

TUGAS AKHIR

**USULAN PERENCANAAN *MAINTENANCE* PADA MESIN *KILN*  
PT.SEMEN TONASA V MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY*  
*CENTERED MAINTENANCE II (RCM II)***

(Studi Kasus di PT. Semen Tonasa)

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat ujian

guna memperoleh gelar Sarjana Teknik

pada Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



**OLEH:**

**MUHAMMAD JIBRIL**

**D221 16 302**

**DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

**USULAN PERENCANAAN *MAINTENANCE* PADA MESIN *KILN*  
PT.SEMEN TONASA V MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY*  
*CENTERED MAINTENANCE II (RCM II)***

(Studi Kasus di PT. Semen Tonasa)

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat ujian

guna memperoleh gelar Sarjana Teknik

pada Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



**OLEH:**

**MUHAMMAD JIBRIL**

**D221 16 302**

**DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir:

**USULAN PERENCANAAN *MAINTENANCE* PADA MESIN *KILN*  
PT.SEMEN TONASA V MENGGUNAKAN METODE *RELIABILITY*  
*CENTERED MAINTENANCE II (RECM II)***

Disusun oleh:

**MUHAMMAD JIBRIL**

**D221 16 302**

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



**Dr. Eng. Farid Mardin, ST., M.T., M.Sc**  
NIP. 19700710 200212 1 001



**A. Besse Rivani Indah ST., M.T.**  
NIP. 19891201 201903 2 013

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



**Dr. Ir. Saiful, S.T., M.T., IPM**  
NIP. 19810606 200604 1 004

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MUHAMMAD JIBRIL

NIM : D22116302

Judul Skripsi : “USULAN PERENCANAAN MAINTENANCE PADA MESIN KILN PT.SEMEN TONASA V MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE II (RCM II)”

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Makassar, 18 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



MUHAMMAD JIBRIL

NIM. D22116302

## ABSTRAK

PT.Semen Tonasa adalah perusahaan manufaktur yang bergerak dibidang produksi semen yang terletak di daerah kabupaten Pangkep, Sulawesi-Selatan. Untuk mencapai target produksi, aktivitas produksi dilakukan 24 jam selama 1 tahun tanpa henti. Terdapat beberapa mesin-mesin yang ada pada lantai produksi Semen Tonasa salah satunya mesin *Kiln*. Mesin *Kiln* dikategorikan mesin kritis, sehingga perusahaan mengharapkan kinerja dari mesin *Kiln* berjalan maksimal dan dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Untuk merealisasikan hal tersebut maka diperlukan aktivitas yang dapat menjamin kinerja optimal pada mesin *Kiln*. Kegiatan pemeliharaan merupakan salah satu aktivitas yang dilakukan untuk menjamin kelancaran proses produksi apabila penerapannya efektif.

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) untuk menentukan jenis tindakan pemeliharaan yang efektif pada sistem kritis mesin *Kiln* PT.Semen Tonasa V. Data historis kerusakan mesin akan dianalisa, kemudian kegagalan dari suatu komponen penyusun pada sistem kritis akan diidentifikasi pada tahapan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Risk Priority Number* (RPN), dan konsekuensi kegagalan. Selanjutnya tahap analisis *Reliabilitas* untuk mengetahui siklus hidup dan laju kerusakan pada komponen kritis sistem kritis mesin *Kiln*, yang kemudian dapat ditentukan *Maintenance Task* yang efektif berdasarkan karakteristik suatu komponen.

Pengolahan data diawali dengan penentuan sistem kritis, dimana didapatkan sistem kritis pada mesin *Kiln* Semen Tonasa V ialah sistem *Kiln & Firing System*, kemudian identifikasi kegalalan dan menentukan komponen kritis. Berdasarkan hasil pengolahan data didapatkan MTTF *Master Gear* 23767,85 jam, MTTF *Pinion Bearing* 23193,14 jam, MTTF *Burner Kiln* 4483,64 jam, MTTF *Pfister* 2430,72 jam, MTTF *Blower* 9327,49 jam, MTTF *Shell Kiln* 9952,24 jam, dan MTTF *Main Drive* 6462,71 jam. Sedangkan tindakan pemeliharaan yang efektif yang dilakukan ialah *scheduled on-condition task* untuk komponen *Burner Kiln*. *scheduled restoration task* untuk komponen *Blower*, *Shell Kiln* dan *Main Drive*. *scheduled discard task* untuk komponen *Master Gear*, *Pinion Bearing* dan *Pfister*. Selain itu tindakan *failure finding* diperlukan untuk mengecek kegagalan yang bersifat tersembunyi.

**Kata Kunci:** Pemeliharaan, mesin *Kiln*, *Reliability Centered Maintenance II* (RCM), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

## **ABSTRACT**

*PT.Semen Tonasa is a manufacturing company engaged in cement production located in the Pangkep district, South Sulawesi. To achieve the production target, production activities are carried out 24 hours for 1 year without stopping. There are several machines on the Semen Tonasa production floor, one of which is the Kiln machine. Kiln machines are categorized as critical machines, so the company expects the performance of Kiln machines to run optimally and be able to operate according to their functions. To realize this, activities are needed that can guarantee optimal performance on Kiln machines. Maintenance activities are one of the activities carried out to ensure the smooth running of the production process if the application is effective.*

*In this final project research uses the Reliability Centered Maintenance II (RCM II) method to determine the type of effective maintenance action on the critical system of PT Semen Tonasa V's Kiln engine. Historical data of engine failure will be analyzed, then the failure of a constituent component in the critical system will be analyzed. identified in the stages of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Risk Priority Number (RPN), and the consequences of failure. Furthermore, the reliability analysis stage is to determine the life cycle and the rate of damage to the critical components of the Kiln engine's critical system, which can then determine an effective Maintenance Task based on the characteristics of a component.*

*Data processing begins with the determination of the critical system, where the critical system in the Semen Tonasa V Kiln machine is the Kiln & Firing System system, then identify defects and determine the critical components. Based on the results of data processing, it was obtained MTTF Master Gear 23767.85 hours, MTTF Pinion Bearing 23193,14 hours, MTTF Burner Kiln 4483.64 hours, MTTF Pfister 2430.72 hours, MTTF Blower 9327.49 hours, MTTF Shell Kiln 9952.24 hours , and MTTF Main Drive 6462.71 hours. Meanwhile, the effective maintenance action taken is the scheduled on-condition task for the Burner Kiln component. scheduled restoration task for Blower, Shell Kiln and Main Drive components. scheduled discard task for Master Gear, Pinion Bearing, and Pfister components. In addition, failure finding is needed to check hidden failures.*

***Keywords: Maintenance, Kiln machines, Reliability Centered Maintenance II (RCM), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)***

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur senantiasa kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada setiap hamba-Nya, terkhusus sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Usulan Perencanaan *Maintenance* Pada Mesin *Kiln* PT.Semen Tonasa V Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* II (RCM II) (Studi Kasus: PT.Semen Tonasa)”, yang mana merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tak lupa pula, shalawat dan salam tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW, yang telah senantiasa membimbing ummat-Nya dari zaman kegelapan hingga ke zaman yang terang benderang.

Tulisan ini didedikasikan untuk kedua orang tua tercinta penulis yakni Bapak Muhammad Salim dan Ibu Hasmin serta saudara kandung penulis, Anil Aqsa dan Luth Fiah Salim yang senantiasa memberikan doa dan support terbesar dalam penyelesaian tugas akhir ini. Tugas akhir ini juga dapat selesai karena bantuan, motivasi, dukungan, dan doa dari banyak pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Farid Mardin, S.T., M.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I, terima kasih atas segala bimbingannya selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Ibu A. Besse Riyani Indah, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, terima kasih atas segala bimbingannya selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir.Saiful, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Bapak dan Ibu dosen serta staf Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Karyawan PT. Semen Tonasa, terkhusus kepada Pak Adi, Kanda Irsan, dan Pak Kama' yang membantu saya dalam pengambilan data dari awal hingga akhir.
6. Keluarga besar penulis, terima kasih telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
7. Teman-teman Z16MA, terima kasih sudah saling mendukung dan mendoakan.
8. Kanda-kanda mahasiswa/i Universitas Hasanuddin Fakultas Teknik Departemen Teknik Industri, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Demikian tugas akhir ini penulis buat, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca khususnya mahasiswa/i Teknik Industri. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, saran dan kritik yang sifatnya membangun dari pembaca sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan ke depannya.



## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	
LEMBAR PENGESAHAN.....	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	
ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i> .....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. Penelitian Terdahulu .....	7
2.2. Posisi Penelitian .....	8
2.3. Pemeliharaan ( <i>Maintenance</i> ).....	9

2.3.1. Definisi Pemeliharaan .....	9
2.3.2. Tujuan Pemeliharaan .....	10
<b>2.4. Reliability Centered Maintenance II (RCM) .....</b>	<b>10</b>
2.4.1. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi .....	12
2.4.2. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsional .....	13
2.4.3. Deskripsi Sistem dan <i>Functional Block Diagram</i> (FBD).....	13
2.4.4. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....	13
2.4.5. RCM II <i>Decision Diagram</i> .....	16
2.4.6. RCM II <i>Decision Worksheet</i> .....	18
<b>2.5. Keandalan (<i>Reliability</i>) .....</b>	<b>28</b>
2.5.1. Fungsi Keandalan.....	28
2.5.2. Pola Distribusi Keandalan .....	29
2.5.3. <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF) .....	35
2.5.4. <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR).....	36
<b>2.6. Siklus Hidup Dan Laju Kerusakan Komponen.....</b>	<b>37</b>
<b>2.7. Kiln .....</b>	<b>39</b>
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1. Tempat dan waktu penelitian.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2. Sumber Data .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3. Metode Pengumpulan Data .....</b>	<b>43</b>

<b>3.4. Prosedur Penelitian.....</b>	<b>44</b>
3.4.1. Menentukan Fokus Penelitian.....	44
3.4.2. Studi Pendahuluan.....	44
3.4.3. Identifikasi Masalah .....	45
3.4.4. Perumusan Masalah.....	45
3.4.5. Memilih Pendekatan dan Metode.....	45
3.4.6. Pengumpulan data dan pengolahan data.....	49
3.4.7. Analisa Kualitatif .....	49
3.4.8. Analisa Kuantitatif .....	51
3.4.9. Pemberian Rekomendasi .....	54
3.4.10. Penarikan kesimpulan.....	54
<b>3.5. <i>Flowchart</i> Penelitian .....</b>	<b>55</b>
<b>3.6. Sistematisasi Penulisan .....</b>	<b>56</b>
<b>3.7. Kerangka Pikir .....</b>	<b>57</b>
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Gambaran Umum Perusahaan.....</b>	<b>58</b>
4.1.1 Profil Perusahaan.....	58
4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan .....	60
<b>4.2 Data Historis Kegagalan Sistem Mesin <i>Kiln</i> PT.Semen Tonasa V.....</b>	<b>61</b>
<b>4.3 Deskripsi Sistem Mesin <i>Kiln</i> PT.Semen Tonasa V.....</b>	<b>64</b>

