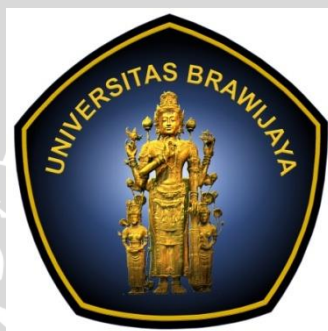


**PENERAPAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) UNTUK
MENINGKATKAN KEANDALAN *CRUSHER*
DI PT. KALTIM PRIMA COAL**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**MARITA AYU KUSNAWATI
NIM. 115060207111017-62**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul ”Penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Untuk Meningkatkan Keandalan *Crusher* Di PT. Kaltim Prima Coal” sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Ibu dan bapak saya tercinta, Ibu Tuti dan Bapak Chusaeri yang selalu memberikan kasih sayang, cinta, doa, motivasi, kepercayaan, dan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng. selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan yang telah membantu memberikan pengarahan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Purnami, ST., M.T. Sekretaris Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT. selaku Ketua Program Studi SI Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
5. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.,CSE. Selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Dr.Ir. Achmad As’ad Sonief, MT. selaku Majelis Penguji Skripsi I penulis.
8. Bapak Dr. Eng Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng. selaku Majelis Penguji Skripsi II penulis
9. Bapak Khairul Anam, ST., M.Sc. selaku dosen wali dan Majelis Penguji Skripsi III penulis
10. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Administrasi Jurusan Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung baik dalam perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi ini.

11. Bapak Kurniadi dan Bapak Tikto selaku pembimbing di PT. Kaltim Prima Coal yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini
12. Seluruh Karyawan di PT. Kaltim Prima Coal yang telah membantu dalam proses pengambilan data skripsi
13. Ibu Maria dan Bapak Agus yang telah banyak membantu selama di Sangatta
14. Kedua kakak dan adik saya tersayang, yang telah memberi motivasi, semangat dan doa kepada penulis.
15. Teman seperjuangan Dody dan Yayan yang telah memberikan motivasi, semangat, dan membantu dalam proses penyusunan skripsi ini
16. M'Gals 2011 Vely, Sulis, Ony, Vero, Tika, dan Kiki yang telah menjadi sahabat sekaligus keluarga dan telah memberi waktu, nasehat, dukungan, semangat dan doa kepada penulis
17. Sahabatku Cella, Nyak, Dea, Ainun, Adisti, Intan, Fidya, Sherly, Pungky dan Lintang. Yang telah memberi waktu, nasehat, dukungan, semangat dan doa kepada penulis
18. Ahmad Abrari yang selalu sabar, memberi motivasi, dukungan, semangat, nasehat dan doa kepada penulis.
19. Saudara seperjuangan "KAMIKAZE" yang telah menjadi keluarga dan memberikan banyak pelajaran dan nasehat kepada saya. Semoga kelak kita semua menjadi orang yang sukses.
20. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
21. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar terciptanya karya tulis yang lebih baik. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
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 Pemeliharaan	4
2.2.1 Jenis-Jenis Pemeliharaan.....	5
2.3 <i>Realibility Centered Maintenance</i> (RCM)	6
2.4 Keandalan (<i>Reliability</i>).....	8
2.4.1 Distribusi Untuk Menghitung Keandalan	8
2.4.2 Parameter Distribusi.....	12
2.5 Laju Kegagalan.....	13
2.6 <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF)	15
2.7 Tahapan RCM	15
2.7.1 <i>Functional Block Diagram</i>	15
2.7.2 FMEA	16
2.7.2.1 <i>System Function</i>	16
2.7.2.2 <i>Functional Failure</i>	17
2.7.2.3 <i>Failure Modes</i>	17
2.7.2.4 <i>Failure Effect</i>	17

2.7.3 Risk Priority Number (RPN)	17
2.7.4 RCM Decision Worksheet	20
2.7.4.1 Failure Consequences	21
2.7.4.2 Proactive Task	21
2.7.4.3 Default Action	22
2.8 Proses Produksi di PT. Kaltim Prima Coal	22
2.9 Mesin Crusher	24
2.10 Komponen Mesin Crusher	24
2.10.1 Shaft	25
2.10.2 Bearing	26
2.10.3 Timing Belt	26
2.10.4 Gigi Crusher	27
2.10.5 V-Belt	28
2.11 Hipotesis	28
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Lokasi Penelitian	29
3.2 Obyek Penelitian	29
3.3 Waktu Penelitian	29
3.4 Variabel Penelitian	29
3.5 Langkah-langkah penelitian	29
3.5.1 Tahap Pendahuluan	29
3.5.2 Tahap Pengumpulan Data	30
3.5.3 Tahap Pengolahan Data	30
3.6 Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Penentuan Mesin Kritis	34
4.2 Pemilihan Komponen Kritis Mesin Crusher	36
4.3 Pengolahan Data	36
4.3.1 Functional Block Diagram	36
4.3.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	37
4.3.3 Risk Priority Number (RPN)	39
4.4 Penentuan Interval Pemeliharaan	41

4.4.1 Data Waktu Antar Kerusakan	41
4.4.2 Penentuan Distribusi menggunakan <i>software</i> minitab41	
4.4.3 Perhitungan MTTF	46
4.5 Analisa <i>Reliability</i> Komponen Mesin <i>Crusher</i> dan Interval waktu pemeliharaan	47
4.6 RCM <i>Decision Worksheet</i>	52
4.7 Pembahasan.....	53

BAB V Kesimpulan dan Saran	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

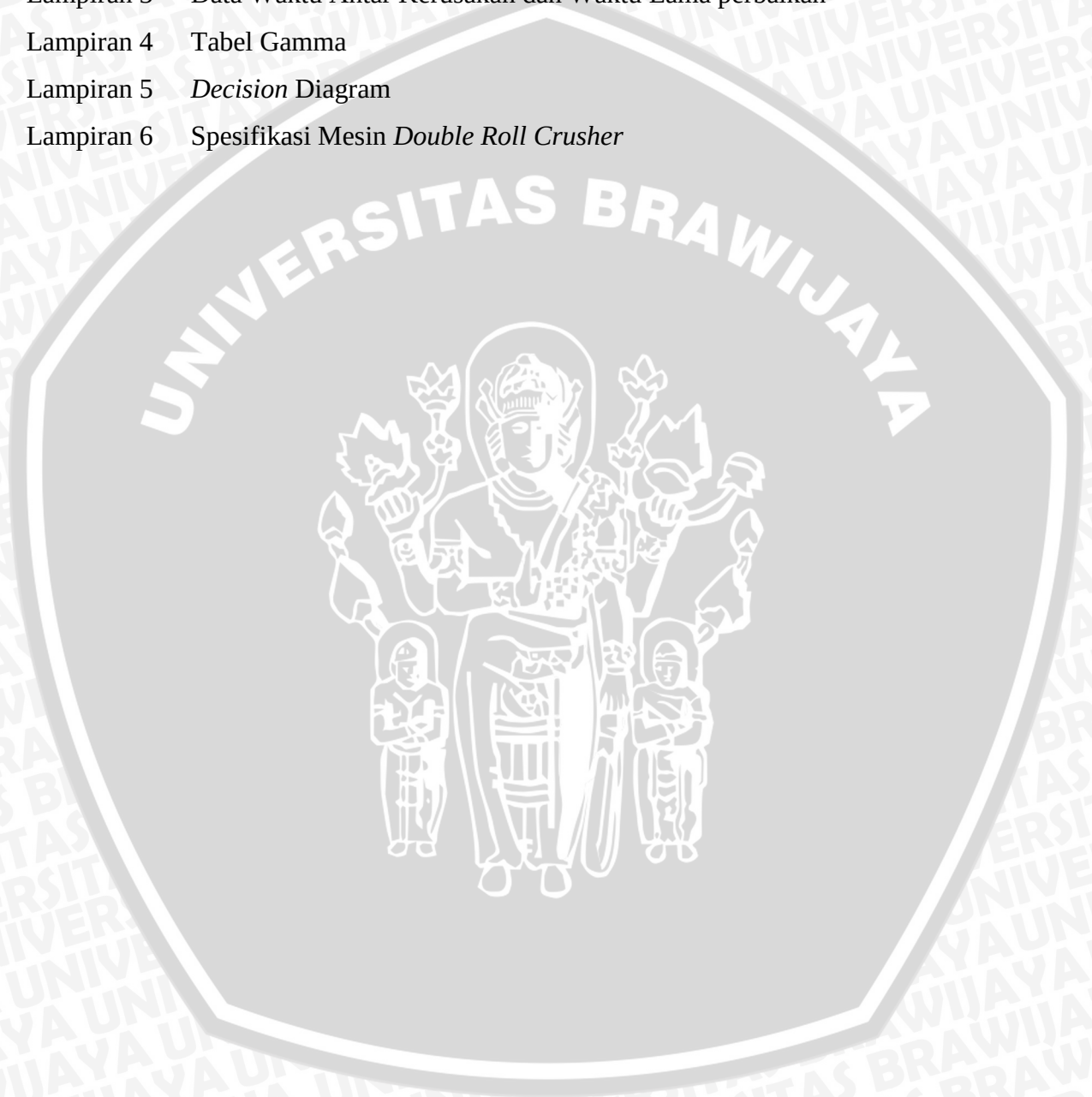
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	<i>Failure Mode Effect Annalysis</i>	16
Tabel 2.2	Kategori Nilai <i>Severity</i>	18
Tabel 2.3	Kategori Nilai <i>Occurance</i>	18
Tabel 2.4	Kategori Nilai <i>Detection</i>	19
Tabel 2.5	<i>RCM Decision Worksheet</i>	20
Tabel 4.1	Data MPI di PT. KPC	34
Tabel 4.2	<i>Failure Mode and Failure Effect</i> (FMEA)	38
Tabel 4.3	<i>Risk Priority Number (RPN)</i> Komponen <i>Crusher</i>	39
Tabel 4.4	Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan <i>Shaft</i>	41
Tabel 4.5	Parameter Distribusi Weibull Manual	44
Tabel 4.6	Distribusi dan Parameter data waktu antar kerusakan	45
Tabel 4.7	MTTF Komponen <i>Crusher</i>	46
Tabel 4.8	Nilai Keandalan Komponen <i>Timing Belt</i>	48
Tabel 4.9	Nilai Keandalan Komponen Gigi <i>Crusher</i>	49
Tabel 4.10	Nilai Keandalan Komponen <i>Bearing</i>	49
Tabel 4.11	Nilai Keandalan Komponen <i>V-Belt</i>	50
Tabel 4.12	Nilai Keandalan Komponen <i>Shaft</i>	51
Tabel 4.13	<i>Decision Worksheet</i> Komponen <i>Crusher</i>	52

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Bagan Klasifikasi <i>Maintenance</i>	5
Gambar 2.2	<i>Shape Parameter</i>	10
Gambar 2.3	<i>Bathtub Curve</i>	14
Gambar 2.4	<i>Double Roll Crusher</i>	25
Gambar 2.5	<i>Shaft</i>	25
Gambar 2.6	<i>Bearing</i>	25
Gambar 2.7	<i>Timing Belt</i>	26
Gambar 2.8	<i>Gigi Crusher</i>	27
Gambar 2.9	<i>V Belt</i>	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penerapan RCM Pada Penelitian	33
Gambar 4.1	Alur Pembuatan MPI	35
Gambar 4.2	Diagram Jumlah Kegagalan Komponen Kritis Mesin <i>Crusher</i>	36
Gambar 4.3	<i>Functional Block Diagram</i>	37
Gambar 4.4	Diagram RPN Komponen <i>Crusher</i>	40
Gambar 4.5	<i>Distrbution ID Plot</i> Komponen <i>shaft</i>	42
Gambar 4.6	<i>Probability Plot</i> komponen <i>shaft</i>	43
Gambar 4.7	Penentuan distribusi weibull untuk komponen <i>shaft</i>	45
Gambar 4.8	Hasil <i>Overview Plot</i> Komponen <i>shaft</i>	45
Gambar 4.9	Grafik <i>Reliability</i> Komponen Kritis Mesin <i>Crusher</i> Terhadap Waktu	51
Gambar 4.7	Diagram Tegangan Regangan Berbanding Lurus	54
Gambar 4.8	Diagram Tegangan Regangan	54

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Perhitungan MTTF Komponen <i>Crusher</i>
Lampiran 2	<i>Probabilty Plot</i> dan <i>Distribution Overview Plot</i>
Lampiran 3	Data Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama perbaikan
Lampiran 4	Tabel Gamma
Lampiran 5	<i>Decision Diagram</i>
Lampiran 6	Spesifikasi Mesin <i>Double Roll Crusher</i>



RINGKASAN

Marita Ayu Kusnawati, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2015, *Penerapan Reliability Centered Maintenance Untuk Meningkatkan Keandalan Crusher Di PT. Kaltim Prima Coal*. Dosen Pembimbing: Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc., CSE. dan Rudianto Raharjo, ST., MT

Pemeliharaan adalah kegiatan yang dilakukan secara berkala untuk menjaga atau memperbaiki suatu komponen agar dapat beroperasi optimal. Di PT. Kaltim Prima Coal (KPC) cara untuk menjaga aset perusahaan adalah dengan melakukan pemeliharaan. Di PT. Kaltim Prima Coal (KPC) masih sering terjadi kerusakan yaitu pada mesin *crusher*. Mesin *crusher* merupakan mesin kritis karena kerusakan pada mesin *crusher* dapat menyebabkan kerugian bagi perusahaan secara finansial. Dengan pemeliharaan yang tepat maka dapat mengurangi biaya perbaikan dan dapat mengurangi terjadinya kegagalan saat proses *crushing* batubara. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Metode ini akan dapat menentukan interval waktu pemeliharaan dan tindakan pemeliharaan yang tepat.

Data yang diperoleh dari perusahaan PT. Kaltim Prima Coal yaitu data Data mesin *critical unit*, data komponen mesin kritis *crusher*, data kerusakan *crusher*, data waktu antar kerusakan *crusher* dan data lamanya perbaikan pada mesin *crusher*. Data antar kerusakan dan data lama perbaikan diolah menggunakan *software* minitab 16 untuk mendapatkan kecenderungan distribusi dan parameter yang akan digunakan untuk menghitung nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) Untuk mengetahui nilai keandalan saat ini untuk setiap komponen adalah menggunakan waktu MTTF. Selanjutnya data-data yang sudah didapat dari perusahaan digunakan untuk membuat *Functional Block Diagram*, *Failure mode effect annalysis* (FMEA), *Risk Priority Number* (RPN), *Decision Worksheet* dan perhitungan *reliability*.

