

**PENERAPAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)*
GUNA MENINGKATKAN KAPASITAS PRODUKSI MESIN CLINKER
COOLER DI PT. SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.**

**SKRIPSI
KONSENTRASI PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

M. FAHMY FAWAID
NIM. 0810623062-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENERAPAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)
GUNA MENINGKATKAN KAPASITAS PRODUKSI MESIN CLINKER
COOLER DI PT. SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.**

**SKRIPSI
KONSENTRASI PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

M. FAHMY FAWAID
NIM. 0810623062-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT.
NIP. 19461110 198103 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENERAPAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)
GUNA MENINGKATKAN KAPASITAS PRODUKSI MESIN CLINKER
COOLER DI PT. SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.**

**SKRIPSI
KONSENTRASI PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**M. FAHMY FAWAID
NIM. 0810623062-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 22 Januari 2013

Skripsi 1

Skripsi 2

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT
NIP. 19750802 199903 2 002

Ir. Endi Sutikno, MT
NIP. 19590411 198710 1 001

Komprehensif

Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT
NIP. 19720817 200003 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT
NIP. 19720903 199702 1 001



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "**Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Guna Meningkatkan Kapasitas Produksi Mesin Clinker Cooler Di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.**"

Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., Dr.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE, selaku KKDK Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT., selaku Dosen Pembimbing saya yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan serta ilmu yang bermanfaat pada awal penyusunan skripsi hingga akhir.
5. Koesaeri dan Endang Hariyanti selaku kedua orang tua saya dan keluarga besar yang telah memberikan do'a serta mendukung dalam penyusunan skripsi ini.
6. Esalina Safrida selaku kakak saya tercinta yang telah membantu dalam pengolahan data dan selalu memberikan motivasi dalam hidup saya.
7. Teman-teman Emperor M'08 yang selalu saling memberikan dukungan setiap saat dan untuk selamanya, khususnya Syahrial Ashadi P. dan Rezavani F. yang turut serta melakukan observasi bersama-sama ke PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. di Pabrik Tuban guna menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman saya Achmad Bahrudin Yusuf yang telah membantu dalam pengolahan data serta memberikan masukan terhadap penyelesaian skripsi serta teman-teman SMB 5E yang selalu memberikan kebahagiaan dalam kehidupan sehari-hari.
9. Saudara saya Fery Adi Nugroho serta teman-teman Nala Kusuma P., Satrio P., dan Didik Supriyanto yang telah memberikan semangat dan dukungan selama ini.
10. Seluruh pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk kedepannya sehingga dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Januari 2013

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 <i>Clinker Cooler</i>	5
2.3 Perawatan	6
2.3.1 Pengertian dan Tujuan Perawatan	6
2.3.2 Jenis-jenis Perawatan.....	7
2.4 Keandalan (<i>Reliability</i>)	9
2.4.1 Pengertian Keandalan (<i>Reliability</i>).....	9
2.4.2 Laju Kegagalan	10
2.4.3 <i>Mean Time To Failure (MTTF)</i>	13
2.4.4 Distribusi Kegagalan	13
2.5 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	15
2.5.1 <i>System Description and Functional Block Diagram</i>	17
2.5.2 <i>System Function and Functional Failure</i>	18
2.5.3 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	18
2.5.4 <i>Failure Consequences</i>	18
2.5.5 <i>Proactive Task</i>	19

2.5.6	<i>Default Action</i>	20
2.5.7	<i>RCM Decision Worksheet</i>	20
2.5.7.1	<i>RCM Worksheet</i>	20
2.5.7.2	<i>RCM Decision Diagram</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		26
3.1	Lokasi Penelitian	26
3.2	Obyek Penelitian	26
3.3	Identifikasi Variabel	26
3.4	Metode Pengumpulan Data	26
3.5	Pengolahan Data.....	27
3.6	Diagram Alir Penelitian	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Studi Pendahuluan	32
4.1.1	Mesin Proses Produksi (<i>Cinker Cooler</i>)	32
4.2	Identifikasi Kerusakan dan Perbaikan	33
4.2.1	Penentuan Komponen Kritis Mesin Clinker Cooler.....	34
4.3	Pengolahan Data.....	37
4.3.1	<i>Functional Block Diagram</i>	37
4.3.2	<i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	38
4.3.3	<i>RCM Decision Worksheet</i>	40
4.3.4	Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan	42
4.3.5	Penentuan Interval Perawatan	45
4.4	Pembahasan	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		50
5.1	Kesimpulan.....	50
5.2	Saran.....	50

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>FMEA Diagram</i>	18
Tabel 2.2	<i>RCM Worksheet</i>	20
Tabel 2.3	<i>Failure Consequence</i>	21
Tabel 2.4	<i>Proactive Task and Default Action</i>	22
Tabel 4.1	Rekap Jumlah Kerusakan Dan Lama Perbaikan Mesin <i>Clinker Cooler</i>	33
Tabel 4.2	Jumlah Kerusakan dan Lama Perbaikan Komponen Kritis Pada Mesin <i>Clinker Cooler</i>	35
Tabel 4.3	Mesin dan Komponen Kritis Pada Mesin <i>Clinker Cooler</i>	36
Tabel 4.4	<i>Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) Diagram</i> Mesin <i>Clinker Cooler</i>	39
Tabel 4.5	<i>RCM Decision Worksheet</i> Mesin <i>Clinker Cooler</i>	41
Tabel 4.6	Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan <i>Hammer</i>	42
Tabel 4.7	Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan <i>Hydraulic Pump Cooler</i>	42
Tabel 4.8	Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan <i>Great Plate</i>	43
Tabel 4.9	Distribusi dan Parameter Data Waktu Perbaikan (Tr) dan Waktu Antar Kerusakan (Tf)	43
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Nilai <i>MTTF</i> dan <i>MTTR</i>	44
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Biaya Penggantian Komponen karena Perawatan (CM)	45
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Biaya Penggantian Komponen karena Kerusakan (CF)	46
Tabel 4.13	Interval Perawatan Optimal	47
Tabel 4.14	<i>MTTFm</i> dengan interval perawatan TM	47
Tabel 4.15	Kegiatan Perawatan yang Disarankan dan Interval Perawatan Optimal	48



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Sketsa <i>Clinker Cooler</i>	6
Gambar 2.2	Tipikal Fungsi Keandalan	10
Gambar 2.3	Kurva <i>Bathup</i>	12
Gambar 2.4	Proses Layout <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	16
Gambar 2.5	<i>RCM Decision Diagram</i>	25
Gambar 4.1	Proses Produksi Semen Melalui <i>Clinker Cooler</i>	32
Gambar 4.2	Diagram Pareto Jumlah Kerusakan Komponen Mesin <i>Clinker Cooler</i>	36
Gambar 4.3	Cara Kerja Mesin <i>Clinker Cooler</i>	37
Gambar 4.4	<i>Functional Block Diagram</i> Melalui Mesin <i>Clinker Cooler</i>	38



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran A	Data Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan
Lampiran B	Distribusi yang Mendasari Data
Lampiran C	Perhitungan <i>MTTF</i> dan <i>MTTR</i>
Lampiran D	Perhitungan <i>MTTFm</i>



RINGKASAN

Mohammad Fahmy Fawaid, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari, 2013, Penerapan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* Guna Meningkatkan Kapasitas Produksi Mesin *Clinker Cooler* Di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk., Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT.

P.T. Semen Gresik (Persero) Tbk. merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur yang memproduksi semen di Indonesia. Dalam upaya untuk menjaga efektivitas dan efisiensi proses produksinya, maka diperlukan suatu sistem perawatan yang baik. Perusahaan perlu menjaga alat-alat permesinan tersebut melalui perencanaan sistem perawatan yang baik agar mesin yang digunakan dapat beroperasi secara maksimal dan tidak mengalami banyak gangguan kerusakan pada saat digunakan proses produksi.

Salah satu mesin yang terpenting dalam menentukan kualitas proses produksi semen yaitu mesin *clinker cooler*. Dimana jika terdapat kegagalan yang muncul pada mesin ini akan berpotensi menimbulkan gangguan terhadap proses produksi dan akan menghambat kelangsungan produksi mesin yang lain serta dapat menimbulkan ancaman keselamatan di lingkungan kerja sehingga mengurangi efektivitas dan efisiensi kinerja proses produksi. Melalui ketentuan yang berdasarkan dari sering terjadinya kerusakan pada komponen mesin *clinker cooler* dan lama downtime akibat kerusakan, maka didapatkan 3 komponen mesin yang menjadi fokus penelitian, yaitu komponen *great plate*, *hydraulic pump cooler*, dan *hammer*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*. Metode *RCM* digunakan untuk menentukan jenis kegiatan perawatan yang tepat terhadap suatu peralatan melalui analisa terhadap dampak yang ditimbulkan oleh suatu kegagalan dengan menggunakan tabel *FMEA* dan *RCM Decision Diagram*. Dari hasil yang diperoleh, prioritas kegiatan perawatan yang perlu dilakukan terhadap masing-masing komponen kritis mesin *clinker cooler* adalah *Scheduled Discard Task* dan *Scheduled Restoration Task*. Sedangkan berdasarkan distribusi waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan diperoleh interval perawatan yang sesuai untuk semua komponen, pada komponen *hydraulic pump cooler* mengalami peningkatan *MTTF* terbesar, yaitu 688,4509 jam. Sedangkan pada komponen *great*



plate mengalami peningkatan *MTTF* sebesar 348,1407 jam, dan pada komponen hammer mengalami peningkatan sebesar 444,0341 jam.

Kata Kunci: *Clinker Cooler, Reliability Centered Maintenance (RCM), RCM Decision Diagram, Interval Perawatan*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Perkembangan teknologi industri saat ini telah berkembang pesat sesuai dengan kemajuan jaman. Persaingan di dalam dunia industri sendiri menuntut adanya peningkatan ketersediaan peralatan guna mendukung efektivitas dan efisiensi proses produksi suatu perusahaan.

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan penggunaan teknologi fasilitas produksi guna meningkatkan produktivitas, maka kebutuhan proses perawatan akan semakin besar pula. Dalam usaha untuk dapat terus menjalankan proses produksi, maka kegiatan perawatan (*maintenance*) menjadi sangat penting guna menunjang keandalan suatu mesin karena mesin yang tidak terawat dengan baik akan mengurangi efisiensi produksi dan menghambat kinerja proses produksi secara keseluruhan.

Pabrik Semen Gresik merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri manufaktur yang memproduksi semen. Dalam menjaga kualitas produk agar sesuai standar yang telah ditetapkan, maka pabrik Semen Gresik senantiasa berupaya untuk meningkatkan sistem pemeliharaan mesin guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses produksi perusahaan.

Salah satu mesin yang sangat menentukan kualitas dari produksi semen yaitu mesin *clinker cooler*. Dalam proses produksi, mesin *clinker cooler* merupakan salah satu bagian terpenting dalam memproduksi semen. Mesin *clinker cooler* yang digunakan pada pabrik Semen Gresik yaitu jenis *grate cooler* yang terdiri atas 9 kompartemen. Fungsi *grate cooler* sendiri disamping untuk mendinginkan *clinker* juga untuk menurunkan temperatur udara pembakaran serta untuk memasok sumber kalor. Sebagai media pendingin digunakan udara yang dihasilkan oleh 16 buah fan dan ditembus ke dalam kompartemen. Proses produksi yang berlangsung selama 24 jam per hari dengan kapasitas mesin 7500 ton per hari dan beroperasi pada temperatur yang mencapai 1400°C sangat memungkinkan terjadinya berbagai macam kerusakan pada mesin *clinker cooler*, salah satu contohnya yaitu pecahnya *flexible return cooler* sehingga komponen *hydraulic pump cooler* tidak dapat bekerja sesuai fungsinya dan akan mengganggu proses produksi mesin *clinker cooler* tersebut. Bentuk kegagalan yang muncul pada mesin ini akan berpotensi menimbulkan gangguan terhadap proses



produksi dan akan menghambat kelangsungan produksi mesin yang lain serta dapat menimbulkan ancaman keselamatan di lingkungan kerja sehingga mengurangi efektivitas dan efisiensi kinerja proses produksi.

Dari penjelasan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan adanya potensi terjadi kerusakan atau gangguan pada mesin *clinker cooler* tersebut, maka diperlukan sistem kegiatan perawatan (*maintenance*) yang tepat, dalam hal ini digunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dimana metode ini digunakan untuk menentukan kegiatan perawatan sesuai dengan fungsi dan sistem dari mesin guna nantinya akan meningkatkan produksi dari mesin *clinker cooler* tersebut.

Penerapan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* ini sangat bermanfaat dalam berbagai permasalahan yang terjadi di pabrik Semen Gresik khususnya pada mesin *clinker cooler* sendiri. Maka penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja operasi serta meningkatkan produksi mesin *clinker cooler* dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

1.2.Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka peranan perawatan terhadap komponen mesin *clinker cooler* sangatlah penting sehingga permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu apakah penerapan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* terhadap mesin *clinker cooler* dapat meningkatkan kapasitas produksi.

1.3.Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan berjalan dengan baik sesuai dengan alurnya, maka perlu diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Obyek penelitian dilakukan pada mesin *clinker cooler* PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. di Pabrik Tuban
2. Identifikasi masalah kerusakan hanya tertuju pada komponen utama mesin *clinker cooler*
3. Proses produksi berjalan normal dan tidak mengalami perubahan selama kegiatan penelitian berlangsung
4. Penelitian tidak membahas masalah finansial secara keseluruhan pada perusahaan tersebut

5. Data *failure* pada mesin hanya berdasarkan pada data historis perawatan selama bulan Agustus 2010 – Juni 2012

1.4.Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk meningkatkan kapasitas produksi mesin *clinker cooler* dengan menggunakan penerapan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

1.5.Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

1. Memberikan wawasan pengetahuan mengenai kegiatan perawatan yang baik sebagai bahan pertimbangan dalam merancang manajemen perawatan dalam suatu perusahaan
2. Memberikan pengetahuan pada penulis dan mahasiswa lainnya khususnya mahasiswa teknik pada aplikasi lingkungan kerja nantinya dalam penerapan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*
3. Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dapat digunakan untuk menganalisa adanya kegagalan proses operasi suatu mesin sehingga akan meningkatkan produksi
4. Dapat dijadikan sebagai referensi bagi mahasiswa teknik mesin dalam penelitian-penelitian selanjutnya tentang manajemen perawatan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Menurut **Agus Budiharso (2002)**, dalam penelitiannya menjelaskan bahwa permasalahan yang dihadapi PT. Rexplast yang bergerak dalam bidang *plastic packaging* terutama di bagian *Injection Moulding* adalah menentukan jenis kegiatan perawatan mesin terjadwal yang sesuai dengan keadaan sekarang dan menetapkan interval perawatan terjadwal yang optimal.

Produktivitas suatu sistem produksi dipengaruhi oleh banyak faktor dan salah satu faktor yang penting adalah keandalan dari sistem produksi tersebut. Penelitian ini dimulai dengan menganalisis 4 mesin *Injection Moulding* dari 17 mesin yang ada. Data-data yang diambil berdasarkan laporan yang dibuat oleh operator yang bertugas pada saat kerusakan terjadi dalam bentuk *Machine History Record* dan *Maintenance Activity Report*. Data-data ini mencakup data komponen mesin yang rusak, penyebab kerusakan, data waktu antar kerusakan, dan data waktu lama perbaikan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dengan melakukan analisis kualitatif *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *RCM Decision Diagram*.

Dari hasil penelitian pada mesin *Injection Moulding* ini diperoleh 74 komponen kritis yang direkomendasikan untuk dilakukan suatu perawatan terjadwal, dimana dari 74 komponen kritis diantaranya 10 komponen berdistribusi eksponensial dan 64 komponen berdistribusi weibull. Sedangkan, jenis kegiatan perawatan terjadwal diperoleh yaitu *Scheduled On-Condition Task* sebanyak 12 komponen, *Scheduled Restoration Task* sebanyak 29 komponen, *Scheduled Discard Task* sebanyak 8 komponen, *Scheduled Failure-Finding Task* sebanyak 15 komponen dan *No Scheduled Maintenance* sebanyak 10 komponen. Dari 64 komponen ini dilakukan analisis kuantitatif untuk mengetahui interval perawatan terjadwal yang optimal dengan biaya total perbaikan dan perawatan yang minimal sehingga diperoleh interval perawatan terjadwal yang optimal untuk Mesin J selama 495.03313 jam, Mesin F selama 767.26801 jam, Mesin M selama 568.73208 jam dan Mesin M selama 745.48746 jam.

2.2. Clinker Cooler

Clinker cooler merupakan bagian yang vital pada sistem *kiln and coal mill* dan memiliki pengaruh yang menentukan untuk kinerja pabrik. Secara umum prinsip kerja *clinker cooler* yaitu *clinker* panas yang keluar dari *kiln* dengan temperatur sekitar 1400 °C turun ke *cooler* dan didinginkan di dalam *reciprocating grate cooler* yang terdiri dari 9 kompartemen. Sebagai media pendingin diambil dari udara luar yang dihembuskan ke dalam *undergrate cooler* atau kompartemen oleh 14 buah *cooling fan*. *Clinker* hasil pendinginan keluar dari *cooler* dengan temperatur 82 °C. *Clinker* yang berukuran besar sebelum keluar dari *cooler* dihancurkan dahulu oleh *clinker breaker* 442.CR1 dan 442.CR2.

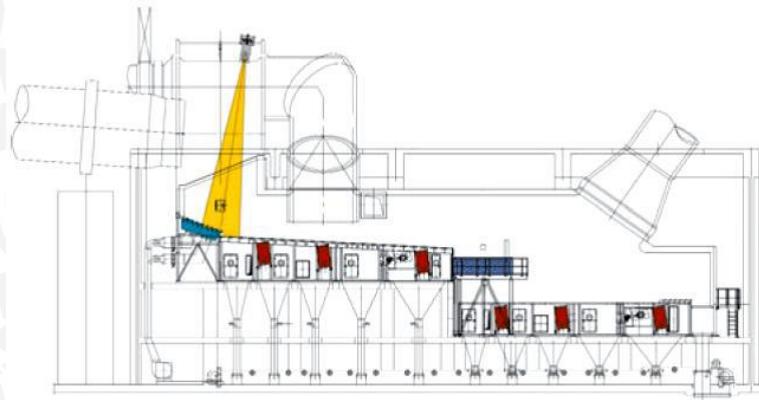
Udara panas yang keluar dari *cooler* masih dapat dimanfaatkan kembali sebagai udara pembakar di dalam *kiln*, di *calciner*, dan sebagai udara pengering di *roller mill*. Udara panas keluar dari *cooler* kompartemen 1 dan 2 dipakai sebagai udara pembakar *secondary* di dalam *kiln* dengan temperatur sekitar 900 °C, dan dari kompartemen 3 dan 4 dipakai sebagai udara pembakar di *calciner*. Kebutuhan udara panas untuk *roller mill system* diambilkan dari *cooler* kompartemen 6 dengan bantuan *booster fan* 442.FNQ, sedangkan sisanya dari kompartemen 7-9 sebelum dibuang ke udara bebas dilewatkan dahulu ke *electrostatic precipitator* 442.EP1 untuk dibersihkan dari debu *clinker*.

Reciprocating grate cooler digerakkan oleh 3 penggerak yang bekerja secara hidrolik. Ketiga penggerak itu adalah :

1. *Primary drive*, diletakkan pada kompartemen 1 untuk menggerakkan *cooler* kompartemen 1-3
2. *Secondary drive*, diletakkan pada kompartemen 6 untuk menggerakkan *cooler* kompartemen 4-6
3. *Tertiary drive*, terdapat pada kompartemen 9 untuk menggerakkan *cooler* kompartemen 7-9

Maksud dari pendinginan *clinker* adalah :

1. Agar menghindari pembentukan C₂S, karena C₂S akan terurai dan menyebabkan kualitas semen menjadi rendah
2. Menjaga peralatan yang tidak tahan panas, contohnya pada *seal hydrolic cooler*, jika terkena panas secara terus-menerus maka akan bocor
3. Panas yang terkandung dalam *clinker* dapat digunakan kembali



Gambar 2.1. Sketsa *Clinker Cooler*

Sumber : Budi Setiyana, 2007:21

2.3. Perawatan

Perawatan di suatu industri merupakan salah satu faktor yang penting dalam mendukung suatu proses produksi yang mempunyai daya saing di pasaran. Produk yang dibuat industri umumnya harus mempunyai kualitas yang baik, harga pantas, dan di produksi serta diserahkan ke konsumen dalam waktu yang cepat. Oleh karena itu, proses produksi harus didukung oleh peralatan yang siap bekerja setiap saat dan handal. Untuk mencapai hal tersebut, maka peralatan penunjang proses produksi harus selalu dilakukan perawatan yang teratur dan terencana.