<b>4.4 Seleksi Sistem Kritis Mesin <i>Kiln</i> PT.Semen Tonasa V .....</b>	<b>65</b>
<b>4.5 <i>Functional Block Diagram</i> (FBD).....</b>	<b>68</b>
<b>4.6 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) .....</b>	<b>69</b>
<b>4.7 Konsekuensi Kegagalan.....</b>	<b>75</b>
<b>4.8 <i>Maintenance Task dan Analisis Reliability</i> .....</b>	<b>77</b>
4.8.1 <i>Komponen Master Gear</i> .....	78
4.8.2 <i>Komponen Pinion Bearing</i> .....	85
4.8.3 <i>Komponen Burner Kiln</i> .....	93
4.8.4 <i>Komponen Pfister</i> .....	101
4.8.5 <i>Komponen Blower</i> .....	110
4.8.6 <i>Komponen Shell Kiln</i> .....	118
4.8.7 <i>Komponen Main Drive</i> .....	125
<b>4.9 Interval Pemeliharaan <i>Failure Finding Task</i>.....</b>	<b>133</b>
<b>4.10RCM II <i>Decision Worksheet</i> .....</b>	<b>135</b>
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>137</b>
<b>5.1 Analisa Sistem Kritis .....</b>	<b>137</b>
<b>5.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....</b>	<b>138</b>
<b>5.3 Konsekuensi Kegagalan.....</b>	<b>140</b>
<b>5.4 <i>Maintenance Task dan Analisis Reliability</i> .....</b>	<b>144</b>
5.4.1 <i>Master Gear</i> .....	144

5.4.2	<i>Pinion Bearing</i> .....	145
5.4.3	<i>Burner Kiln</i> .....	147
5.4.4	<i>Pfister</i> .....	148
5.4.5	<i>Blower</i> .....	150
5.4.6	<i>Shell Kiln</i> .....	151
5.4.7	<i>Main Drive</i> .....	153
<b>5.5</b>	<b>Interval Pemeliharaan <i>Failure Finding</i></b> .....	<b>154</b>
<b>BAB VI</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>156</b>
<b>6.1</b>	<b>Kesimpulan</b> .....	<b>156</b>
<b>6.2</b>	<b>Saran</b> .....	<b>157</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>159</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>164</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Penelitian Terdahulu .....	7
Table II.2 Lanjutan Tabel Penelitian Terdahulu.....	8
Table II.3 Posisi Penelitian.....	8
Table II.4 Lanjutan Tabel Posisi Penelitian .....	9
Table II.5 Kriteria dan skala rangking untuk <i>Severity</i> .....	15
Table II.6 Kriteria dan skala rangking untuk <i>Occurence</i> .....	15
Table II.7 Kriteria dan skala rangking untuk <i>Detection</i> .....	16
Table II.8 Tabel Formula RCM II <i>Decision Worksheet</i> .....	18
Table II.9 <i>Unavailability</i> .....	25
Table II.10 Syarat kondisi dalam penentuan <i>Proactive Task</i> dan <i>Default Action</i> .....	26
Table IV.1 Data Historis <i>Shutdown</i> mesin <i>Kiln</i> PT.Semen Tonasa V.....	61
Table IV.2 Tabel Lanjutan Data Historis <i>Shutdown</i> mesin <i>Kiln</i> PT.Semen Tonasa V .....	62
Table IV.3 Tabel Lanjutan Data Historis <i>Shutdown</i> mesin <i>Kiln</i> PT.Semen Tonasa V .....	63
Table IV.4 Data Historis kerusakan komponen pada sistem <i>Kiln &amp; Firing System</i> mesin <i>Kiln</i> .....	67
Table IV.5 Lanjutan Data Historis kerusakan komponen pada sistem <i>Kiln &amp; Firing</i> <i>System</i> mesin <i>Kiln</i> .....	68
Table IV.6 Fungsi komponen penyusun sistem <i>Kiln &amp; Firing System</i> .....	69
Table IV.7 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....	71
Table IV.8 Lanjutan Tabel <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....	72

Table IV.9 <i>Risk Priority Number (RPN)</i> .....	73
Table IV.10 Lanjutan Tabel <i>Risk Priority Number (RPN)</i> .....	74
Table IV.11 Konsekuensi Kegagalan .....	75
Table IV.12 Lanjutan Tabel Konsekuensi Kegagalan .....	76
Table IV.13 TTF dan TTR komponen <i>Master Gear</i> .....	79
Table IV.14 Nilai Parameter Komponen <i>Master gear</i> .....	82
Table IV.15 TTF dan TTR komponen <i>Pinion Bearing</i> .....	86
Table IV.16 Nilai Parameter Komponen <i>Pinion Bearing</i> .....	89
Table IV.17 TTF dan TTR komponen <i>Burner Kiln</i> .....	94
Table IV.18 Nilai Parameter Komponen <i>Burner Kiln</i> .....	97
Table IV.19 TTF dan TTR komponen <i>Pfister</i> .....	103
Table IV.20 Nilai Parameter Komponen <i>Pfister</i> .....	106
Table IV.21 TTF dan TTR komponen <i>Blower</i> .....	112
Table IV.22 Nilai Parameter Komponen <i>Blower</i> .....	114
Table IV.23 TTF dan TTR komponen <i>Shell Kiln</i> .....	119
Table IV.24 Nilai Parameter Komponen <i>Shell Kiln</i> .....	122
Table IV.25 TTF dan TTR komponen <i>Main Drive</i> .....	126
Table IV.26 Nilai Parameter Komponen <i>Main Drive</i> .....	129
Table IV.27 Rekap <i>Finding Failure Interval</i> .....	135
Table IV.28 RCM II <i>Decision Worksheet</i> .....	135
Table IV.29 Lanjutan Tabel RCM II <i>Decision Worksheet</i> .....	136

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 RCM II <i>Decision Diagram</i> .....	17
Gambar II.2 <i>Consequence Reference</i> .....	21
Gambar II.3 Gambar II.1 Pola Distribusii <i>Weibull</i> .....	30
Gambar II.4 Pola Distribusii Normal.....	31
Gambar II.5 Pola distribusii <i>Lognormal</i> .....	32
Gambar II.6 Pola Distribusii <i>Eksponensial</i> .....	34
Gambar II.7 <i>Bathub Curve</i> .....	37
Gambar III.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	55
Gambar III.2 Kerangka berpikir .....	57
Gambar IV.1 Frekuensi kegagalan sistem pada mesin <i>Kiln</i> PT.Semen Tonasa V .....	66
Gambar IV.2 <i>Functional Block Diagram</i> sistem <i>Kiln &amp; Firing System</i> mesin <i>Kiln</i> ..	69
Gambar IV.3 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTF komponen <i>Master Gear</i> .....	80
Gambar IV.4 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTR komponen <i>Master Gear</i> .....	81
Gambar IV.6 Grafik laju kerusakan komponen <i>Master Gear</i> .....	84
Gambar IV.7 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTF komponen <i>Pinion Bearing</i> .....	87
Gambar IV.8 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTR komponen <i>Pinion Bearing</i> .....	88
Gambar IV.10 Grafik laju kerusakan komponen <i>Pinion Bearing</i> .....	92
Gambar IV.11 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTF komponen <i>Burner Kiln</i> .....	95
Gambar IV.12 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTR komponen <i>Burner Kiln</i> .....	96
Gambar IV.14 Grafik laju kerusakan komponen <i>Burner Kiln</i> .....	100
Gambar IV.15 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTF komponen <i>Pfister</i> .....	104
Gambar IV.16 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTR komponen <i>Pfister</i> .....	104



Gambar IV.18 Grafik laju kerusakan komponen Pfister.....	109
Gambar IV.19 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTF komponen <i>Blower</i> .....	112
Gambar IV.20 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTR komponen <i>Blower</i> .....	113
Gambar IV.22 Grafik Laju Kerusakan Komponen <i>Blower</i> .....	117
Gambar IV.23 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTF komponen <i>Shell Kiln</i> .....	120
Gambar IV.24 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTR komponen <i>Shell Kiln</i> .....	121
Gambar IV.26 Grafik Laju Kerusakan Komponen <i>Shell Kiln</i> .....	124
Gambar IV.27 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTF komponen <i>Main Drive</i> .....	127
Gambar IV.28 Hasil <i>Goodness of fit</i> TTR komponen <i>Main Drive</i> .....	128
Gambar IV.30 Grafik Laju Kerusakan Komponen <i>Main Drive</i> .....	132
Gambar V.1 Frekuensi kerusakan pada sistem mesin kiln Tonasa V .....	137

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

PT. Semen Tonasa adalah perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur yang memproduksi berbagai jenis tipe semen. PT. Semen Tonasa saat ini memiliki beberapa pabrik utama yakni Semen Tonasa II/III, Semen Tonasa IV, dan Semen Tonasa V, khususnya Semen Tonasa II dan III memiliki satu unit kerja yang sama. Dari setiap unit kerja memiliki beberapa stasiun kerja yakni *Crusher* (Penghancur bahan baku batu kapur), *Raw Mill* (Penggilingan Pertama), *Coal Mill* (Penggilingan batubara), *Kiln* (Pembakaran *Raw Meal*), dan yang terakhir ialah *Finish Mill*. Mesin *Kiln* merupakan salah satu mesin yang penggunaannya sangat penting dalam proses produksi semen. sistem kerja pada mesin *Kiln* sangat mempengaruhi sistem kerja pada mesin-mesin lain yang ada pada industri semen, oleh karena itu mesin *Kiln* dikategorikan mesin kritis, sehingga perusahaan mengharapkan kinerja dari mesin *Kiln* berjalan maksimal dan dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Untuk mencapai apa yang diharapkan perusahaan maka diperlukan aktivitas yang dapat menjamin kinerja optimal pada mesin *Kiln*.

Kegiatan perawatan mesin berguna untuk menjaga, memelihara, mempertahankan, mengembangkan dan memaksimalkan kinerja mesin untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya dan tersedia saat akan digunakan.