Data Yang termasuk komponen kritis pada mesin *crusher* diurutkan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dari yang tertinggi adalah *Timing Belt*, Gigi *Crusher*, *Bearing*, *V Belt*, dan *Shaft*. Nilai keandalan setelah dilakukan tindakan pemeliharaan akan meningkat. Peningkatan keandalan untuk setiap komponen untuk komponen shaft sebesar 53.78 %, komponen *bearing* sebesar 55.21 %, komponen *timing belt* sebesar 66.73 %, komponen gigi *crusher* sebesar 54.97 %, dan komponen *v belt* sebesar 54.32 %. Interval waktu pemeliharaan yang disarankan agar keandalan dapat meningkat adalah komponen *shaft* 480 jam, komponen *bearing* 192 jam, komponen *timing belt* 24 jam, komponen gigi *crusher* 192 jam, dan komponen *v belt* 336 jam. Nilai keandalan suatu komponen sangat dipengaruhi oleh waktu, semakin lama waktu komponen dipakai, maka nilai keandalan dari komponen tersebut akan semakin menurun

Kata kunci : *Reliability Centered Maintenance, crusher, reliability*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan dan penggunaan teknologi fasilitas produksi, maka kebutuhan akan fungsi pemeliharaan semakin bertambah besar. Dalam usaha untuk dapat terus menjalankan proses produksi, maka kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) menjadi sangat penting guna menunjang keandalan suatu mesin. Pemeliharaan adalah kegiatan yang dilakukan untuk menjaga atau memperbaiki suatu komponen agar dapat beroperasi dengan optimal.

Keandalan (*reliability*) dapat diartikan sebagai kemampuan dari mesin untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Keandalan mesin dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi serta produk yang dihasilkan. Keandalan ini dapat membuat mesin bekerja sesuai dengan fungsinya dengan periode tertentu. Rendahnya keandalan mesin pada suatu perusahaan menyebabkan tingginya biaya untuk pemeliharaan dan biaya kehilangan peluang (*opportunity*) untuk memproduksi suatu produk.

PT. Kaltim Prima Coal (KPC) merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang penambangan batu bara. Di PT. Kaltim Prima Coal (KPC) cara untuk menjaga aset perusahaan adalah dengan melakukan pemeliharaan jika pemeliharaan yang dilakukan tidak sesuai maka dapat menyebabkan kerugian bagi perusahaan secara finansial dan kapasitas produksinya. Oleh karena itu perlu ditunjang dengan aktivitas sistem pemeliharaan yang tepat dan terencana agar dapat mengurangi biaya perbaikan dan mengurangi terjadinya kegagalan (Farisa, 2014) yang menyebabkan terhambatnya proses produksi batubara.

Tindakan pemeliharaan yang sudah dilakukan oleh PT. Kaltim Prima Coal adalah *preventive maintenance* dan *run to failure*. *Preventive maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, sementara *run to failure* adalah tindakan yang menggunakan peralatan sampai rusak, karena tidak ada tindakan yang ekonomis dapat dilakukan untuk pencegahan kerusakan

Permasalahan yang dihadapi oleh PT. KPC adalah pelaksanaan *preventive maintenance*, komponen yang harusnya dilakukan *maintenance* tidak dilakukan karena di PT. KPC penjadwalan *maintenance* berdasarkan pedoman manual *book* yang dibuat oleh vendor. Kondisi dari suatu komponen dipengaruhi oleh perlakuan yang diterima

komponen di perusahaan. Sehingga walaupun sudah diterapkan *preventive maintenance* komponen masih mengalami kegagalan.

Permasalahan berikutnya tindakan yang dilakukan oleh perusahaan yaitu *run to failure*, karena tidak ada tindakan oleh perusahaan yang dapat dilakukan sampai komponen itu mengalami kerusakan. Setelah mesin mengalami kerusakan maka komponen langsung diganti atau diperbaiki.

Dalam proses produksi batubara terdapat mesin kritis. Mesin kritis adalah mesin yang mengalami kerusakan dapat menyebabkan berhentinya proses produksi dan mempengaruhi jumlah output produk. Berdasarkan data MPI perusahaan salah satu mesin kritis adalah mesin *crusher*. Penggunaan mesin *crusher* yang terus menerus selama 24 jam untuk menggerus batubara, jika hal itu dilakukan dengan pemeliharaan yang tidak tepat mesin dapat mengalami kerusakan yang dapat menyebabkan terjadinya *breakdown* atau berhentinya proses produksi secara tiba-tiba. Jika *breakdown* terjadi dapat mengakibatkan kerusakan dan pembengkakan terhadap biaya pemeliharaan. Sedangkan dampak yang sangat berpengaruh yaitu menurunnya tingkat keandalan dari mesin tersebut.

Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, maka dalam penelitian ini perlu difokuskan pada pemeliharaan mesin *crusher* yaitu dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Dengan menggunakan metode RCM dapat diketahui penyebab kegagalan, efek kegagalan, tindakan pemeliharaan dan interval waktu pemeliharaan yang tepat.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah: Bagaimana meningkatkan keandalan komponen *crusher* untuk meminimumkan terjadinya kegagalan

1.3 Batasan Masalah

Penelitian yang akan dilakukan ini memiliki batasan-batasan agar fokus dalam menjawab permasalahan penelitian. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut

1. Penelitian dilakukan di PT. Kaltim Prima Coal (KPC), Sangatta

2. Data yang diambil pada mesin *crusher* hanya berdasarkan pada data historis pemeliharaan selama tahun 2010-2015
3. Identifikasi masalah kerusakan hanya mengarah pada komponen kritis mesin *crusher* dan hanya mengambil 5 komponen kritis mesin *crusher* yaitu *bearing*, *shaft*, *timing belt*, *gigi crusher*, dan *V-belt*
4. Metode yang digunakan adalah metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)
5. Penelitian tidak membahas finansial secara keseluruhan pada perusahaan tersebut

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan keandalan dengan memprediksi waktu pemeliharaan dan tindakan pemeliharaan yang tepat sebelum terjadi kegagalan pada komponen *crusher* menggunakan metode *Realibility Centered Maintenance* (RCM)

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu

1. Dapat menambah wawasan dan pengetahuan mahasiswa dan dapat menjadi pedoman bagi mahasiswa yang ingin mengerjakan tugas akhir.
2. Dapat memberikan informasi mengenai interval waktu pemeliharaan komponen yang tepat dengan metode *Realibility Centered Maintenance* (RCM) sehingga dapat meningkatkan produktivitas batu bara dan dapat memberikan masukan dengan mempertimbangkan metode pemeliharaan yang akan digunakan
3. Dapat mengaplikasikan materi tentang manajemen perawatan yang telah diperoleh selama perkuliahan dan dapat dijadikan referensi untuk peneliti tentang manajemen perawatan di lapangan dengan metode RCM

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Islamidina (2014) melakukan penelitian RCM pada perusahaan pembangkitan paiton yaitu PT. PJB yang memanfaatkan batubara dan air. Cara untuk menjaga aset perusahaan adalah dengan melakukan pemeliharaan. Kerusakan yang terjadi pada salah satu mesin yaitu mesin *coal feeder* yang menyebabkan kerugian bagi perusahaan secara finansial dan kapasitas produksinya. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mengurangi kerugian bagi perusahaan. Dengan menggunakan metode RCM dapat menentukan tindakan perawatan dan interval waktu perawatan yang tepat. Penelitian ini memadukan metode berupa RCM dan FMEA untuk menilai resiko kegagalan fungsi pada *Coal Feeder*. Hasil dari penelitian ini diketahui terdapat 18 bentuk kegagalan. Nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 15 terdapat pada jenis kerusakan berupa *shearpin* putus, *clean out* macet, *signal palsu cute plug*, *belt feeder aus*, *sirip bet feeder aus*, *belt feeder robek*.

Novitasari (2012) melakukan penelitian di PT Pupuk Kaltim yang merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang petrokimia. Pada saat sekarang RCM yang dilakukan oleh PT.Pupuk Kaltim pada sistem GTG belum terlaksana dengan baik, hal ini terlihat setiap tahun rata – rata GTG mengalami kegagalan sebanyak dua kali. Untuk itulah, penerapan RCM digunakan sebagai perbaikan kinerja GTG untuk menghindari *unplanned breakdown*, juga meminimalkan dampak bahaya keselamatan dan lingkungan yang berkaitan dengan kegagalan yang terjadi di sistem GTG. Dengan implementasi metode RCM pada saat T=24 Hari nilai *reliability* sistem GTG mengalami peningkatan sebesar 4% yaitu dari 0,88 menjadi 0,92

2.2 Pemeliharaan

Pemeliharaan adalah kegiatan yang dilakukan secara berkala untuk menjaga atau memperbaiki suatu barang agar dapat beroperasi dengan optimal. Sedangkan menurut Sofyan Assauri (1999) pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan.

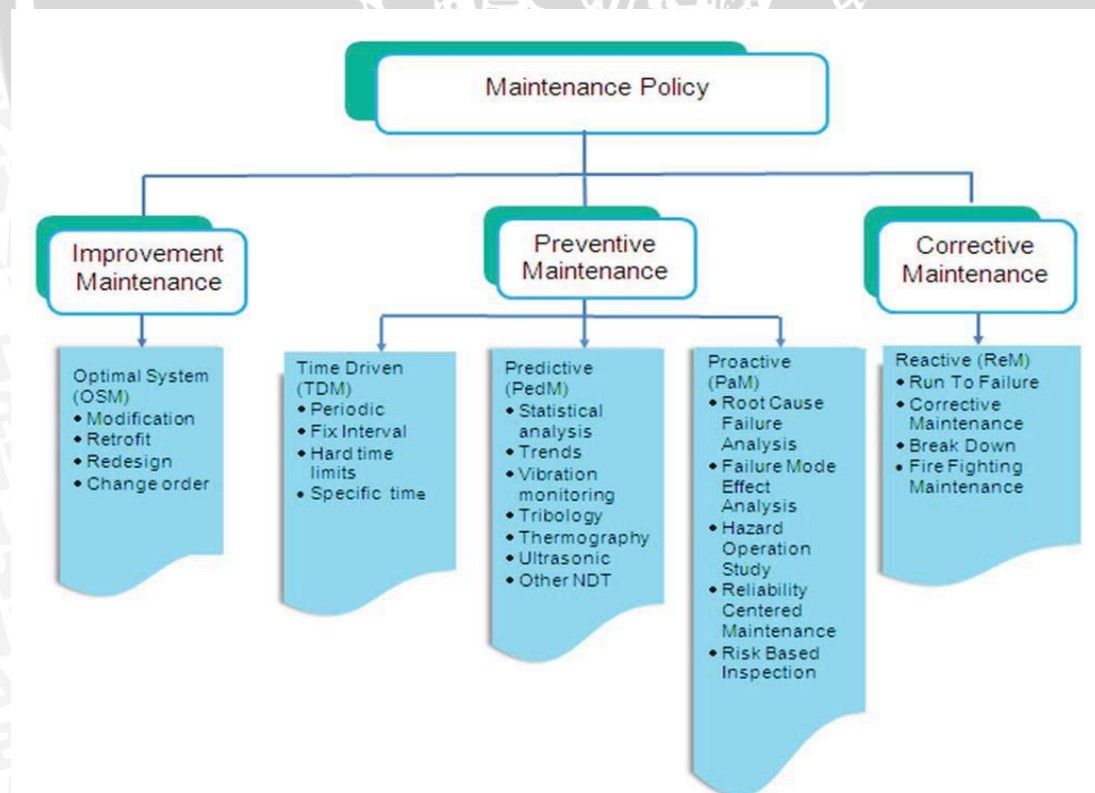
Sebuah produk yang dibuat oleh manusia pada umumnya pasti mengalami kerusakan, dengan pemeliharaan pada produk tersebut usia penggunaannya dapat diperpanjang.

Tujuan utama dari pemeliharaan adalah :

- 1) Kemampuan suatu produksi dapat memenuhi kebutuhan rencana produksi
- 2) Dapat menjaga kualitas produk
- 3) Kegiatan produksi tidak terganggu
- 4) Agar biaya pemeliharaan yang dikeluarkan serendah mungkin dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif dan efisien
- 5) Menghindari kegiatan pemeliharaan yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja

2.2.1 Jenis-Jenis Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan pada suatu perusahaan sangat penting agar kinerja mesin dapat bekerja secara optimal. Oleh karena itu diperlukan kegiatan pemeliharaan pada mesin. Berikut ini merupakan jenis-jenis kegiatan pemeliharaan yaitu :



Gambar 2.1 Bagan Klasifikasi *Maintenance*
Sumber : Buku Pemeliharaan Mekanik

a. *Improvement Maintenance* (Pemeliharaan perbaikan)

Pemeliharaan perbaikan adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan perbaikan komponen yang diharapkan mampu menekan kegagalan sehingga dapat mengurangi kebutuhan pemeliharaan.

b. *Preventive Maintenance* (Pemeliharaan Pencegahan)

Preventive maintenance merupakan kegiatan pemeriksaan dan pengamatan secara berkala terhadap performansi sistem dan telah direncanakan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu untuk memperpanjang kemampuan berfungsinya suatu peralatan. Pemeliharaan ini bertujuan untuk mencegah kerusakan, menemukan penyebab kerusakan atau berkurangnya tingkat keandalan peralatan dan menemukan kerusakan tersembunyi.

- *Time driven* adalah program pemeliharaan terjadwal yaitu dimana komponen diganti berdasarkan waktu atau jarak tempuh pemakaian.
- *Predictive* adalah suatu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dengan memonitoring kondisi operasi peralatan berdasarkan data-data dan informasi.
- *Proactive* adalah perbaikan mesin didasarkan hasil studi kelayakan mesin.

c. *Corrective Maintenance*

Kegiatan perbaikan adalah kegiatan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau sistem tidak dapat berfungsi dengan baik. *Corrective maintenance* adalah tindakan perbaikan yang terjadi setelah adanya kekurangan pada *preventive maintenance* yang digunakan untuk memperbaiki mesin agar kembali ke semula. (Dhillon, 2002 : 73)

Selain itu menurut Sudrajat (2011 : 17) *corrective maintenance* dapat diartikan sebagai kebijakan perawatan dengan cara mesin/peralatan dioperasikan hingga rusak, tindakan yang dapat diambil adalah berupa penggantian komponen (*Corrective replacement*), perbaikan kecil (*repair*), dan perbaikan besar (*overhaul*). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *corrective maintenance* adalah kegiatan yang tidak terjadwal dan tidak dapat diprediksi yang dilakukan setelah mesin mengalami kerusakan.

2.3 Reliability Centered Maintenance (RCM)

Dari sudut pandang teknis, ada dua unsur dalam manajemen asset fisik, yaitu asset-asset tersebut harus di pelihara dan pada waktu-waktu tertentu mungkin perlu modifikasi. sesuai definisi maintenance, yaitu memastikan setiap asset fisik terus

melakukan apa yang penggunaannya ingin mereka lakukan. Apa yang diinginkan penggunaannya tergantung dimana dan bagaimana asset tersebut digunakan dalam konteks operasionalnya. Ini mengarah pada definisi RCM yaitu, menurut Moubray (1997:7) RCM didefinisikan sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan oleh pengguna.