2.3.1. Pengertian dan Tujuan Perawatan

Perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya sampai suatu sistem yang berfungsi pada kondisi yang sebagaimana mestinya. Dibentuknya bagian perawatan dalam suatu perusahaan dengan tujuan agar mesin-mesin industri selalu dalam keadaan siap pakai secara optimal serta untuk menjamin kelangsungan produksi.

Menurut Sofyan Assauri (1999) perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Pada umumnya sebuah produk yang dihasilkan oleh manusia, tidak ada yang tidak mungkin rusak, tetapi usia penggunaanya dapat diperpanjang dengan melakukan perbaikan yang

dikenal dengan pemeliharaan (Corder, Antony, 1992:4). Oleh karena itu, dalam suatu perusahaan sangat dibutuhkan kegiatan pemeliharaan yang meliputi kegiatan pemeliharaan dan perawatan mesin yang digunakan dalam proses produksi.

Tujuan pemeliharaan yang utama menurut Sofyan Assauri (1999) yaitu :

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

2.3.2. Jenis-jenis Perawatan

Suatu perusahaan selalu memiliki tindakan kegiatan perawatan yang bermacam-macam, mulai dari tindakan perawatan ringan sampai tindakan perawatan yang berat yang mengharuskan penggantian mesin. Berikut ini merupakan jenis-jenis perawatan, yaitu :

1. Preventive Maintenance (Perawatan Pencegahan)

Preventive Maintenance merupakan salah satu komponen penting dalam kegiatan perawatan (*maintenance*). *Preventive maintenance* adalah tindakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan atau kerusakan pada sebuah sistem atau komponen, dimana sebelumnya sudah dilakukan perencanaan dengan pengawasan yang sistematik, deteksi, dan koreksi, agar sistem atau komponen tersebut dapat mempertahankan kapabilitas fungsionalnya. Beberapa tujuan dari *preventive maintenance* adalah mendeteksi lebih awal terjadinya

kegagalan atau kerusakan, meminimalisasi terjadinya kegagalan dan meminimalkan kegagalan produk yang disebabkan oleh kerusakan sistem. *Preventive Maintenance* dibedakan menjadi 2 macam, yaitu :

a. *Maintenance Routine* (Perawatan Rutin)

Merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari yaitu sebagai contoh dari kegiatan perawatan ini adalah pembersihan fasilitas atau peralatan, pelumasan atau pengecekan oli serta pengecekan isi bahan bakar dan mungkin termasuk pemanasan awal dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai beroperasi setiap hari.

b. *Periodic Maintenance* (Perawatan Berkala)

Merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara berkala (dalam jangka waktu tertentu), misalnya setiap seminggu sekali meningkat setiap bulan sekali hingga setiap tahun sekali.

Perawatan berkala dapat dilakukan juga dengan memakai lamanya jam kerja mesin (*Running Hour*), misalnya setiap 100 jam kerja mesin. Perawatan ini jauh lebih berat dari perawatan rutin. Sebagai contoh pembongkaran komponen-komponen sistem bahan bakar, penyetelan katup, pembongkaran mesin, overhaul.

2. *Corrective atau Breakdown Maintenance* (Perawatan Korektif)

Corrective Maintenance merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mengatasi kegagalan atau kerusakan yang ditemukan selama masa waktu *preventive maintenance*. Pada umumnya, *corrective maintenance* bukanlah aktivitas perawatan yang terjadwal, karena dilakukan setelah sebuah komponen mengalami kerusakan dan bertujuan untuk mengembalikan kehandalan sebuah komponen atau sistem ke kondisi semula.

3. *Predictive Maintenance* (Pemeliharaan Prediktif)

Pemeliharaan prediktif ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya perubahan atau kelainan dalam kondisi fisik maupun fungsi dari sistem peralatan. Biasanya pemeliharaan prediktif dilakukan dengan bantuan panca indra atau alat-alat monitor yang canggih.

Pada dasarnya *predictive maintenance* berbeda dengan *preventive maintenance* dengan berdasarkan kebutuhan perawatan pada kondisi aktual



mesin dari pada jadwal yang telah ditentukan. Dapat dikatakan bahwa *preventive maintenance* bersifat *time-based*, seperti penggantian oli setiap 3000 jam kerja. Hal ini tidak memperhatikan performa dan kondisi aktual mesin. Jika dilakukan pemeriksaan, mungkin penggantian oli dapat diperpanjang hingga 5000 jam kerja. Hal ini yang membedakan antara *preventive maintenance* dengan *predictive maintenance* dimana *predictive maintenance* menekankan kegiatan perawatan pada kondisi aktual.

2.4. Keandalan (*Reliability*)

Tindakan pemeliharaan tidak dapat dipisahkan dari keandalan (*reliability*). Oleh sebab itu, keandalan (*reliability*) sangat penting bagi tindakan pemeliharaan sendiri dimana mengetahui tentang keandalan dan hubungannya dengan masalah pemeliharaan akan berdampak pula pada kinerja komponen suatu permesinan.

2.4.1. Pengertian Keandalan (*Reliability*)

Keandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai 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, atau dalam perkataan yang lebih singkat, keandalan merupakan probabilitas dari ketidak-gagalan terhadap waktu.

Dalam mengevaluasi keandalan, variabel random yang dipakai umumnya adalah waktu dengan :

$$R(t) = P\{T \geq t\} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.1)$$

Dimana : $R(t) \geq 0$, $R(0) = 1$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$

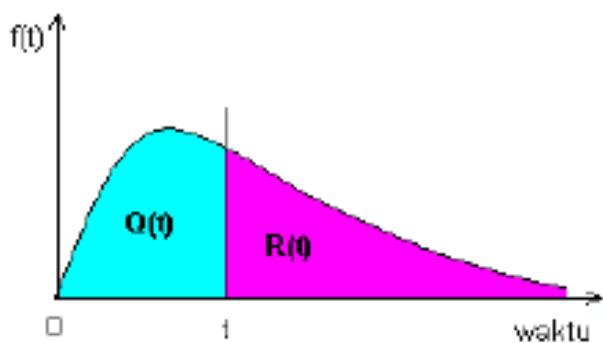
$R(t)$ = Probabilitas waktu kegagalan dimana nilainya lebih besar atau sama dengan t

Jika didefinisikan menjadi :

$$F(t) = 1 - R(t) = P\{T < t\} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.2)$$

Dimana : $F(0) = 0$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$

$F(t)$ = Probabilitas kegagalan yang terjadi sebelum waktu t



Gambar 2.2. Tipikal Fungsi Keandalan

Sumber : Dwi Priyanta, 2000:157

Menurut Ebeling (1997), pada saat $t = 0$ komponen atau sistem berada dalam kondisi akan beroperasi, sehingga probabilitas komponen atau sistem itu untuk mengalami kegagalan pada saat $t = 0$ adalah 0. Pada saat $t = \infty$, probabilitas untuk mengalami kegagalan dari suatu komponen atau sistem yang dioperasikan akan cenderung mendekati satu.

Dengan berpedoman bahwa $R(t)$ sebagai fungsi keandalan dan $F(t)$ sebagai fungsi distribusi kumulatif dari distribusi kegagalan, maka :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.3)$$

Selanjutnya disebut sebagai *probability density function* dimana fungsi ini menggambarkan bentuk dari *failure distribution* yang meliputi $f(t) \geq 0$ dan $\int f(t) dt = 1$ sehingga :

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.4)$$

$$R(t) = \int_t^\infty f(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.5)$$

Dimana : $f(t) = \text{failure distribution}$

2.4.2. Laju Kegagalan

Menurut Ebeling (1997), laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya



kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi dari suatu komponen, subsistem atau sistem.

Suatu komponen yang beroperasi dalam suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu kurva yang menggambarkan laju kegagalan terhadap waktu. Kurva ini dinamakan kurva *bathup*. Pada kurva *bathup* tersebut ada 3 periode, antara lain :

1) *Wear-In Periode*

Bagian pertama adalah tingkat kegagalan yang turun, yang dikenal sebagai kegagalan awal. Periode 0 sampai dengan T_1 , mempunyai waktu yang pendek pada permulaan bekerjanya peralatan. Kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu atau diistilahkan dengan *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan kesalahan dalam proses manufakturing atau desain yang kurang sempurna. Jumlah kerusakan berkurang karena alat yang cacat telah mati kemudian diganti atau cacatnya dideteksi atau direparasi.

Pada periode ini kemungkinan mengalami rusak pada hari ini lebih besar dari hari yang akan datang, jadi jika tidak mengalami kerusakan pada hari ini, maka akan bertambah baik pada hari yang akan datang.

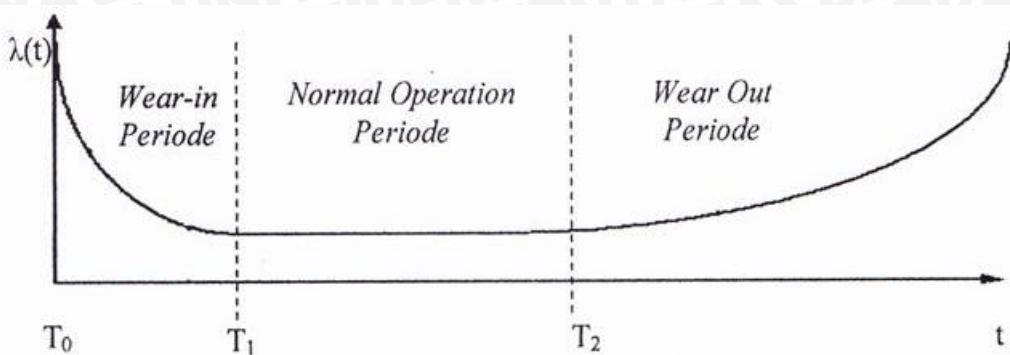
2) *Normal Operation Periode*

Bagian kedua adalah tingkat kegagalan yang konstan, yang dikenal sebagai kegagalan. Periode T_1 sampai T_2 mempunyai laju kerusakan paling kecil dan tetap yang disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Periode ini dikenal dengan *Useful Life Period*. Kerusakan yang terjadi bersifat random yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bekerjanya peralatan, sehingga periode ini merupakan periode pemakaian peralatan yang normal dan dikarakteristik secara pendekatan dengan jumlah kerusakan yang konstan tiap satuan waktu.

3) *Wear-Out Periode*

Bagian ketiga adalah tingkat kegagalan yang naik, yang dikenal sebagai kegagalan aus (masa aus atau *wear-out period*). Pada periode setelah T_2 menunjukkan kenaikan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu yang sering disebut dengan *Increasing Failure Rate* (IFR). Hal ini terjadi karena proses keausan peralatan.

Pada periode ini kemungkinan rusak pada hari ini lebih kecil dari hari yang akan datang, sehingga komponen tersebut harus mengalami *Overhaul*.



Gambar 2.3. Kurva Bath-up
Sumber : John Moubray, 1997:249

Probabilitas dari komponen untuk mengalami kegagalan pada interval waktu antara t dan $t + \Delta t$, jika komponen itu diketahui berfungsi pada saat t dapat diekspresikan dalam bentuk fungsi distribusi kumulatif sebagai $F(t + \Delta t) - F(t)$ sehingga menjadi :

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.6)$$

Dengan interval waktu Δt dan membuat $\Delta t \rightarrow 0$, maka akan diperoleh laju kegagalan dari suatu komponen dan diekspresikan dengan notasi $z(t)$

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.7)$$

$$z(t) = \frac{F'(t)}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) disubstitusikan ke persamaan (2.3) menjadi :

$$z(t) = - \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.9)$$

Kedua ruas 0 sampai t diintergralkan dan disubtitusikan dengan $R(0) = 1$ menjadi:

$$\int_0^t z(u) du = - \ln R(t) \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.10)$$

$$\text{Atau } R(t) = e^{- \int_0^t z(u) du} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.11)$$

Untuk laju kegagalan yang konstan, $z(t) = \lambda$ maka berubah menjadi :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.12)$$

2.4.3. Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure adalah rata-rata waktu suatu sistem akan beroperasi sampai terjadi kegagalan pertama kali. Waktu rata-rata kegagalan (*Mean Time To Failure* = *MTTF*) dari suatu komponen yang memiliki fungsi densitas kegagalan (*failure density function*) $f(t)$ didefinisikan oleh nilai harapan dari komponen itu. Secara matematis waktu rata-rata kegagalan dapat diekspresikan sebagai :

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:83}) \quad (2.13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) ke dalam persamaan (2.13), maka diperoleh :

$$MTTF = - \int_0^{\infty} tR'(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:83}) \quad (2.14)$$

Integral

$$MTTF = - [tR(t)]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:83}) \quad (2.15)$$

Jika $MTTF < \infty$, maka nilai dari $[tR(t)]_0^{\infty} = 0$, sehingga :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:83}) \quad (2.16)$$

2.4.4. Distribusi Kegagalan

Distribusi kegagalan adalah cara untuk mengetahui seberapa besar kegagalan terjadi. Menurut Priyanta (2005), distribusi kegagalan yang sering digunakan di dalam teori keandalan (*reliability*), yaitu:

1. Distribusi Lognormal

Distribusi ini biasa digunakan untuk menyatakan distribusi kerusakan untuk waktu yang bervariasi. Jika *time to failure* dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal $y = \ln T$, mengikuti distribusi normal dengan *probability density function* :



$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:94}) \quad (2.17)$$

MTTF (Mean Time To Failure) :

$$MTTF = t_0 \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:94}) \quad (2.18)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} \int_t^\infty \frac{1}{(t-t_0)} e^{-\frac{(\ln(t-t_0)-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:94}) \quad (2.19)$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\}}{\int_1^\infty \left[\frac{1}{t-\theta} \exp\left[-\frac{(\ln(t-\theta)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]\right] dt} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:94}) \quad (2.20)$$

2. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull biasa digunakan untuk menghitung umur atau masa pakai dari peralatan. Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah *t* mengikuti distribusi Weibull dengan parameter α dan β , maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai :

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:97}) \quad (2.21)$$

Dimana :

α = parameter bentuk

β = parameter skala

MTTF (Mean Time To Failure) :

$$MTTF = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:97}) \quad (2.22)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:97}) \quad (2.23)$$



Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:97}) \quad (2.24)$$

3. Distribusi Eksponensial

Pada distribusi eksponensial ini laju kerusakan adalah konstan untuk sistem yang bekerja secara kontinyu. Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah terdistribusi secara eksponensial dengan parameter λ , maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:87}) \quad (2.25)$$

MTTF (Mean Time To Failure) :

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:87}) \quad (2.26)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:87}) \quad (2.27)$$

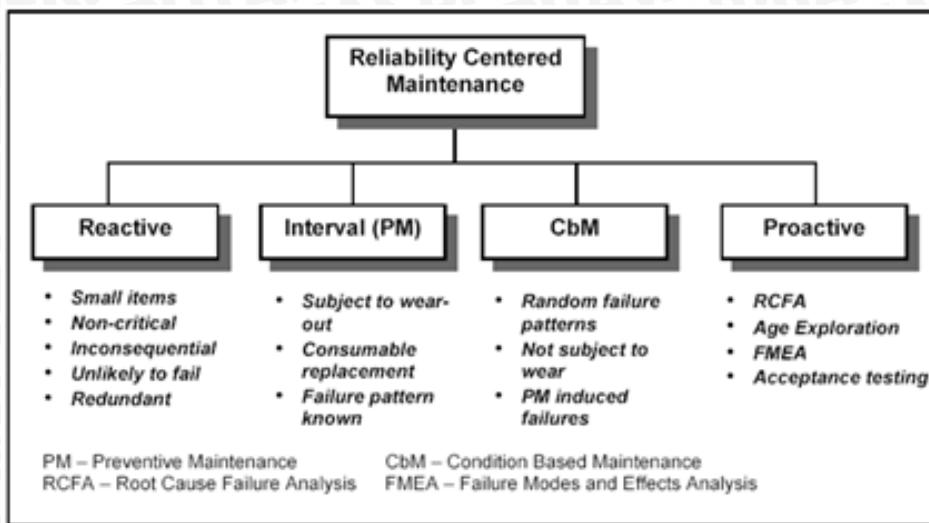
Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:87}) \quad (2.28)$$

2.5. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Menurut Arileksana (2010), *Reliability Centered Maintenance* adalah suatu proses yang dilakukan untuk menentukan apa saja yang harus dilakukan agar dapat mencegah terjadinya kegagalan dan untuk memastikan bahwa alat atau mesin dapat bekerja optimal saat dibutuhkan. Sedangkan menurut Moubray (1997:7), *Reliability Centered Maintenance* diartikan sebagai suatu proses yang digunakan untuk menjelaskan apa yang harus dilakukan untuk menjamin suatu aset fisik dapat berjalan dengan baik sesuai dengan keinginan penggunanya.





Gambar 2.4. Proses Layout *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Sumber : Anonymous a, 2010

Tujuan *Reliability Centered Maintenance* menurut Arileksana (2010), yaitu :

1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintainability*) baik.
2. Untuk memperoleh informasi yang penting untuk melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik.
3. Untuk mengembangkan sistem *maintenance* yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety* seperti awal mula *equipment* dari deteriorasi yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan.
4. Untuk mewujudkan semua tujuan di atas dengan biaya minimum.

Keuntungan dari metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, yaitu :

1. Bisa menjadi program pemeliharaan yang paling efisien
2. Biaya perawatan lebih rendah dengan mengurangi atau menghilangkan tindakan perawatan yang tidak perlu
3. Mengurangi frekuensi overhaul
4. Fokus kepada peralatan yang kritis
5. Mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan peralatan secara tiba-tiba.
6. Meningkatkan keandalan peralatan

Sedangkan kekurangannya, yaitu :

1. Biaya awal yang tinggi, diantaranya yaitu pelatihan tentang *RCM*
2. Hasil tidak dapat dilihat dengan cepat

Dalam metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* ada 7 pertanyaan pokok yang harus diselesaikan, yaitu :

1. Apa fungsi dan hal yang bisa dilakukan oleh suatu alat berdasarkan standar operasinya (*system function*)?
2. Bagaimana alat itu dapat gagal melaksanakan fungsinya (*function failure*)?
3. Hal apa saja yang menyebabkan kegagalan fungsi (*failure mode*)?
4. Apa yang akan terjadi jika terjadinya kegagalan fungsi (*failure effect*)?
5. Bagaimana kaitan antar kegagalan fungsi suatu alat mempengaruhi kegagalan alat lainnya (*failure consequence*)?
6. Apa yang bisa dilakukan untuk memprediksi atau mencegah kegagalan tersebut (*proactive task and task interval*)?
7. Apa yang seharusnya dilakukan jika proses pencegahan dan penanganan dini tidak dapat ditemukan (*default action*)?

2.5.1. System Description and Functional Block Diagram

System Description and Functional Block Diagram merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut. Oleh karena itu, dibuat tahapan identifikasi detail dari sistem yang meliputi :

1. Deskripsi sistem
2. *Functional Block Diagram*
3. *IN / OUT Interface*
4. *System Work Breakdown System*

Proses pendefinisian *System Description*, yaitu berupa penentuan *input* dan *output* dari masing-masing aset dalam sistem. Proses ini sangatlah penting dan harus di definisikan secara jelas, agar fokus pengetahuan dan pemikiran peneliti memiliki gambaran yang utuh dalam melakukan identifikasi dan mendefinisikan fungsi dari sistem secara lengkap. Selanjutnya pembuatan *Function Block Diagram (FBD)*, tahap ini merupakan representasi pada level teratas dari penentuan fungsi utama suatu sistem. Dengan teridentifikasinya *In/Out Interface* pada *Functional Block Diagram*, maka akan dapat memberikan gambaran lengkap dari fungsi sistem.

2.5.2. System Function and Functional Failure

Sistem fungsi (*functional*) adalah kinerja (*performance*) yang diharapkan oleh suatu sistem untuk dapat beroperasi. Sedangkan *Functional Failure (FF)* didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu komponen atau sistem untuk memenuhi standar prestasi (*performance standard*) yang diharapkan.

2.5.3. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah proses mengidentifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* memerlukan suatu diagram yang dinamakan *FMEA Diagram*. Menurut Moubray (1997:53), dalam *FMEA Diagram* ada beberapa kolom yang harus diisi, kolom tersebut antara lain : *Function* (fungsi item/komponen mesin), *Function Failure* (kerusakan yang terjadi), *Failure Mode* (penyebab kerusakan), dan *Failure Effect* (dampak yang terjadi ketika ada kerusakan).

Tabel 2.1. *FMEA Diagram*

RCM INFORMATION WORKSHEET		System : <i>Sub System :</i>	Facilitator : <i>Auditor :</i>
<i>Function</i>	<i>Function Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>
	<i>(Loss of Function)</i>	<i>(Cause of Failure)</i>	<i>(What Happen When It Failure)</i>
F	FF	FM	

Sumber : Moubray (1997:89)

2.5.4. Failure Consequences

Failure Consequences adalah konsekuensi kegagalan fungsi suatu *item* dalam produksi atau operasional. Dalam *Reliability Centered maintenance (RCM)* konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam empat bagian yaitu : (Moubray, 1997:10)

1. Hidden Failure Consequences

Dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung.