PT.Semen Tonasa saat ini telah menerapkan kegiatan perawatan yang terbagi dalam dua kegiatan yaitu perawatan pencegahan yakni *Preventive Maintenance* dan *Predictive Maintenance*. *Preventive Maintenance* dilakukan pada interval waktu harian, mingguan, bulanan, dan tahunan. Selain itu *Predictive Maintenance* juga dilakukan harian dan mingguan untuk memeriksa kondisi mesin. Meskipun PT.Semen Tonasa telah menerapkan sistem pemeliharaan yang terencana (*Planned Maintenance*) yakni *Preventive Maintenance* dan *Predictive Maintenance* pada masing-masing mesin produksinya, Namun tercatat frekuensi kegagalan fungsi pada mesin-mesin produksi PT.Semen Tonasa salah satunya mesin *Kiln* masih tinggi, hal demikian karena terjadinya kegagalan-kegagalan fungsi pada sistem utama mesin *Kiln*. Kerusakan yang terjadi ialah kerusakan besar pada peralatan hingga dampak terhadap kesehatan dan keselamatan kerja, dimana kerusakan-kerusakan yang terjadi bersifat *Emergency (Unplanned Maintenance)* yang demikian diperlukan tindakan sesegera mungkin untuk mencegah kegagalan yang lebih serius sehingga mesin berhenti beroperasi (*Shutdown*) tidak sesuai dengan yang telah direncanakan sebelumnya.

Dengan adanya sistem pemeliharaan yang terencana (*Planned Maintenance*) diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kegagalan-kegagalan yang bersifat *Emergency*, selain itu juga dengan adanya sistem pemeliharaan yang baik diharapkan kebijakan atau tindakan-tindakan yang dilakukan sesuai dengan karakteristik kerusakan suatu sistem atau komponen, dengan demikian kebijakan pemeliharaan yang dilakukan lebih efektif. Oleh

karena itu, perlu adanya strategi *maintenance* yang baik untuk meminimalisir terjadinya kegagalan-kegagalan yang bersifat *Emergency*.

*Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah teknik yang lebih maju dalam perancangan strategi *maintenance*, menjamin aset beroperasi sesuai dengan desain asli dan menjalankan fungsinya sesuai yang diharapkan. kunci dari penerapan metode RCM selain mempertimbangkan dari segi *Reliabilitas* ialah adanya identifikasi kegagalan-kegagalan fungsi pada sistem atau komponen yang dimana dilakukan dengan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), hal demikian dapat menjamin kebijakan atau tindakan-tindakan yang dilakukan sesuai dengan karakteristik kerusakan pada fasilitas. Selain itu RCM merupakan cara untuk mengembangkan strategi perawatan dan desain alternatif, berdasarkan operasional, ekonomi dan keselamatan kerja serta ramah lingkungan.

Pendapat lain juga menyatakan RCM adalah metode yang menawarkan strategi terbaik untuk merencanakan suatu perawatan. demikian berdasarkan pernyataan Kurniawan (2015) yang menyatakan bahwa RCM merupakan suatu metode perawatan yang memanfaatkan informasi yang berkaitan dengan keandalan dan jenis kegagalan suatu fasilitas untuk memperoleh strategi perawatan yang efektif, efisien dan mudah untuk dilakukan. selain itu Kurniawan (2015) juga menambahkan bahwa melalui penggunaan RCM, dapat diperoleh informasi apa saja yang harus dilakukan untuk menjamin suatu fasilitas dapat terus beroperasi dengan baik sesuai dengan karakteristik kerusakannya.

Berdasarkan pernyataan diatas, maka dilakukan perancangan sistem pemeliharaan pada mesin *Kiln* V PT.Semen Tonasa dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi sistem-sistem yang tergolong kritis pada mesin *Kiln* PT. Semen Tonasa V?
2. Bagaimana mengidentifikasi komponen kritis pada sistem kritis mesin *Kiln* PT. Semen Tonasa V?
3. Bagaimana menganalisa *Reliability* dan menentukan jenis tindakan atau aktivitas pemeliharaan (*maintenance task*) dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) pada masing-masing komponen penyusun sistem kritis mesin *Kiln* PT. Semen Tonasa V?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi sistem-sistem yang tergolong kritis pada mesin *Kiln* PT. Semen Tonasa V berdasarkan frekuensi kerusakannya.
2. Mengidentifikasi komponen-komponen kritis pada sistem yang tergolong kritis pada mesin *Kiln* PT.Semen Tonasa V.
3. Menganalisa *Reliability* dan menentukan jenis tindakan atau aktivitas pemeliharaan (*maintenance task*) pada masing-masing komponen kritis pada sistem kritis mesin *Kiln* PT.Semen Tonasa V.

#### 1.4. Manfaat Penelitian

Dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

1. Manfaat bagi mahasiswa :
  - a. Sebagai bahan perbandingan dalam menerapkan teori-teori yang diperoleh selama mengikuti perkuliahan dengan keadaan yang ada di lapangan.
  - b. Dapat menambah wawasan bagi penulis yang akan datang khususnya tentang manajemen perawatan dengan metode *Reliability Centered Maintenance II (RCM II)*
2. Manfaat bagi perusahaan :
  - a. Dapat memberikan bahan perbandingan metode terhadap perusahaan tentang perawatan mesin dengan metode yang diterapkan perusahaan saat ini.
  - b. Sebagai gambaran perencanaan *maintenance* menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance..*
  - c. Dapat menjadi acuan terhadap perusahaan dalam perencanaan sistem pemeliharaan khususnya pada mesin *Kiln* PT.Semen Tonasa V.
  - d. Memberikan rekomendasi jenis tindakan pemeliharaan pada jenis kegagalan yang tidak terencana (*Unplanned Maintenance*).
3. Manfaat bagi universitas :
  - a. Dapat dijadikan sebagai informasi dan referensi tambahan untuk penelitian selanjutnya terhadap permasalahan perawatan mesin.

## 1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dari penelitian ini agar tidak keluar dari tema, yakni :

1. Mesin produksi yang akan menjadi objek penelitian adalah Mesin *Kiln* di PT.Semen Tonasa V, Kab. Pangkep, Sulawesi Selatan.
2. Dalam perencanaan *maintenance task*, Penelitian ini hanya berfokus pada sistem kritis pada mesin *Kiln* di PT.Semen Tonasa V, Kab.Pangkep, Sulawesi Selatan.
3. Seluruh data kegagalan dan kerusakan mesin *Kiln* yang diidentifikasi yaitu berdasarkan *maintenance record* dengan jenis tindakan pemeliharaan yang tidak direncanakan (*Unplanned Maintenance*) dengan siklus waktu kerusakan 2015 s/d 2020.
4. Penelitian ini dalam perencanaan sistem pemeliharaannya mengabaikan interval waktu pemeliharaan pada jenis tindakan *scheduled on-condition*, *scheduled restoration task*, dan *secheduled discard task*, namun hanya berfokus pada interval waktu pemeliharaan tindakan *Failure Finding*.
5. Tidak membandingkan sistem pemeliharaan yang diterapkan perusahaan saat ini dengan sistem pemeliharaan yang merupakan hasil pada penelitian ini.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan dalam penelitian ini.

**Tabel II.1 Penelitian Terdahulu**

No	Penulis dan tahun	Metode	Objek	Hasil
1	Ully Tri Kirana, Judi Alhilman, dan Sutrisno. (2016)	<i>Reliability Centered Maintenance II</i> (RCM II)	Mesin <i>Corazza</i> FF100 line 3 PT.XYZ	Berdasarkan metode <i>Reliability Centered Maintenance II</i> (RCM II) didapatkan 67 kegiatan perawatan. Terdapat 17 <i>Scheduled Discard Task</i> , 15 <i>Scheduled Restoration Task</i> , 31 <i>Scheduled On-Condition</i> dan 4 <i>Failure Finding</i> .
2	Rachmad Hidayat, Nachnul Ansori, dan Ali Imron. (2010)	<i>Reliability Centered Maintenance II</i> (RCM II)	Mesin <i>Compresor screw ingersoll rand</i> P375 WD	Berdasarkan metode <i>Reliability Centered Maintenance II</i> (RCM II) didapatkan tindakan pemeliharaan yang dilakukan pada mesin <i>Compresor screw ingersoll rand</i> P375 WD ialah <i>Scheduled Restoration Task</i> , <i>Scheduled Discard Task</i> , dan <i>Combination of Task</i>
3	Agustinus Dwi Susanto & Hery Hamdi Azwir. (2018)	<i>Reliability Centered Maintenance II</i> (RCM II)	Mesin kompresor pada PT. Showa Indonesia	Berdasarkan metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) didapatkan tindakan pemeliharaan yang dilakukan pada mesin kompresor pada PT. Showa Indonesia ialah <i>Scheduled On-Condition Task</i> , <i>Scheduled Discard Task</i> , dan <i>Failure Finding</i> .
4	Wirda Hamro Afiva, Fransiskus Tatas Dwi Atmaji, dan Judi Alhilman. (2019)	<i>Reliability Centered Maintenance II</i> (RCM II) dan <i>Failure Mode Effect and Critical Analysis</i> (FMECA)	Mesin <i>CNC Milling</i> A pada PT. XYZ	Hasil dari analisis FMECA menunjukkan komponen <i>bearing rel</i> , <i>bearing spindle</i> dan selang sebagai komponen kritis pada sistem. Melalui metode RCM II, dihasilkan kebijakan <i>maintenance</i> berupa 2 <i>Scheduled On-Condition task</i> , 2 <i>Scheduled Restoration</i> dan 3 <i>Scheduled Discard Task</i> .
5	Destina Surya Dhamayanti, Judi Alhilman, dan Nurdinintya Athari. (2016)	RCM II dan <i>Risk Based Maintenance</i> (RBM)	Mesin cetak <i>Sheet</i> di PT. Abc	Berdasarkan hasil pengolahan data pada subsistem kritis diperoleh kesimpulan bahwa 6 komponen dilakukan dengan <i>Scheduled On-Condition Task</i> , 3 komponen dengan <i>Scheduled Restoration Task</i> , dan 6 komponen dengan <i>Scheduled Discard Task</i> .



**Table II.2 Lanjutan Tabel Penelitian Terdahulu**

6	Diana Puspita Sari, dan Mukhammad Faizal Ridho. (2016)	<i>Reliability Centered Maintenance II (RCM II)</i>	Mesin <i>Blowing</i> pada PT. Pisma Putra <i>Textile</i>	Berdasarkan metode <i>Reliability Centered Maintenance II (RCM II)</i> didapatkan perawatan yang dilakukan pada mesin <i>Blowing</i> ialah <i>Scheduled Discard Task</i> pada permukaan <i>belt</i> bergelombang, <i>belt</i> putus, kayu apron patah, dan paku paku apron patah. Sedangkan perawatan untuk kerusakan karet kendor adalah <i>Scheduled Restoration Task</i> .
---	--	---	--	---

## 2.2. Posisi Penelitian

Berikut ini posisi penelitian ini apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu.