Tujuan dari RCM yaitu :

1. Untuk memperoleh informasi yang penting untuk melakukan *improvement* pada desain awal yang ternyata kurang baik
2. Untuk mengembangkan sistem *maintenance* yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety*
3. Dapat melakukan semua tujuan dengan biaya serendah mungkin

Keuntungan dari metode RCM, yaitu:

1. Biaya perawatan lebih rendah dengan mengurangi atau menghilangkan tindakan perawatan yang tidak perlu
2. Fokus pada peralatan yang kritis
3. Mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan peralatan secara tiba-tiba
4. Meningkatkan keandalan peralatan

Kekurangannya yaitu :

1. Hasil tidak dapat dilihat dengan cepat
2. Biaya yang tinggi pada awal saat pelatihan tentang RCM

Menurut Moubray (1997) untuk menjalankan RCM dengan baik maka ada 7 pertanyaan yang harus diselesaikan yaitu :

1. Apa fungsi kinerja standar dan aset tersebut (*system function*)?
2. Bagaimana peralatan atau aset tersebut dapat rusak dalam menjalankan fungsinya (*function failure*) ?
3. Apa penyebab kegagalan fungsi atau kerusakan dan peralatan tersebut (*failure mode*)?
4. Apa yang terjadi saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
5. apa konsekuensi dari terjadinya kerusakan tersebut (*failure consequence*)?
6. Apa yang dilakukan untuk memprediksi dan mencegah terjadinya masing-masing kerusakan (*proactive task and task interval*)?
7. Apa yang harus dilakukan jika kegiatan proaktif yang sesuai tidak bisa ditemukan (*default action*)?

2.4 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan atau *reliability* adalah merupakan probabilitas sebuah komponen atau sistem dapat memenuhi fungsi yang ditentukan dalam periode waktu tertentu dalam kondisi pengoperasian yang stabil (Ebeling, 1997). Keandalan mesin bergantung pada periode waktu penggunaan, mesin yang digunakan terus menerus maka keandalannya akan terus menurun. (Soesetyo, 2014). *Probability Density Function* merupakan fungsi yang mendeskripsikan *shape* dari distribusi kegagalan. *Reliability Function* ($R(t)$) merupakan fungsi probabilitas suatu mesin atau komponen untuk tidak rusak dalam periode waktu tertentu (t). *Hazard Rate Function* ($\lambda(t)$), merupakan fungsi yang menunjukkan banyaknya kegagalan per satuan waktu (t). Setiap fungsi probabilitas dapat menghitung keandalan dari suatu mesin atau komponen dari beberapa prespektif. Dhillon (2002 : 174) menyatakan fungsi keandalan bisa dituliskan dalam notasi matematis yaitu:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2-1)$$

Sedangkan peluang komponen gagal bekerja dengan optimal dalam jangka waktu t disebut fungsi ketidak andalan $F(t)$ dan menurut Dhillon (2002 : 173-174) bisa dituliskan dalam notasi matematis :

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2-2)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2-2) ke persamaan (2-3) akan didapatkan fungsi keandalan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (2-3)$$

Keterangan :

- $R(t)$ = Keandalan saat waktu t
- t = waktu operasi peralatan atau komponen
- $F(t)$ = fungsi padat peluang
- $f(t)$ = fungsi kerusakan

2.4.1 Distribusi Untuk Menghitung Keandalan

Distribusi digunakan untuk mengidentifikasi pola data yang terbentuk dari data waktu antar kerusakan. Distribusi yang digunakan dalam keandalan (*reliability*) adalah distribusi Weibull, Lognormal, Normal dan Eksponential.

a. Distribusi Weibull

Distribusi weibull merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini dapat digunakan di 3 fase pada *bathup curve*. Yaitu laju kerusakan yang meningkat, menurun, atau konstan.

Ada 2 parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah θ yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*), β yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Rausand (2004 : 37) menyatakan fungsi *reliability* atau keandalan yang digunakan :

$$F(t) = 1 - e^{-(t/\theta)^\beta} \quad (2-4)$$

dan

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2-5)$$

dengan lalu substitusikan persamaan (2-4) ke persamaan (2-5) akan mendapatkan

$$R(t) = 1 - (1 - e^{-(t/\theta)^\beta}) \quad (2-6)$$

sehingga didapatkan fungsi keandalan

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

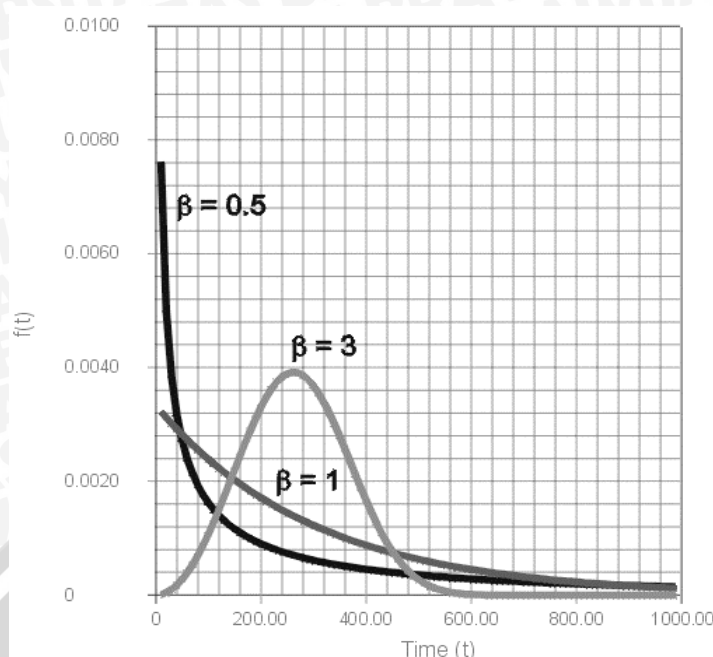
Keterangan: $R(t)$ = keandalan mesin saat t

t = waktu

β = parameter bentuk

θ = parameter skala

Distribusi weibull ini sering digunakan dalam menentukan tingkat kegagalan atau kerusakan, yang menentukan tingkat kerusakan tersebut dari pola data yang terbentuk adalah nilai parameter β .



Gambar 2.2 Shape Parameter
Sumber : Arina (2013)

Keterangan : $\beta < 1$ = Decreasing Failure Rate (DFR)

$\beta = 1$ = Constant Failure Rate (CFR)

$\beta > 1$ = Increasing Failure Rate (IFR)

Jika parameter β (parameter bentuk) mempengaruhi bentuk kurva (laju kerusakan), maka parameter θ (parameter skala) mempengaruhi nilai tengah dari pola data dan sebaran distribusi tersebut. Dengan bertambahnya nilai θ , maka nilai reliabilitas pada waktu tertentu juga akan meningkat.

b. Distribusi Eksponential

Distribusi *eksponential* digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini adalah distribusi yang paling mudah dianalisis. Parameter yang digunakan dalam distribusi eksponen adalah λ . Menurut Rausand (2004 : 26) fungsi *reliability* distribusi *eksponential* :

$$f(t) = \int_0^t \lambda e^{-\lambda} dt \quad (2-8)$$

dan

$$R(t) = 1 - f(t) \quad (2-9)$$

lalu substitusikan persamaan (2-8) ke persamaan (2-9)

$$R(t) = 1 - \int_0^t \lambda e^{-\lambda} dt \quad (2-10)$$

sehingga didapatkan fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda} \quad (2-11)$$

Keterangan : $R(t)$ = keandalan mesin saat t (%)

λ = rata-rata terjadinya *event* per periode tertentu

c. Distribusi Lognormal

Pada distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan t_{med} merupakan nilai tengah (median) dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi weibull juga sesuai dengan distribusi lognormal. Raussand (2004 : 46) menyatakan fungsi *reliability* atau keandalan yang digunakan :

$$f(t) = \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2-12)$$

dan

$$R(t) = 1 - f(t) \quad (2-13)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2-13) ke persamaan (2-14) akan mendapatkan

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma t} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2-14)$$

sehingga dapat disederhanakan menjadi

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad (2-15)$$

Keterangan:

$\Phi(z)$ = didapatkan dari tabel standarisasi distribusi normal dan lognormal

$t_{med} = e^{\mu}$ Reliability function :

$R(t)$ = keandalan mesin saat t (%)

t = waktu

d. Distribusi Normal

Distribusi normal atau biasa disebut dengan distribusi gauss cocok digunakan untuk memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan adalah μ sebagai nilai tengah

dan σ sebagai standar deviasi. Bentuk kurva dari distribusi normal menyerupai bentuk lonceng sehingga memiliki nilai simetris terhadap nilai rata-rata dua parameter bentuk yaitu μ dan σ . Parameter μ memiliki nilai baik positif maupun negatif, akan tetapi karena hampir semua nilai μ dan σ , peluang untuk variabel acak yang memiliki nilai negatif dapat diabaikan. Sedangkan parameter σ selalu memiliki nilai positif. Menurut Rausand (2004 : 41) dan Ebeling (2007 : 71) fungsi *reliability* distribusi normal :

$$f(t) = \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2-16)$$

dan

$$R(t) = 1 - f(t) \quad (2-17)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (2-16) ke persamaan (2-17) akan mendapatkan

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2-18)$$

sehingga dapat disederhanakan menjadi

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2-19)$$

Keterangan:

$\Phi(z)$ = didapatkan dari tabel standarisasi distribusi normal dan lognormal

$R(t)$ = keandalan mesin saat t (%)

t = waktu

μ = *mean* / rata-rata

σ = standar deviasi

2.4.2 Parameter Distribusi

Salah satu faktor yang penting dalam menentukan keandalan suatu komponen atau mesin dan dalam mengetahui tingkat kerusakan suatu komponen atau mesin adalah parameter dari setiap distribusi.

Menurut Ebeling (1997), rumus yang digunakan dalam menentukan parameter distribusi antara lain :

1. Distribusi Weibull

$$b = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \quad (2-20)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} = -b \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2-21)$$

$$\theta = e^{\left(-\frac{a}{b}\right)} \quad (2-23)$$

Keterangan: $\beta = a$

2. Distribusi Eksponential

$$\text{Parameter } \mu = \beta \quad (2-24)$$

$$\text{Parameter } \sigma^2 = \beta^2 \quad (2-25)$$

3. Distribusi Normal

$$\text{Parameter } \mu = \text{rata-rata } time \text{ to failure} \quad (2-26)$$

$$\text{Parameter } \sigma^2 = \text{Variansi } time \text{ to failure} \quad (2-27)$$

4. Distribusi Lognormal

$$\text{Parameter } A(t_i) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (2-28)$$

$$\text{Parameter } Var(t_i) = e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1) \quad (2-29)$$

Keterangan : $A(t_i)$ = rata-rata *time to failure*

$Var(t_i)$ = variansi *time to failure*

2.5 Laju Kegagalan

Suatu komponen atau sistem dalam masa kerjanya dapat mengalami berbagai kegagalan. Kegagalan-kegagalan tersebut berdampak pada performa kerja suatu sistem. Suatu proses kerusakan digambarkan oleh variabel *time to failure* (t). yang dikelompokkan menjadi 3 yaitu

- *Probability Density Function* (Fungsi Kepadatan Peluang)

Probability Density Function (PDF) merupakan suatu fungsi yang menggambarkan bentuk *shape* dari distribusi kerusakan.

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}}{\theta^\beta} \quad (2-30)$$

- *Survival Function* (Fungsi Keandalan)

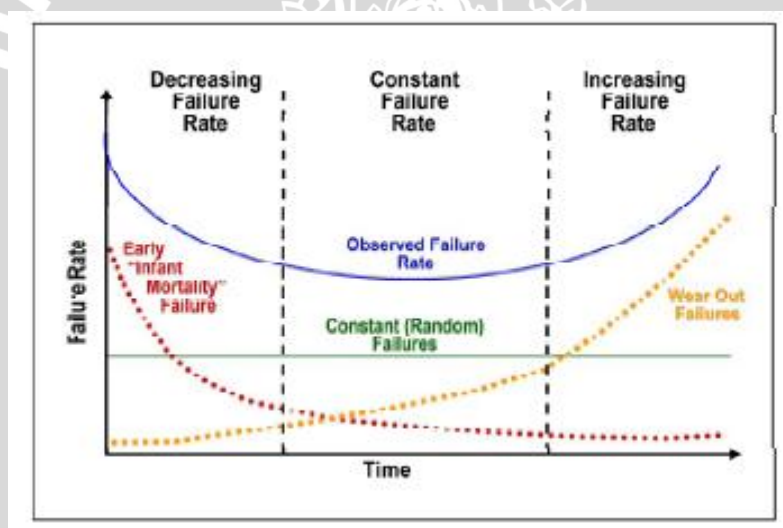
Keandalan merupakan peluang bahwa sebuah sistem atau komponen akan berfungsi dengan baik hingga periode t. Perhitungan nilai dari keandalan tergantung dari setiap distribusi, dengan t merupakan variabel acak *time to failure*.

- *The Hazard Rate Function*

Hazard Rate Function atau yang biasa disebut *Failure Rate* (laju kerusakan). Seringkali digunakan dalam reliabilitas, yang menggambarkan probabilitas suatu peralatan akan rusak pada interval waktu berikutnya, sedangkan sampai saat t alat tersebut masih dalam kondisi baik dan dilambangkan dengan (t).

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}}{\theta \beta e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}} = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\theta^\beta} \quad (2-29)$$

Bentuk penting dari *Hazard Rate Function* adalah *bathtub curve*. Kegagalan-kegagalan tersebut mempunyai suatu laju tertentu yang berubah-ubah kurva bak mandi (*bathtub curve*) dapat menggambarkan sebuah laju kegagalan. Kurva bak mandi (*bathtub curve*) digunakan untuk mengetahui tingkat kegagalan dari suatu sistem atau komponen yang dilihat berdasarkan waktu (Prawira, 2013). Keandalan komponen/peralatan berkaitan erat dengan laju kegagalan tiap satuan waktu laju kegagalan juga merupakan perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi dari suatu sistem (komponen). Kurva laju kegagalan dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 *Bathtub Curve*
Sumber: Arina (2013)

Di dalam kurva bak mandi (*bathtub curve*) mempunyai 3 periode fase yaitu
a *Infant Mortality*

Adalah periode permulaan beroperasinya suatu komponen atau sistem yang masih baru (sehingga *reliability*-nya masih 100%). Daerah ini memiliki periode waktu yang pendek. Pada kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu atau diistilahkan dengan *Decreasing Failure Rate* (DFR).

Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan kesalahan dalam proses *manufacturing* atau desain yang kurang sempurna.

b) Useful Life Time Zone

Periode ini mempunyai laju kerusakan paling rendah dan konstan yang disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kerusakan yang terjadi bersifat random yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Dalam analisis, tingkat kehandalan sistem diasumsikan berada pada periode *Useful life time*, yang *failure rate*-nya konstan terhadap waktu. Asumsi ini digunakan karena pada periode *early life time*, tidak dapat ditentukan apakah sistem tersebut sudah bekerja sesuai dengan standar yang ditentukan atau belum. Periode *useful life time* memiliki *failure rate* yang konstan,

c) Wear-Out Periode

Pada periode ini menunjukkan kenaikan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu yang sering disebut dengan *Increasing Failure Rate* (IFR). Pada periode *wear out time*, tidak dapat diprediksi kapan akan terjadi *failure*.