2. Safety and Environmental Consequences

Safety Consequences terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi suatu *item* mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja lainnya. Sedangkan *Environmental Consequences* terjadi apabila kegagalan fungsi suatu *item* berdampak pada kelestarian lingkungan.

3. Operational Consequences

Suatu kegagalan dikatakan mempunyai konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional.

4. Non-Operational Consequences

Kegagalan tidak termasuk dalam konsekuensi keselamatan atau produksi tetapi hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.5.5. Proactive Task

Proactive Task merupakan suatu tindakan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan dalam rangka untuk menghindarkan *item* dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failed state*). Kegagalan ini bisa dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*. Dalam *RCM* *predictive maintenance* dimasukkan dalam aktifitas *scheduled on condition task*, sedangkan *preventive maintenance* dimasukkan dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task*. Kegiatan *proactive task* menurut Moubray, (1997:13) dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Scheduled Restoration Task

Scheduled restoration task adalah tindakan pemulihan kemampuan *item* pada saat atau sebelum batas umur yang ditetapkan tanpa memperhatikan kondisi saat itu.

2. Scheduled Discard Tasks

Scheduled discard task adalah tindakan mengganti *item* pada saat atau batas umur yang ditetapkan tanpa memperhatikan kondisi *item* saat itu.

3. Scheduled On-condition Task

Kegiatan pemeriksaan terhadap *potensial failure* sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*.



2.5.6. Default Action

Default Action adalah suatu tindakan yang dilakukan ketika *predictive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan. Menurut Nordstrom, *Default Action* meliputi :

1. *Failure Finding*

Failure finding meliputi tindakan pemeriksaan, apakah suatu komponen masih dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. *Failure finding* hanya diaplikasikan pada *hidden* atau kegagalan yang tidak dapat dibuktikan secara langsung.

2. *Redesign*

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

3. *No Scheduled Maintenance*

No scheduled maintenance sering digunakan untuk kegagalan yang *evident* (nyata) dan tidak mempengaruhi *safety* atau *environment*.

2.5.7. RCM Decision Worksheet

Setelah ketujuh pertanyaan dalam RCM dijawab, semuanya dituangkan dalam *FMEA Diagram* dan dicatat dalam *RCM Worksheet*.

2.5.7.1. RCM Worksheet

Tabel 2.2. *RCM Worksheet*

RCM INFORMATION WORKSHEET										Sub System :			Facilitator :			
Information Reference			Consequence Evaluation			H ₁	H ₂	H ₃	Default Action			Propose Task	System :		Auditor :	
						S ₁	S ₂	S ₃					Initial Interval	Can be done by		
F	FF	FM	H	S	E	O	N ₁	N ₂	N ₃	H ₄	H ₅	S ₄				

Sumber : Moubray (1997:199)



Keterangan :

a) *Information Reference*

Berisi informasi tentang kegagalan yang tercantum dalam *FMEA Diagram*. Yang terdiri dari kolom F (*failure*), FF (*function failure*), dan FM (*failure mode*).

b) *Consequence Evaluation*

Kolom ini berisi tentang konsekuensi atau dampak dari kegagalan yang terjadi, yang terdiri dari kolom :

- H : kolom ini menunjukkan dampak dari *hidden failure*.
- S : kolom ini menjelaskan dampak dari *safety*.
- E : kolom ini menjelaskan dampak dari *environmental*.
- O : kolom ini menunjukkan dampak pada produksi.

Tabel 2.3. *Failure Consequence*

<i>Failure Consequence</i>	Keterangan	
	Yes	No
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 (1997:109)

c) *Proactive Task*

Kolom ini digunakan untuk mencatat kegiatan *proactive task* yang telah dipilih. Dalam kolom *proactive task* dibagi menjadi tiga kolom, yaitu :



- $H_1/S_1/O_1/N_1$: digunakan untuk mencatat apakah *scheduled on-condition task* yang cocok bisa meminimalkan dampak dari kegagalan.
- $H_2/S_2/O_2/N_2$: digunakan untuk mencatat apakah *scheduled restoration task* yang cocok bisa mengurangi kegagalan.
- $H_3/S_3/O_3/N_3$: digunakan untuk mencatat apakah *scheduled discard task* bisa mengurangi kegagalan.

d) *Default Action*

Dalam kolom ini terdapat tiga kolom yang digunakan untuk mencatat ketiga pertanyaan dari *default action*.

- H4 : mencatat apakah *failure finding task* secara teknis mungkin bisa digunakan?
- H5 : mencatat apakah kegagalan bisa mempengaruhi keselamatan lingkungan?
- S4 : mencatat apakah *combination task* mungkin dilakukan?

Tabel 2.4 *Proactive Task and Default Action*

Proactive Task	Persyaratan Kondisi
Kolom $H_1/S_1/O_1/N_1$ <i>Scheduled on Condition task</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apakah <i>potensial failure (PF interval)</i> dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal? • Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan?
Kolom $H_2/S_2/O_2/N_2$ <i>Scheduled Restoration task</i>	<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 (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan • Memperbaiki dengan <i>subsystem</i> yang tahan



	terhadap kegagalan tersebut
Kolom H ₃ /S ₃ /O ₃ /N ₃ <i>Scheduled Discard task</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan
Kolom H ₄ <i>Scheduled Failure Finding task</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis
Kolom H ₅ <i>Redesign</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan design pada mesin
Kolom S ₄ <i>Combination task</i>	<i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan

Sumber : Moubray (1997:205)

e) *Proposed Task*

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

f) *Initial Interval*

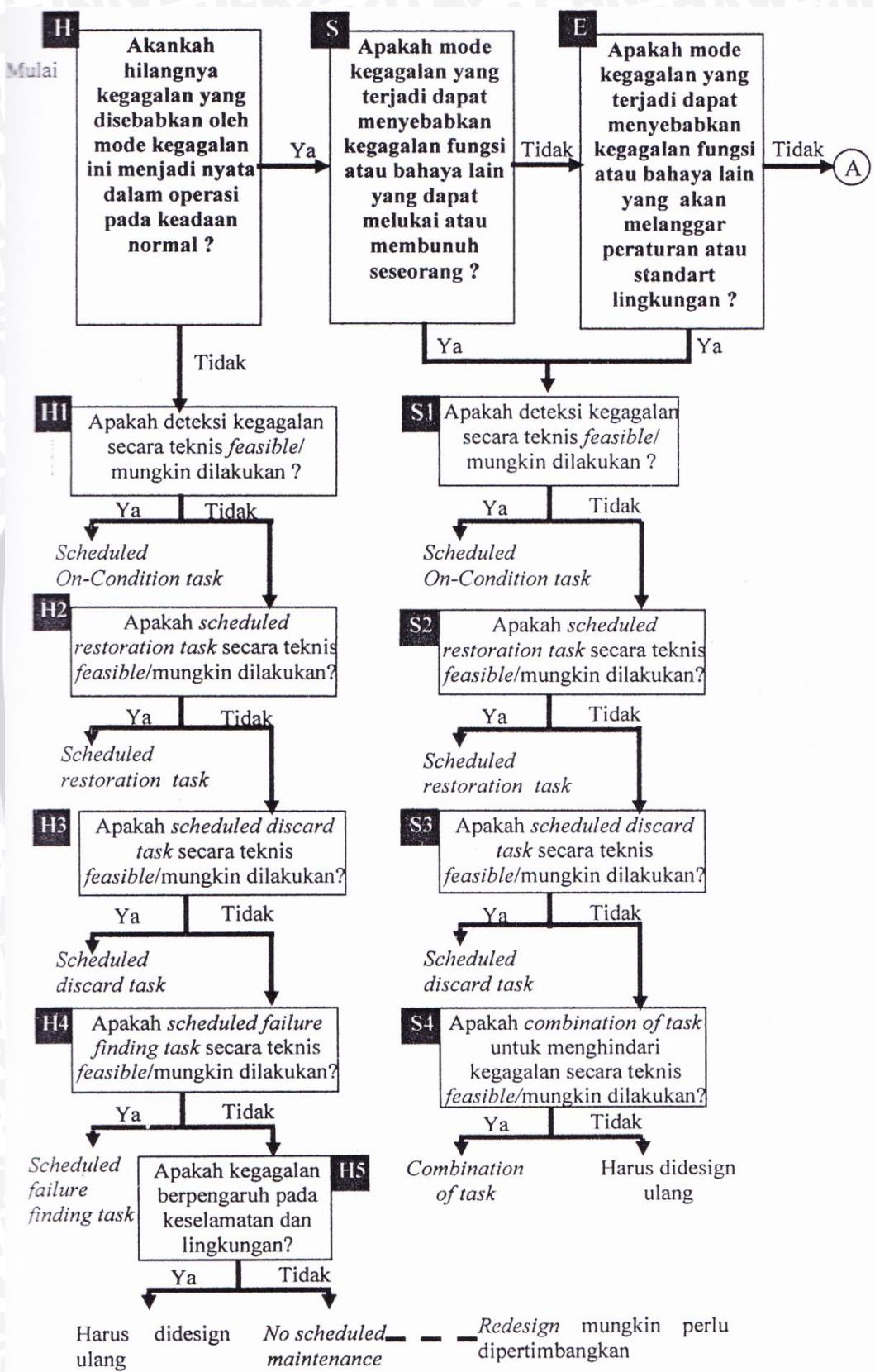
Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan, atau bulanan.

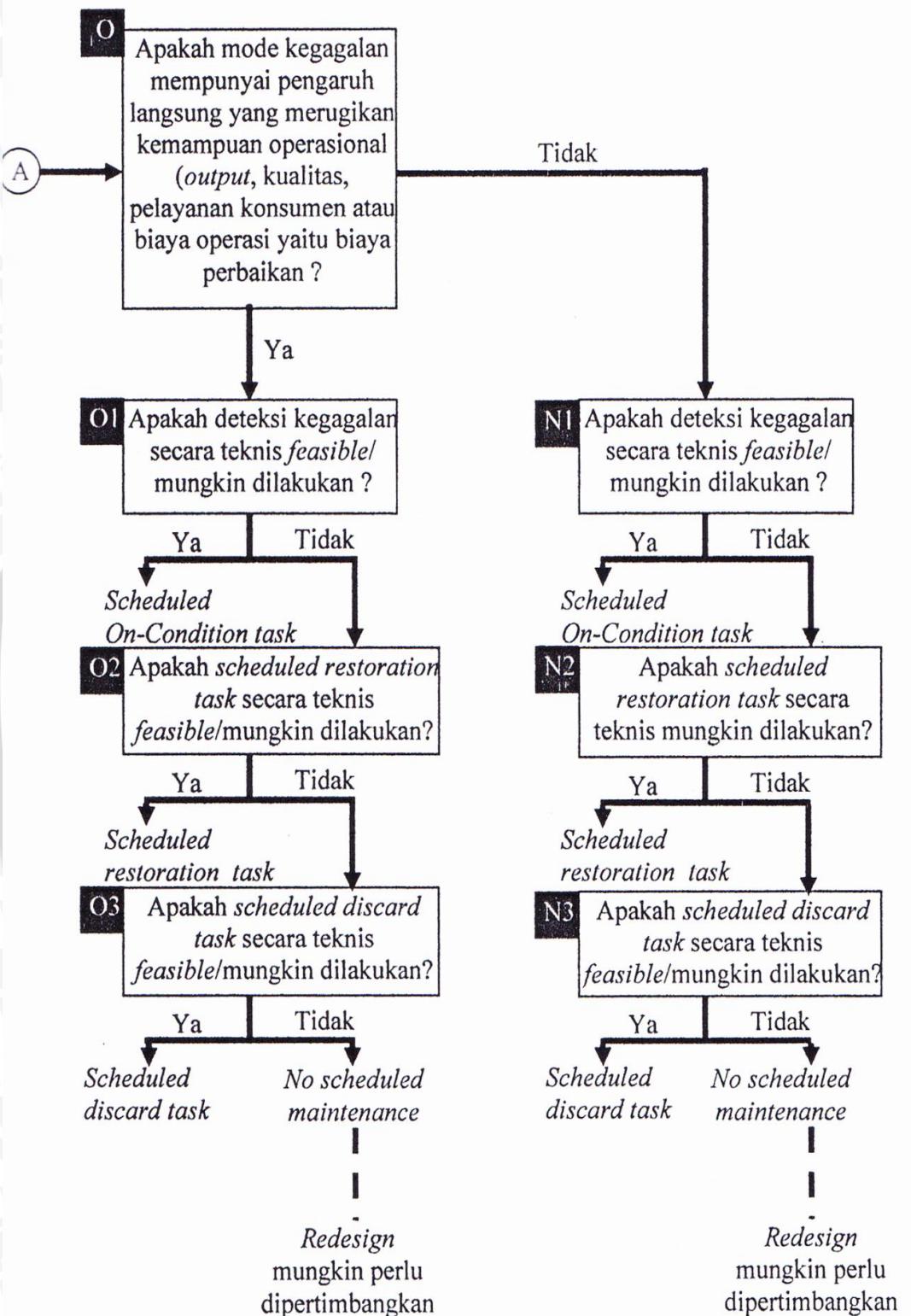
g) *Can Be Done By*

Kolom terakhir dalam *RCM Worksheet* ini digunakan untuk mencatat siapa yang bisa melakukan tindakan perawatan tersebut. Bisa operator atau mekanik.



2.5.7.2. RCM Decision Diagram





Gambar 2.5. RCM Decision Diagram
Sumber : Moubray, 1997:200

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban yang terletak di Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, kabupaten Tuban, Jawa Timur.

3.2. Obyek Penelitian

Penelitian skripsi ini dilakukan di Pabrik Semen Tuban, tepatnya di Kompartemen *Kiln* and Coal Mill pada bulan Juli 2012 sampai dengan data yang diperlukan memenuhi.

3.3. Identifikasi Variabel

Variabel merupakan bagian penelitian dengan cara menentukan variabel yang ada dalam penelitian tersebut. Variabel-variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat karena variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kapasitas produksi mesin *clinker cooler*.

2. Variabel bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang menjadi sebab atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu waktu lama perbaikan dan waktu antar kerusakan komponen mesin *clinker cooler*.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol yaitu variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

3.4. Metode Pengumpulan Data

Suatu penelitian harus didukung oleh data-data yang akurat agar dapat mencapai tujuan penelitian yang maksimal. Adapun metode pengumpulan data dalam

penelitian skripsi ini dilakukan dengan cara :

1. Data Primer

Data primer adalah data yang didapat dari penelitian secara langsung dengan cara menanyakan ke sumber yang memberikan informasi. Metode pengumpulan data primer ini bisa dilakukan dengan berbagai cara, yaitu :

a) Interview (wawancara)

Merupakan cara pengumpulan data dengan melakukan komunikasi (interview) secara langsung kepada karyawan yang berhubungan dengan penelitian ini.

b) Observasi atau Studi Lapangan

Pengumpulan data dengan cara melakukan pengamatan secara langsung terhadap obyek penelitian pada waktu penelitian untuk mendapatkan keadaan yang sebenarnya obyek yang diteliti.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh tidak secara langsung dari sumber pertama dan telah tersusun dalam bentuk dokumen-dokumen tertulis. Data sekunder ini dapat didapatkan dengan jalan mengumpulkan dan mempelajari dokumen perusahaan dan studi literatur yang bisa diperoleh dengan mengambil beberapa literatur yang berkaitan dengan penelitian sehingga diperoleh teori-teori yang relevan. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu :

- a) Data mesin dan komponennya
- b) Data lama perbaikan dan waktu antar kerusakan
- c) Data penyebab kegagalan serta efek yang ditimbulkan

3.5. Pengolahan Data

Dalam tahap ini akan dilakukan pengolahan data yang telah didapatkan pada waktu penelitian. Pengolahan data ini bertujuan untuk melakukan penyelesaian dan pembahasan dari masalah yang dianalisis. Pengolahan data dalam penelitian ini meliputi:

1. *Functional Block Diagram*
2. *System Function and Function Failure*
3. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*



4. *RCM Decision Diagram*

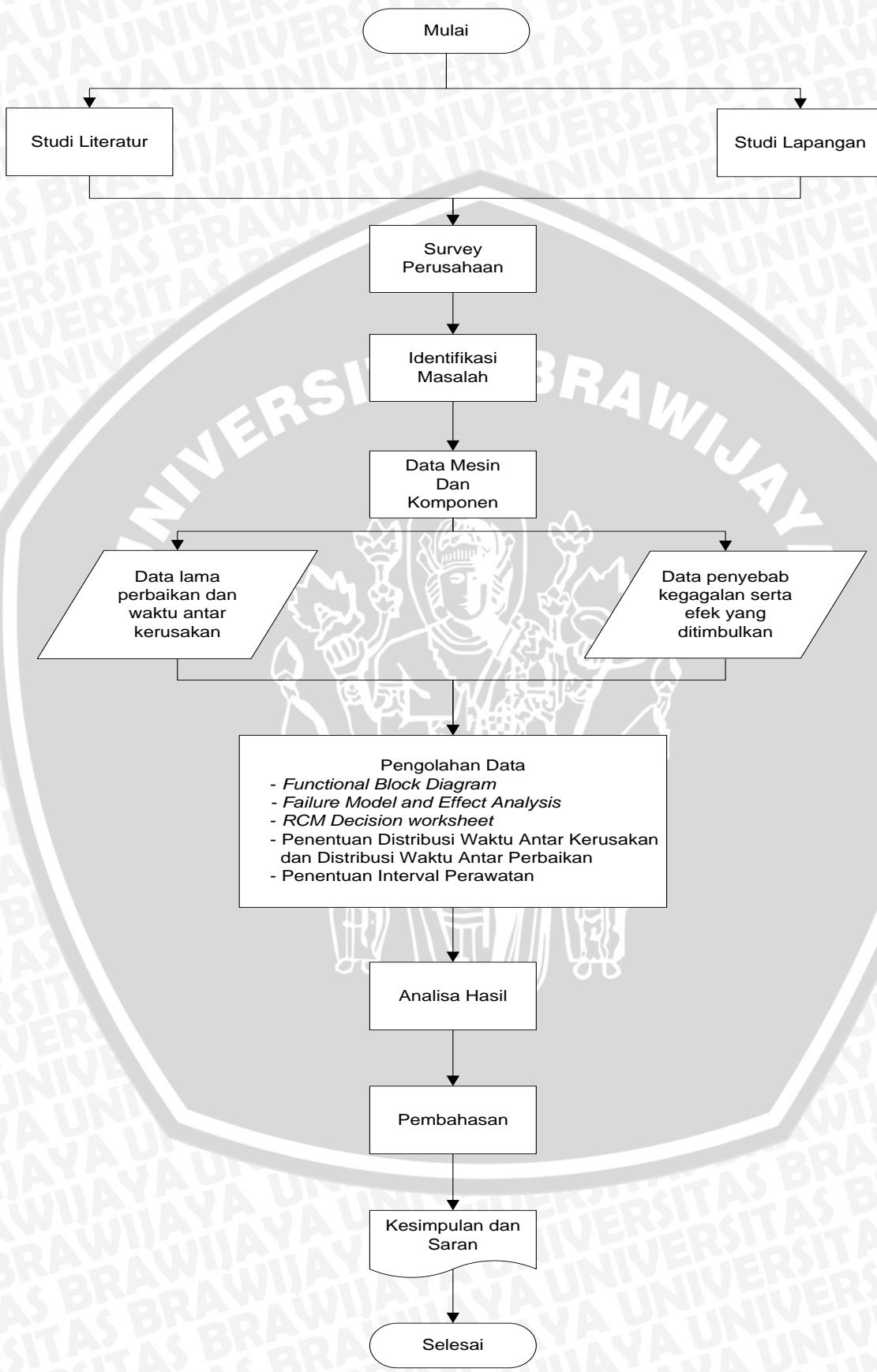
5. Penentuan distribusi waktu antar kerusakan dan distribusi waktu antar perbaikan

6. Penentuan Interval Perawatan

Pengolahan data ini nantinya menggunakan *software Minitab 16* yang akan menganalisis kerusakan mesin serta lama perbaikan dan waktu antar kerusakan pada mesin *clinker cooler* menurut metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* sehingga dapat diketahui komponen mesin *clinker cooler* yang paling sering mengalami kerusakan yang dapat menghambat laju proses produksi pada PT. Semen Gresik (Persero).



3.6. Diagram Alir Penelitian



Dari diagram alur diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Mulai
2. Studi Literatur

Kegiatan ini dilakukan untuk mengumpulkan dasar-dasar teori yang digunakan guna lebih menunjang penelitian yang sedang dilaksanakan.

3. Studi Lapangan

Merupakan tahap awal dimulainya penelitian yang meliputi tinjauan secara langsung ke lapangan untuk mengetahui kondisi dari obyek penelitian.

