62	1.59	1.57	1.55	1.53	1.50	1.49	1.47	1.45	1.40	1.37	1.36	1.35	1.35	70	
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.72	1.70	1.68	1.65	1.63	1.62	1.60	1.57	1.54	1.52	1.51	1.48	1.46	1.45	1.43	1.38	1.35	1.34	1.33	1.33	80	
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69	1.68	1.65	1.63	1.61	1.59	1.57	1.54	1.52	1.49	1.48	1.45	1.43	1.41	1.39	1.34	1.31	1.30	1.28	1.28	100	
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.06	1.98	1.93	1.88	1.84	1.80	1.77	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66	1.64	1.62	1.60	1.57	1.55	1.53	1.52	1.48	1.46	1.43	1.41	1.39	1.36	1.35	1.32	1.26	1.22	1.21	1.19	1.19	200	
500	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.77	1.74	1.71	1.69	1.66	1.64	1.62	1.61	1.59	1.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.35	1.32	1.30	1.28	1.21	1.16	1.14</				

Lampiran 3. Tabel Distribusi Normal

z	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.5	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830



1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998



Lampiran 5. Data Downtime Komponen Mesin Crusher

1. Komponen Bearing

Tanggal	Start Time	Close Time	Tanggal	Start Time	Close Time
03 Januari 2014	00:00:00	05:40:00	01 Agustus 2014	22:00:00	03:20:00
15 Januari 2014	09:00:00	14:10:00	12 Agustus 2014	12:05:00	17:45:00
29 Januari 2014	09:15:00	14:25:00	21 Agustus 2014	02:30:00	07:50:00
14 Februari 2014	22:10:00	03:00:00	29 Agustus 2014	04:00:00	09:30:00
27 Februari 2014	08:10:00	13:05:00	03 September 2014	01:00:00	06:30:00
10 Maret 2014	14:00:00	19:10:00	06 September 2014	19:15:00	00:35:00
19 Maret 2014	09:15:00	14:00:00	12 September 2014	15:30:00	20:50:00
29 Maret 2014	21:00:00	02:10:00	20 September 2014	12:25:00	17:45:00
10 April 2014	07:00:00	12:20:00	30 September 2014	13:00:00	18:40:00
24 April 2014	22:00:00	03:10:00	10 Oktober 2014	12:10:00	17:20:00
07 Mei 2014	13:10:00	18:00:00	20 Oktober 2014	09:10:00	14:20:00
19 Juni 2014	03:25:00	08:35:00	31 Oktober 2014	22:15:00	03:55:00
28 Juni 2014	23:20:00	04:50:00	09 November 2014	14:25:00	19:45:00
03 Juli 2014	14:25:00	19:55:00	17 November 2014	12:00:00	17:40:00
10 Juli 2014	04:00:00	09:20:00	22 November 2014	08:10:00	13:20:00
14 Juli 2014	01:30:00	06:20:00	29 November 2014	10:10:00	15:20:00
19 Juli 2014	01:10:00	06:50:00	08 Desember 2014	23:15:00	04:55:00
20 Juli 2014	10:15:00	15:35:00			

2. Komponen Motor Listrik

Tanggal	Start Time	Close Time	Tanggal	Start Time	Close Time
07 Februari 2014	10:15:00	15:25:00	29 Juni 2014	10:10:00	15:30:00
21 Februari 2014	15:10:00	20:20:00	08 Juli 2014	16:35:00	21:25:00
09 Maret 2014	02:10:00	07:40:00	20 Juli 2014	04:10:00	09:40:00
28 Maret 2014	04:10:00	09:50:00	31 Juli 2014	07:05:00	12:35:00
13 April 2014	04:00:00	09:10:00	12 Agustus 2014	11:00:00	16:20:00
30 April 2014	08:05:00	13:45:00	29 Agustus 2014	02:30:00	07:10:00
18 Mei 2014	14:10:00	19:30:00	12 September 2014	04:20:00	09:45:00
05 Juni 2014	03:00:00	08:10:00	25 September 2014	14:20:00	19:40:00
13 Juni 2014	12:05:00	17:55:00	12 Oktober 2014	02:30:00	07:10:00
19 Juni 2014	11:00:00	16:50:00	31 Oktober 2014	04:00:00	09:20:00

3. Komponen Kinetic Jaw

Tanggal	Start Time	Close Time	Tanggal	Start Time	Close Time
08 Januari 2014	00:00:00	05:55:00	07 Juli 2014	11:20:00	16:40:00
02 Februari 2014	13:00:00	18:25:00	28 Juli 2014	20:00:00	01:40:00
20 Februari 2014	07:15:00	12:45:00	17 Agustus 2014	11:10:00	16:30:00

Tanggal	Start Time	Close Time	Tanggal	Start Time	Close Time
15 Maret 2014	20:10:00	01:20:00	09 September 2014	04:25:00	09:45:00
05 April 2014	07:10:00	12:35:00	20 September 2014	21:20:00	02:30:00
29 April 2014	13:30:00	18:50:00	08 Oktober 2014	11:25:00	16:25:00
25 Mei 2014	10:15:00	15:30:00	28 Oktober 2014	05:00:00	10:30:00
16 Juni 2014	21:30:00	02:30:00			

4. Komponen Toggle

Tanggal	Start Time	Close Time	Tanggal	Start Time	Close Time
21 Maret 2014	0:00:00	07:40:00	10 Juli 2014	22:30:00	05:15:00
02 April 2014	11:00:00	18:10:00	23 Juli 2014	15:10:00	22:10:00
16 April 2014	11:15:00	18:35:00	04 Agustus 2014	04:25:00	11:25:00
02 Mei 2014	17:10:00	00:30:00	13 Agustus 2014	20:25:00	03:20:00
15 Mei 2014	11:10:00	18:25:00	18 Agustus 2014	11:25:00	18:35:00
26 Mei 2014	19:00:00	02:10:00	25 Agustus 2014	07:20:00	14:25:00
04 Juni 2014	10:15:00	17:20:00	29 Agustus 2014	04:35:00	11:40:00
14 Juni 2014	23:10:00	06:25:00	03 September 2014	01:40:00	08:50:00
26 Juni 2014	11:00:00	18:25:00	13 September 2014	12:15:00	19:35:00

5. Komponen Fixed Jaw

Tanggal	Start Time	Close Time	Tanggal	Start Time	Close Time
06 Januari 2014	08:10:00	14:25:00	28 Juni 2014	12:25:00	18:30:00
29 Januari 2014	08:35:00	14:50:00	21 Juli 2014	11:00:00	17:25:00
18 Februari 2014	11:25:00	17:45:00	12 Agustus 2014	12:30:00	18:45:00
15 Maret 2014	17:00:00	22:40:00	06 September 2014	08:00:00	14:35:00
07 April 2014	10:30:00	16:40:00	28 September 2014	13:25:00	19:45:00
29 April 2014	12:00:00	18:35:00	18 Oktober 2014	09:40:00	15:25:00
23 Mei 2014	20:25:00	02:50:00	05 November 2014	12:15:00	18:30:00
05 Juni 2014	09:40:00	15:50:00			