2.6 Mean Time to Failure (MTTF)

MTTF adalah nilai rata-rata antar kerusakan. Nilai MTTF didapat dari data waktu antar kerusakan yang kemudian data tersebut diolah menggunakan *software* minitab 16 untuk mendapat nilai parameter setiap distribusi. Parameter tiap distribusi digunakan untuk perhitungan nilai MTTF. Perhitungan nilai MTTF setiap distribusi adalah sebagai berikut:

- Distribusi weibull

$$MTTF = \theta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \quad (2-31)$$

- Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad (2-32)$$

- Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} e^{\frac{s^2}{2}} \quad (2-33)$$

2.7 Tahapan RCM

2.7.1 Functional Block Diagram

Functional Block Diagram (FBD) digunakan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari suatu mesin. FBD dibuat untuk memudahkan pada saat mengidentifikasi kegagalan yang terjadi pada fungsi dan sistem kerja mesin

2.7.2 FMEA

Analisis mode kegagalan dan pengaruhnya (*Failure Mode and Effect Analysis/FMEA*). *Failure Mode* adalah segala sesuatu yang menyebabkan suatu aset atau sistem menjadi rusak. *Failure Effect* menjelaskan dampak yang ditimbulkan ketika *failure mode* terjadi. FMEA merupakan suatu potensi kegagalan dan menentukan akibat-akibatnya. Semua identifikasi tersebut dituangkan dalam FMEA Diagram.

Tabel 2.1 *Failure Mode Effect Annalysis*

RCM II Information Worksheet		System:					
		Sub-system:					
		Sub-system Function:					
Equipment	Function		Functional Failure		Failure Mode		Failure Effect
1	2	3	4	5	6	7	8

Sumber : Moubray (1997)

Tabel diatas menunjukkan Tabel FMEA yang terdapat 8 kolom. Masing-masing kolom diisi dengan ketentuan tersendiri. Ketentuan-ketentuan tersebut adalah:

- Kolom 1 diisi berdasarkan bagian dari suatu fungsional
- Kolom 2 diisi berdasarkan nomor urut untuk *function*
- Kolom 3 diisi berdasarkan fungsi dari komponen/peralatan
- Kolom 4 diisi berdasarkan nomor urut untuk *functional failure*
- Kolom 5 diisi berdasarkan kegagalan fungsi dari komponen/peralatan
- Kolom 6 diisi berdasarkan nomor urut untuk *failure mode*
- Kolom 7 diisi berdasarkan jenis kegagalan dari komponen/peralatan
- Kolom 8 diisi berdasarkan dampak kegagalan dari komponen/peralatan

2.7.2.1 System Function

System function merupakan langkah awal dalam melakukan proses RCM. *System function* adalah fungsi dari suatu aset yang diharapkan *user* tetap berada dalam level kemampuan dari *item* tersebut. Setelah ditetapkan fungsi dari suatu sistem yang

diinginkan oleh *user* dan memastikan bahwa aset yang dimiliki dapat memenuhi keinginan *user*, menetapkan *performance standard* dari aset tersebut

2.7.2.2 *Functional Failure*

Functional failure merupakan ketidakmampuan suatu aset untuk memenuhi *performance standards* yang telah ditetapkan oleh *user* atau dapat juga diartikan kegagalan suatu sistem dalam melaksanakan *system function* yang diharapkan.

2.7.2.3 *Failure Modes*

Failure modes adalah suatu kejadian yang dapat menyebabkan terjadinya suatu kegagalan. Pada umumnya penyebab *failure modes* adalah penurunan fungsi aset dan keausan pada aset.

2.7.2.4 *Failure Effect*

Failure effect adalah dampak yang ditimbulkan ketika *failure mode* terjadi. *Failure effect* dapat mempengaruhi produksi atau operasi, atau bahkan dapat mengancam keselamatan atau lingkungan. Apabila terjadi kegagalan

2.7.3 *Risk Priority Number (RPN)*

RPN adalah indikator kekritisitas untuk menentukan tindakan koreksi yang sesuai dengan mode kegagalan. RPN menggunakan tiga kriteria yaitu:

1. *Keparahan Effect (Severity)*

Penilaian terhadap tingkat dampak adalah perkiraan besarnya dampak negatif yang diakibatkan apabila kesalahan terjadi. Bila pernah terjadi maka penilaian akan lebih mudah, tetapi bila belum pernah maka penilaian dilakukan berdasarkan perkiraan.

Tabel 2.2 Kategori Nilai Severity

Rating	Severity of Effect
10	Mengakibatkan kematian dan produksi terhenti > 24 jam
9	Tidak mengakibatkan kematian namun produksi terhenti <=24 jam
8	Produksi terhenti >= 8 jam
7	Produksi terhenti = > 4 jam
6	Produksi terhenti 2 jam
5	Produksi terhenti 1 jam
4	Produksi terhenti 0.5 jam
3	Produksi terhenti 15 menit
2	Produksi terhenti <= 5 menit
1	Tidak ada resiko efek samping

Sumber : Mohhamed Ben-Daya (2000)

2. Kejadian Penyebab (*Occurence*)

Menilai tingkat kemungkinan terjadinya (*occurance*) kesalahan, bila tersedia cukup data maka dapat dihitung probabilitas atau frekuensi kemungkinan terjadinya kesalahan tersebut.

Tabel 2.3 Kategori Nilai *Occurance*

Rating	Frequency
10	Frequency More than once per day
9	Once every 3-4 days
8	One per week
7	Once per month
6	Once every 3 months
5	Once every 6 months
4	Once per years
3	Once every 1-3 years
2	Once every 3-6 years
1	Once every 6-100 years

Sumber : Mohhamed Ben-Daya (2000)

3. Deteksi Penyebab (*Detection*)

Menilai tingkat kemungkinan deteksi dari tiap kesalahan atau dampaknya. Penilaian yang diberikan menunjukkan seberapa jauh kita dapat mendeteksi kemungkinan terjadinya kesalahan atau timbulnya dampak dari suatu kesalahan. Hal ini dapat diukur dengan seberapa jauh pengendalian atau indikator terhadap hal tersebut tersedia. Bila tidak ada maka nilainya rendah, tetapi bila indikator sehingga kecil kemungkinan tidak terdeteksi maka nilainya tinggi.

Tabel 2.4 Kategori Nilai *Detection*

Rating	<i>Detection</i>
10	Tidak dapat dideteksi
9	Unit kadang-kadang diperiksa saat terjadi kerusakan
8	Kerusakan hanya terdeteksi oleh instrument yang ada pada alat tersebut
7	Semua unit diperiksa secara manual
6	Unit diperiksa secara manual dan melakukan perkiraan modifikasi
5	Monitoring proses menggunakan tatistical process control (SPC) and inspeksi manual
4	SPC is used with an immediate reaction / adjustment to out of control conditions
3	SPC as above with 100% inspection surrounding out of control conditions
2	Semua unit diperiksa dengan otomatis
1	Problem jelas, namun tidak mempengaruhi operasional dn safety.

Sumber : Mohhamed Ben-Day (2000)

Nilai prioritas risiko (RPN) merupakan perkalian dari : *Severity x Occurance x Detection*. Total nilai RPN ini dihitung untuk tiap-tiap kesalahan yang mungkin terjadi. Bila proses tersebut terdiri dari kelompok-kelompok tertentu maka jumlah keseluruhan RPN pada kelompok tersebut dapat menunjukkan bahwa betapa gawatnya kelompok proses tersebut bila suatu kesalahan terjadi. Jadi terdapat tingkat prioritas tertinggi untuk jenis kegagalan.

Setelah dilakukan perhitungan RPN untuk masing-masing potensi kesalahan maka dapat disusun prioritas berdasarkan nilai RPN tersebut. Terhadap nilai RPN tersebut

dapat dibuat klasifikasi tinggi, sedang dan rendah atau ditentukan secara umum bahwa untuk nilai RPN tertinggi harus dilakukan penanganan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan dan dampaknya yang lebih serius.

2.7.4 RCM Decision Worksheet

RCM *Decision Worksheet* digunakan untuk mencari jenis tindakan pemeliharaan yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap bentuk kegagalan (*failure mode*). RCM *Decision Worksheet* mengandung informasi mengenai waktu dilaksanakannya pemeliharaan rutin dan pihak yang bertanggung jawab melaksanakan pemeliharaan rutin.

Tabel 2.5 RCM *Decision Worksheet*

RCM II Decision Worksheet				System:							System No:				Facilitator:	
				Sub-System:							Sub-System No:				Auditor:	
Information reference				Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed Task	Initial Interval	Can be done by
								S1	S2	S3						
								O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				

Sumber: Moubray, 1997

Tabel 2.5 menunjukkan Tabel RCM II *Decision Worksheet* yang terdapat 16 kolom. Masing-masing kolom diisi dengan ketentuan tersendiri. Ketentuan-ketentuan tersebut adalah:

- Kolom *information reference* (F, FF dan FM) diisi berdasarkan nomor yang merujuk pada fungsi, kegagalan fungsi, dan penyebab kegagalan peralatan pada tabel FMEA
- Kolom *consequence evaluation* (H, S, E dan O) diisi berdasarkan konsekuensi dari kegagalan yang terjadi. Masing-masing simbol mewakili:
 - H adalah *hidden failure consequences*
 - S adalah *safety consequences*
 - E adalah *environmental consequences*
 - O adalah *operational consequences*
- Kolom H1, H2, H3, dll berdasarkan *proactive task* yang dipilih. Masing-masing simbol mewakili:
 - H1/S1/O1/N1 adalah tindakan *scheduled on-condition task* yang dipilih

- H2/S2/O2/N2 adalah tindakan *scheduled restoration task* yang dipilih
- H3/S3/O3/N3 adalah tindakan *scheduled discard task* yang dipilih
- Kolom *default action* diisi berdasarkan *default action* yang dipilih. Masing-masing simbol mewakili:
 - H4 adalah *failure finding*
 - H5 adalah *redesign*
 - H6 adalah *no scheduled maintenance*
- Kolom *proposed task* diisi dengan tindakan yang dipilih (jika ada)
- Kolom *initial interval* diisi interval waktu pemeliharaan
- Kolom *can be done by* diisi dengan pihak yang melaksanakan

2.7.4.1 Failure Consequences

Failure Consequences adalah dampak dari kegagalan yang terjadi apabila suatu sistem (komponen) tidak tidak berjalan sesuai dengan fungsinya. Menurut Moubray (1997:10) konsekuensi kegagalan dibagi menjadi 4 kategori yaitu

1. *Hidden failure consequences*

Konsekuensi kegagalan yang tidak memberikan dampak langsung tetapi memberikan konsekuensi yang lebih serius dan cukup banyak

2. *Safety and environmental consequences*

Konsekuensi kegagalan yang dapat menyebabkan seseorang terluka atau terbunuh. Sementara itu, kegagalan mempunyai *environmental consequences* jika membahayakan standar lingkungan dari perusahaan, wilayah, nasional, atau internasional.

3. *Operational consequences.*

Konsekuensi kegagalan yang dapat mempengaruhi proses produksi seperti kualitas produk, output produksi dan biaya produksi

4. *Non-operational consequences*

Konsekuensi kegagalan yang tidak memberikan dampak terhadap *safety* ataupun production tetapi yang berdampak langsung pada biaya perbaikan

2.7.4.2 Proactive Task

Proactive Task adalah tindakan pemeliharaan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan dengan tujuan dapat mencegah terjadinya kerusakan yang lebih serius.

1. *Scheduled restoration tasks.*

Mengharuskan melakukan perbaikan pada komponen pada atau sebelum batasan umur yang ditentukan, terlepas dari kondisi komponen pada saat yang telah ditentukan.

2. *Scheduled discard tasks.*

Mengharuskan melakukan penggantian pada komponen pada atau sebelum batasan umur yang ditentukan, terlepas dari kondisi komponen pada saat yang telah ditentukan.

3. *Scheduled on-condition tasks.*

Untuk mendeteksi *potential failures* sehingga dapat menghindari konsekuensi yang akan terjadi sehingga bisa diambil suatu tindakan yang bisa mencegah terjadinya kegagalan tersebut

2.7.4.3 Default Action

Tindakan yang diambil apabila tindakan *proactive task* tidak ditemukan jenis kegiatan pemeliharaan yang diterapkan untuk mengurangi terjadinya kegagalan pada setiap komponen, maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah default action. RCM memebagi default action dalam tiga kategori yaitu :

1. *Failure finding.*

Memeriksa *hidden failure* pada suatu aset secara periodik untuk menentukan apakah suatu aset mengalami *failure*.

2. *Redesign.*

Melakukan perubahan terhadap kemampuan suatu sistem. Mencakup modifikasi terhadap komponen aset dan perubahan terhadap prosedur penggunaan aset.

3. *No scheduled maintenance.*

Tidak dilakukan usaha untuk mencegah terjadinya *failure modes*. Jika terjadi *failure* langsung diperbaiki. Tindakan ini disebut juga *run-to-failure*.

2.8 Proses Produksi di PT. Kaltim Prima Coal

PT. Kaltim Prima Coal (KPC) merupakan perusahaan terkemuka yang kegiatannya mencakup eksplorasi, produksi dan pemasaran batubara dari Kalimantan Timur – Indonesia ke seluruh penjuru dunia. Banyak tahapan yang dilakukan dari batubara yang masih didalam tanah hingga mejadi ukuran batubara yang diinginkan yang siap dikirim ke konsumen.