**Table II.3 Posisi Penelitian**

No	Penulis dan Tahun	Aspek Penelitian			
		Tujuan Penelitian	Objek dan Studi Kasus	Metode Analisis	Output Penelitian
1	Ully Tri Kirana (2016)	Perancangan sistem pemeliharaan berdasarkan karakteristik kerusakan dan penentuan interval waktu pemeliharaan yang mempertimbangkan pada biaya perawatan yang paling minimum	Mesin <i>Corozza</i> Pada PT.XYZ	<i>System Breakdown Structure (SBS)</i> , Diagram Pareto, dan <i>Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)</i> .	Interval waktu pemeliharaan optimal (Efisiensi biaya) dan <i>Maintenance Task</i>
2	Rachmad Hidayat (2010)	Penentuan <i>Maintenance Task</i> dan waktu <i>Maintenance</i> optimal yang mempertimbangkan biaya perawatan paling minimum	Mesin <i>Compresor Screw</i>	<i>Functional Block Diagram (FBD)</i> dan <i>Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)</i> .	Interval waktu pemeliharaan optimal (Efisiensi biaya) dan <i>Maintenance Task</i>
3	Agustinus Dwi Susanto (2018)	Penentuan <i>Maintenance Task</i> dan waktu interval pemeliharaan optimal berdasarkan kriteria minimasi <i>downtime</i>	Mesin kompresor pada PT. Showa Indonesia	<i>Functional Block Diagram (FBD)</i> , Diagram Pareto, <i>Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)</i> , <i>Logic Tree Analysis (LTA)</i> , dan <i>Age Replacement</i>	Identifikasi komponen kritis, <i>Maintenance Task</i> , dan penentuan waktu pemeliharaan optimal ( <i>Downtime Minimum</i> )
4	Wirda Hamro Afiva (2019)	Penentuan <i>Maintenance Task</i> dan waktu <i>Maintenance</i> optimal yang mempertimbangkan biaya perawatan paling minimum	Mesin CNC <i>Milling A</i> pada PT. XYZ	<i>System Breakdown Structure (SBS)</i> , dan <i>Failure Mode Effect and Critical Analysis (FMECA)</i> .	Interval waktu pemeliharaan optimal (Efisiensi biaya) dan <i>Maintenance Task</i>

**Table II.4 Lanjutan Tabel Posisi Penelitian**

5	Destina Surya Dhamayanti (2016)	Perancangan kegiatan <i>maintenance</i> yang tepat, konsekuensi risiko yang diakibatkan kerusakan subsistem kritis, total biaya perawatan dan waktu <i>preventive maintenance</i> yang optimal.	Mesin cetak <i>Sheet</i> di PT. Abc	<i>Failure Mode And Effect Analysis</i> (FMEA), <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA), dan <i>Risk Based Maintenance</i> (RBM)	Interval waktu pemeliharaan, <i>Maintenance Task</i> dan biaya <i>Preventive Maintenance</i> optimal
6	Diana Puspita Sari (2016)	Penentuan <i>Maintenance Task</i> dan waktu <i>Maintenance</i> optimal yang mempertimbangkan biaya perawatan paling minimum	Mesin <i>Blowing</i> pada PT. Pisma Putra <i>Textile</i>	<i>Functional Block Diagram</i> (FBD) dan <i>Failure Mode And Effect Analysis</i> (FMEA).	Interval waktu pemeliharaan optimal (Efisiensi biaya) dan <i>Maintenance Task</i>
7	Muhammad Jibril (2021)	Penentuan <i>Maintenance Task</i> berdasarkan karakteristik laju kerusakan.	Mesin <i>Kiln</i> Pada PT. Semen Tonasa Unit V	<i>Functional Block Diagram</i> (FBD), Diagram Pareto, <i>Failure Mode And Effect Analysis</i> (FMEA).	Komponen kritis dan <i>Maintenance Task</i>

## 2.3. Pemeliharaan (*Maintenance*)

### 2.3.1. Definisi Pemeliharaan

Menurut Prasetyo (2017) Pemeliharaan (*Maintenance*) merupakan suatu aktivitas yang dilakukan agar peralatan atau item dapat dijalankan sesuai standar performansi semula. Prasetyo (2017) juga mengemukakan bahwa pemeliharaan (*Maintenance*) sebagai suatu tindakan yang dibutuhkan untuk mencapai suatu hasil yang dapat mengembalikan item atau mempertahankan item pada kondisi yang selalu dapat berfungsi. Perawatan sebagai salah satu kegiatan pendukung yang bertujuan untuk menjamin kelangsungan fungsional suatu sistem produksi (peralatan, mesin dan fasilitas lainnya), sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Kondisi di atas dapat dicapai antara lain dengan melakukan

perencanaan penjadwalan tindakan perawatan dengan tetap memperhatikan fungsi pendukungnya dengan kriteria minimasi biaya.

### 2.3.2. Tujuan Pemeliharaan

Menurut Prasetyo (2017) Tujuan utama dari dilakukannya sistem manajemen pemeliharaan adalah sebagai berikut :

1. Memperpanjang usia pakai fasilitas produksi.
2. Menjamin tingkat ketersediaan yang optimum dari fasilitas produksi.
3. Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan untuk pemakaian darurat.
4. Menjamin keselamatan operator dan pemakai fasilitas.

## 2.4. *Reliability Centered Maintenance II (RCM)*

Menurut Moubray (Dhamayanti, et al., 2016) Metode RCM merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menentukan kebijakan *Preventive maintenance* dengan menggunakan *information* dan *decision worksheet*. RCM digunakan untuk memperoleh kegiatan perawatan agar suatu aset fisik terus bekerja melakukan fungsinya sesuai konteks pengoperasiannya pada saat ini.

Menurut Moubray (Putra, 2019), pada tahun 1974 RCM di aplikasikan oleh *United Airlines* pada laporan yang berjudul *Reliability Centered Maintenance* oleh Nowlan dan Heap untuk meningkatkan keandalan jet baru Boeing 747.

Pada awal tahun 1980-an John Moubray dan rekan-rekannya mulai bekerja dengan menerapkan RCM di sektor pertambangan dan manufaktur menggunakan versi diagram yang sedikit dari Nowlan dan Heap antara tahun 1983-1990. Namun selama periode ini dalam praktiknya, semakin banyak masalah terhadap lingkungan dan berdampak pada keselamatan. Akibatnya, pada tahun 1998 John Moubray mulai bekerja dengan sejumlah organisasi multinasional untuk mengembangkan pendekatan yang lebih tepat untuk kegagalan yang mengancam lingkungan. Hal ini muncul lah penambahan pertanyaan pada diagram pengambilan keputusan atau *Decision Diagram* dan *Decision Worksheet* yaitu mengenai lingkungan dan keselamatan, sehingga namanya menjadi RCM II (Putra, 2019).

Pernyataan Putra (2019) juga memperjelas bahwa perbedaan antara proses RCM dan RCM II ialah bahwa RCM II lebih detail, lebih luas dan lengkap dibandingkan dengan RCM sebelumnya. Ada 4 kategori untuk membantu menentukan tindakan perawatan dalam RCM II ini yaitu kategori *Hidden* (H), *Safety* (S), *Environment* (E), dan *Operational* (O). Sedangkan pada metode RCM sebelumnya hanya ada 3 kategori yaitu *Evident*, *Safety*, dan *Outage*.

John Moubray (1997) juga mengenalkan metode ini pada sebagian besar komunitas industri di luar industri penerbangan. Sehingga metode ini dapat diterapkan atau diaplikasikan ke semua jenis mesin.

*Preventive maintenance* Menurut Dhillon (Dhamayanti, et al., 2016) merupakan semua tindakan yang dilakukan dalam sebuah jadwal yang

terencana, periodik, dan spesifik untuk menjaga sebuah perangkat dalam kondisi operasional yang ditentukan, dengan melalui proses pemeriksaan dan rekondisi.

Penentuan kebijakan *Preventive maintenance* juga memperhitungkan interval waktu perawatan. Interval waktu perawatan digunakan untuk menentukan kapan sebaiknya mesin dilakukan perawatan. Interval waktu ini dihitung berdasarkan *task* yang sebelumnya telah ditentukan pada *decision worksheet*. Selain menghitung interval waktu kerusakan, biaya perawatan *Preventive maintenance* juga dihitung untuk melihat berapa biaya yang dikeluarkan perusahaan jika menerapkan *Preventive maintenance* (Dhamayanti, et al., 2016).

#### 2.4.1. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi

Menurut Maghfiroh (2019) pada saat kita akan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada fasilitas ada dua hal yang menjadi bahan pertimbangan yaitu :

a) Sistem yang akan dilakukan analisis

Proses analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada tingkat sistem kita akan memperoleh informasi yang lebih jelas mengenai fungsi dan kegagalan fungsi komponen.

b) Seluruh sistem akan dilakukan proses analisis dan bila tidak dilakukan pemilihan sistem biasanya analisis tidak dapat dilakukan pada semua sistem. Hal ini dikarenakan bila dilakukan proses analisis secara bersamaan untuk dua sistem atau lebih proses analisis

akan sangat luas. Sehingga, kita dituntut untuk melakukan analisis secara terpisah, sehingga dapat lebih mudah untuk menunjukkan setiap karakteristik sistem dari fasilitas (mesin/peralatan) yang dibahas.

#### 2.4.2. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsional

Fungsi Sistem yang dimaksud adalah kinerja yang diharapkan dari suatu sistem agar dapat beroperasi dengan baik, sedangkan kegagalan fungsi merupakan ketidakmampuan suatu fungsi dalam memenuhi standar yang diharapkan. Data tersebut akan lebih terstruktur dan mudah dilakukan dengan pengkodean pada fungsi sistem dan kegagalan fungsi (Maghfiroh, 2019).

#### 2.4.3. Deskripsi Sistem dan *Functional Block Diagram* (FBD)

Langkah pendeskripsian sistem diperlukan untuk mengetahui komponen-komponen yang terdapat di dalam sistem dan bagaimana komponen-komponen yang terdapat dalam sistem tersebut beroperasi. Sedangkan informasi fungsi peralatan dan cara sistem beroperasinya dipakai sebagai informasi untuk membuat dasar untuk menentukan kegiatan perawatan terencana untuk membuat *Functional Block Diagram* (Kurniawan & Mujayin, 2015).

#### 2.4.4. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Menurut Setyana (Hidayat, et al., 2010) FMEA merupakan salah satu metode sistematis yang digunakan untuk menganalisis kerusakan.

FMEA pertama kali dikembangkan oleh para *Reliability Engineers* pada akhir tahun 1950-an untuk menentukan masalah yang muncul pada malfungsi sistem peralatan militer ketika itu. Teknik FMEA digunakan sebagai bagian integral dari pelaksanaan analisis RCM. Ide utama RCM adalah untuk mencegah kerusakan dengan mengeliminasi atau mengurangi penyebab kerusakan.