4. Survey Perusahaan
5. Identifikasi Masalah

Langkah pertama adalah merumuskan permasalahan yang akan diteliti dengan melakukan studi lapangan dan studi literatur

6. Identifikasi Kerusakan dan Perbaikan

Langkah kedua adalah identifikasi kerusakan dan perbaikan yang dapat menunjang dalam penyelesaian permasalahan. Meliputi data mesin dan komponennya, lama perbaikan dan waktu antar kerusakan, serta penyebab dan efek kegagalan.

7. Pengolahan Data

Langkah selanjutnya adalah menentukan komponen kritis berdasarkan pada data *downtime* dengan frekuensi terbesar. Tahap ini terdiri dari beberapa langkah-langkah yaitu :

- *Functional Block Diagram*

Pembuatan *Funtional Block Diagram* bertujuan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari mesin dan fungsi mesin seperti proses produksi dan komponen mesin yang terlibat di dalamnya.

- Identifikasi Penyebab Kegagalan

Penyusunan tabel *FMEA* dilakukan berdasarkan data fungsi komponen dan laporan perawatan yang kemudian dapat ditentukan berbagai penyebab kegagalan (*failure mode*) yang mengakibatkan kegagalan fungsi (*functional failure*) serta efek (*failure effect*) yang ditimbulkan dari kegagalan fungsi.

- *RCM Decision Worksheet*

RCM digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode* serta interval perawatan yang optimal bagi setiap komponennya.

- Penentuan distribusi waktu antar kerusakan dan distribusi waktu antar perbaikan

Tahap ini akan ditentukan mengenai jenis-jenis distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan. Hal ini dilakukan untuk melihat pola atau kecenderungan dari data waktu antar kerusakan mesin tersebut apakah berdistribusi weibull, lognormal atau eksponensial. Setelah diperoleh distribusi yang sesuai, kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai *MTTF* dan *MTTR*.

- Penentuan Interval Perawatan

Dalam menentukan interval perawatan yang optimal pada tiap komponen, maka diperlukan parameter distribusi selang waktu kerusakan yang sesuai dari tiap komponen *equipment* pada unit *clinker cooler*.

8. Analisa Hasil

Dari hasil pengolahan data yang diperoleh maka dapat dilakukan analisa hasil penelitian dengan menggunakan dasar-dasar teori yang berhubungan dengan metode pengolahan data untuk mendapatkan tindakan perawatan yang tepat.

9. Pembahasan

Setelah dilakukan analisa maka dapat dilakukan pembahasan penelitian dengan menggunakan dasar-dasar teori yang berhubungan dengan metode pengolahan data

10. Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir adalah menarik kesimpulan dari hasil analisa diatas serta memberikan saran-saran yang dapat dijadikan sebagai masukan.

11. Selesai

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

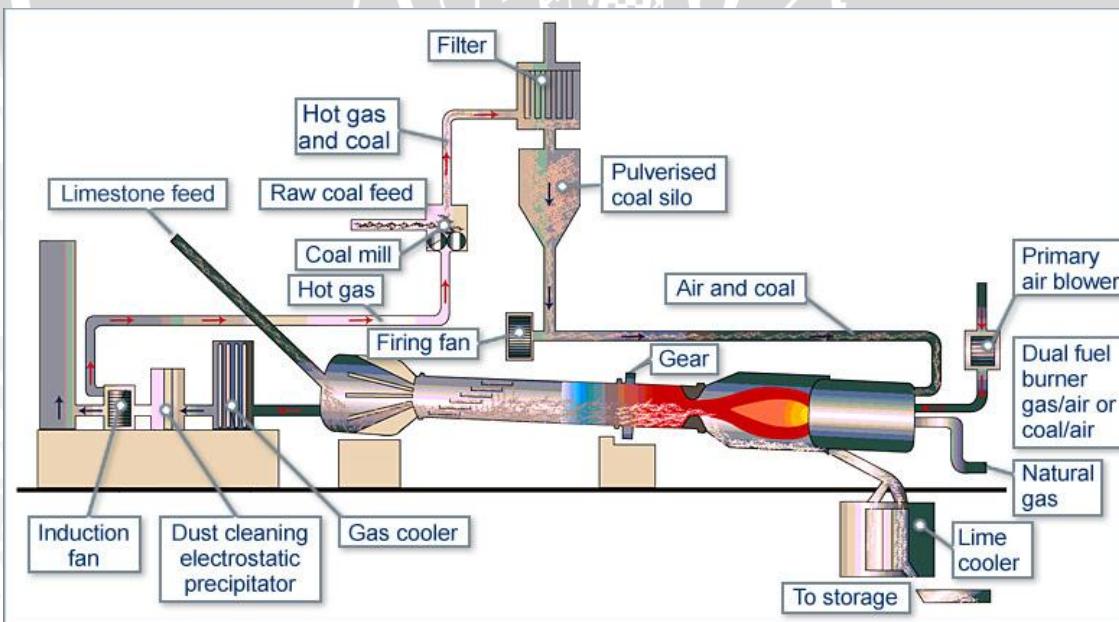
4.1. Studi Pendahuluan

Dalam penelitian ini obyek yang diamati yaitu mesin *clinker cooler* yang berada di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban.

4.1.1. Mesin Proses Produksi (*Clinker Cooler*)

Mesin *clinker cooler* sebagai salah satu bagian dari alat produksi semen yang mempunyai peranan cukup penting. Peralatan ini berfungsi untuk mendinginkan *clinker*, dan proses pendinginan di sini sangat menentukan kualitas semen yang akan diproduksi.

Dalam proses pembuatan semen, setelah terjadi proses pembakaran (*burning process*), maka untuk tahap selanjutnya adalah dilakukan proses pendinginan material yang dilakukan oleh *clinker cooler*. Pada proses pendinginan, pertama kali *clinker* didinginkan didalam *kiln* (*cooling zone*) sampai temperatur sekitar 1350°C . Kemudian pendinginan berikutnya dilakukan didalam *cooler*. Pendinginan *clinker* mempengaruhi struktur, komposisi *mineral grindability*, dan kualitas semen yang dihasilkan.



Gambar 4.1. Proses Produksi Semen Melalui *Clinker Cooler*
Sumber : Anonymous b, 2012

Spesifikasi Mesin *Clinker Cooler* :

- Type : *Reciprocating Hydraulic Grate*
- Kapasitas : 7800 MTPD
- Size : 16102
- Lebar x Panjang : 5,812 x 35,255 m
- *Hydraulic Pump Motor* (4ca) : 90 Kw ; 1500 rpm
- *Clinker Breaker Motor* (2ca) : 75 Kw ; 1000 rpm

4.2. Identifikasi Kerusakan dan Perbaikan

Pada penelitian yang dilakukan di unit *kiln and coal mill* ini khususnya pada mesin *clinker cooler*, data yang diperlukan yaitu sebagai berikut :

- a) Data mesin dan komponennya
- b) Data lama perbaikan dan waktu antar kerusakan
- c) Data penyebab kegagalan serta efek yang ditimbulkan

Data yang diambil berupa data kerusakan pada mesin *clinker cooler* yang terdapat pada *unit kiln and coal mill* yang terjadi pada bulan Agustus 2010 sampai Juni 2012. Rekap data kerusakan dan lama perbaikan pada mesin *clinker cooler* ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut ini :

Mesin <i>Clinker Cooler</i>		
Bulan	Jumlah Kerusakan	Lama Perbaikan (jam)
Agustus 2010	1	1,44
September 2010	2	3,83
Oktober 2010	8	33,7
November 2010	3	42,67
Desember 2010	1	17,35
Januari 2011	1	15,81
Februari 2011	1	2,53
Maret 2011	0	0
April 2011	1	10,53
Mei 2011	1	2,58

Juni 2011	0	0
Juli 2011	1	21,2
Agustus 2011	0	0
September 2011	0	0
Oktober 2011	2	4,7
November 2011	2	33,83
Desember 2011	2	23,8
Januari 2012	5	38,43
Februari 2012	0	0
Maret 2012	3	17,06
April 2012	1	16,13
Mei 2012	0	0
Juni 2012	2	28,92
Total	37	314,51

Tabel 4.1. Rekap Jumlah Kerusakan Dan Lama Perbaikan Mesin *Clinker Cooler*
Sumber : PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban

4.2.1. Penentuan Komponen Kritis Mesin *Clinker Cooler*

Setelah dilakukan pengumpulan data pada unit *kiln and coal mill*, dilakukan pengolahan data untuk menentukan komponen kritis pada mesin *clinker cooler*. Pada mesin *clinker cooler* terdapat beberapa komponen mesin yang mengalami kerusakan yaitu:

1. *Flexible return cooler*
2. *Seal pompa cooler*
3. *Hydraulic pump cooler*
4. *Compensator*
5. *Guide roll*
6. *Great plate*
7. *Manipold cooler*
8. *Kopling cooler*
9. *Bullnose*
10. *Manhole cooler*



11. *Roof cooler*

12. *Hammer*

Penentuan komponen mesin kritis didasarkan pada kriteria berikut :

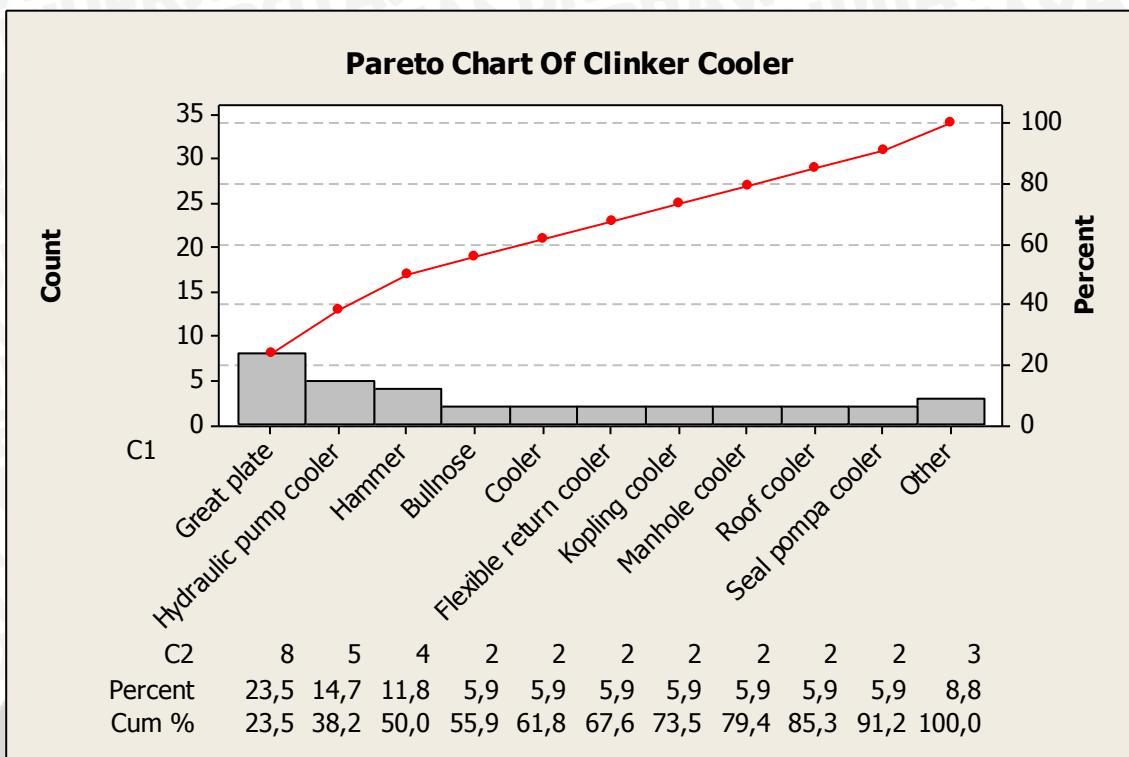
- Sering mengalami kerusakan
- Bila terjadi kerusakan menyebabkan terhentinya proses produksi akibat perbaikan

Dari beberapa komponen mesin tersebut dibuat tabel berdasarkan jumlah kerusakan dan lama perbaikan untuk menentukan komponen mesin yang paling sering mengalami kerusakan-kerusakan pada setiap proses produksi mesin *clinker cooler*. Rekap data untuk jumlah kerusakan dan lama perbaikan komponen kritis mesin *clinker cooler* yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.2. Jumlah Kerusakan dan Lama Perbaikan Komponen Kritis Pada Mesin *Clinker Cooler*

Komponen	Jumlah Kerusakan	Lama Perbaikan (jam)
<i>Flexible return cooler</i>	2	3,25
<i>Seal pompa cooler</i>	2	19,37
<i>Hydraulic pump cooler</i>	5	22,88
<i>Compensator</i>	1	2,65
<i>Cooler</i>	2	18,31
<i>Guide roll</i>	1	16,68
<i>Great plate</i>	8	82,21
<i>Manipold cooler</i>	1	3,18
<i>Kopling cooler</i>	2	3,85
<i>Bullnose</i>	2	33,83
<i>Manhole cooler</i>	2	23,68
<i>Roof cooler</i>	2	30,02
<i>Hammer</i>	4	39,85

(Sumber : Pengolahan Data)



Gambar 4.2. Diagram Pareto Jumlah Kerusakan Komponen Mesin *Clinker Cooler*

Dari diagram pareto diatas dapat diketahui bahwa komponen mesin *clinker cooler* dengan jumlah kerusakan dan lama perbaikan dengan persentase kumulatif kurang dari sama dengan 50 % adalah *Great Plate*, *Hydraulic Pump Cooler*, dan *Hammer*, sehingga dapat disimpulkan bahwa komponen-komponen kritis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3. Mesin dan Komponen Kritis Pada Mesin *Clinker Cooler*

Mesin Clinker Cooler	Komponen
	<i>Great Plate</i>
	<i>Hydraulic pump cooler</i>
	<i>Hammer</i>

(Sumber : Pengolahan Data)

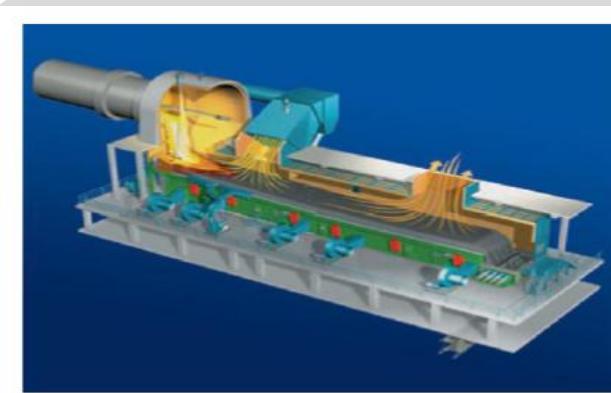
Dari tabel 4.3 diatas adalah komponen-komponen kritis mesin *clinker cooler*, dimana nantinya bila terjadi kerusakan terus-menerus akan membutuhkan waktu

perbaikan yang cukup lama, sehingga kerusakan-kerusakan tersebut menyebabkan proses produksi terhenti akibat perbaikan tersebut.

4.3. Pengolahan Data

4.3.1. Functional Block Diagram

Functional Block Diagram ini dibuat dengan tujuan agar lebih memudahkan dalam mengidentifikasi kegagalan yang terjadi pada fungsi dan sistem kerja mesin. Rincian proses produksi semen pada saat terjadi di mesin *clinker cooler* yaitu sebagai berikut :



Gambar 4.3. Cara Kerja Mesin *Clinker Cooler*

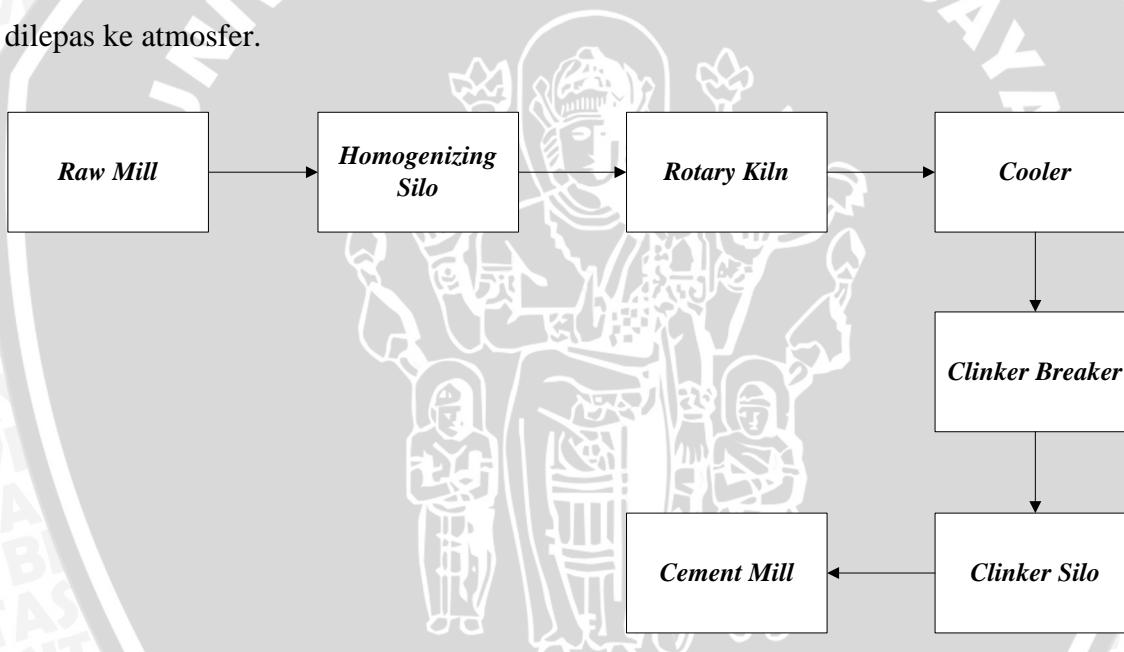
Sumber : Budi Setiyana, 2007:21

Bahan mentah yang telah digiring di *raw mill* selanjutnya masuk ke *homogenizing silo* dan selanjutnya diberikan proses pemanasan awal sehingga suhunya menjadi 800°C sebelum masuk ke *rotary kiln* yang bersuhu sekitar 1400°C , kemudian masuk ke unit *cooler* untuk pendinginan sehingga suhu *clinker* menjadi sekitar 100°C .

Clinker (terak) dengan suhu tinggi akan jatuh pada *cooler* dan didistribusikan secara seragam ke area kompartemen sesuai dengan lebar *grate*. Dikarenakan suhu material akan berubah menurut jarak, maka pendingin *clinker* dibagi menjadi beberapa kompartemen dimana semakin dekat dengan *kiln* maka panjang kompartemen semakin panjang. Udara yang telah melewati material bersuhu sekitar 200°C akan dihisap untuk kemudian digunakan sebagai sumber panas di *preheater* dan *kiln* yang bertujuan untuk meminimalkan energi yang hilang ke lingkungan sekitar serta yang berarti pula menghemat biaya. Volume jatuh *clinker* ini akan selalu dimonitor oleh sebuah *transmitter tekanan* yang dipasang di *undergrate*. Jika volume curahan terak dari *kiln* melebihi atau kurang dari nilai yang telah disetkan maka *transmitter tekanan* akan

mengirim sinyal ke pengontrol tekanan sehingga akan segera mengolah data tersebut yang selanjutnya data tersebut akan dikirim ke pengontrol kecepatan motor penggerak *grate*. Jika volume jatuh *clinker* lebih besar dari yang disetkan maka motor akan bergerak lebih cepat dengan tujuan untuk mengecilkan *bed depth* dan sebaliknya.

Kemudian dengan didinginkan oleh udara yang bersumber dari *fan* di *undergrate* tiap kompartemennya, *clinker* bergerak ke ujung *cooler* dengan suhu turun menjadi sekitar 1000°C . *Clinker* yang telah didinginkan selanjutnya diperkecil ukurannya dengan *clinker breaker* dengan maksud untuk memperluas area *clinker* yang terkena udara, sehingga mempercepat pendinginan secara alami dalam perjalanan dengan mekanisme ban berjalan ke *clinker silo* untuk disimpan. Debu dari pemecahan *clinker* dan debu selama proses pendinginan akan dihisap melalui *fan* dan direduksi oleh *EP* untuk mengurangi partikel yang akan menyebabkan pencemaran udara sebelum dilepas ke atmosfer.



Gambar 4.4. Functional Block Diagram Melalui Mesin Clinker Cooler

4.3.2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Langkah selanjutnya yaitu masuk ke dalam tahapan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Dengan menggunakan *FMEA* ini maka dapat diketahui kegagalan fungsi yang terjadi pada mesin *clinker cooler* yang kemudian nantinya diidentifikasi



penyebab terjadinya kegagalan dan selanjutnya dapat diketahui pula efek atau dampak yang ditimbulkan dari kegagalan fungsi tersebut.