Sebelum diangkut dan dijual kepada konsumen terdapat pemisahan batubara, yaitu batubara bersih dengan batubara kotor yang menjadi pembeda kedua jenis batubara ini adanya material (non batubara) yang masih ada di batubara seperti tanah ataupun material logam yang dilakukan oleh *Departement CPHD* . Dengan adanya perbedaan jenis batubara maka ada perlakuan khusus untuk batubara kotor. Secara umum pengolahan batubara di lokasi CPP melewati beberapa tahapan, yaitu :

1. Bak Penampung (*Hopper*) merupakan bagian terdepan dari unit operasi CPP, batubara hasil tambang yang diangkut oleh *dumpruck* dituangkan dan akan diteruskan kedalam mesin penghancur. Adapun komponen dari hopper, yaitu :
 - a. Grizzly adalah saringan tetap agar batubara yang masuk tidak melebihi batas ukuran yang ditetapkan
 - b. *Dust Supression* adalah semprotan air untuk menangkap debu batubara
2. *Feeder Breaker* merupakan mesin pengumpan yang berfungsi untuk menghantarkan batubara kedalam *breaker* yang menghancurkan batu berukuran ≥ 200 mm menjadi ukuran ≤ 200 mm yang nantinya akan dihancurkan kembali oleh *crusher* menjadi ukuran yang lebih kecil.
3. Mesin Penghancur (*Crusher*) merupakan mesin penghancur batubara yang diangkut dari lokasi tambang melalui *hooper* dan *feeder* dengan dua tahapan penghancuran yaitu top roller dengan ukuran 150 mm dan bottom roller dengan ukuran 50 mm
4. *Conveyor* merupakan penghantar untuk mendukung aliran dan distribusi batubara mulai dari keluaran *crusher* menuju proses atau tempat selanjutnya. Adapun komponen conveyor terdiri dari : *belt conveyor*, *carry roller*, *return roller*, *head pulley*, *tail pulley*, *take-up pulley*, *rope switch*, *torn belt* dan *belt drift*. Beberapa jenis conveyor yang digunakan di tempat ini : *stacking conveyor* dan *transfer conveyor*.
5. Pencuci Batubara Kotor (*Wash Plant*) merupakan rangkaian unit operasi yang berfungsi untuk mencuci batubara yang kotor. Jika batubara sudah bersih tidak perlu melalui tahapan ini.
6. *Stockpile* merupakan tempat penimbunan sementara sebelum batubara dialirkan ke overland conveyor dan didistribusikan melalui product reclaim conveyor.
7. *Surge Bin* merupakan tempat transfer batubara yang dialirkan dari tiga stockpile ke coal terminal melalui overland conveyor
8. *Overland Conveyor* merupakan pengantar batubara ke stockpile di Tanjung Bara ke pelabuhan (*Marine Operation*) untuk dipasarkan

2.9 Mesin Crusher

Mesin *Crusher* yang digunakan di PT. Kaltim Prima Coal adalah mesin berjenis *double roll crusher*. *Roll Crusher* biasa banyak digunakan didunia pertambangan, yaitu untuk mereduksi batuan dengan tingkat kekerasan dan keuletan yang relatif rendah, seperti batu bara, batu kapur, bahan semen, batu tembaga, belerang. Pada *double roll crusher* cara kerjanya yaitu memecah batu dengan menjepitnya diantara dua rol atau lebih. Untuk memutar *roller Crusher* yaitu dengan cara *Bottom roller* (roller bawah) dihubungkan langsung dengan *Top Roller* (roller atas) dengan melalui *Timing belt* dimana pada *shaft* tersebut dipasang *pulley* sesuai dengan sepesifikasinya. Pada *Top Roller* dipasang *Fly wheel* yang kemudian dihubungkan ke motor listrik (motor penggerak) melalui *V-belt*. Saat motor listrik diberi power maka motor tersebut berputar begitu juga dengan *Top* atau *Bottom roller* ikut berputar karena saling berhubungan. Putaran motor listrik sekitar 900 rpm, *Top roller* 300 rpm dan *Bottom roller* sekitar 420 rpm. Bila batu bara dimasukkan kedalam crusher yang sedang berputar maka akan melalui *Top Roller* dan *Bottom roller* sehingga batu bara tersebut terjepit oleh *roller* tersebut dan akan membuat ukuran sesuai dengan jarak *roller* tersebut.

Double roll crusher terpasang 4 buah *roller*, yaitu pada bagian atas terpasang 2 roll yang biasa disebut *top roller crusher* dan Bagian bawah terpasang 2 roll yang disebut *bottom roller crusher*. *Roller* atas dan *roller* bawah mempunyai persamaan panjang dan diameternya hanya beda pada bentuk gigi dan jumlah gigi giginya. *Roll crusher* memecah batu bara dari ukuran 900 mm ke ukuran minimal – 50 mm. Dengan cara *top roller* memecahkan batu bara dari 900 mm ke 150 mm dan *bottom roller* memecahkan batu bara dari 150 mm ke 50 mm.



Gambar 2.4 *Double Roll Crusher*
Sumber : PT. Kaltim Prima Coal, 2015

2.10 Komponen Mesin Crusher

2.10.1 Shaft

Shaft atau poros adalah bagian mesin yang berputar yang digunakan untuk memindahkan daya dari satu tempat ke tempat yang lain. Peranan dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros. Beban yang didukung oleh poros pada umumnya adalah roda gigi, roda daya (*fly wheel*) atau roda ban (*pulley*).



Gambar 2.5 *Shaft*
Sumber : PT. Kaltim Prima Coal, 2015

2.10.2 Bearing

Bearing pada Gambar 2.6 memiliki fungsi untuk untuk menumpu sebuah poros agar poros dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Bearing harus cukup kuat untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Dalam penggunaannya, bearing apabila mengalami kerusakan dapat membuat terhambatnya proses *crushing*.



Gambar 2.6 *Bearing*
Sumber : PT. Kaltim Prima Coal, 2015

2.10.3 Timing Belt

Timing belt berfungsi untuk meneruskan putaran serta menghubungkan *crusher* bagian atas dan bagian bawah. *Timing Belt* dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 *Timing Belt*
Sumber : PT. Kaltim Prima Coal, 2015

2.10.4 Gigi Crusher

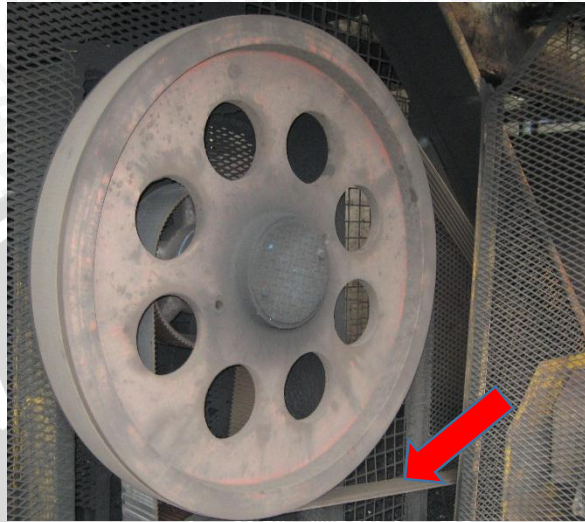
Gigi crusher adalah bagian yang memiliki fungsi untuk memecah batu bara yang masuk. Material gigi crusher haruslah keras sehingga tidak akan mudah aus saat proses *crushing* terjadi. Gigi crusher dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 *Gigi Crusher*
Sumber : PT. Kaltim Prima Coal, 2015

2.10.5 V-belt

V-belt adalah penghubung atau penerus daya dari motor menuju *crusher* sehingga poros akan berputar dan proses *crushing* dapat dilakukan. V-belt dapat dilihat pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 V-belt
Sumber : PT. Kaltim Prima Coal, 2015

2.11 Hipotesis

Dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diharapkan dapat meningkatkan keandalan komponen kritis mesin *crusher* yaitu dengan mengidentifikasi komponen kritis, menentukan interval waktu pemeliharaan dan merekomendasikan jenis tindakan pemeliharaan (maintenance task) sehingga dapat meminimumkan terjadinya kegagalan pada komponen

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. KaltimPrima Coal (KPC) di Kalimantan Timur

3.2 Obyek Penelitian

Penelitian skripsi ini dilakukan di PT. KPC didepartemen CPP di bagian *reliability*

3.3 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2015 sampai Juni 2015

3.4 Variabel Penelitian

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

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti. Variabel ini menjadi sebab atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah data kerusakan *crusher*

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah keandalan

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dibuat konstan. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah karakteristik kondisi kerja *crusher*

3.5 Langkah-Langkah Penelitian

3.5.1 Tahap Pendahuluan

Tahapan pendahuluan dalam melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Rumusan Masalah
2. Identifikasi Masalah
3. Tujuan Penelitian

3.5.2 Tahap Pengumpulan Data

Data yang diperlukan harus didukung oleh data-data yang akurat agar dapat mencapai tujuan penelitian yang diinginkan dapat maksimal. Metode tersebut adalah :

a. Data Primer

Sumber data yang diperoleh langsung dari sumber asli (tidak melalui media perantara). Data primer dapat berupa opini subjek (orang) secara individual atau kelompok, hasil observasi terhadap suatu benda (fisik), kejadian atau kegiatan, dan hasil pengujian. Metode yang digunakan untuk mendapatkan data primer yaitu: Observasi atau Studi Lapangan yaitu metode yang mengadakan pengamatan terhadap obyek yang diteliti secara langsung.

b. Data Sekunder

Sumber data penelitian yang diperoleh peneliti secara tidak langsung melalui media perantara (diperoleh dan dicatat oleh pihak lain). Data sekunder umumnya berupa bukti, catatan atau laporan historis yang telah tersusun dalam arsip (data dokumenter) yang dipublikasikan dan yang tidak dipublikasikan. Data sekunder ini didapatkan dengan cara mengumpulkan dan mempelajari dokumen perusahaan serta studi literatur yang dapat diperoleh dengan mengambil beberapa literatur yang berkaitan dengan penelitian sehingga diperoleh teori-teori yang relevan Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- Data mesin *critical unit*
- Data kerusakan *crusher*
- Data waktu antar kerusakan *crusher*

3.5.3 Tahap Pengolahan Data

Menentukan komponen kritis berdasarkan data pada mesin yang mengalami *downtime* dengan frekuensi yang terbesar. Ada beberapa langkah dalam tahap ini yaitu:

1. Membuat *Functional Block Diagram* (FBD).
2. Mendeskripsikan fungsi, kegagalan fungsi, dampak, dan konsekuensi dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).
3. Menentukan nilai RPN
3. Pembuatan *RCM Decision Worksheet* yang menunjukkan tindakan pemeliharaan yang akan diambil.

4. Pengujian kesesuaian distribusi dan estimasi parameter.

Menentukan jenis-jenis distribusi waktu antar kerusakan, Hal ini dapat dilakukan untuk melihat pola atau kecenderungan dari data waktu antar kerusakan apakah berdistribusi weibull, normal, lognormal atau eksponensial. Selanjutnya akan diketahui parameter-parameter dari distribusi yang kemudian akan diolah untuk menghitung nilai MTTF

5. Perhitungan nilai MTTF

Melakukan pengujian distribusi yang tepat diperlukan parameter waktu antar kerusakan yang sesuai dari tiap komponen unit *crusher* . Sehingga akan didapat nilai MTTF dari tiap komponen kritis mesin *crusher*.

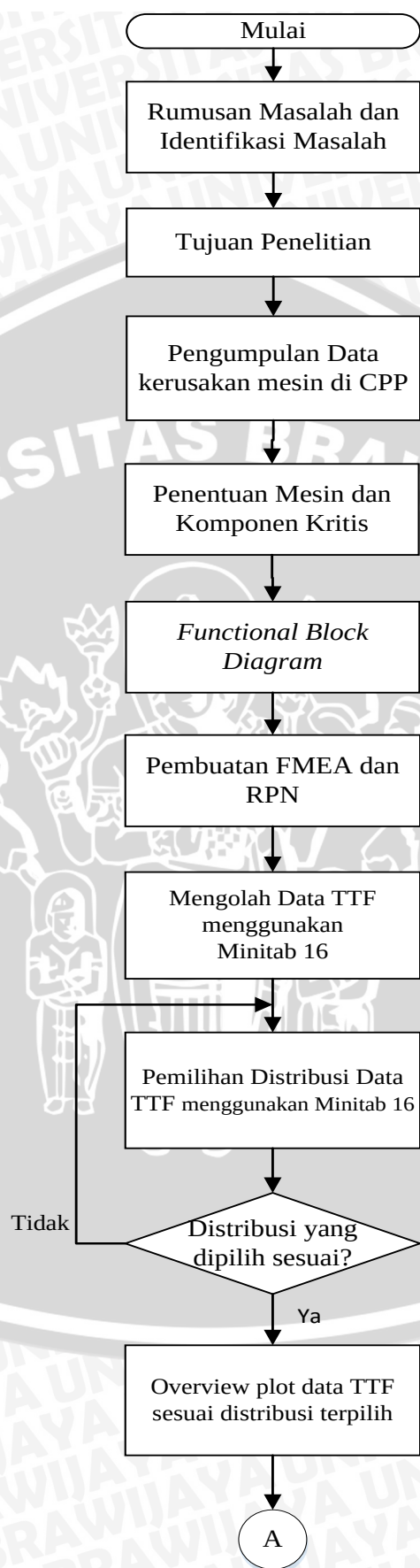
6. Menghitung nilai *Reliability* saat ini untuk setiap komponen *Crusher*

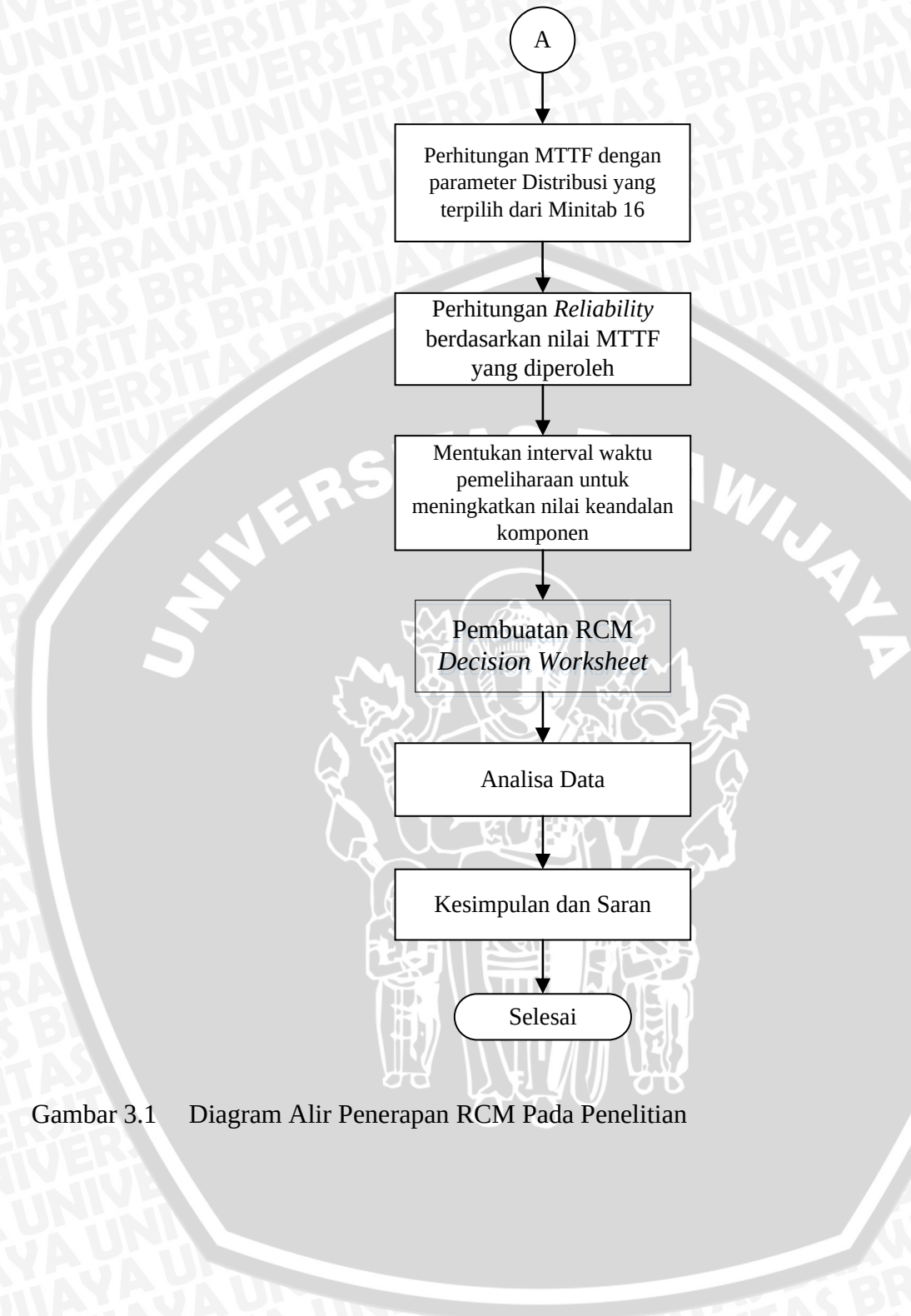
7. Menentukan interval waktu pemeliharaan yang tepat dengan peningkatan *reliability* hingga 90%