Moubray (Hidayat, et al., 2010) juga mengemukakan bahwa analisis FMEA dalam RCM memfokuskan pada penyebab kerusakan dan mekanisme terjadinya kerusakan. Ketika penyebab dan mekanisme kerusakan telah diidentifikasi untuk setiap *failure mode*, selanjutnya dapat diberikan saran untuk waktu pelaksanaan *Preventive maintenance*, atau perencanaan tindakan monitoring untuk menurunkan *failure rate*. Setelah rating atau skala ditentukan selanjutnya tiap pokok persoalan dikalkulasi dengan mengalikan *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*.

Dalam FMEA, dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) untuk menentukan tingkat prioritas dari suatu kegagalan. Menurut Ahmadi & Hidayah (2017) RPN merupakan hubungan antara tiga buah variabel yaitu *Severity* (Keparahan), *Occurance* (Frekuensi Kejadian), dan *Detection* (Deteksi Kegagalan) yang menunjukkan tingkat resiko yang mengarah pada tindakan perbaikan. *Risk Priority Number* ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Berikut ini skala pengukuran yang digunakan untuk menghitung total *Risk Priority Number* (RPN) :

**Table II.5 Kriteria dan skala rangking untuk Severity**

<b>Efek</b>	<b>Kriteria : Severity untuk Failure Mode Effect Analyze</b>	<b>Rangking</b>
Kinerja sistem Berhenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin rusak parah</li> <li>• Tidak tersedianya komponen pengganti</li> </ul>	10
Kinerja sistem berjalan dengan sangat lambat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin rusak cukup parah</li> <li>• Tidak tersedianya komponen pengganti</li> </ul>	9
Kinerja sistem berjalan dengan lambat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin rusak cukup parah</li> <li>• Komponen atau <i>spare part</i> tersedia</li> </ul>	8
Kinerja Sistem berjalan dengan sedikit tersendat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin rusak cukup parah</li> <li>• Mesin dapat beroperasi secara manual</li> </ul>	7
Kinerja Sistem berjalan cukup lancar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin rusak ringan</li> <li>• Mesin dapat beroperasi secara manual</li> </ul>	6
Kinerja Sistem berjalan lancar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin rusak ringan</li> <li>• Rusak pada settingan mesin</li> </ul>	5
Kinerja Sistem Berjalan dengan perlakuan khusus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin rusak ringan</li> </ul>	4
Kinerja Sistem sedikit terganggu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin rusak ringan</li> <li>• Menunggu komponen atau <i>spare part</i></li> </ul>	3
Kinerja Sistem tetap berjalan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin Error</li> <li>• Salah <i>Setting-an</i></li> </ul>	2
Kinerja Sistem tidak terganggu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesin kotor</li> </ul>	1

Sumber : (Ramadhan, 2018)

**Table II.6 Kriteria dan skala rangking untuk Occurence**

<b>Rating</b>	<b>Probability of Occurence</b>
10	Lebih besar dari 50% per total jumlah kerusakan mesin
9	36 – 50 % per per total jumlah kerusakan mesin
8	31 – 35 % per total jumlah kerusakan mesin
7	26 – 30 % per total jumlah kerusakan mesin
6	21 – 25 % per total jumlah kerusakan mesin
5	15 – 20 % per total jumlah kerusakan mesin
4	11 – 14 % per total jumlah kerusakan mesin
3	5 – 10 % per total jumlah kerusakan mesin
2	< 5% per total jumlah kerusakan mesin
1	Tidak pernah sama sekali

Sumber : Erwin Nainggolan (Maghfiroh, 2019)



**Table II.7 Kriteria dan skala rangking untuk *Detection***

<b>Deteksi</b>	<b><i>Criteria Likelihood of Detection</i></b>	<b>Rangking</b>
Sepenuhnya tidak pasti	• Alat atau informasi tidak dapat mendeteksi penyebab kerusakan	10
Sangat jarang	• Sangat jarang kemungkinannya alat atau informasi mendeteksi penyebab kerusakan	9
Jarang	• Alat untuk mendeteksi kerusakan mengalami keausan dan di dalam alat tersebut ada komponen yang rusak • Jarang kemungkinannya alat atau informasi untuk mendeteksi penyebab kerusakan	8
Sangat rendah	• Kemampuan alat atau informasi untuk mendeteksi kerusakan sangat rendah	7
Rendah	• Alat atau informasi untuk mendeteksi kerusakan rendah	6
Cukup	• Alat atau informasi untuk mendeteksi kerusakan cukup untuk mendeteksi penyebab kerusakan	5
Cukup tinggi	• Alat atau informasi cukup tinggi kemungkinannya dalam mendeteksi penyebab kerusakan	4
Tinggi	• Alat atau informasi tinggi kemungkinannya dalam mendeteksi penyebab kerusakannya	3
Sangat tinggi	• Alat atau informasi sangat tinggi dapat mendeteksi penyebab kerusakan	2
Hampir pasti	• Operator produksi dalam memberikan laporan kerusakan sama dengan apa yang terjadi di lapangan	1

Sumber : (Ramadhan, 2018)

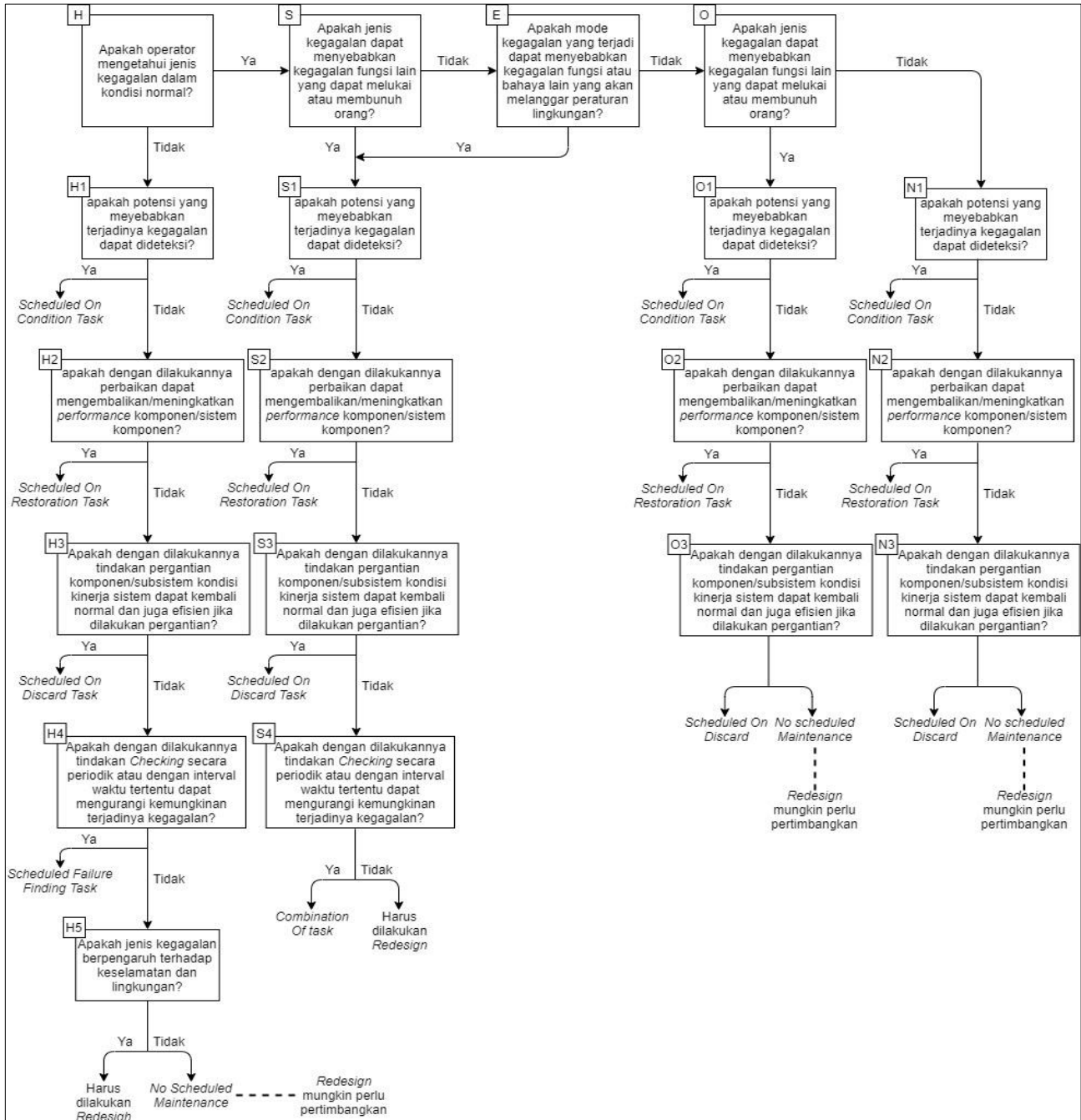
#### 2.4.5. RCM II *Decision Diagram*

Menurut Hidayat dkk (2010) *Decision Diagram* RCM II atau diagram pengambilan keputusan merupakan diagram untuk menentukan *Consequence* dan *Proactive task* yang akan diberikan. *Decision Diagram* RCM II sebagai landasan dalam pengisian *Decision Worksheet* RCM II.

RCM II telah memasukkan pertimbangan-pertimbangan mengenai konsekuensi kerusakan terhadap keselamatan (S), lingkungan (E), atau berpengaruh terhadap kerugian operasional (O) dalam penentuan

kebijakan kegiatan *Maintenance* melalui *Decision Diagram* (Hidayat, et al., 2010).

Pada gambar II.1 Berikut ini menunjukkan RCM II *Decision Diagram*.



Gambar II.1 RCM II *Decision Diagram*  
 Sumber : (Moubray, 1997)



### A. *Information Reference*

*Information Reference* merupakan informasi yang diperoleh dari hasil analisis kegagalan komponen menggunakan FMEA, informasi yang di masukkan ialah informasi mengenai *Function*, *Failure Function*, dan *Failure Mode*.

Kolom *Function* (F) merupakan fungsi dari komponen atau item yang diharapkan oleh *user*, dimana komponen berada dalam level kemampuan sejak awal dibuat, Kolom *Function Failure* (FF) merupakan kegagalan dari suatu komponen untuk melaksanakan *system function* yang diharapkan, dan kolom *Failure Mode* (FM) ialah jenis kerusakan yang terjadi pada komponen sehingga menyebabkan komponen gagal beroperasi atau mengalami gangguan operasi.

### B. *Consequence Reference*

Dampak yang ditimbulkan karena terjadinya kegagalan fungsi dapat dilihat dari berbagai macam sudut pandang, seperti dampak terhadap lingkungan maupun dampak dari kerugian sisi ekonomi (Putra, 2019).