Tabel 4.4. *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) Diagram Mesin Clinker Cooler*

RCM INFORMATION WORKSHEET		System : Clinker Cooler		Facilitator :									
		Sub system : PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban		Auditor :									
Function	Function Failure	Failure Modes		Failure Effect									
	(Loss Of Function)	(Cause Of Function)		(What Happen When It Failure)									
1	Untuk mendinginkan <i>clinker</i> hasil pembakaran di <i>rotary kiln</i>	A	Tidak dapat mendinginkan <i>clinker</i> hasil pembakaran	<table border="1"> <tr> <td>1</td><td><i>Great Plate</i></td><td>Panas yang dibutuhkan di peralatan lain sebagai proses pembakaran tidak terjadi</td></tr> <tr> <td>2</td><td><i>Hydraulic pump cooler</i></td><td>Proses <i>quenching</i> terhadap material tidak dapat terjadi sehingga akan mengakibatkan penurunan <i>reability</i> dari sistem</td></tr> <tr> <td>3</td><td><i>Hammer</i></td><td><i>Clinker</i> tidak dapat didistribusikan ke proses selanjutnya sehingga target produksi <i>clinker</i> yang diharapkan tidak dapat dipenuhi</td></tr> </table>	1	<i>Great Plate</i>	Panas yang dibutuhkan di peralatan lain sebagai proses pembakaran tidak terjadi	2	<i>Hydraulic pump cooler</i>	Proses <i>quenching</i> terhadap material tidak dapat terjadi sehingga akan mengakibatkan penurunan <i>reability</i> dari sistem	3	<i>Hammer</i>	<i>Clinker</i> tidak dapat didistribusikan ke proses selanjutnya sehingga target produksi <i>clinker</i> yang diharapkan tidak dapat dipenuhi
1	<i>Great Plate</i>	Panas yang dibutuhkan di peralatan lain sebagai proses pembakaran tidak terjadi											
2	<i>Hydraulic pump cooler</i>	Proses <i>quenching</i> terhadap material tidak dapat terjadi sehingga akan mengakibatkan penurunan <i>reability</i> dari sistem											
3	<i>Hammer</i>	<i>Clinker</i> tidak dapat didistribusikan ke proses selanjutnya sehingga target produksi <i>clinker</i> yang diharapkan tidak dapat dipenuhi											

Sumber : Pengolahan Data

4.3.3. RCM Decision Worksheet

Setelah mengetahui macam-macam kegagalan fungsi yang terjadi pada mesin *clinker cooler* melalui tabel *FMEA*, kemudian masuk ke dalam tahapan *RCM Decision Worksheet*. *RCM Decision Worksheet* ini digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode*.



Tabel 4.5. RCM Decision Worksheet Mesin Clinker Cooler

RCM INFORMATION WORKSHEET												<i>System : Clinker Cooler</i>			<i>Facilitator :</i>		
<i>Information Reference</i>			<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Default Action</i>			<i>Propose Task</i>			<i>Auditor :</i>				
							H ₁	H ₂	H ₃	S ₁	S ₂	S ₃					
F	FF	FM	H	S	E	O	N ₁	N ₂	N ₃	H ₄	H ₅	S ₄					
1	A	1	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled On Condition Task</i> , Melakukan tindakan pemeriksaan kondisi pada great plate			388,0956	Mekanik
1	A	2	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i> , Melakukan tindakan perbaikan dan pengecekan pada pompa hydraulic sampai kembali ke kondisi normal			3033,2451	Mekanik
1	A	3	Y	Y	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled On Condition Task</i> , Melakukan tindakan pemeriksaan kondisi pada hammer			742,7099	Mekanik

Sumber : Pengolahan Data

4.3.4. Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan

Menentukan distribusi waktu antar kerusakan dan distribusi waktu antar perbaikan dilakukan dengan pengujian distribusi terhadap data waktu antar kerusakan dan data waktu lama perbaikan. Data waktu antar kerusakan diperoleh berdasarkan pada selisih antara waktu kerusakan pertama dengan waktu kerusakan berikutnya. Sedangkan data waktu lama perbaikan diperoleh berdasarkan lamanya waktu perbaikan saat kerusakan terjadi.

Tabel 4.6. Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan *Hammer*

<i>Hammer</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
20-03-2012	0,04	-
04-04-2012	16,13	350,43
02-06-2012	19,52	1394,48
08-06-2012	9,4	132,52

Tabel 4.7. Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan *Hydraulic Pump Cooler*

<i>Hydraulic Pump Cooler</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
4-10-2010	4,85	-
25-10-2010	7,27	498,4
25-10-2010	5,41	1,58
23-05-2011	2,58	5025,58
9-03-2012	2,77	6981,25

Tabel 4.8. Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan *Great Plate*

<i>Great Plate</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
30-10-2010	0,8	-
30-10-2010	1,53	1,2
30-10-2010	10,71	6,3
31-10-2010	0,63	13,47
1-11-2010	23,34	13,92
2-02-2011	2,53	2189,9
25-07-2011	21,2	4151,63
27-12-2011	21,47	3696,18

Selanjutnya pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software Minitab 16*. Kriteria pemilihan distribusi data ini adalah memilih nilai statistik *Anderson-Darling* yang paling kecil yang selanjutnya hasil pengujian distribusi dan parameter data waktu perbaikan (Tr) dan waktu antar kerusakan (Tf) dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.9. Distribusi dan Parameter Data Waktu Perbaikan (Tr) dan Waktu Antar Kerusakan (Tf)

Jenis Mesin	Nama Komponen	Ket	Jenis Distribusi	Parameter	
				α	β
<i>Clinker Cooler</i>	<i>Great Plate</i>	Tr	Weibull	0,8388	9,4257
		Tf	Weibull	1,355	447,683
	<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	Tr	Weibull	2,901	5,1545
		Tf	Weibull	0,4448	1814,89
	<i>Hammer</i>	Tr	Weibull	0,6696	9,7269
		Tf	Weibull	1,1264	655,377

Sumber : Pengolahan Data

Setelah melakukan pengujian distribusi data terhadap data waktu perbaikan (Tr) dan waktu antar kerusakan (Tf) maka didapatkan hasil data Tr dan Tf memiliki distribusi weibull dengan parameter α dan β . Untuk komponen Tr *great plate* didapatkan hasil dengan α sebesar 0,8388 dan β sebesar 9,4257 sedangkan Tf *great plate* didapatkan hasil α sebesar 1,355 dan β sebesar 447,683. Komponen Tr *hydraulic pump cooler* didapatkan hasil α sebesar 2,901 dan β sebesar 5,1545 sedangkan Tf *hydraulic pump cooler* didapatkan hasil α sebesar 0,4448 dan β sebesar 1814,89. Komponen Tr *hammer* didapatkan hasil α sebesar 0,6696 dan β sebesar 9,7269 sedangkan Tf *hammer* didapatkan hasil α sebesar 1,1264 dan β sebesar 655,377. Maka berdasarkan pada parameter α menunjukkan bahwa laju antar kerusakan (Tf) dan lama perbaikan (Tr) mengalami kenaikan dengan bertambahnya waktu dikarenakan nilai parameter $\alpha > 1$, hal ini disebabkan oleh proses keausan komponen. Sedangkan untuk komponen Tr *great plate* didapatkan sebesar 0,8388, Tr *hammer* sebesar 0,6696 serta Tf *hydraulic pump cooler* sebesar 0,4448 sehingga nilai parameter α berada antara $0 < \alpha < 1$ yang menunjukkan bahwa laju antar kerusakan dan lama perbaikan menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang terjadi pada hal ini umumnya disebabkan oleh kesalahan dalam proses *manufacturing* atau desain yang kurang sempurna pada proses permesinan tersebut.

Selanjutnya setelah diperoleh distribusi serta parameter pada masing-masing komponen mesin *clinker cooler*, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* dan *Mean Time To Repair (MTTR)* dengan 2 parameter *shape parameter* (α) dan *scale parameter* (β). Dengan menggunakan *software Minitab 16* didapatkan nilai MTTF dan MTTR sebagai berikut :

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Nilai *MTTF* dan *MTTR*

Jenis Mesin	Nama Komponen	MTTR (jam)	MTTF (jam)
<i>Clinker Cooler</i>	<i>Greate Plate</i>	4,0809	153,6701
	<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	1,3689	1164,2878
	<i>Hammer</i>	4,79003	244,349

4.3.5. Penentuan Interval Perawatan

Penentuan interval perawatan yang optimal pada tiap komponen diperlukan parameter distribusi selang waktu kerusakan yang sesuai dan biaya penggantian komponen mesin. Dalam hal ini komponen mesin *clinker cooler* yaitu *great plate*, *hydraulic pump cooler*, dan *hammer*. Langkah-langkah dalam menentukan interval perawatan yaitu dilakukan perhitungan biaya sebagai berikut :

- Biaya Penggantian Komponen karena Perawatan (CM)

Merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki komponen yang meliputi biaya tenaga kerja dan harga komponen atau suku cadang. Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya penggantian karena perawatan yaitu sebagai berikut :

$$CM = (\text{Biaya Tenaga Kerja} \times MTTR) + \text{Harga Komponen}$$

Contoh perhitungan biaya penggantian karena perawatan (CM) pada komponen *great plate* :

$$\begin{aligned} CM &= (\text{Biaya Tenaga Kerja} \times MTTR) + \text{Harga Komponen} \\ &= (\text{Rp } 501.000 \times 4,0809) + \text{Rp } 20.000.000 \\ &= \text{Rp } 22.044.531 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan biaya penggantian komponen karena perawatan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut ini :

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Biaya Penggantian Komponen karena Perawatan (CM)

Nama Komponen	MTTR (jam)	Harga (Rp)	Biaya Tenaga Kerja/orang (Rp/jam)	CM (Rp)
<i>Great Plate</i>	4,0809	2.000.000	167.000	22.044.531
<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	1,3689	32.000.000	225.000	32.924.008
<i>Hammer</i>	4,79003	40.000.000	175.000	40.838.255

Sumber : Pengolahan Data

- Biaya Penggantian Komponen karena Kerusakan (CF)

Merupakan biaya penggantian yang meliputi biaya tenaga kerja, biaya downtime dan harga komponen. Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya penggantian karena kerusakan adalah :

$$CF = [(Biaya Tenaga Kerja + Biaya Downtime) \times MTTR] + Harga Komponen$$

Contoh perhitungan biaya penggantian komponen karena kerusakan (CF) pada komponen *Great Plate* :

$$\begin{aligned} CF &= [(Biaya Tenaga Kerja + Biaya Downtime) \times MTTR] + Harga Komponen \\ &= [(Rp\ 501.000 + Rp\ 8.333.333) \times 4,0809] + Rp\ 20.000.000 \\ &= 56.052.030 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan biaya penggantian komponen karena kerusakan seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut ini :

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Biaya Penggantian Komponen karena Kerusakan (CF)

Nama Komponen	MTTR (jam)	Harga (Rp)	Biaya Tenaga Kerja/orang (Rp/jam)	Biaya Downtime (Rp/jam)	CF (Rp)
<i>Great Plate</i>	4,0809	20.000.000	167.000	8.333.333	56.052.030
<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	1,3689	32.000.000	225.000	8.333.333	44.331.507
<i>Hammer</i>	4,79003	40.000.000	175.000	8.333.333	82.431.681

Sumber : Pengolahan Data

Setelah diperoleh biaya penggantian komponen karena perawatan (CM) dan biaya penggantian komponen karena kerusakan (CF) serta parameter yang sesuai dengan pengujian distribusi, maka langkah selanjutnya adalah menghitung interval perawatan yang optimal yaitu sebagai berikut :



$$TM = \beta \left[\frac{CM}{CF - CM} \cdot \frac{1}{\alpha^{-1}} \right]^{1/\alpha}$$

Maka dengan cara seperti diatas diperoleh hasil perhitungan interval perawatan optimal pada masing-masing komponen kritis seperti pada tabel 4.13 berikut ini :

Tabel 4.13. Interval Perawatan Optimal

Nama Komponen	α	β	CM (Rp)	CF (Rp)	TM (jam)
<i>Greate Plate</i>	1,355	447,683	22.044.531	56.052.030	406,8134
<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	0,4448	1814,89	32.924.008	44.331.507	3182,3726
<i>Hammer</i>	1,1264	655,377	40.838.255	82.431.681	716,6689

Hasil dari TM ini nantinya bisa digunakan untuk menghitung yang lain seperti *Mean Time To Failure (MTTF)* setelah dilakukan perawatan. Hal ini berguna untuk menganalisa keuntungan dari jadwal perawatan yang baru. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D, sedangkan hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.14 berikut ini :

Tabel 4.14. *MTTFm* dengan interval perawatan TM

Jenis Mesin	Nama Komponen	<i>MTTFm</i> (jam)	<i>MTTF</i> (jam)	Selisih (jam)
<i>Clinker Cooler</i>	<i>Great Plate</i>	495,578	153,6701	341,9079
	<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	1891,13	1164,2878	726,8422
	<i>Hammer</i>	670,453	244,349	426,104

4.4. Pembahasan

Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* merupakan proses yang dilakukan untuk menentukan apa saja yang harus dilakukan agar dapat mencegah terjadinya kegagalan dan untuk memastikan bahwa alat atau mesin dapat bekerja optimal sesuai fungsinya saat dibutuhkan. Melalui metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* ini akan diperoleh informasi yang penting guna mengembangkan sistem *maintenance* sehingga dapat mengurangi kegagalan fungsi komponen mesin secara tiba-tiba dan juga bisa menjadi program pemeliharaan yang paling efisien dibandingkan dengan metode yang lain seperti metode *linier programming*.

Berdasarkan *RCM Decision Worksheet* diperoleh bahwa tindakan yang perlu dilakukan untuk setiap komponen yang sering mengalami kerusakan yaitu *scheduled restoration task*. Pada *scheduled* ini membutuhkan tindakan perawatan yang dapat mengurangi kemacetan produksi, biaya perbaikan dan membatasi atau mengurangi gangguan-gangguan yang menghambat pelaksanaan produksi sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas untuk meningkatkan hasil produksi semen.

Tabel 4.15. Kegiatan Perawatan yang Disarankan dan Interval Perawatan Optimal

Mesin	Komponen Kritis	Kegiatan Perawatan	Interval Perawatan (jam)
Clinker Cooler	Great Plate	<i>Scheduled Discard Task</i>	153,6701
	Hydraulic Pump Cooler	<i>Scheduled Restoration Task</i>	1164,2878
	Hammer	<i>Scheduled Discard Task</i>	244,349

Sumber : Pengolahan Data

Dari interval perawatan terdapat komponen yang memiliki selisih nilai interval perawatan yang paling tinggi yaitu komponen *hydraulic pump cooler*. Pada komponen *hydraulic pump cooler* memiliki interval perawatan paling lama yaitu 1164,2878 jam. Pada komponen ini apabila terjadi kerusakan membutuhkan waktu perbaikan yang lama. Kegiatan

perawatan yang perlu dilakukan pada komponen ini adalah *scheduled restoration task*, yaitu tindakan perawatan yang dapat mengurangi kemacetan produksi, biaya perbaikan dan membatasi atau mengurangi gangguan-gangguan yang menghambat pelaksanaan produksi. Sedangkan komponen yang memiliki waktu interval perawatan yang minim yaitu komponen *great plate* dan *hammer* yakni sebesar 153,6701 jam dan 244,349 jam. Komponen ini bila terjadi kerusakan membutuhkan waktu perbaikan yang lama sehingga bila terjadi kerusakan pada komponen ini menyebabkan proses produksi terhenti karena perbaikan. Kegiatan perawatan pada komponen ini yang lebih efektif adalah *scheduled discard task*, tindakan penggantian (*replacement*) terhadap komponen yang mengalami keausan atau kerusakan yang mengakibatkan komponen tersebut tidak dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

Sedangkan menurut perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* setelah dilakukan tindakan perawatan, maka didapatkan selisih antara *MTTF_m* dengan *MTTF* yaitu untuk komponen *hydraulic pump cooler* memiliki selisih yang paling tinggi dari komponen yang lain yakni sebesar 726,8422 jam. Sedangkan untuk komponen *hammer* memiliki selisih sebesar 426,104 jam. Komponen *great plate* memiliki selisih 341,9079 jam. Dari hasil perbedaan komponen mesin *clinker cooler* setelah dilakukan tindakan perawatan *Mean Time To Failure (MTTF_m)* dibandingkan dengan *Mean Time To Failure (MTTF)* sebelum tindakan perawatan, maka akan didapatkan nilai interval jarak waktu antar kerusakan komponen yang berkurang dari sebelumnya dimana jika komponen ini dapat melakukan proses produksi diantara selang waktu tersebut, maka produktivitas semen dapat ditingkatkan. Kapasitas mesin *clinker cooler* biasanya dalam satu hari dapat mencapai 7800 MTPD, maka dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* ini didapatkan selisih waktu rata-rata *Mean Time To Failure (MTTF)* setelah dilakukan perawatan sebesar 498,2847 jam atau 20,76 hari, sehingga apabila mesin *clinker cooler* ini dapat berproduksi selama selisih waktu tersebut akan didapatkan peningkatan kapasitas sebesar 16,69 % atau mencapai 1301,82 MTPD. Hal ini menguntungkan bagi perusahaan karena dapat meningkatkan kapasitas produksi mesin, dalam penelitian ini mesin *clinker cooler* pada PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan yaitu :

- Berdasarkan *diagram pareto* pada mesin *clinker cooler* terdapat beberapa komponen kritis yang sering mengalami kerusakan yaitu komponen *great plate*, *hydraulic pump cooler*, dan *hammer*. Komponen-komponen tersebut jika terus-menerus mengalami kerusakan maka akan mengganggu proses produksi yang mengakibatkan menurunnya produksi semen.
- Dari *RCM Decision Worksheet* dapat diusulkan beberapa tindakan perawatan yang sesuai dengan interval perawatan optimal, seperti diantaranya *scheduled discard task* untuk komponen *great plate* dan *hammer* yang memiliki nilai interval optimal sebesar 153,6701 dan 244,349 jam. Hal ini membutuhkan tindakan penggantian pada komponen mesin yang telah mengalami keausan atau kerusakan sebelum batas umur dari komponen tersebut yang nantinya jika dibiarkan akan mengakibatkan mesin tidak dapat berfungsi semestinya sehingga mengganggu proses produksi. Sedangkan untuk komponen *hydraulic pump cooler* disarankan untuk melakukan tindakan perawatan *scheduled restoration task* dikarenakan memiliki interval perawatan yang lama yakni sebesar 1164,2878.
- Dari perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* setelah dilakukan tindakan perawatan didapatkan selisih interval perawatan antara *MTTF_m* dengan *MTTF* yaitu untuk komponen *hydraulic pump cooler* sebesar 726,8422 jam. Sedangkan untuk komponen *hammer* memiliki selisih nilai sebesar 426,104 jam dan untuk komponen *great plate* memiliki selisih 341,9079 jam. Melalui selisih perhitungan *Mean Time To Failure (MTTF)* sebelum dan sesudah perawatan ini akan menghasilkan jarak waktu antar kerusakan yang dapat digunakan untuk proses produksi mesin *clinker cooler*. Dimana, jika kapasitas mesin *clinker cooler* biasanya dalam satu hari dapat mencapai 7800 MTPD, maka dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* ini didapatkan selisih waktu rata-rata *Mean Time To Failure (MTTF)* setelah



dilakukan perawatan sebesar 498,2847 jam atau 20,76 hari, sehingga apabila mesin *clinker cooler* ini dapat berproduksi selama selisih waktu tersebut akan didapatkan peningkatan kapasitas sebesar 16,69 % atau mencapai 1301,82 MTPD.