8. Analisa Data

Dari hasil pengolahan data yang diperoleh maka dapat dilakukan tindakan pemeliharaan dan interval waktu pemeliharaan yang tepat untuk komponen *crusher*

3.6 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penerapan RCM Pada Penelitian

BAB 1V HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Mesin Kritis

Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk meningkatkan keandalan adalah *Realibility Centered Maintenance* (RCM). Penerapan RCM digunakan untuk *equipment* yang memiliki tingkat kritis yang tinggi. Di PT. Kaltim Prima Coal menggunakan metode SERP untuk merangking tingkat kekritisannya suatu sistem peralatan. Hasil dari proses SERP adalah *Maintenance Priority Index*. Data MPI dari PT. Kaltim Prima Coal adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data MPI Tahun 2010-2015 di PT. KPC

EQUIP. NO.	Equipment	SCR	OCR	ACR	AFFP	MPI
2.138	Crusher#1	4.25	10	42.5	10	425
2.420	Stacking #2	4.25	10	42.5	10	425
2.154	Vibrating Feeder#6	4.25	10	42.5	10	425
2.125	Feeder Breaker#2	4.25	10	42.5	10	425
2.660	Transfer Conv #2	4.25	10	42.5	10	425
9.580	Sampler	3.25	2	6.5	10	65
2.400	Prima Conveyor	5.25	10	52.5	1	52.5
2.412	Boom Stacking	5.25	10	52.5	1	52.5
2.419	Slew Bearing	5.25	10	52.5	1	52.5
2.450	Stockpile #3	5.25	10	52.5	1	52.5

Sumber PT. Kaltim Prima Coal

Keterangan:

- SCR (*System Criticality Ranking*)

SCR berfungsi untuk mengidentifikasi dan pembuatan peringkat dari sistem yaitu dengan membagi menjadi-sistem-sistem fungsional. SCR disusun berdasarkan beberapa aspek operasi dan peringkat-peringkat ini digabung untuk memberikan *System Critically Ranking*

- OCR (*Operational Criticality Ranking*)

OCR berfungsi untuk mengidentifikasi dan pembuatan peringkat dari kritikal operasi aset. Peralatan diidentifikasi dari sistem fungsional yang telah dibuat sebelumnya.

Tiap-tiap bagian bagian peralatan yang diidentifikasi diberikan *Operational Criticality Ranking*

- ACR (*Asset Criticality Ranking*)

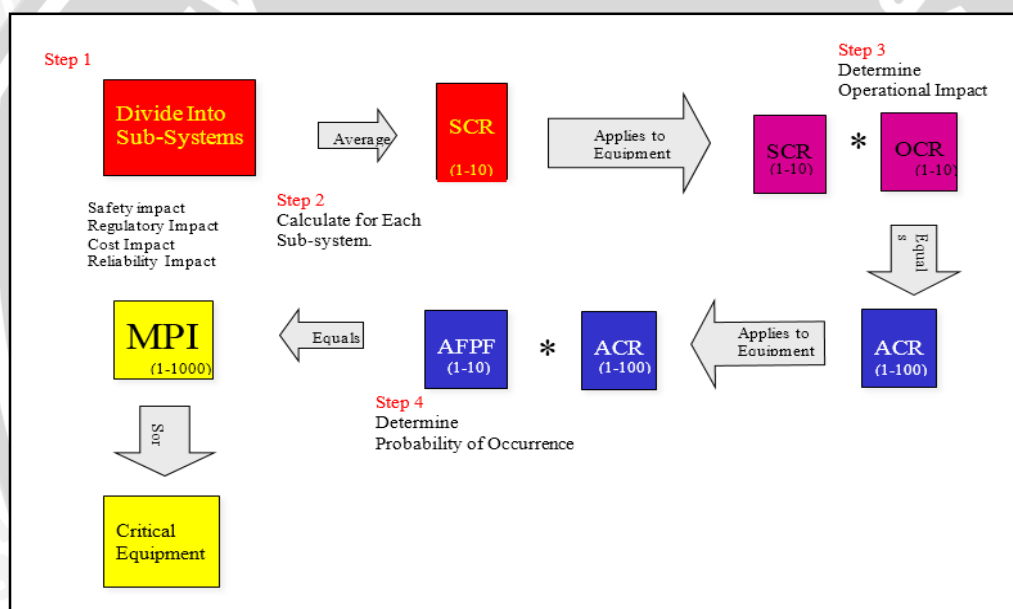
OCR digabungkan dengan SCR untuk membentuk suatu *Asset Criticality Ranking*.

- AFPF (*Asset Failure Probability Factor*)

Peralatan dievaluasi berdasarkan kemungkinannya akan kegagalan atau operasi yang tidak *reliable*.

- MPI (*Maintenance Priority Index*)

AFPF ini digabungkan dengan ACR untuk membentuk MPI. Rating MPI ditujukan untuk menggambarkan kepentingan kebijakan pemeliharaan yang diprioritaskan lebih dahulu pada peralatan.



Gambar 4.1 Alur pembuatan MPI

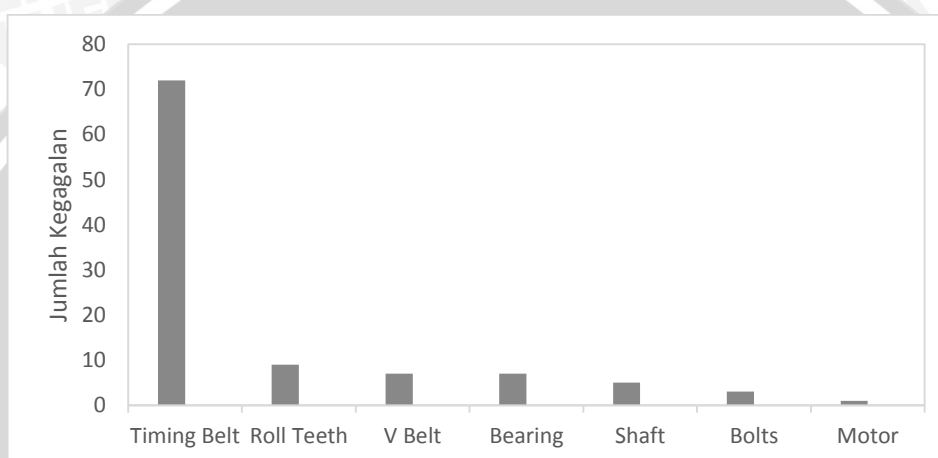
Dari gambar 4.1 menjelaskan langkah-langkah pembuatan data MPI berdasarkan data perusahaan yang akan digunakan untuk mengetahui tingkat kekritisitas mesin yang berada di perusahaan. Data MPI menunjukkan bahwa mesin *crusher* merupakan salah satu mesin yang memiliki nilai MPI tinggi. Sehingga diperlukan penanganan yang lebih untuk mengurangi kegagalan agar keandalan pada mesin *crusher* dapat meningkat. Maka penelitian ini mengambil mesin *crusher* dengan no *equipment* 2.138 sebagai objek penelitian.

4.2 Pemilihan Komponen Kritis Mesin *Crusher*

Setelah menentukan mesin mana yang akan dipilih untuk objek penelitian maka tahapan selanjutnya adalah mengidentifikasi komponen yang mengalami kerusakan. Pada tahap ini data yang diperlukan yaitu sebagai berikut:

- Data mesin dan komponennya
- Data kerusakan mesin *crusher*

Data yang diambil berupa data kerusakan pada mesin *crusher* yang terjadi pada bulan Januari 2010 sampai 5 Juni 2015.



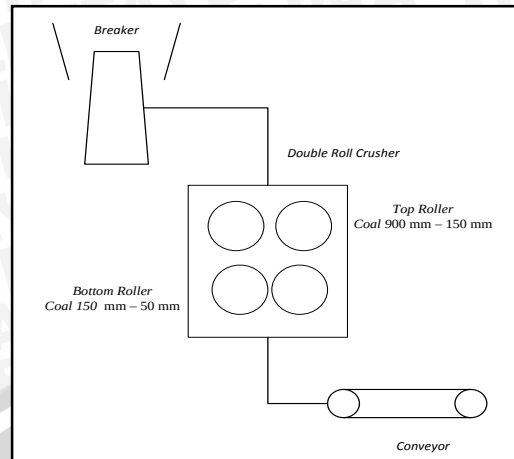
Gambar 4.2 Diagram Jumlah Kegagalan Komponen Mesin *Crusher*

Dari gambar 4.2 menunjukkan tingkat komponen kritis dari tertinggi hingga terendah. Lima Komponen yang paling kritis yang dilakukan untuk objek penelitian adalah *Timing Belt*, *Roll Teeth*, *V-belt*, *Bearing* dan *Shaft*. Kelima komponen kritis tersebut perlu diperbaiki dalam upaya meningkatkan *reliability* mesin *crusher* karena jika komponen kritis tersebut mengalami kerusakan dapat menyebabkan terhentinya proses produksi

4.3 Pengolahan Data

4.3.1 Functional Block Diagram

Diagram ini digunakan untuk mendiskripsikan sistem kerja dari *Crusher*. Pembuatan *Functional Block Diagram* diharapkan dapat memudahkan pada saat mengidentifikasi kegagalan yang terjadi.



Gambar 4.3 *Functional Block Diagram Crusher*

4.3.2 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Setelah mengetahui fungsi komponen dan kegagalan fungsi komponen *crusher*. Langkah selanjutnya yaitu masuk ke tahapan FMEA. Dengan menggunakan FMEA maka dapat diidentifikasi penyebab terjadinya kegagalan dan dampak yang ditimbulkan apabila kegagalan tersebut terjadi. Berikut ini adalah analisa FMEA pada komponen kritis mesin *crusher*



Tabel 4.2 *Failure Mode and Failure Effect Annalysis (FMEA)*

RCM INFORMATION WORKSHEET			System : Roll Crusher		Facilitator:		
			Sub System: PT. KPC		Auditor:		
Function		Functional Failure		Failure Cause	Failure Mode	Failure Effect	
1	Crusher yang berjenis double Roll crusher yang didalamnya terpasang 4 buah Roller yang berfungsi untuk memecah batu bara dari ukuran 900 mm ke ukuran minimal 50 mm. Dengan cara Top Roller memecahkan batu bara dari 900 mm ke 150 mm dan bottom Roller memecahkan batu bara dari 150 mm ke 50 mm	A	-Proses crushing akan berhenti -Tidak dapat mentransfer batubara ke conveyor	1	- Timing Belt terus berputar tetapi roll crusher berhenti dikarenakan roll crusher mengalami overload - Belt mengalami abrasi	Belt Slip atau Putus	Belt tidak dapat mentransmisikan putaran dari top roller ke bottom roller
				2	Proses hardfacing pada gigi crusher belum dilakukan kembali	- Gigi crusher tumpul atau aus - Gigi Crusher Patah	- Hasil ukuran dari batubara yang diremukkan tidak akan optimal atau dapat menyebabkan batubara menjadi oversize - Tidak dapat menggerus batubara
				3	- Misalignment pada bearing - Pelumas pada bearing kurang - Abrasi pada shaft	Bearing patah	- Tidak dapat menahan shaft - Koefesien gesek menjadi lebih besar
					- V-belt terus berputar tetapi roll crusher berhenti dikarenakan roll crusher mengalami overload - V-belt abrasi	V-belt slip atau putus	Belt tidak dapat mentransmisikan putaran dari motor ke roll crusher
				5	- Pembebanan yang tidak merata pada Shaft - Unbalance Shaft	Shaft Bengkok atau Patah	Shaft tidak dapat mentransmisikan daya dari motor

4.3.3 Risk Priority Number (RPN)

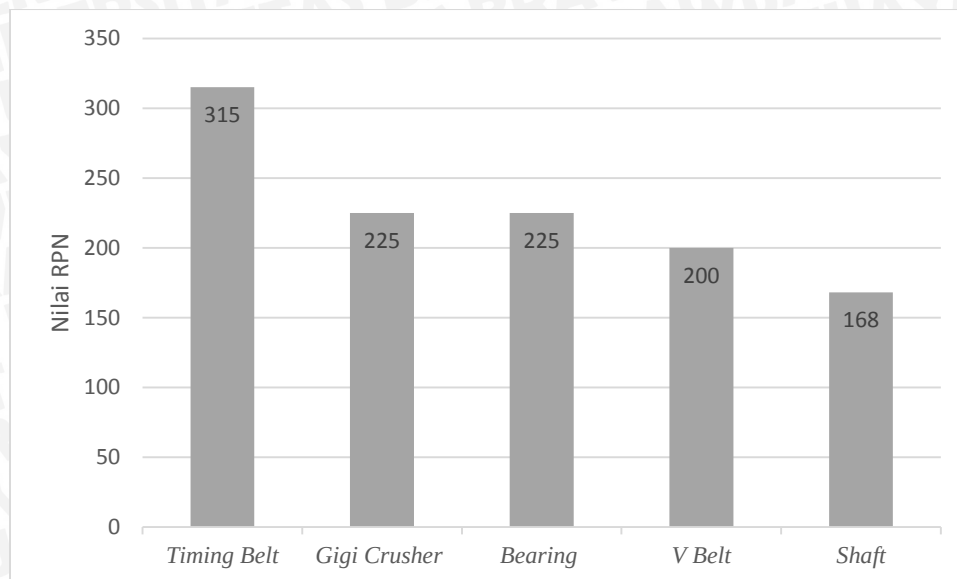
Prioritas perlakuan pada komponen akan mengacu kepada perhitungan matematis dari tahapan FMEA yaitu berupa *Risk Priority Number* (RPN). RPN merupakan hasil perkaliandari keseriusan efek (*severity*), kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*), dan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan sebelum terjadi (*detection*). Hasil dari nilai RPN tertinggi menunjukkan bahwa komponen kritis yang perlu mendapatkan prioritas utama atau memiliki tingkat kepentingan tinggi untuk diperhatikan (*need most attention*). Untuk menentukan nilai RPN menggunakan tabel RPN pada tabel 2.2 untuk meranking nilai *severity*, tabel 2.3 untuk meranking nilai *occurrence* dan tabel 2.4 untuk meranking nilai 2.5

Tabel 4.3 Risk Priority Number (RPN) Komponen Crusher

Process Step	Input	Severity	Occurrence	Detection	RPN
Double Roll Crusher	Shaft	7	4	6	168
	Gigi Crusher	5	5	9	225
	Bearing	5	5	9	225
	Timing Belt	5	7	9	315
	V-belt	5	6	7	210

Sumber : PT. Kaltim Prima Coal (KPC)

Setelah nilai *Risk Priority Number* (RPN) diperoleh kemudian merepresentasikan nilai RPN tersebut ke dalam diagram. Diagram tersebut akan membantu dalam memberikan gambaran kegagalan yang terjadi pada peralatan *crusher*. Gambar menggambarkan diagram nilai RPN pada komponen *crusher*



Gambar 4.4 Diagram RPN Komponen *Crusher*

Dari gambar 4.4 menunjukkan nilai RPN dari yang tertinggi ke yang terendah adalah, *Timing Belt*, *Gigi Crusher*, *Bearing*, *V-belt*, dan *Shaft*. Efek yang ditimbulkan dari ke lima komponen kritis ini dapat mengakibatkan terhentinya sistem *crushing* dan mengurangi kapasitas *output* produksi.