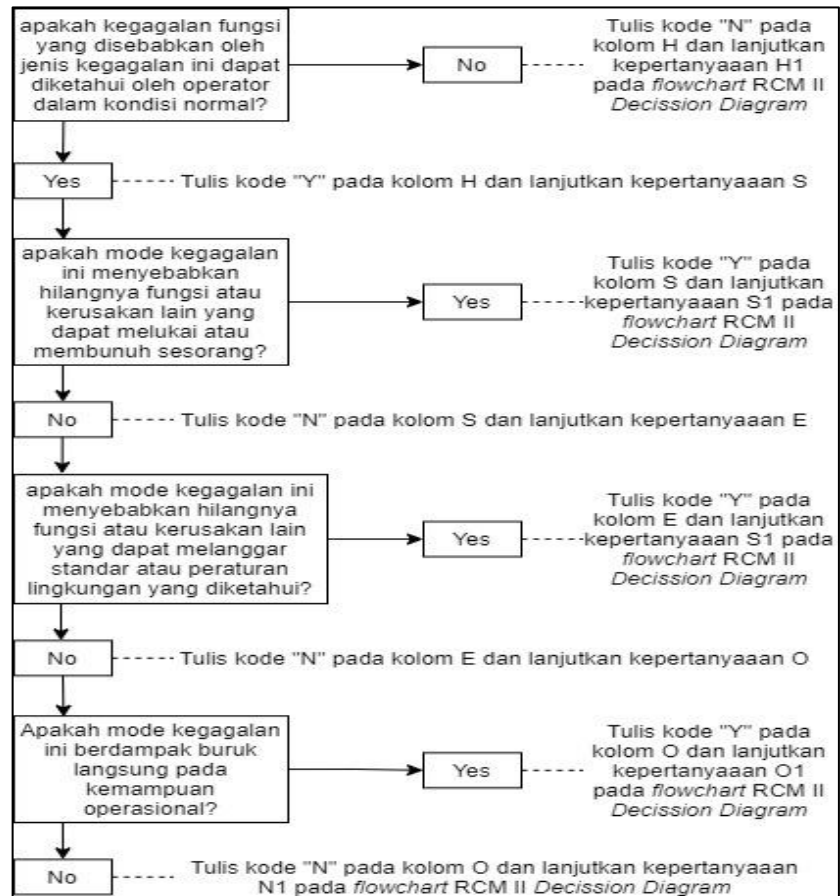
Menurut John Moubray (1997), dalam RCM II *Consequence Reference* diklasifikasikan kedalam 4 bagian, yaitu:

1. Kategori H (*Hidden Consequence*), yaitu ketika operator berada pada keadaan normal, komponen yang kegagalan fungsinya tidak

disadari dan sulit terdeteksi karena tersembunyi dari penglihatan operator.

2. Kategori S (*Safety Consequence*), apabila kegagalan fungsi mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja atau manusia lainnya.
3. Kategori E (*Environmental Consequence*), yaitu kegagalan fungsi komponen yang memiliki konsekuensi terhadap kelestarian lingkungan atau melanggar regulasi tentang pelestarian lingkungan dari pemerintah setempat.
4. Kategori O (*Operasional Consequence and Non Operasional Consequence*), *Operasional Consequence* yaitu kegagalan komponen yang memiliki konsekuensi pada proses produksi (jumlah *output*, kualitas produk, dan biaya operasional), sedangkan *Non operasional Consequence* adalah kegagalan yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan, lingkungan dan *Operational*.

Gambar 2.2 berikut ini merupakan acuan untuk menentukan *Consequence* untuk setiap mode kegagalan.



**Gambar II.2 Consequence Reference**

Sumber : (Moubray, 1997)

### C. Proactive Task

*Proactive Task* merupakan suatu tindakan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan. *Proactive Task* dilakukan untuk menghindari asset dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*Failed State*). Kegiatan ini biasanya dikenal dengan istilah *Predictive maintenance* dan *Preventive maintenance*.

Menurut Moubrey (Putra, 2019) *Proactive task* diklasifikasikan menjadi 3 kategori, yaitu *Scheduled Restoration Task*, *Scheduled Discard Task*, dan *Scheduled on-Condition Task*.

#### 1. *Scheduled Restoration Task*

*Scheduled Restoration Task* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memperbaiki komponen sesuai jadwal tertentu sebelum mesin mengalami kegagalan fungsi. Dalam pelaksanaannya kemungkinan mesin harus dihentikan, tindakan ini secara teknik mungkin dilakukan apabila:

- Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan.
- Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua item jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan)
- Teknik ini dapat mengembalikan ketahanan aset terhadap kegagalan kembali seperti semula atau mendekati kondisi awal aset

#### 2. *Scheduled Discard Task*

*Schedule Discard Task* adalah tindakan mengganti aset pada saat atau sebelum batas ditetapkan, tanpa memperlihatkan kondisi item pada saat itu. Tindakan ini secara teknik mungkin dilakukan sebagai berikut:

- Dapat identifikasi umur dimana aset tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kegagalan.
- Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua aset jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan dan lingkungan)

### 3. *Scheduled on-Condition Task*

*Scheduled on-Condition Task* adalah kegiatan pemeriksaan terhadap *potential failure* sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*. Dimana *potential failure* diidentifikasi dengan sebuah kondisi yang dapat mengindikasikan sedang terjadi kegagalan atau proses kegagalan fungsi (*functional failure*).

Menurut Islamidina, et al., (2014) dalam teknik *on-Condition* terdapat 4 kategori utama, yakni

- *Condition monitoring techniques* yang melibatkan penggunaan peralatan khusus untuk melakukan monitor terhadap kondisi peralatan lain.
- *Statistical process control* yaitu proses pencegahan yang didasarkan atas variasi kualitas produk yang dihasilkan.
- *Primary effect monitoring techniques*, Teknik ini menggunakan peralatan yang mampu memonitor *primary effect* (efek utama) seperti kecepatan, laju aliran, tekanan, suhu, dan lain-lain. Teknik ini di monitor langsung oleh



operator dengan mengamati melalui sistem komputer yang ada di *Centre Control Room (CCR)*.

- Teknik inspeksi berdasarkan *human sense* merupakan Penggunaan indera kemanusiaan yang dimiliki oleh operator (*look, listen/sound, feel/touch & smell*) untuk menemukan *potential failure*.

#### D. *Default Action*

Menurut Moubray (Sarashvati, et al., 2017) ketika *Proactive Task* tidak sesuai, maka langkah selanjutnya adalah menentukan *default actions* yang bisa dilakukan sebagai kegiatan *Maintenance*. Moubray (Putra, 2019) mengemukakan bahwa dalam RCM II *default action* terbagi menjadi tiga kategori berdasarkan konsekuensi kegagalan yang ada, yaitu:

- *Scheduled Failure Finding*

Tindakan *checking* secara periodik atau dengan interval waktu tertentu terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah peralatan tersebut telah rusak.

Berikut ini rumus yang digunakan untuk mencari interval waktu perawatan *Failure Finding* (Kirana, et al., 2016) :

$$FFI = 2 \times Unavailability \times MTTF \quad (2)$$

Penentuan interval waktu perawatan untuk *Failure Finding* bergantung pada *criticality item*. Semakin item tersebut *critical* maka item tersebut harus dapat selalu menjalankan fungsinya.

Berikut tabel II.9 adalah nilai *unavailability* untuk setiap kategori *criticality*. Penentuan kategori *criticality* berdasarkan pada nilai risiko kegagalannya yang didapatkan dari hasil perhitungan RPN.

**Table II.9 Unavailability**

<i>Critically</i>	<i>unavailability</i>
<i>High</i> (> 300)	0,01
<i>Significant</i> (201 - 300)	0,05
<i>Medium</i> (101 - 200)	0,1
<i>Low</i> (0 - 100)	0,3

Sumber : (Kirana, et al., 2016)

- *Redesign*

Membuat suatu perubahan untuk membangun kembali suatu sistem. Hal ini mencakup modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur

- *Run To Failure*

Membiarkan komponen beroperasi sampai terjadi *failure* karena secara *functional* tindakan pencegahan yang dilakukan tidak menguntungkan.

Ketika aktivitas *proactive task* dan *default action* tidak dapat mengatasi atau mengantisipasi kegagalan yang terjadi maka aktivitas *maintenance* dikategorikan kedalam *no-Scheduled Maintenance*. Tindakan *redesign* terhadap peralatan diperlukan pertimbangan untuk mencegah terjadinya kegagalan (Putra, 2019).

Tabel berikut ini merupakan beberapa persyaratan kondisi dalam pengambilan keputusan *Maintenance task RCM II Decision Worksheet*.

**Table II.10 Syarat kondisi dalam penentuan *Proactive Task* dan *Default Action***

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

Sumber : Moubray (Putra, 2019)

#### F. *Proposed Task*

Memberikan penjelasan mengenai tindakan pencegahan atau yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*, tindakan ini merupakan usulan nyata hasil keluaran dari *proactive task* atau *default action*.

#### G. *Initial Interval*

*Initial Interval* merupakan jarak atau interval waktu perawatan dilakukan yang efektif terhadap strategi *Maintenance* yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap strategi *Maintenance* dalam penentuan interval waktu perawatan optimalnya berbeda-beda.

Untuk strategi *Scheduled on-Condition Task* menggunakan P-F *interval*, dimana P merupakan titik item yang menunjukkan gejala terjadinya kerusakan sedangkan F merupakan titik terjadinya kegagalan, Besar P-F (*Potential Failure*) sama dengan MTTF. Berikut ini rumus untuk mencari *Initial Interval* strategi *Scheduled on-Condition Task* (Kirana, et al., 2016):

$$\text{Interval perawatan on condition} = \frac{1}{2} \times PF \text{ interval} \quad (3)$$

Sedangkan untuk strategi *Scheduled on-Restoration Task* dan *Scheduled on-Discard Task* mempertimbangkan biaya penggantian dan perbaikan.

## 2.5. Keandalan (*Reliability*)

Menurut Dhillon (Hidayat, et al., 2010) Keandalan merupakan peluang suatu unit atau sistem berfungsi normal jika digunakan menurut kondisi operasi tertentu untuk periode waktu tertentu. Keandalan mesin bergantung pada periode waktu penggunaan, mesin yang digunakan terus menerus maka keandalannya akan terus menurun.

### 2.5.1. Fungsi Keandalan

Menurut Soesetyo & Bendatu (2014) Keandalan ini memiliki indikator utama dari keandalan suatu sistem yaitu fungsi probabilitas.