5.2. Saran

1. Pihak perusahaan diharap mendata kerusakan pada mesin *clinker cooler* lebih mendetail sehingga nantinya dapat dibuat jadwal perawatan yang tepat
2. Bagi perusahaan sendiri, metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* ini dapat diterapkan untuk meningkatkan proses produksi
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan pada mesin-mesin yang sering mengalami kerusakan dengan komponen-komponen yang lebih mendetail

DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, Sofyan. 1999. "*Manajemen Produksi Dan Operasi Edisi Keempat*". Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- Budiharso, Agus. 2002. "*Perencanaan Interval Perawatan Mesin Injection Moulding Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Di PT. Rexplast*" Surabaya. Theses Rekayasa Kualitas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Corder, Antony. 1992. "*Teknik Manajemen Pemeliharaan*". Erlangga, Jakarta.
- Ebeling, E. Charles. 1997. "*Reliability and Maintainability Engineering*". The McGraw-Hill Company Inc, New York.
- Harsono, Djoko Sedyo. 1996. "*Penggilingan Semen*". PT. Semen Gresik (persero), Tbk.
- Lewis, E. E. 1987. "*Introduction To Reliability Engineering*". Penerbit John Wiley & Sons Inc, New York.
- McGraw-Hill, 2002. "*Maintenance Enginering Handbook*". Sixth Edition.
- Moubray, John. 1997. "*Reliability Centered Maintenance*". Second Edition, Penerbit Industrial Press Inc, New York.
- Priyanta, Dwi. 2005. "*Introduction to Reliability Centered Maintenance (RCM) Workshop MAPREC (Maintenance and Production Reliability Conference)*". Jakarta.
- Ya'umar dkk. 2006. "*Optimasi Perawatan Stone Crusher Menggunakan Reliability Centered Maintenance (RCM)*". Jurusan Teknik Industri, FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Alan, Pride. 2010: "*Reliability-Centered Maintenance*".
<http://www.wbdg.org/resources/rcm.php>. (Diakses pada tanggal 3 Agustus 2012)

Arileksana. 2010: “**Definisi Pemeliharaan (Maintenance dan Jenis-jenisnya)**”.
<http://arileksana.blogspot.com/2010/04/definisi-pemeliharaan-maintenance-dan.html>.
(Diakses pada tanggal 30 Juli 2012)

Prabowo, Fery. 2011. “**Perencanaan Pemeliharaan Mesin Ballmill Dengan Basis RCM (Reliability Centered Maintenance)**”.
<http://industri09feryp.blog.mercubuana.ac.id/2011/01/04/perencanaan-pemeliharaan-mesin-ballmill-dengan-basis-rcm-reliability-centered-maintenance/>. (Diakses pada tanggal 4 Agustus 2012)

Tantreethreerid. 2012: “**Perawatan dan Perbaikan Mesin**”.
<http://id.scribd.com/doc/106526200/Perawatan-dan-Perbaikan-Mesin.html>.
(Diakses pada tanggal 30 Juli 2012)



LAMPIRAN A : Data Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan*TIME TO REPAIR & TIME TO FAILURE*

<i>Hammer</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
20-03-2012	0,04	-
04-04-2012	16,13	350,43
02-06-2012	19,52	1394,48
08-06-2012	9,4	132,52

<i>Hydraulic Pump Cooler</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
4-10-2010	4,85	-
25-10-2010	7,27	498,4
25-10-2010	5,41	1,58
23-05-2011	2,58	5025,58
9-03-2012	2,77	6981,25

<i>Great Plate</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
30-10-2010	0,8	-
30-10-2010	1,53	1,2
30-10-2010	10,71	6,3
31-10-2010	0,63	13,47
1-11-2010	23,34	13,92
2-02-2011	2,53	2189,9
25-07-2011	21,2	4151,63
27-12-2011	21,47	3696,18



LAMPIRAN B : Distribusi yang Mendasari Data

Uji Distribusi Lama Waktu Perbaikan Mesin *Clinker Cooler* Dengan Menggunakan
Software Minitab 16

Distribution ID Plot for Tr Great Plate

Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
8	0	10,2763	10,2458	6,62	0,63	23,34	0,363620	-2,24798

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P
Weibull	0,508	0,137
Exponential	0,980	0,103
Lognormal	0,637	0,081

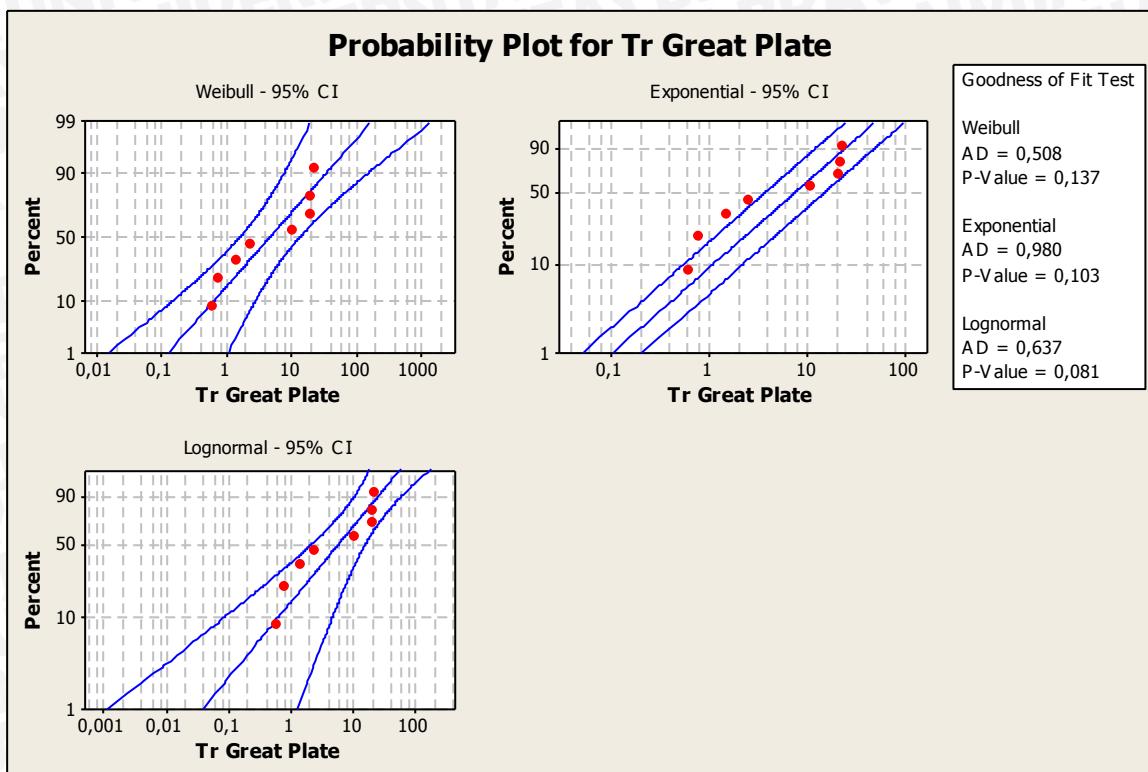
Table of Percentiles

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	1	0,039127	0,070110	0,0 1,3	
Exponential	1	0,103280	0,036515	0,1 0,2	
Lognormal	1	0,128995	0,140194	0,0 1,1	

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	5	0,273166	0,340961	0,0 3,2	
Exponential	5	0,527103	0,186359	0,3 1,1	
Lognormal	5	0,368892	0,317138	0,1 2,0	

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	10	0,64437	0,654766	0,1 4,7	
Exponential	10	1,08271	0,382796	0,5 2,2	
Lognormal	10	0,64590	0,485683	0,1 2,8	

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	50	6,08896	3,04669	2,3 16,2	
Exponential	50	7,12295	2,51834	3,6 14,2	
Lognormal	50	4,65895	2,53964	1,6 13,6	



Distribution ID Plot for *Tr Hydraulic Pump Cooler*

Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
5	0	4,576	1,95409	4,85	2,58	7,27	0,352364	-1,16966

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P
Weibull	0,302	0,415
Exponential	0,940	0,103
Lognormal	0,311	>0,250

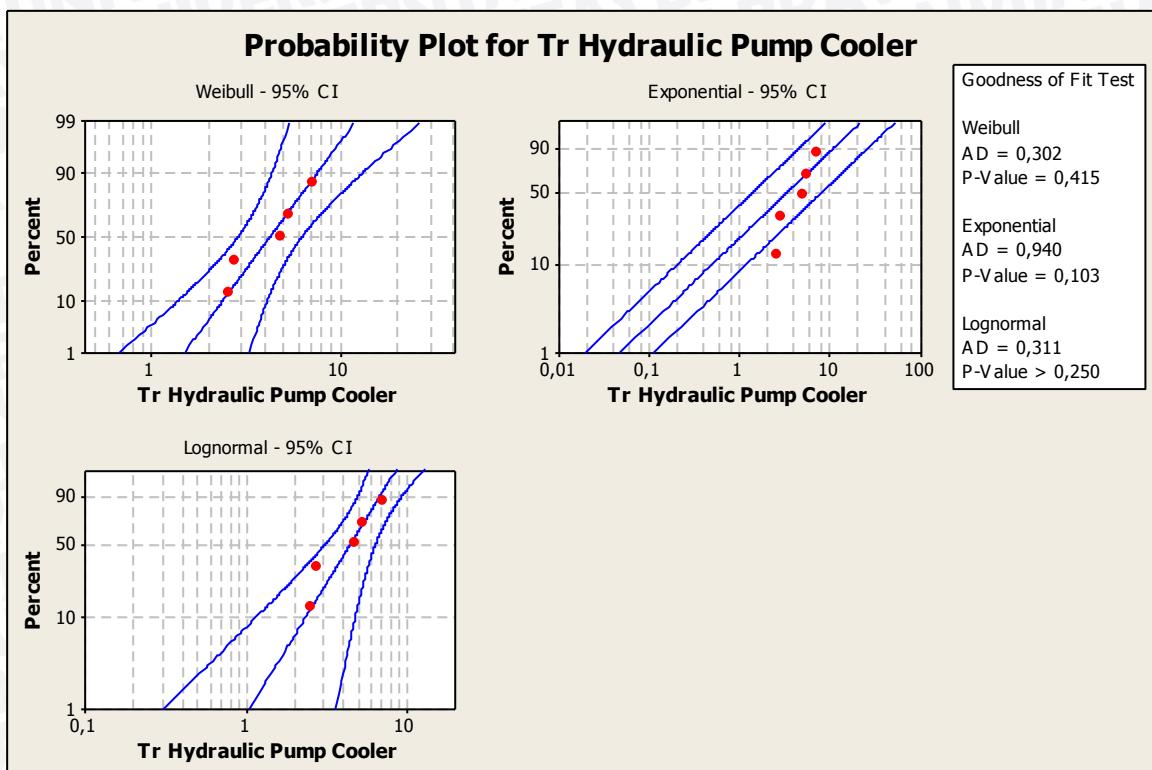
Table of Percentiles

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	1	1,05567	0,671370	0,3	3,7
Exponential	1	0,04599	0,020568	0,0	0,1
Lognormal	1	1,50025	0,609823	0,7	3,3

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	5	1,85156	0,823316	0,8	4,4
Exponential	5	0,23472	0,104969	0,1	0,6
Lognormal	5	2,03333	0,651014	1,1	3,8

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	10	2,37300	0,861735	1,2	4,8
Exponential	10	0,48213	0,215615	0,2	1,2
Lognormal	10	2,39112	0,667251	1,4	4,1

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	50	4,54272	0,82919	3,2	6,5
Exponential	50	3,17184	1,41849	1,3	7,6
Lognormal	50	4,23560	0,84510	2,9	6,3



Distribution ID Plot for *Tr Hammer*

Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
4	0	11,2725	8,58859	12,765	0,04	19,52	-0,787273	-0,564827

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P
Weibull	0,639	0,029
Exponential	1,075	0,063
Lognormal	0,744	0,037

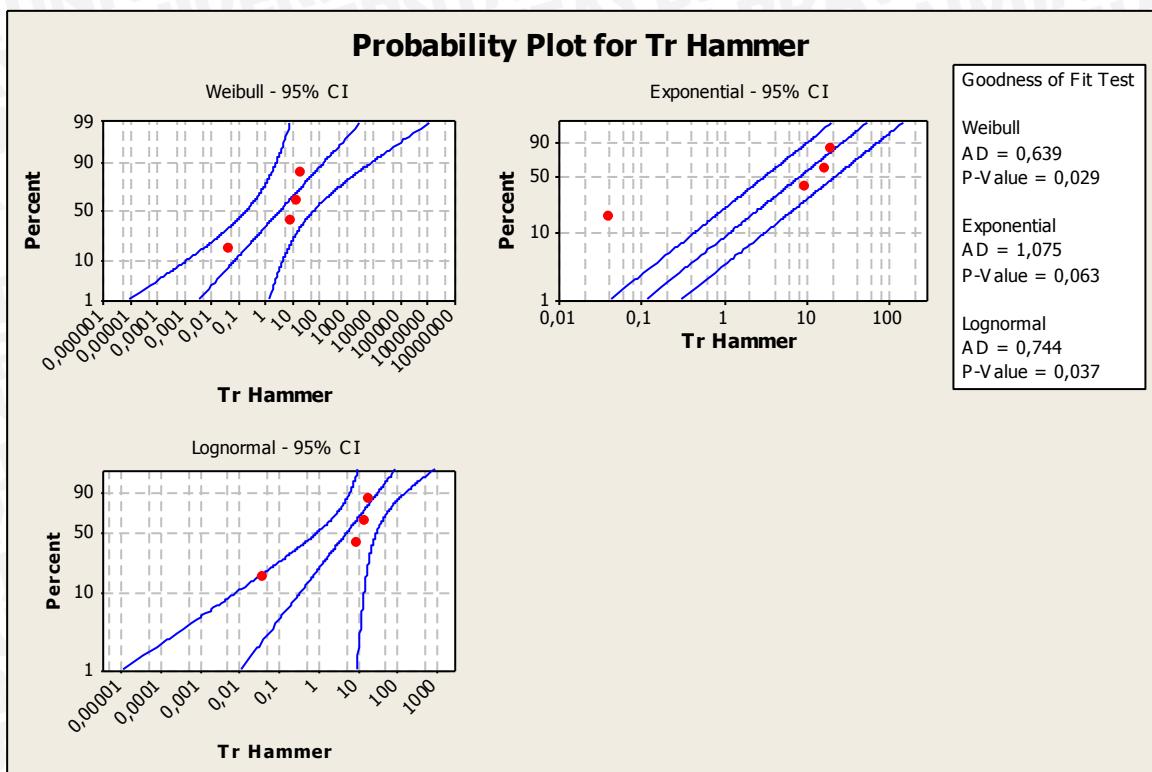
Table of Percentiles

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0%	CI
Weibull	1	0,010102	0,0353189	0,0	9,6
Exponential	1	0,113292	0,0566462	0,0	0,3
Lognormal	1	0,003388	0,0103580	0,0	1,4

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0%	CI
Weibull	5	0,115232	0,275773	0,0	12,6
Exponential	5	0,578204	0,289102	0,2	1,5
Lognormal	5	0,025434	0,061070	0,0	2,8

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0%	CI
Weibull	10	0,33763	0,648451	0,0	14,6
Exponential	10	1,18768	0,593838	0,4	3,2
Lognormal	10	0,07449	0,155526	0,0	4,5

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0%	CI
Weibull	50	5,62679	4,90543	1,0	31,1
Exponential	50	7,81350	3,90675	2,9	20,8
Lognormal	50	3,29857	4,87827	0,2	59,9



Uji Distribusi Lama Waktu Antar Kerusakan Mesin *Clinker Cooler* Dengan
Menggunakan Software Minitab 16

Distribution ID Plot for Tf Great Plate

Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
7	0	1438,94	1879,71	13,92	1,2	4151,63	0,709082	-1,76792

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P
Weibull	0,582	0,080
Exponential	7,503	<0,003
Lognormal	0,742	0,042

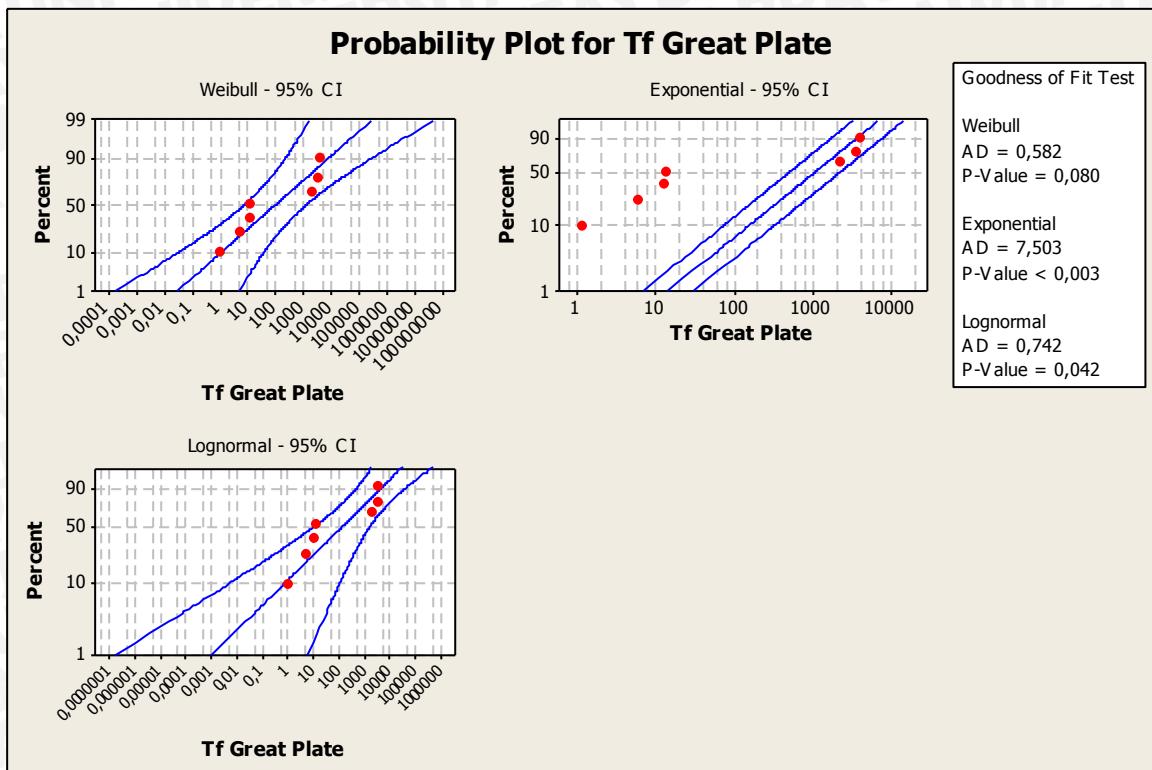
Table of Percentiles

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0%	CI
Weibull	1	0,0011	0,00470	0,0	6,5
Exponential	1	14,4619	5,46607	6,9	30,3
Lognormal	1	0,0293	0,07661	0,0	4,9

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0%	CI
Weibull	5	0,1041	0,3236	0,0	46,0
Exponential	5	73,8081	27,8968	35,2	154,8
Lognormal	5	0,3079	0,6361	0,0	17,7

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0%	CI
Weibull	10	0,791	2,0058	0,0	113,9
Exponential	10	151,608	57,3023	72,3	318,0
Lognormal	10	1,079	1,9480	0,0	37,1

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0%	CI
Weibull	50	159,452	201,775	13,4	1904,4
Exponential	50	997,399	376,981	475,5	2092,2
Lognormal	50	89,948	117,338	7,0	1159,8



Distribution ID Plot for *Tf Hydraulic Pump Cooler*

Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
4	0	3126,70	3422,36	2761,99	1,58	6981,25	0,256766	-4,34317

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P
Weibull	0,406	0,167
Exponential	1,776	0,008
Lognormal	0,436	0,245

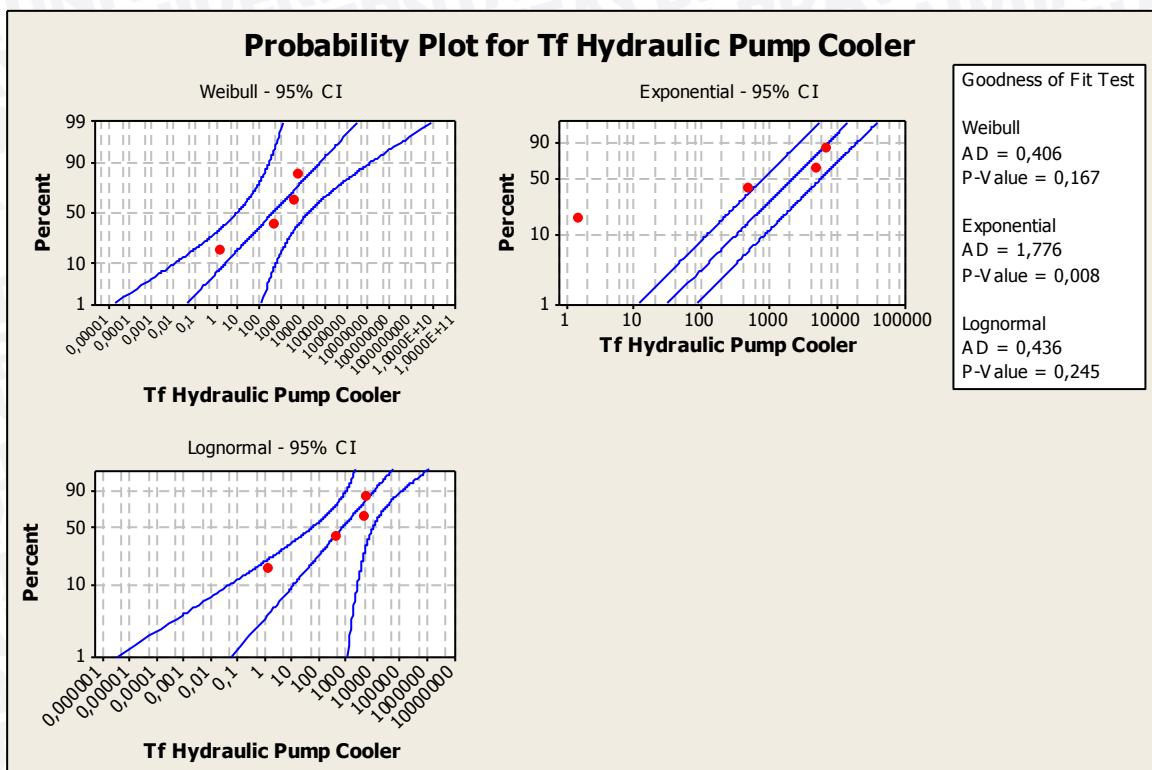
Table of Percentiles

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	1	0,0585	0,2937	0,0	1103,2
Exponential	1	31,4244	15,7122	11,8	83,7
Lognormal	1	0,0486	0,1949	0,0	126,8