4.4 Penentuan Interval Pemeliharaan

4.4.1 Data Waktu Antar Kerusakan

Menentukan distribusi dengan cara pengujian distribusi berdasarkan data waktu antar kerusakan. Data waktu antar kerusakan merupakan selisih waktu kerusakan pertama dengan dengan waktu kerusakan berikutnya, sedangkan data waktu lama perbaikan adalah data yang diperoleh berdasarkan lamanya waktu perbaikan dikali frekuensi kegagalan yang terjadi.

Contoh Data Perhitungan *Shaft*

Tabel 4.4 Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan *Shaft*

<i>Shaft</i>		
Tanggal	Waktu Antar Kerusakan (Jam)	Waktu Lama Perbaikan (jam)
14-06-12	-	2.2
29-06-12	360	0.9
21-10-13	11496	4.1
11-04-14	4128	8.3
03-01-15	6480	7.2

Sumber : PT. Kaltim Prima Coal (KPC)

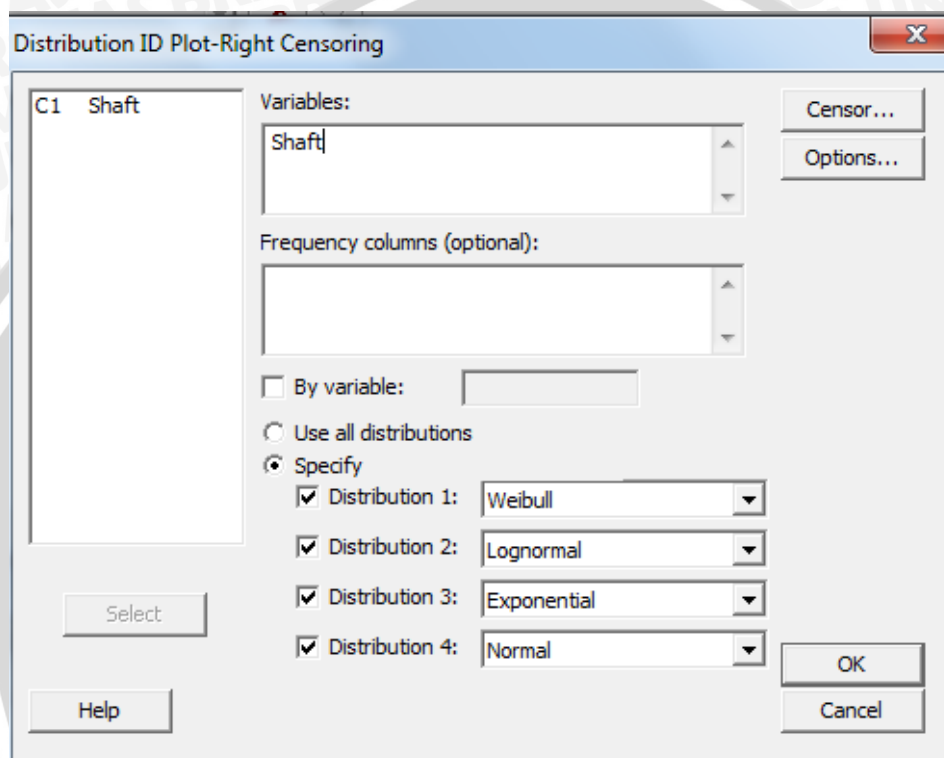
4.4.2 Penentuan Distribusi menggunakan *software minitab*

Selanjutnya adalah melakukan Uji *goodness of fit test* kemudian untuk menunjukkan *probability plot*, nilai Anderson Darling (AD) dan nilai *Correlation Coefficient* dari beberapa dugaan distribusi (Soesetyo, 2014). Nilai Anderson-Darling berfungsi untuk mengukur kesesuaian distribusi terhadap distribusi tertentu. Nilai *correlation coefficient* merupakan salah satu ukuran korelasi yang digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier dari dua variabel. Dua variabel dikatakan berkorelasi apabila perubahan salah satu variabel disertai dengan perubahan variabel lainnya, baik dalam arah yang sama ataupun arah yang sebaliknya.

Dari perhitungan akan memperoleh nilai *index of fit* berdasarkan nilai Anderson Darling dan *Correlation Coefficient* (r) pada data TF Semakin kecil nilai parameter index of fit Anderson Darling maka nilai *Correlation Coefficient* nya juga semakin besar (kedua parameter tersebut selalu berkaitan). Jika persebaran titik yang dihasilkan semakin mendekati garis lurus maka nilainya akan semakin kecil begitu sebaliknya jika persebaran titik semakin jauh dari garis lurus maka nilainya akan semakin besar. Oleh karena itu dari perhitungan dipilih nilai koefisien korelasi yang tinggi. Nilai koefisien korelasi yang tinggi memiliki persebaran titik yang mendekati distribusi.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk melakukan pengujian dengan menggunakan *software* Minitab 14 ini adalah :

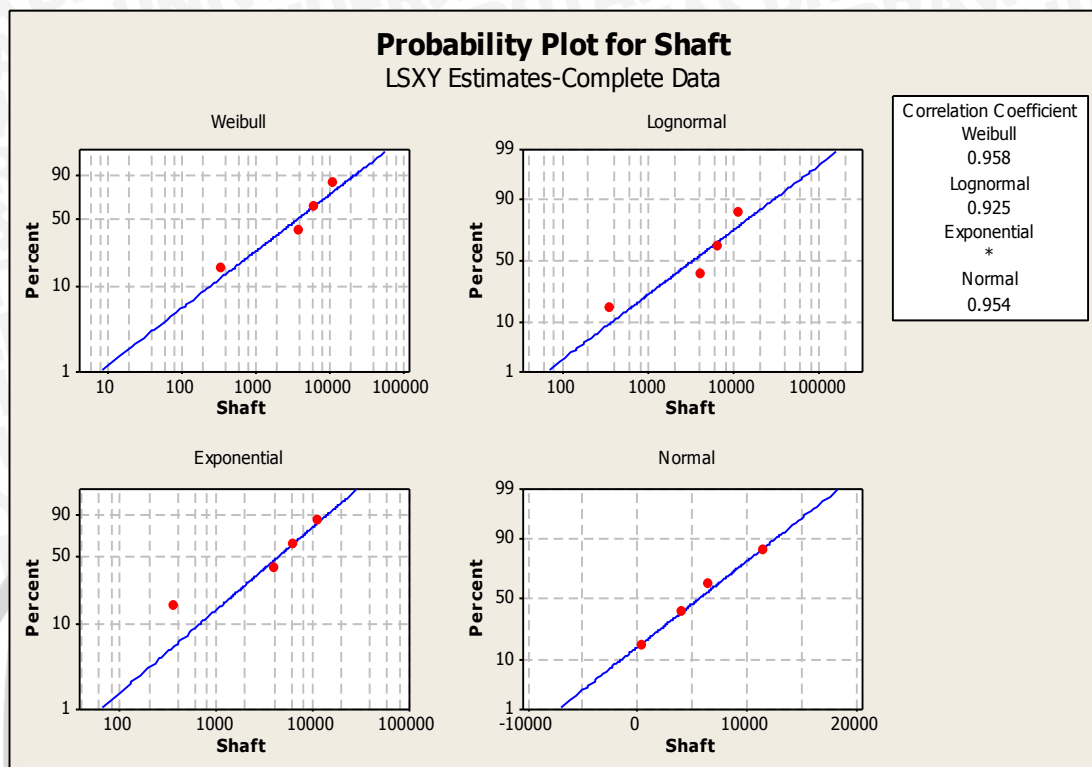
1. Buka program Minitab 16.
2. Di *New Worksheet* masukkan nilai variabel x (waktu antar kerusakan) pada kolom C1.
3. Pilih Stat > *Reliability Survival* > *Distribution Analysis (Right Censoring)* > *Distribution ID Plot*.



Gambar 4.5 *Distrbution* ID Plot Komponen *shaft*

4. Dalam *Variables*: masukan variabel *shaft* pada kolom C1.
5. Pilih *Specify*, untuk memilih distribusi yang akan di uji.
6. Klik Ok.

Hasil dari Penentuan Distribusi Waktu antar Kerusakan Komponen *Shaft*



Gambar 4.6 *Probability Plot* komponen *shaft*

Pada gambar 4.6 menunjukkan grafik plot dari distribusi weibull, lognormal, eksponensial, dan normal. Dari keempat *plot* data yang paling mendekati garis regresi linear dengan koefisien korelasi tertinggi adalah distribusi weibull. Oleh karena itu komponen *shaft* adalah berdistribusi weibull dengan nilai koefisien korelasi 0.958. Untuk mengetahui parameter komponen *shaft* yang berdistribusi weibull dapat dihitung secara manual dan dapat menggunakan *software* minitab untuk mendapatkan nilai parameter komponen *shaft*. Berikut adalah perhitungan manual penentuan parameter komponen *shaft* dan penentuan parameter *shaft* menggunakan *software* minitab.

- **Perhitungan Manual Penentuan Parameter Distribusi**

Setelah mengetahui komponen *shaft* berdistribusi weibull dari gambar 4.5, maka selanjutnya adalah menghitung parameter-parameter untuk distribusi weibull secara manual, parameternya adalah β dan θ . Berikut parameter perhitungan distribusi untuk komponen *shaft* menggunakan rumus pada persamaan (2-20), (2-21) dan persamaan (2-22)

$$b = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} = \frac{4(-301.40) - (33.337)(-37.603)}{4(265.405) - (32.338)^2} = 0.647$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} = -b \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = -0.647 \frac{32.337}{4} = -5.231$$

Setelah nilai b dan a diketahui, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai θ (parameter skala) dengan satuan jam dan β (parameter bentuk)

Perhitungan sebagai berikut

$$\theta = e^{-\left(-\frac{a}{b}\right)} = e^{-\left(-\frac{5.231}{0.647}\right)} = 3245.5 \text{ (jam)}$$

$$\beta = b = 0.647$$

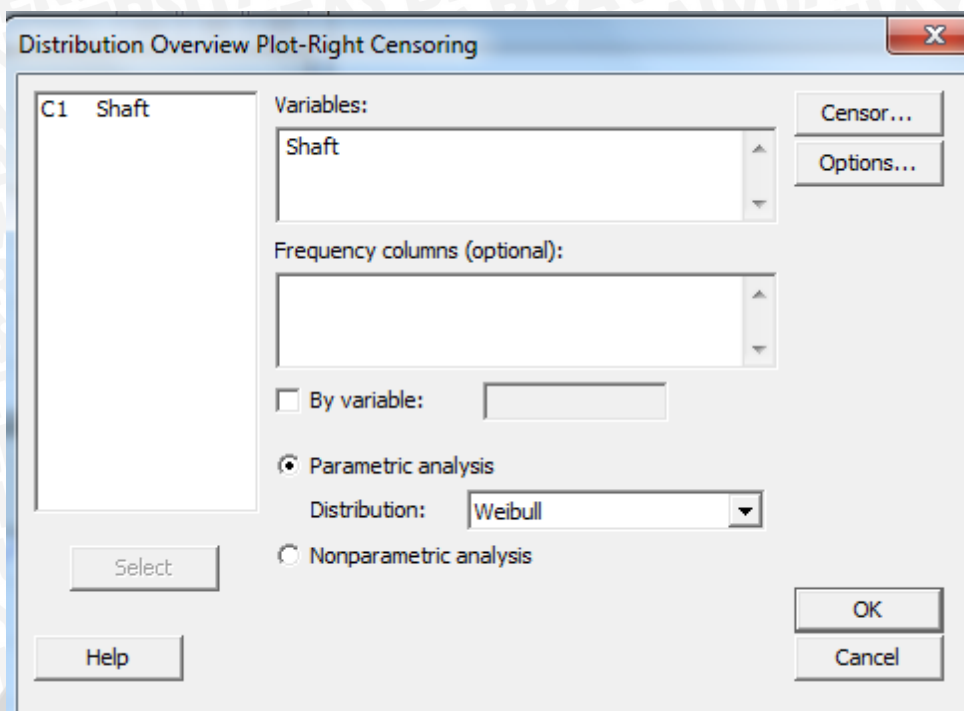
Tabel 4.5 Parameter Distribusi Weibull Manual

I	ti	xi = ln(ti)	F(ti)	Xi	Yi	ln F(ti)	yi	xi.yi	xi kuadrat	yi kuadrat
1	360	5.8861	1.0000	0.939	-10.3763	0.0000	-10.3763	-61.0763	34.646	107.6686
2	11496	9.3498	1.0001	0.851	-9.4890	0.0001	-9.4890	-88.7200	87.418	90.0415
3	4128	8.3255	1.0001	0.763	-9.0264	0.0001	-9.0264	-75.1495	69.315	81.4755
4	6480	8.7765	1.0002	0.675	-8.7113	0.0002	-8.7113	-76.4543	77.027	75.8863
Jumlah	22464	32.3379	4.0004	3.228	-37.6030	0.0004	-37.6030	-301.4	265.405	355.0718

• Perhitungan Parameter Distribusi Menggunakan Software Minitab

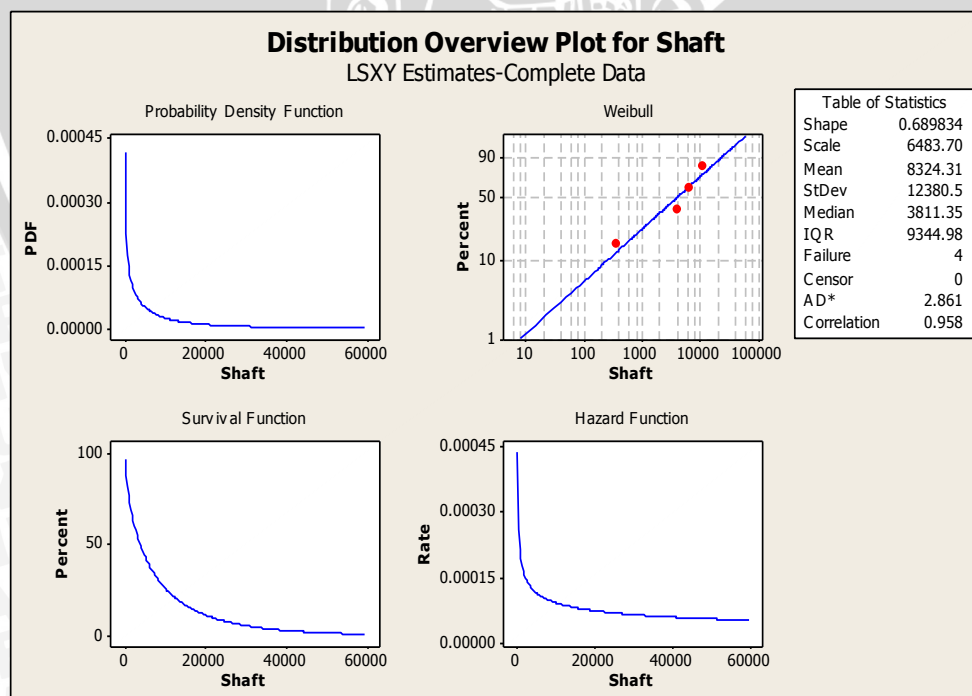
Untuk mendapatkan nilai parameter komponen *shaft* dengan berdistribusi weibull yaitu dengan *overview plot* dari data antar kerusakan menggunakan software minitab, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Pilih Stat > Reliability Survival > Distribution Analysis (Right Censoring) > Distribution Overview Plot



Gambar 4.7 Penentuan distribusi weibull untuk komponen *shaft*

2. Dalam *Variables*: masukan variabel *shaft* pada kolom C1
3. Pilih *Parametric analysis distribution weibull*
4. Klik ok



Gambar 4.8 Hasil Overview Plot Komponen *shaft*

. Dari gambar 4.8 komponen *Shaft* berdistribusi weibull memiliki 2 parameter yaitu shape (β) = 0.689834 dan scale (θ) = 6483.70. Nilai *shape* menunjukkan bentuk atau pola dari beberapa fungsi probabilitas seperti *probability density function*, *survival function*, dan *hazard function*

Hasil distribusi dan parameter untuk setiap komponen *crusher* adalah sebagai berikut

Tabel 4.6 Distribusi dan Parameter data waktu antar kerusakan

Crusher			
Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter	
		β	θ
<i>Timing Belt</i>	Weibull	1.331	717.816
<i>Gigi Crusher</i>	Weibull	0.603	2558.14
<i>Bearing</i>	Weibull	0.793	3455.28
<i>V-belt</i>	Weibull	0.681	5050.64
<i>Shaft</i>	Weibull	0.689	6483.7

Keterangan:

β = Parameter bentuk

θ = Parameter Skala

4.4.3 Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF)

Setelah melakukan pengujian distribusi maka akan didapatkan parameter waktu antar kerusakan (*time to failure*). Parameter distribusi yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan nilai *mean time to failure (MTTF)*.