Berikut ini merupakan beberapa fungsi probabilitas menurut Kirana, et al., (2016) meliputi :

- Fungsi kepadatan peluang atau *Probability Density Function*  $f(t)$  yang menunjukkan peluang setiap kejadian terhadap persatuan waktu.
- Fungsi distribusii kumulatif atau *Cumulative Distribution Function*  $F(t)$  menunjukkan peluang kumulatif kegagalan item selama persatuan waktu.
- Fungsi keandalan  $R(t)$  menunjukkan peluang item dapat melakukan fungsinya dalam rentang waktu tertentu tanpa terjadi kegagalan.
- Fungsi laju kerusakan  $\lambda(t)$  adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu

tertentu dengan parameter total operasi komponen, subsistem, dan sistem.

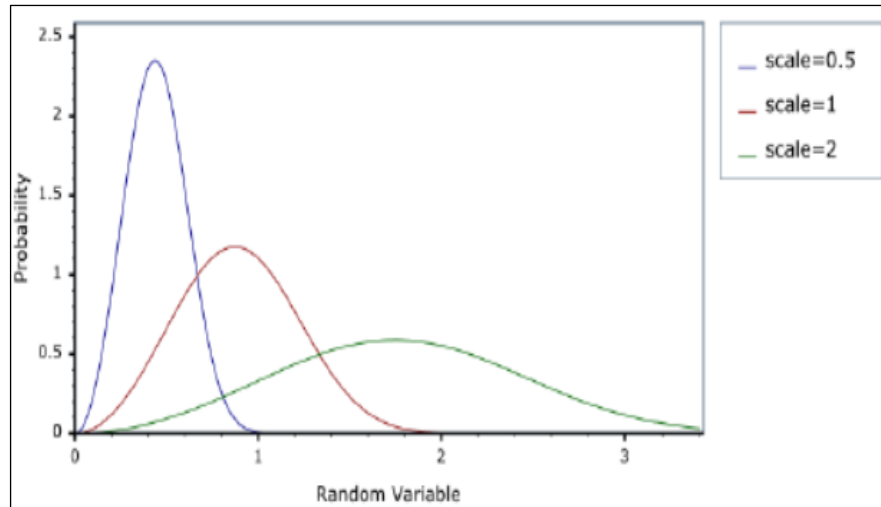
#### 2.5.2. Pola Distribusii Keandalan

Distribusii kerusakan adalah informasi mengenai umur pakai suatu peralatan. Distribusii yang digunakan pada adalah distribusii yang menggunakan variabel acak yang kontinu (waktu, jarak, temperatur). Adapun distribusii kerusakan yang umum digunakan sebagai model distribusii keandalan yaitu (Taufik & Septyani, 2015);

##### A. Distribusii *Weibull*

Menurut (Taufik & Septyani, 2015) Distribusii *Weibull* merupakan distribusii empiris yang paling banyak digunakan dan muncul pada hampir semua karakteristik kegagalan produk karena mencakup ketiga frase kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusii kerusakan.

Erlina (Taufik & Septyani, 2015) mengemukakan bahwa parameter yang digunakan dalam Distribusii *Weibull* adalah “ $\theta$ ” yang disebut parameter skala (*scale parameter*) dan “ $\beta$ ” yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Parameter bentuk ( $\beta$ ) berguna untuk menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk dan parameter skala ( $\theta$ ) mempengaruhi nilai tengah dari pola data. Pola dari Distribusii *Weibull* dapat dilihat pada Gambar II.3 sebagai berikut:



**Gambar II.3 Gambar II.1 Pola Distribusi Weibull**

Sumber : (Taufik & Septyani, 2015)

Berikut ini merupakan fungsi-fungsi dari distribusi *Weibull* berdasarkan karakteristik keandalan (Taufik & Septyani, 2015) :

- Fungsi Kepadatan peluang (PDF)

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (4)$$

- Fungsi Distribusi Kumulatif (CDF)

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (5)$$

- Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \quad (6)$$

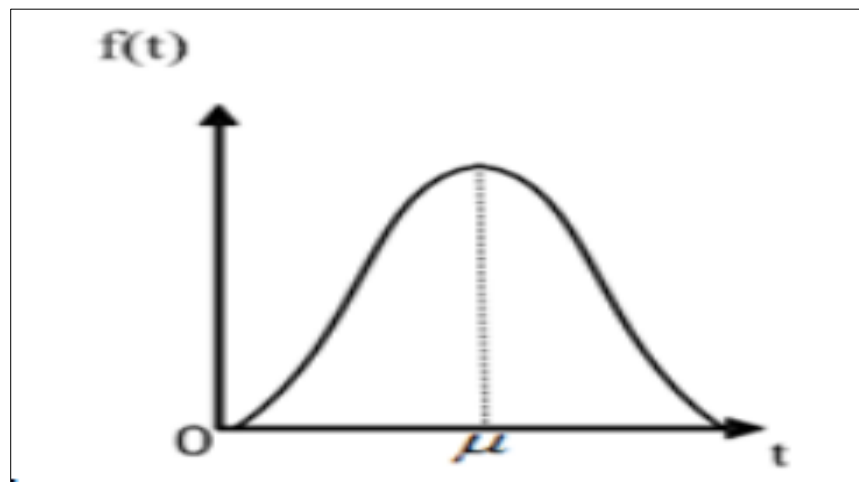
- Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (7)$$

## B. Distribusii Normal

Menurut Erlina (Taufik & Septyani, 2015) Parameter yang digunakan distribusii normal adalah “ $\mu$ ” (nilai tengah) dan “ $\sigma$ ” (standar deviasi). Distribusii normal seringkali disebut dengan *Gaussian Distribution*, dimana distribusii ini memiliki ciri simetris di sekitar rataan dengan sebaran distribusii yang ditentukan oleh “ $\sigma$ ”

Pola dari Distribusii Normal dapat dilihat pada Gambar II.4 sebagai berikut:



**Gambar II.4 Pola Distribusii Normal**  
Sumber : (Taufik & Septyani, 2015)

Berikut ini merupakan fungsi-fungsi dari Distribusii Normal berdasarkan karakteristik keandalan (Taufik & Septyani, 2015) :

- Fungsi Kepadatan peluang (PDF)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[ \frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right]} \quad (8)$$

- Fungsi Distribusii Kumulatif (CDF)

$$F(t) = \Phi \left( \frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad (9)$$



- Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (10)$$

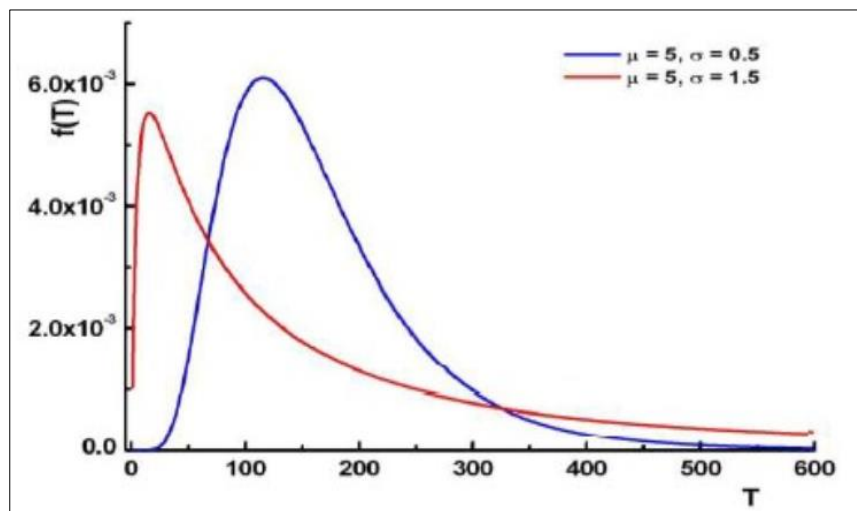
- Laju Kerusakan

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

### C. Distribusii *Lognormal*

Menurut Erlina (Taufik & Septyani, 2015) Distribusii *Lognormal* menggunakan dua parameter yaitu “s” sebagai parameter bentuk (*scale parameter*) dan “tmed” sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusii kerusakan.

Pola dari Distribusii *Lognormal* dapat dilihat pada Gambar II.5 sebagai berikut:



**Gambar II.5 Pola distribusii *Lognormal***  
 Sumber : (Taufik & Septyani, 2015)

Berikut ini merupakan fungsi-fungsi dari Distribusi *Lognormal* berdasarkan karakteristik keandalan (Taufik & Septyani, 2015).

- Fungsi Kepadatan peluang (PDF)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot s \cdot t}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \ln \left( \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \quad (12)$$

- Fungsi Distribusi Kumulatif (CDF)

$$F(t) = \Phi \left( \frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (13)$$

- Fungsi Keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi \left( \frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (14)$$

- Laju Kerusakan

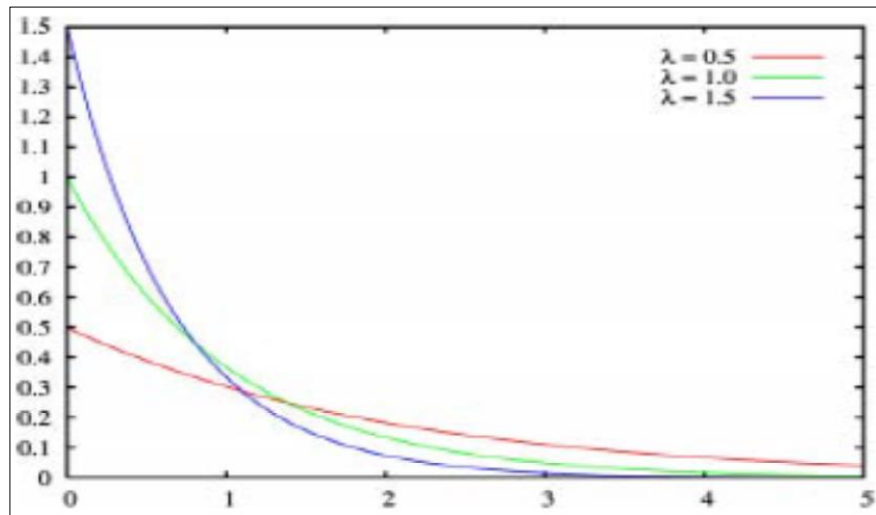
$$\lambda(t) = \frac{f(tp)}{R(tp)} \quad (15)$$

#### D. Distribusi Eksponensial

Menurut Ebellling (Taufik & Septyani, 2015), Distribusi *Exponential* memiliki laju kerusakan yang konstan terhadap waktu. Distribusi ini paling mudah untuk dianalisa. Parameter distribusi yang digunakan adalah  $\lambda$  (*Mean*) yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

Pola dari Distribusii *Eksponensial* dapat dilihat pada Gambar II.6

sebagai berikut:



**Gambar II.6 Pola Distribusii *Eksponensial***

Sumber : (Taufik & Septyani, 2015)

Berikut ini merupakan fungsi-fungsi dari Distribusii *Eksponensial* berdasarkan karakteristik keandalan (Taufik & Septyani, 2015).