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	5	2,283	7,9143	0,0	2037,9
Exponential	5	160,379	80,1894	60,2	427,3
Lognormal	5	0,685	2,1606	0,0	330,9

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	10	11,519	32,262	0,0	2788,5
Exponential	10	329,431	164,715	123,6	877,7
Lognormal	10	2,810	7,703	0,0	605,8

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	50	796,09	1052,87	59,6	10634,7
Exponential	50	2167,26	1083,63	813,4	5774,5
Lognormal	50	407,70	791,73	9,1	18337,4



Distribution ID Plot for *Tf Hammer*

Descriptive Statistics

N	N*	Mean	StDev	Median	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
3	0	625,81	674,545	350,43	132,52	1394,48	1,53092	*

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P
Weibull	0,201	0,580
Exponential	0,245	0,836
Lognormal	0,288	>0,250

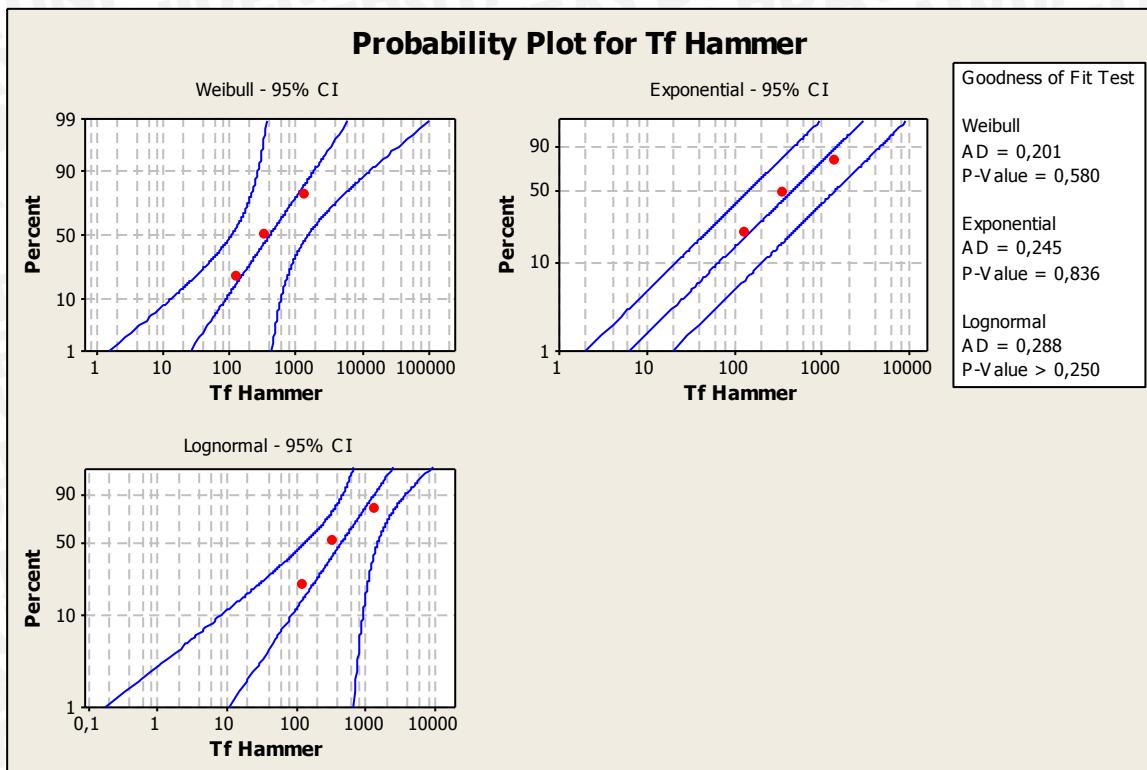
Table of Percentiles

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	1	11,0351	23,1125	0,2	669,2
Exponential	1	6,2896	3,6313	2,0	19,5
Lognormal	1	25,6383	37,0711	1,5	436,2

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	5	46,9085	68,8396	2,6	832,6
Exponential	5	32,0999	18,5329	10,4	99,5
Lognormal	5	57,4015	64,9004	6,3	526,4

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	10	88,8793	106,698	8,5	934,7
Exponential	10	65,9357	38,068	21,3	204,4
Lognormal	10	88,2115	86,394	12,9	601,4

Distribution	Percent	Percentiles	Standard		
			Error	95,0% CI	
Weibull	50	473,339	287,987	143,6	1559,8
Exponential	50	433,778	250,442	139,9	1345,0
Lognormal	50	401,573	274,201	105,3	1531,0



LAMPIRAN C : Perhitungan *MTTF* dan *MTTR*

Perhitungan Nilai Parameter Komponen, *MTTF*, dan *MTTR* Dengan Menggunakan
Software Minitab 16

Distribution Analysis: *Tr Great Plate*

Variable: *Tr Great Plate*

Censoring Information Count
Uncensored value 8

Estimation Method: Maximum Likelihood

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	0,838774	0,244605	0,473604	1,48551
Scale	9,42570	4,19300	3,94148	22,5407

Log-Likelihood = -26,445

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2,046

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	10,3415	4,38440	4,50515	23,7389
Standard Deviation	12,3916	6,82737	4,20865	36,4848
Median	6,08896	3,04669	2,28367	16,2350
First Quartile (Q1)	2,13413	1,52214	0,527367	8,63632
Third Quartile (Q3)	13,9135	5,87821	6,07880	31,8459
Interquartile Range (IQR)	11,7794	5,03398	5,09748	27,2200

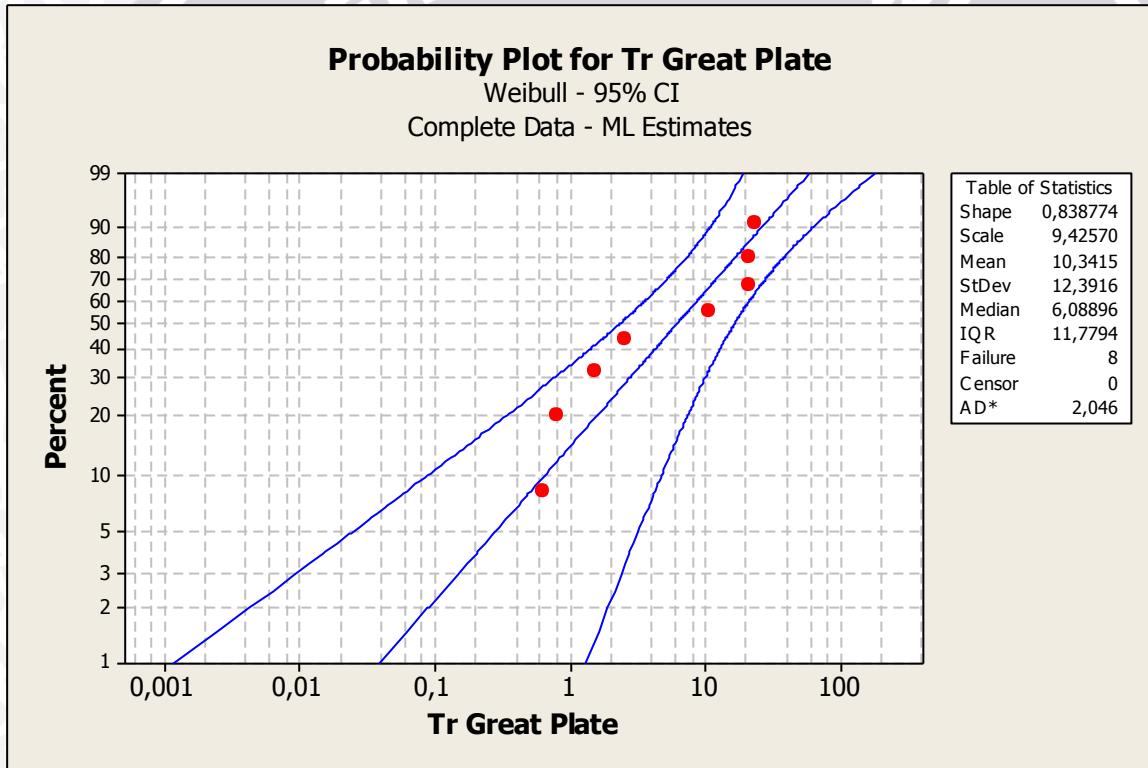
Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0,0391274	0,0701098	0,0011675	1,31128
2	0,0899488	0,140045	0,0042533	1,90225
3	0,146750	0,208393	0,0090746	2,37318
4	0,208065	0,275307	0,0155564	2,78284
5	0,273166	0,340961	0,0236578	3,15413
6	0,341619	0,405503	0,0333551	3,49882
7	0,413138	0,469058	0,0446354	3,82393
8	0,487524	0,531729	0,0574929	4,13407
9	0,564636	0,593606	0,0719274	4,43244
10	0,644369	0,654766	0,0879423	4,72140
20	1,57647	1,23945	0,337639	7,36068
30	2,75757	1,80465	0,764658	9,94453



40	4,23167	2,38947	1,39917	12,7983
50	6,08896	3,04669	2,28367	16,2350
60	8,49276	3,86823	3,47816	20,7371
70	11,7605	5,04060	5,07689	27,2430
80	16,6232	7,01754	7,26735	38,0235
90	25,4773	11,3799	10,6157	61,1447
91	26,8732	12,1482	11,0797	65,1792
92	28,4476	13,0380	11,5858	69,8498
93	30,2496	14,0855	12,1441	75,3484
94	32,3517	15,3443	12,7695	81,9632
95	34,8665	16,8996	13,4845	90,1531
96	37,9845	18,8973	14,3263	100,712
97	42,0658	21,6188	15,3629	115,182
98	47,9274	25,7179	16,7428	137,195
99	58,2165	33,3831	18,9209	179,123

Probability Plot for Tr Great Plate



Distribution Analysis: Tr Hydraulic Pump Cooler

Variable: Tr Hydraulic Pump Cooler

Censoring Information Count

Uncensored value 5

Estimation Method: Maximum Likelihood

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	2,90104	1,03223	1,44439	5,82671
Scale	5,15447	0,839891	3,74529	7,09386

Log-Likelihood = -9,740

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2,519

Characteristics of Distribution

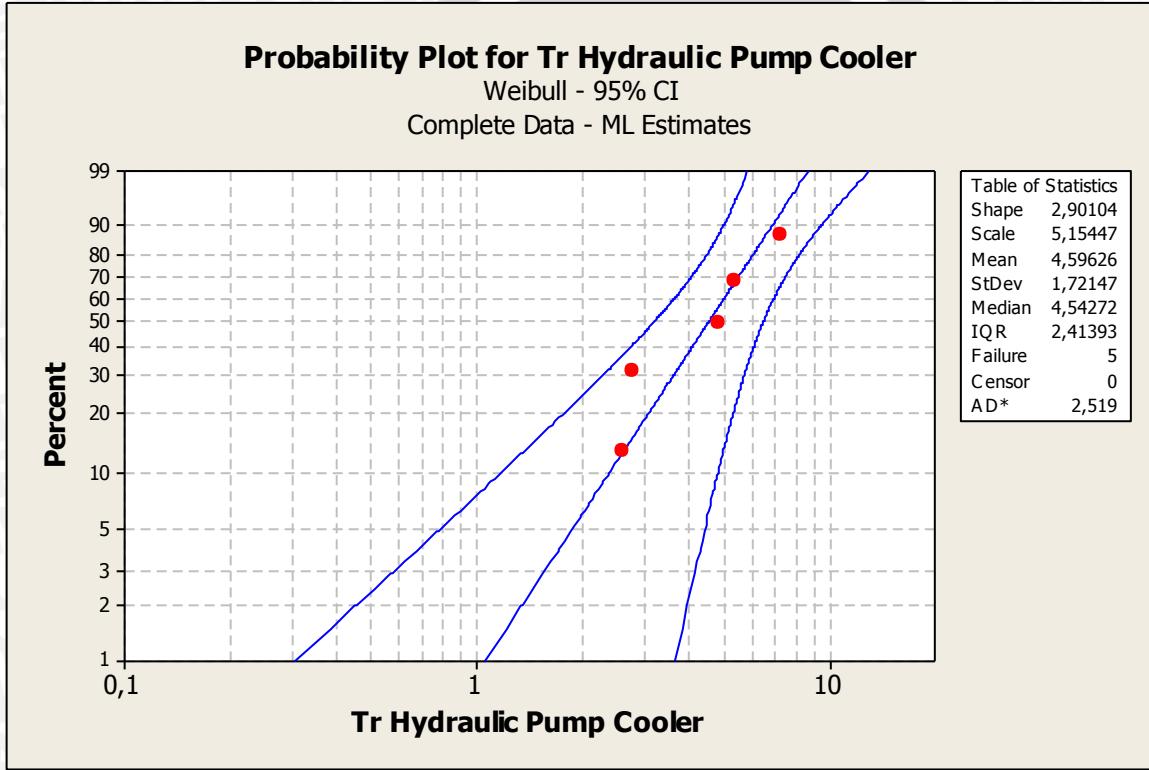
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	4,59626	0,773422	3,30499	6,39202
Standard Deviation	1,72147	0,507560	0,965896	3,06809
Median	4,54272	0,829189	3,17647	6,49661
First Quartile (Q1)	3,35482	0,862099	2,02737	5,55144
Third Quartile (Q3)	5,76876	0,892315	4,26008	7,81172
Interquartile Range (IQR)	2,41393	0,719952	1,34541	4,33107

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	1,05567	0,671370	0,303525	3,67166
2	1,34293	0,743006	0,454053	3,97191
3	1,54709	0,781445	0,574871	4,16354
4	1,71141	0,806126	0,679850	4,30820
5	1,85156	0,823316	0,774535	4,42623
6	1,97522	0,835832	0,861833	4,52699
7	2,08682	0,845181	0,943495	4,61561
8	2,18914	0,852261	1,02068	4,69524
9	2,28408	0,857649	1,09419	4,76792
10	2,37300	0,861735	1,16464	4,83509
20	3,07354	0,868340	1,76667	5,34714
30	3,61286	0,854108	2,27311	5,74224
40	4,08907	0,838378	2,73592	6,11147
50	4,54272	0,829189	3,17647	6,49661
60	5,00146	0,833878	3,60727	6,93450
70	5,49507	0,863013	4,03915	7,47577
80	6,07331	0,936850	4,48871	8,21730
90	6,87133	1,11254	5,00292	9,43754
91	6,97813	1,14212	5,06316	9,61736
92	7,09395	1,17569	5,12646	9,81654

93	7,22105	1,21425	5,19359	10,0400
94	7,36269	1,25925	5,26567	10,2948
95	7,52378	1,31294	5,34437	10,5919
96	7,71243	1,37902	5,43241	10,9494
97	7,94340	1,46434	5,53465	11,4005
98	8,24873	1,58404	5,66144	12,0184
99	8,72584	1,78527	5,84325	13,0305

Probability Plot for *Tr Hydraulic Pump Cooler*



Distribution Analysis: Tr Hammer

Variable: Tr Hammer

Censoring Information Count
Uncensored value 4

Estimation Method: Maximum Likelihood

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	0,669612	0,314070	0,267043	1,67905
Scale	9,72685	7,50233	2,14506	44,1068

Log-Likelihood = -13,275

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 3,350

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	12,8706	10,3429	2,66421	62,1769
Standard Deviation	19,8167	22,3792	2,16651	181,259
Median	5,62679	4,90543	1,01902	31,0697
First Quartile (Q1)	1,51325	1,96943	0,118062	19,3960
Third Quartile (Q3)	15,8423	11,8429	3,66021	68,5698
Interquartile Range (IQR)	14,3291	10,9186	3,21819	63,8008

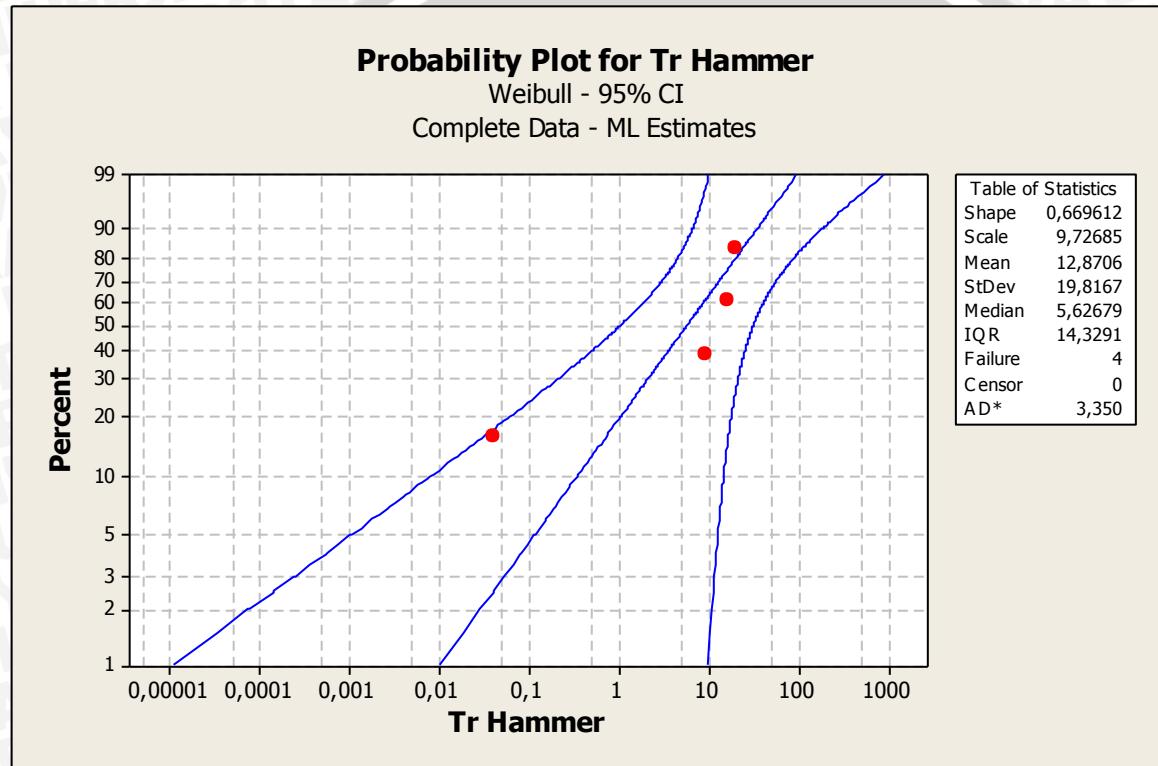
Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0,0101024	0,0353189	0,0000107	9,55691
2	0,0286593	0,0865550	0,0000770	10,6662
3	0,0529118	0,145105	0,0002450	11,4259
4	0,0819365	0,208581	0,0005580	12,0320
5	0,1152322	0,275773	0,0010580	12,5507
6	0,1524843	0,345946	0,0017867	13,0133
7	0,193477	0,418608	0,0027859	13,4367
8	0,238065	0,493409	0,0040974	13,8319
9	0,286140	0,570090	0,0057635	14,2059
10	0,337626	0,648451	0,0078271	14,5636
20	1,03549	1,50228	0,0602874	17,7855
30	2,08610	2,46429	0,205976	21,1277
40	3,56702	3,56370	0,503382	25,2763
50	5,62679	4,90543	1,01902	31,0697
60	8,53636	6,73411	1,81879	40,0648
70	12,8341	9,61753	2,95460	55,7485
80	19,7979	15,0411	4,46619	87,7614
90	33,7992	28,4880	6,47832	176,340



91	36,1347	30,9980	6,72550	194,144
92	38,8059	33,9473	6,98664	215,540
93	41,9094	37,4724	7,26487	241,766
94	45,5888	41,7791	7,56465	274,744
95	50,0707	47,1973	7,89276	317,642
96	55,7416	54,3002	8,26014	376,159
97	63,3431	64,2104	8,68645	461,909
98	74,5875	79,5866	9,21330	603,834
99	95,1624	109,572	9,96257	908,991

Probability Plot for Tr Hammer



Perhitungan nilai *MTTR* dengan menggunakan rumus :

- Perhitungan *MTTR* untuk data yang berdistribusi Weibull dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana : $\Gamma = 0,1975$