- Fungsi Kepadatan peluang (PDF)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (16)$$

- Fungsi Distribusii Kumulatif (CDF)

$$F(t) = 1 - e^{(-\lambda t)} \quad (17)$$

- Fungsi Keandalan

$$R(t) = e^{(-\lambda t)} \quad (18)$$

- Laju Kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{f(tp)}{R(tp)} \quad (19)$$

### 2.5.3. Mean Time To Failure (MTTF)

Menurut Dixon & Smith (Sunaryo, et al., 2018) *Mean Time to Failure* (MTTF) Merupakan rata-rata selang waktu sampai terjadinya kerusakan atau *failure*. MTTF mempunyai perhitungan yang berbeda-beda untuk data kerusakan yang mengikuti distribusi kerusakan yang berbeda.

*Mean Time to Failure* (MTTF) merupakan data masukan dalam perhitungan nilai *Reliability* suatu Sub-sistem atau komponen dari Sub-sistem.

Menurut Dhamayanti, et al., (2016) Dalam menentukan MTTF terlebih dahulu dilakukan *plotting* distribusi pada data TTF. Distribusi yang digunakan untuk *failure* yaitu distribusi *Eksponensial*, distribusi normal, distribusi *Lognormal*, dan distribusi *Weibull*. Setelah mendapatkan distribusi yang sesuai kemudian dilakukan penentuan parameter yang mewakili distribusi. Jika sudah ditentukan ditentukan parameter kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari MTTF.

Berikut fungsi dalam perhitungan MTTF berdasarkan pola distribusinya (Soesetyo & Bendatu, 2014).

- Distribusi *Weibull*

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (20)$$

- Distribusii Normal

$$MTTF = \mu \quad (21)$$

- Distribusii *Lognormal*

$$MTTF = t_{med} \cdot \exp\left(\frac{s^2}{2}\right) \quad (22)$$

- Distribusii *Eksponensial*

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (23)$$

#### 2.5.4. Mean Time To Repair (MTTR)

Menurut Sunaryo, et al., (2018) *Mean Time to Repair* (MTTR) merupakan rata-rata waktu untuk melakukan perbaikan yang dibutuhkan peralatan. Secara umum waktu perbaikan dapat diberlakukan sebagai variabel random karena kejadian yang berulang-ulang dapat mengakibatkan waktu perbaikan yang berbeda-beda. Untuk menentukan MTTR maka terlebih dahulu harus mengetahui jenis distribusii dari datanya.

Berikut fungsi dalam perhitungan MTTR berdasarkan pola distribusii (Soesetyo & Bendatu, 2014).

- Distribusii *Weibull*

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (24)$$

- Distribusii Normal

$$MTTR = \mu \quad (25)$$

- Distribusii *Lognormal*

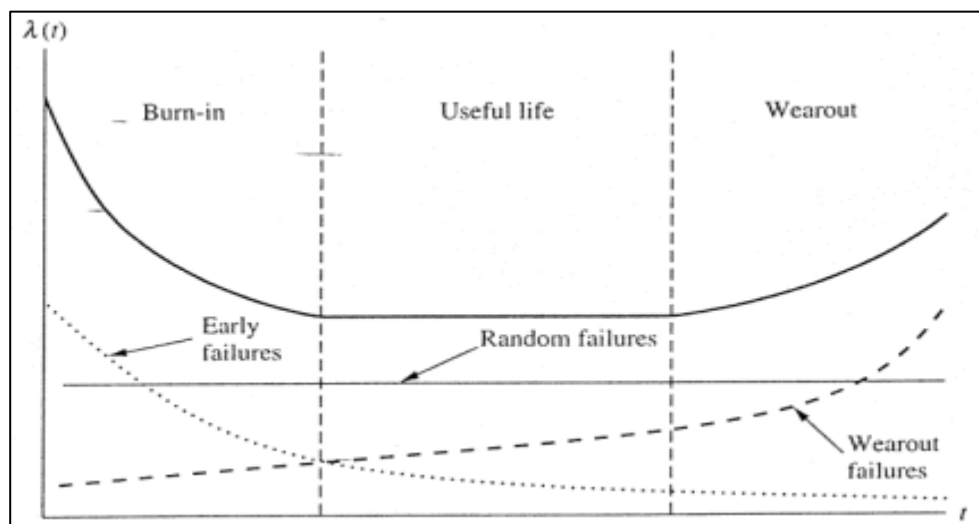
$$MTTR = t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{s}\right) \quad (26)$$

- Distribusii *Ekspensial*

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad (27)$$

## 2.6. Siklus Hidup Dan Laju Kerusakan Komponen

Berdasarkan laju kerusakannya, fase siklus hidup suatu komponen dibagi menjadi 3 yaitu, *Early Life (Burn In)*, *Useful Life*, dan *Wear Out*. Perilaku laju kerusakan terhadap waktu sangat berhubungan dengan penyebab kerusakan yang terjadi dalam suatu sistem atau komponen mengalami fluktuasi sesuai dengan kemampuan material. Bentuk karakteristik laju kegagalan dalam teori keandalan untuk sebuah sistem maupun komponen secara otomatis ditampilkan dalam *Bathtub Curve*, pada gambar berikut ini.



**Gambar II.7 Bathtub Curve**

Sumber: (Sari & Kromodihardjo, 2017)

Pada gambar grafik diatas terdapat tiga buah daerah kerusakan dominan. Ketiga daerah tersebut adalah (Sari & Kromodihardjo, 2017):

1. Bagian pertama dari kurva diatas ialah *Burn In* yang dimana merupakan masa awal dari suatu sistem atau komponen, ditandai dengan tingginya kegagalan pada fase awal dan berangsur angsur menurun seiring bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan kesalahan dalam operasi, sehingga tindakan perbaikan atau pemulihan komponen secara teknis dapat dilakukan.
2. Bagian kedua dari kurva diatas ialah *Useful Life* yang dimana ditandai dengan laju kegagalan yang konstan dari komponen atau suatu sistem hal ini disebabkan pembebanan mesin yang melewati batas standar (*Overload*). Dengan karakteristik laju kerusakan ini disarankan mengimplementasikan *Predictive Maintenance* sebagai kebijakan pemeliharannya.
3. Bagian ketiga dari kurva diatas adalah *Wearout* yang dimana ditandai dengan meningkatnya laju kegagalan dari komponen atau sistem seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan habisnya umur ekonomis mesin yang menyebabkan komponen mesin mengalami *aus* (*Wearout Failures*), sehingga secara teknis tindakan perbaikan komponen tidak layak dilakukan dan tindakan penggantian komponen merupakan kebijakan yang disarankan.

## 2.7. *Kiln*

*Kiln* sangat luas pemakaiannya pada pabrik semen karena merupakan jantung dari proses pembuatan semen untuk mengkonversi bahan baku menjadi klinker. Menurut (Fathoni, 2016) Pada *Kiln* terdapat empat bagian daerah yaitu:

1. Daerah kalsinasi (*Calcination Zone*), dimana pada proses ini bahan baku yang baru masuk ke dalam *Kiln* pada ujung bagian *Kiln* (*Inlet*), material tersebut akan terkalsinasi pada temperatur 1100-1200°C yang mengakibatkan material akan berubah bentuk yang awalnya berupa serbuk-serbuk padat menjadi serbuk-serbuk yang meleleh.
2. Daerah transisi (*Transition Zone*), dimana pada proses ini bahan material yang masuk tadi mendapatkan pemanasan yang lebih tinggi lagi yaitu pada temperatur antara 1200- 1300°C yang mengakibatkan bentuk material tadi menjadi hampir cair.
3. Daerah pembakaran (*Burning Zone*), dimana pada proses ini bahan baku material mendapatkan pemanasan secara penuh yang mencapai temperatur 1400-1500°C hingga material tadi benar-benar mencair.
4. Daerah pendinginan (*Cooling Zone*), merupakan proses terakhir pada *Kiln* dimana material yang masuk didinginkan agar klinker yang terbentuk tidak lengket.

Menurut Firdaus (Fathoni, 2016) pada proses *Rotary Kiln* Bahan baku material yang masuk mengalami pembakaran dari temperatur yang lebih rendah menuju temperatur yang lebih tinggi. Proses pembakaran pada *Kiln*



dilengkapi dengan *Gas Analyzer* yang berfungsi mengendalikan kadar O<sub>2</sub>, CO, dan NO<sub>x</sub> pada gas buang jika terjadi kelebihan atau kekurangan, maka jumlah bahan bakar dan udara akan disesuaikan. *Kiln* memiliki tiga penyangga atau *Support* yang berfungsi untuk menahan berat *Kiln* tersebut, diantaranya terdapat di ujung sebelah kanan dan kiri dan juga ditengah, ketiga penyangga ini sangat berperan penting untuk menahan tanur *Kiln* agar tidak jatuh dan di salah satu support tersebut terdapat satu motor yang berfungsi untuk memutar *Kiln* saat beroperasi.

*Rotary Kiln* yang terdapat pada pabrik semen pada umumnya didukung oleh komponen-komponen penunjang sebagai berikut (Fathoni, 2016):

1. *Tyre/Live Ring*, merupakan alat yang dipasang pada *Shell Kiln* dan berputar bersama dengan *Kiln*.
2. *Supporting Roller* berfungsi untuk menumpu dan sebagai penahan *Kiln*, selain itu *Supporting Roller* juga berfungsi untuk mempermudah *Kiln* berputar.
3. *Thrust Roller* berfungsi untuk menahan sekaligus untuk mendorong *Kiln* yang sedang berputar tidak turun dari posisinya.
4. *Fan* digunakan untuk menarik gas panas yang bercampur dengan material.
5. *Burner* merupakan salah satu sistem pembakaran yang dilakukan di dalam *Kiln*, cara kerjanya adalah dengan sistem penyemprotan batubara berbentuk tepung dan disemprotkan menggunakan *Rotary Blower* ke ruang pembakaran.

6. *Grate Cooler* merupakan tempat pendinginan klinker yang keluar dari *Kiln* dan sekaligus sebagai alat transportasi klinker menuju ke *Roller Crusher*.
7. *Girth-gear* merupakan penggerak utama *Kiln*. Cara kerjanya adalah dengan menggunakan sistem roda gigi. Roda gigi tersebut dipasang pada *Shell Kiln* dan berfungsi sebagai penggerak dari *Kiln*. Arus listrik yang memutar motor penggerak diteruskan ke transmisi roda gigi dan terus memutar roda gigi pinion yang berhubungan langsung dengan *Girth-Gear Kiln*.