Perhitungan *MTTR Clinker Cooler*

1. *Great Plate* : $\alpha = 0,8388$; $\beta = 9,4257$

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

$$MTTR = 9,4257 \cdot 0,1975 \left(1 + \frac{1}{0,8388}\right)$$

$$MTTR = 4,0809 \text{ (jam)}$$

2. *Hydraulic Pump Cooler* : $\alpha = 2,901$; $\beta = 5,1545$

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

$$MTTR = 5,1545 \cdot 0,1975 \left(1 + \frac{1}{2,901}\right)$$

$$MTTR = 1,3689 \text{ (jam)}$$

3. *Hammer* : $\alpha = 0,6696$; $\beta = 9,7269$

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

$$MTTR = 9,7269 \cdot 0,1975 \left(1 + \frac{1}{0,6696}\right)$$

$$MTTR = 4,79003 \text{ (jam)}$$

Distribution Analysis: Tf Great Plate

Variable: Tf Great Plate

Censoring Information Count
Uncensored value 7

Estimation Method: Maximum Likelihood

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	1,355030	0,108220	0,195345	0,645248
Scale	447,683	504,476	49,1796	4075,27

Log-Likelihood = -49,732

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 2,330

Characteristics of Distribution

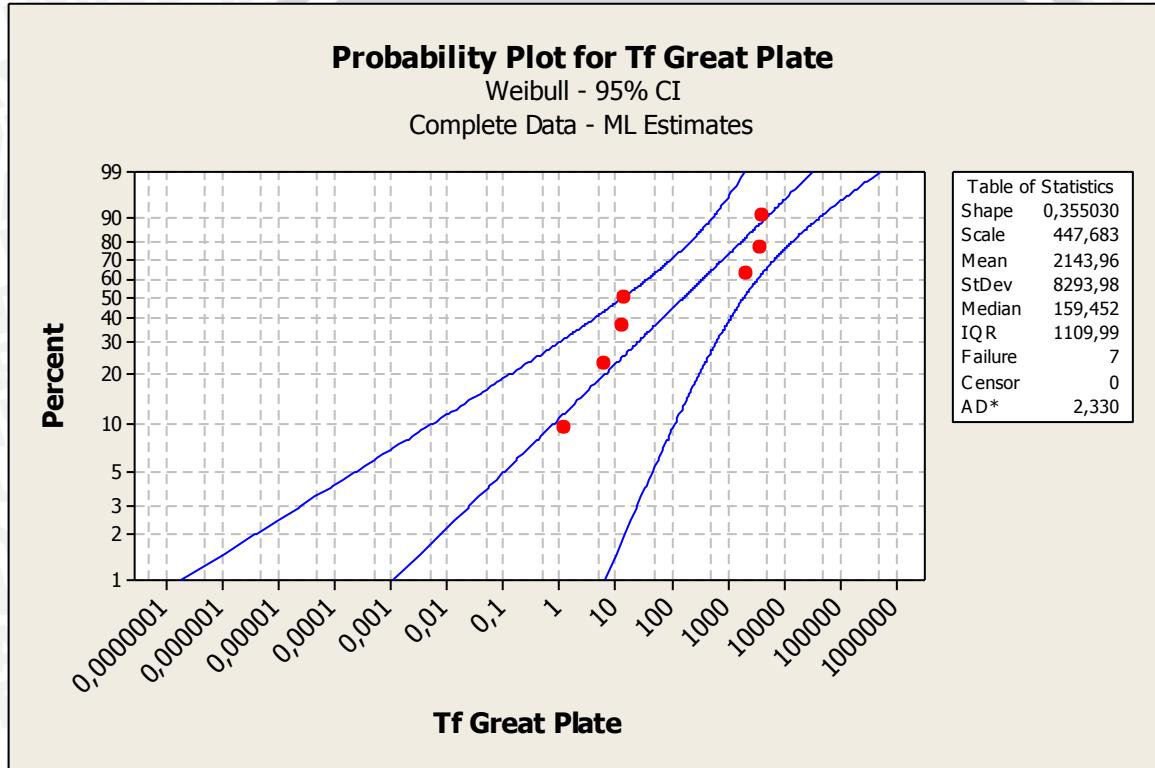
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	2143,96	2689,13	183,472	25053,3
Standard Deviation	8293,98	13454,0	345,143	199309
Median	159,452	201,775	13,3504	1904,42
First Quartile (Q1)	13,3940	23,9760	0,401060	447,310
Third Quartile (Q3)	1123,39	1200,13	138,415	9117,50
Interquartile Range (IQR)	1109,99	1184,45	137,096	8987,06

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0,0010563	0,0046986	0,0000002	6,45810
2	0,0075488	0,0292049	0,0000038	14,8262
3	0,0239946	0,0847312	0,0000237	24,3182
4	0,0547424	0,180235	0,0000863	34,7405
5	0,104146	0,323639	0,0002358	46,0040
6	0,176637	0,522275	0,0005374	58,0621
7	0,276768	0,783114	0,0010805	70,8905
8	0,409248	1,11291	0,0019826	84,4781
9	0,578964	1,51829	0,0033919	98,8234
10	0,791008	2,00582	0,0054919	113,931
20	6,54863	12,8987	0,137898	310,989
30	24,5399	40,3766	0,975779	617,153
40	67,4951	96,1299	4,13950	1100,52
50	159,452	201,775	13,3504	1904,42
60	349,970	403,742	36,4793	3357,50
70	755,163	819,439	90,0304	6334,21

80	1710,42	1822,15	211,983	13800,9
90	4690,41	5251,53	522,614	42096,1
91	5320,37	6023,26	578,475	48932,7
92	6086,39	6979,32	643,100	57602,4
93	7036,88	8190,01	718,938	68876,1
94	8247,27	9766,82	809,610	84012,7
95	9842,84	11898,4	920,785	105216
96	12050,5	14933,5	1062,08	136726
97	15336,2	19606,2	1251,76	187895
98	20872,2	27817,1	1531,58	284443
99	33045,5	46970,9	2038,04	535810

Probability Plot for Tf Great Plate



Distribution Analysis: Tf Hydraulic Pump Cooler

Variable: Tf Hydraulic Pump Cooler

Censoring Information Count
Uncensored value 4

Estimation Method: Maximum Likelihood

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	0,444757	0,196196	0,187340	1,05588
Scale	1814,89	2128,01	182,303	18067,9

Log-Likelihood = -33,940

Goodness-of-Fit
Anderson-Darling (adjusted) = 3,108

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	4619,19	6057,10	353,503	60358,5
Standard Deviation	12255,4	21510,6	392,920	382253
Median	796,086	1052,87	59,5927	10634,7
First Quartile (Q1)	110,220	212,733	2,50828	4843,33
Third Quartile (Q3)	3782,69	4252,68	417,677	34258,0
Interquartile Range (IQR)	3672,47	4130,94	405,036	33298,4

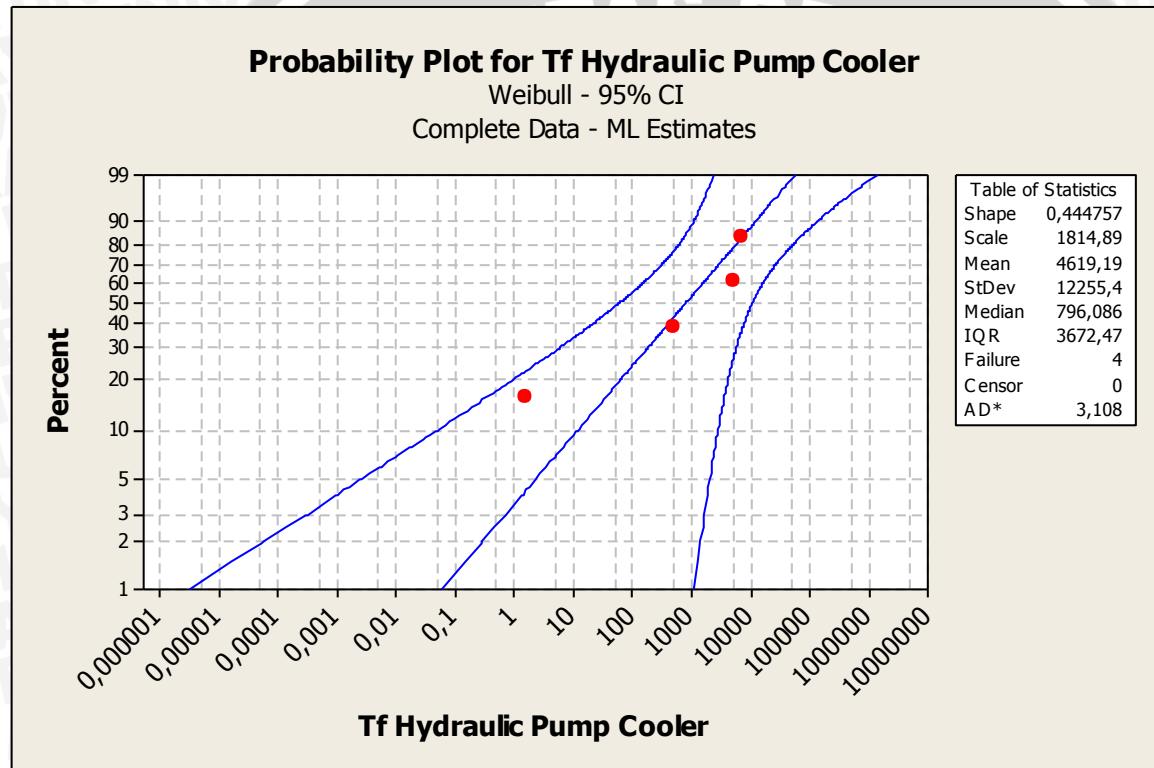
Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95,0% Normal CI	
			Lower	Upper
1	0,0584678	0,293695	0,0000031	1103,22
2	0,280997	1,22262	0,0000556	1419,97
3	0,707320	2,80028	0,0003018	1657,76
4	1,36634	5,03010	0,0010044	1858,67
5	2,28311	7,91433	0,0025578	2037,92
6	3,48079	11,4554	0,0054997	2203,01
7	4,98156	15,6564	0,0105231	2358,24
8	6,80715	20,5212	0,0184877	2506,39
9	8,97913	26,0545	0,0304320	2649,34
10	11,5192	32,2616	0,0475856	2788,48
20	62,2581	133,228	0,939042	4127,69
30	178,720	314,751	5,66345	5639,79
40	400,798	602,878	21,0161	7643,60
50	796,086	1052,87	59,5927	10634,7
60	1491,03	1789,30	141,908	15666,3



70	2754,93	3124,21	298,409	25433,7
80	5291,04	5993,45	574,564	48724,1
90	11837,6	14536,6	1066,56	131383
91	13090,4	16317,4	1137,40	150658
92	14574,2	18475,7	1214,83	174845
93	16364,0	21144,2	1300,30	205938
94	18574,4	24528,6	1395,90	247158
95	21390,9	28969,0	1504,78	304079
96	25141,0	35078,1	1632,06	387282
97	30476,9	44105,0	1787,08	519754
98	38977,8	59162,2	1989,87	763500
99	56247,7	91737,7	2300,53	1375245

Probability Plot for Tf Hydraulic Pump Cooler



Distribution Analysis: Tf Hammer

Variable: Tf Hammer

Censoring Information Count
Uncensored value 3

Estimation Method: Maximum Likelihood

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
Shape	1,12635	0,510324	0,463459	2,73737
Scale	655,377	356,119	225,925	1901,16

Log-Likelihood = -22,284

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 3,660

Characteristics of Distribution

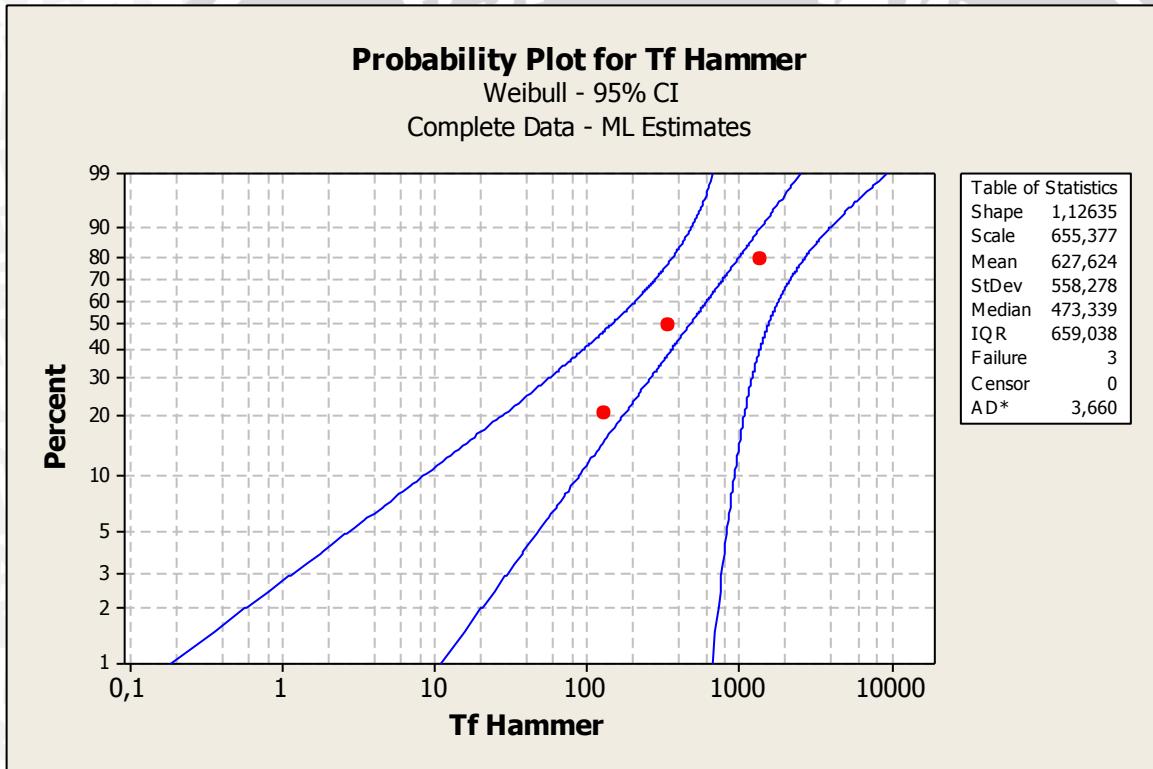
	Estimate	Standard Error	95,0% Normal CI	
Mean (MTTF)	627,624	322,711	229,103	1719,37
Standard Deviation	558,278	362,561	156,336	1993,62
Median	473,339	287,987	143,644	1559,76
First Quartile (Q1)	216,821	184,894	40,7605	1153,35
Third Quartile (Q3)	875,859	450,994	319,254	2402,88
Interquartile Range (IQR)	659,038	353,726	230,168	1887,02

Table of Percentiles

Percent	Percentile	Standard Error	95,0% Normal CI	
1	11,0351	23,1125	0,181961	669,231
2	20,5112	37,4008	0,575291	731,301
3	29,5324	49,1886	1,12864	772,759
4	38,3009	59,5168	1,82181	805,219
5	46,9085	68,8396	2,64294	832,560
6	55,4078	77,4093	3,58403	856,585
7	63,8332	85,3851	4,63933	878,290
8	72,2089	92,8759	5,80452	898,288
9	80,5529	99,9603	7,07622	916,982
10	88,8793	106,698	8,45179	934,657
20	173,041	162,041	27,6093	1084,53
30	262,415	206,091	56,2969	1223,18
40	360,985	246,350	94,7535	1375,25

50	473,339	287,987	143,644	1559,76
60	606,434	337,202	203,930	1803,38
70	772,796	404,452	277,063	2155,52
80	999,958	512,685	366,071	2731,48
90	1374,28	736,005	481,071	3925,93
91	1429,97	773,678	495,209	4129,19
92	1491,90	816,810	510,165	4362,84
93	1561,73	866,940	526,124	4635,76
94	1641,84	926,338	543,348	4961,18
95	1735,97	998,563	562,232	5360,06
96	1850,31	1089,64	583,411	5868,31
97	1996,41	1211,00	608,024	6555,11
98	2200,09	1388,74	638,474	7581,18
99	2542,95	1707,92	681,779	9484,87

Probability Plot for Tf Hammer



Perhitungan nilai *MTTF* dengan menggunakan rumus :

- Perhitungan *MTTF* untuk data yang berdistribusi Weibull dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana : $\Gamma = 0,1975$

Perhitungan *MTTF Clinker Cooler*

1. *Great Plate* : $\alpha = 1,355$; $\beta = 447,683$

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

$$MTTF = 447,683 \cdot 0,1975 \left(1 + \frac{1}{0,355}\right)$$

$$MTTF = 153,6701 \text{ (jam)}$$

2. *Hydraulic Pump Cooler* : $\alpha = 0,4448$; $\beta = 1814,89$

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

$$MTTF = 1814,89 \cdot 0,1975 \left(1 + \frac{1}{0,4448}\right)$$

$$MTTF = 1164,2878 \text{ (jam)}$$

3. *Hammer* : $\alpha = 1,1264$; $\beta = 655,377$

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

$$MTTF = 655,377 \cdot 0,1975 \left(1 + \frac{1}{1,1264}\right)$$

$$MTTF = 244,349 \text{ (jam)}$$

Tabel Hasil Uji Distribusi

Jenis Mesin	Nama Komponen	Ket	Jenis Distribusi	Parameter			
				α	β	μ	σ
<i>Clinker Cooler</i>	<i>Greate Plate</i>	Tr	Weibull	0,8388	9,4257	-	-
		Tf	Weibull	1,355	447,683	-	-
	<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	Tr	Weibull	2,901	5,1545	-	-
		Tf	Weibull	0,4448	1814,89	-	-
	<i>Hammer</i>	Tr	Weibull	0,6696	9,7269	-	-
		Tf	Weibull	1,1264	655,377	-	-

Sumber : Pengolahan data

Hasil Perhitungan MTTF dan MTTR

Jenis Mesin	Nama Komponen	MTTR (jam)	MTTF (jam)
<i>Clinker Cooler</i>	<i>Greate Plate</i>	4,0809	153,6701
	<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	1,3689	1164,2878
	<i>Hammer</i>	4,79003	244,349

Sumber : Pengolahan Data

LAMPIRAN D : Perhitungan $MTTF_m$

Perhitungan $MTTF_m$ Untuk Data Berdistribusi Weibull Dirumuskan Sebagai Berikut :

$$MTTF_m = \frac{\int_0^{Tm} Rm(t)dt}{1 - R(Tm)}$$

$$MTTF_m = \frac{\int_0^{Tm} \exp[-(\frac{t}{\beta})^\alpha] dt}{1 - \exp(-\frac{Tm}{\beta})^\alpha},$$

Dimana :

α = shape parameter

β = scale parameter

1. Perhitungan $MTTF_m$ Great Plate

Pisau : $\alpha = 1,355$; $\beta = 447,683$; $Tm = 406,8134$

$$MTTF_m = \frac{\int_0^{388,0956} \exp[-(\frac{t}{447,683})^{1,355}] dt}{1 - \exp(-\frac{406,8134}{447,683})^{1,355}}$$

$$MTTF_m = 495,578 \text{ (jam)}$$

2. Perhitungan $MTTF_m$ Hydraulic Pump Cooler

Tangkai Pisau : $\alpha = 0,4448$; $\beta = 1814,89$; $Tm = 3182,3726$

$$MTTF_m = \frac{\int_0^{3033,2451} \exp[-(\frac{t}{1814,89})^{0,4448}] dt}{1 - \exp(-\frac{3182,3726}{1814,89})^{0,4448}}$$

$$MTTF_m = 1891,13 \text{ (jam)}$$

3. Perhitungan $MTTFm$ Hammer

Baut Pisau : $\alpha = 1,1264$; $\beta = 655,377$; $T_m = 716,6689$

$$MTTFm = \frac{\int_0^{742,7099} \exp\left[-\left(\frac{t}{655,377}\right)^{1,1264}\right] dt}{1 - \exp\left(-\frac{716,6689}{655,377}\right)^{1,1264}}$$

$$MTTFm = 670,453 \text{ (jam)}$$

Hasil Perhitungan Selisih $MTTFm$ dengan $MTTF$

Jenis Mesin	Nama Komponen	$MTTFm$ (jam)	$MTTF$ (jam)	Selisih (jam)
<i>Clinker Cooler</i>	<i>Great Plate</i>	495,578	153,6701	341,9079
	<i>Hydraulic Pump Cooler</i>	1891,13	1164,2878	726,8422
	<i>Hammer</i>	670,453	244,349	426,104

Hasil Perhitungan Peningkatan Kapasitas Mesin *Cinker Cooler*

Kapasitas Mesin *Cinker Cooler* = 7800 MTPD

$\sum MTTFm = 1019,0537$ jam

$\sum MTTF = 520,769$ jam

Jadi $\sum MTTFm - \sum MTTF = 1019,0537 - 520,769 = 498,2847$ jam

Jika 498,2847 jam = 20,76 hari, maka $MTTF$ mesin *clinker cooler* selama 22 bulan yaitu :

$\frac{20,76 \text{ hari} \times 22 \text{ bulan}}{30 \text{ hari}} = 16,69 \%$; $16,69 \% \times 7800 \text{ MTPD} = 1301,82 \text{ MTPD}$