Contoh perhitungan Komponen *Shaft*

1. Komponen *Shaft*

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

$\Gamma(x) = 1.77994$ (didapat dari tabel fungsi gamma)

$$MTTF = 6483.7 \Gamma(1 + \frac{1}{0.689834})$$

$$MTTF = 6483.7 \Gamma(2.45)$$

$$MTTF = 6483.7 (1.28421)$$

$$MTTF = 8324.31 \text{ (jam)}$$

Tabel 4.7 MTTF Komponen *Crusher*

Jenis Mesin	Nama Komponen	MTTF (Jam)
<i>Crusher</i>	<i>Timing Belt</i>	659.908
	<i>Gigi Crusher</i>	3821.05
	<i>Bearing</i>	3936.92
	<i>V-belt</i>	6564.91
	<i>Shaft</i>	8324.31

Hasil dari perhitungan MTTF menunjukkan bahwa semakin besar nilai MTTF maka komponen tersebut memiliki rentang waktu kerusakan yang lama. Sebaliknya jika semakin kecil nilai MTTF memiliki rentang waktu komponen untuk mengalami kerusakan yang cepat.

Dari hasil pengujian distribusi data menunjukkan bahwa komponen yang memiliki nilai MTTF tertinggi adalah *Shaft* sedangkan nilai MTTF terendah adalah *Timing Belt*. Jika nilai rata-rata waktu antar kerusakan tinggi maka akan semakin baik karena jika rata-rata waktu antar kerusakan rendah maka akan semakin sering terjadinya kegagalan yang menyebabkan produktivitas *crusher* yang dihasilkan tidak dapat memenuhi target, dan perusahaan akan mengalami kerugian.

4.5 Analisa *Reliability* Komponen Mesin *Crusher* dan Interval waktu pemeliharaan

Perhitungan *reliability* digunakan untuk mengukur keandalan dari suatu komponen. Perhitungan *reliability* tergantung dari bentuk distribusi komponen. Perhitungan *reliability* untuk setiap komponen kritis mesin *crusher* adalah sebagai berikut

a. Komponen *Timing Belt*

Bentuk distribusi dari komponen *timing belt* adalah weibull, maka dari itu untuk mengetahui keandalan komponen *timing belt* saat ini digunakan rumus keandalan untuk distribusi weibull. Sehingga perhitungan keandalannya menjadi sebagai berikut:

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

Keterangan:

$R(t)$ = keandalan mesin saat t (%)

t = nilai dari MTTF

β = parameter bentuk

θ = parameter skala

$$R(t) = e^{-\left(\frac{659.908}{717.816}\right)^{1.33127}}$$

$$R(t) = 0.29409$$

$$R(t) = 29.40 \%$$

Tingkat keandalan untuk komponen *timing belt* saat ini sebesar 29.40 %. Agar keandalan meningkatkan sebesar 90 % pada komponen *timing belt*, interval pemeliharaan yang bisa digunakan oleh perusahaan yaitu

Tabel 4.8 Nilai Keandalan Komponen *Timing Belt*

t	R(t)	R(t) %
12	0.980	98.0
24	0.961	96.1
36	0.942	94.2
48	0.924	92.4
60	0.906	90.6

Reliability (keandalan) komponen *timing belt* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90.6 % meningkat sebesar 61.2 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 29.40 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 60$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan.

b. Komponen Gigi *Crusher*

Bentuk distribusi dari komponen Gigi *Crusher* adalah weibull, maka dari itu untuk mengetahui keandalan komponen Gigi *Crusher* saat ini digunakan rumus keandalan untuk distribusi weibull. Sehingga perhitungan keandalannya menjadi sebagai berikut:

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{3821.05}{2558.14}\right)^{0.793792}}$$

$$R(t) = 0.4060$$

$$R(t) = 40.6 \%$$

Tingkat keandalan untuk komponen gigi *crusher* saat ini sebesar 40.6 %. Agar keandalan meningkatkan sebesar 90%. Oleh karena itu, untuk meningkatkan keandalan komponen gigi *crusher*, interval pemeliharaan yang bisa digunakan oleh perusahaan yaitu

Tabel 4.9 Nilai Keandalan Komponen Gigi *Crusher*

t	R(t)	R(t) %
192	0.955	95.5
240	0.944	94.4
288	0.934	93.4
336	0.923	92.3
384	0.913	91.3
432	0.903	90.3

Reliability (keandalan) komponen gigi *crusher* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90,3 % meningkat sebesar 49.7 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 40.6 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 432$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan.

c. Komponen *Bearing*

Bentuk distribusi dari komponen *bearing* adalah weibull, maka dari itu untuk mengetahui keandalan komponen *bearing* saat ini digunakan rumus keandalan untuk distribusi weibull. Sehingga perhitungan keandalannya menjadi sebagai berikut:

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{3936.92}{3455.28}\right)^{0.793792}}$$

$$R(t) = 0.3489$$

$$R(t) = 34.89 \%$$

Tingkat keandalan untuk komponen *bearing* saat ini sebesar 34.89 %. Agar keandalan meningkatkan sebesar 90 % pada komponen *bearing*, interval pemeliharaan yang bisa digunakan oleh perusahaan yaitu

Tabel 4.10 Nilai Keandalan Komponen *Bearing*

t	R(t)	R(t) %
336	0.925	92.5
360	0.920	92.0
384	0.915	91.5
408	0.910	91.01
432	0.905	90.5
456	0.900	90.0

Reliability (keandalan) komponen *bearing* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90 % meningkat sebesar 55.11 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 34.89 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 456$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan.

d. Komponen V-belt

Bentuk distribusi dari komponen V-belt adalah weibull, maka dari itu untuk mengetahui keandalan komponen V-belt saat ini digunakan rumus keandalan untuk distribusi weibull. Sehingga perhitungan keandalannya menjadi sebagai berikut:

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{6564.91}{5050.64}\right)^{0.681342}}$$

$$R(t) = 0.4124$$

$$R(t) = 41.24 \%$$

Tingkat keandalan untuk komponen V-belt saat ini sebesar 41.24 %. Agar keandalan meningkatkan sebesar 90 % pada komponen V-belt, interval pemeliharaan yang bisa digunakan oleh perusahaan yaitu

Tabel 4.11 Nilai Keandalan Komponen V-belt

t	R(t)	R(t) %
648	0.916	91.6
672	0.913	91.3
696	0.910	91.0
720	0.907	90.7
744	0.904	90.4
768	0.901	90.1

Reliability (keandalan) komponen V-belt setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90.01 % meningkat sebesar 48.86 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 41.24 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 768$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan.

e. Komponen *Shaft*

Bentuk distribusi dari komponen *shaft* adalah weibull, maka dari itu untuk mengetahui keandalan komponen *shaft* saat ini digunakan rumus keandalan untuk distribusi weibull. Sehingga perhitungan keandalannya menjadi sebagai berikut:

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

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{8324.31}{6483.7}\right)^{0.689834}}$$

$$R(t) = 0.4124$$

$$R(t) = 41.24 \%$$

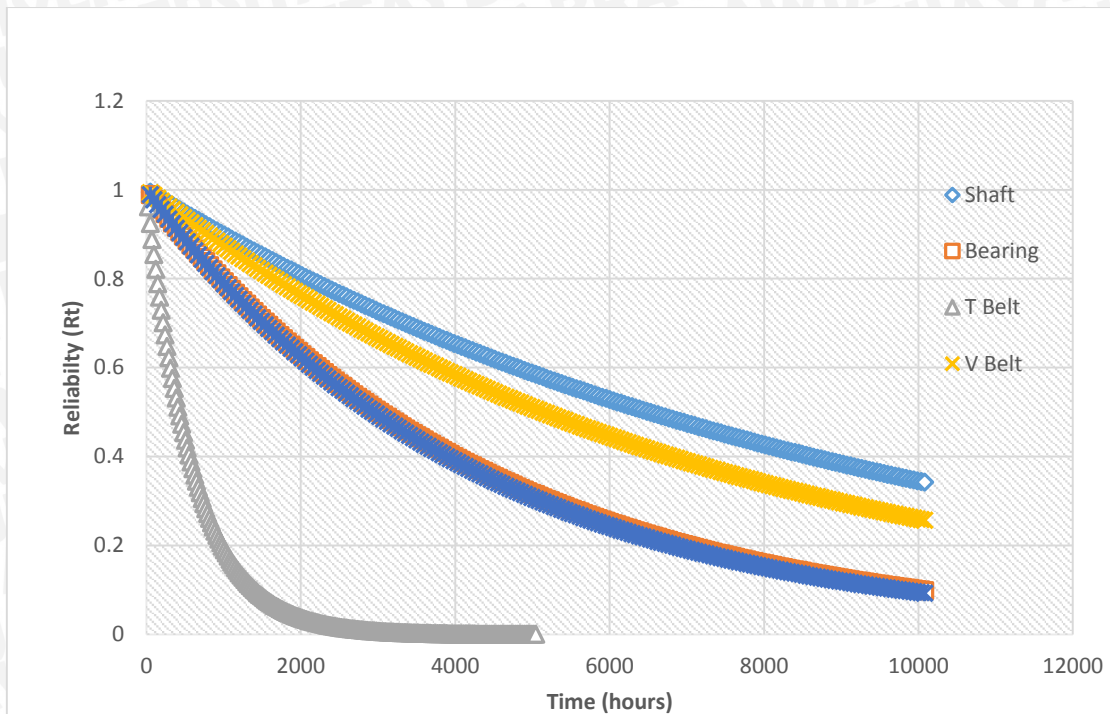
Tingkat keandalan untuk komponen *shaft* saat ini sebesar 41.24 %. Agar keandalan meningkatkan sebesar 90 % pada komponen *shaft*, interval pemeliharaan yang bisa digunakan oleh perusahaan yaitu

Tabel 4.12 Nilai Keandalan Komponen *Shaft*

t	R(t)	R(t) %
864	0.912	91.2
888	0.909	90.9
912	0.907	90.7
936	0.905	90.5
960	0.902	90.2
984	0.900	90.0

Reliability (keandalan) komponen *shaft* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90 % meningkat sebesar 48.76 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 41.24 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 984$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan.

Hasil perhitungan nilai *reliability* untuk masing-masing komponen *crusher* dihitung dengan interval waktu tertentu kemudian digambarkan kedalam grafik *reliability*.



Gambar 4.9 Grafik *Reliability* Komponen Kritis Mesin *Crusher* Terhadap Waktu

Hasil pengolahan dari data perhitungan *reliability* dapat ditunjukkan dari gambar 4.9. Dari gambar diatas menunjukan bahwa *reliability* komponen mesin *crusher* dipengaruhi oleh interval waktu, semakin panjang interval waktu penggunaan komponen mesin *crusher* maka *reliability* dari komponen mesin *crusher* semakin menurun. Dan grafik menunjukkan bahwa komponen *timing belt* memiliki nilai waktu yang lebih rendah daripada komponen *shaft*, *bearing*, gigi *crusher* dan *V-belt*.

4.6 RCM *Decision Worksheet*

Tahap selanjutnya adalah adalah *RCM Decision Worksheet* digunakan untuk mencari jenis kegiatan pemeliharaan yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode* pada mesin *crusher*. RCM untuk membantu menentukan *consequence* dan *proactive task* yang akan diberikan. Tindakan *proactive task* yang akan diberikan pada masing-masing bentuk kegagalan adalah secara teknis dan mudah dilakukan, Pengisian *decision worksheet* dibantu dengan *RCM decision diagram* pada lampiran 5.

Tabel 4.13 *Decision Worksheet* Komponen Crusher

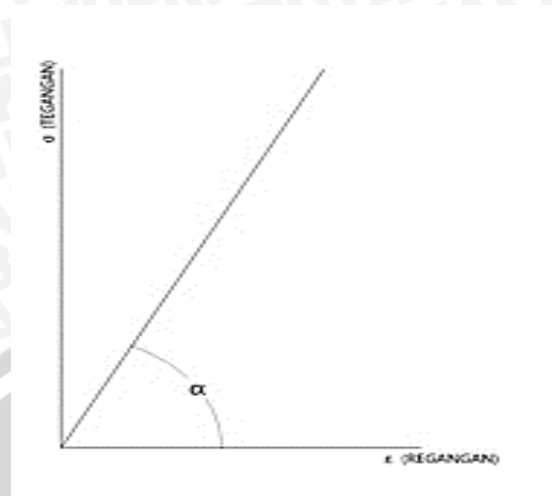
RCM Decision Worksheet				System: Double Roll Crusher				System No:					Facilitator:					
				Sub-System: PT. KPC				Sub-System No:					Auditor:					
Information reference				Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed Task			Initial Interval (hour)	Can be done by
								S1	S2	S3								
								O1	O2	O3								
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
1	A	A1	Y	N	N	Y	Y							Scheduled on-condition tasks	60	Mekanik		
		A2	Y	N	N	Y	N	Y						Restoration Task	432	Mekanik		
		A3	Y	N	N	Y	Y							Scheduled on-condition tasks.	456	Mekanik		
		A4	Y	N	N	Y	Y							Scheduled on-condition tasks.	768	Mekanik		
		A5	Y	N	N	Y	Y							Scheduled on-condition tasks.	984	Mekanik		

4.7 Pembahasan

1. Timing Belt

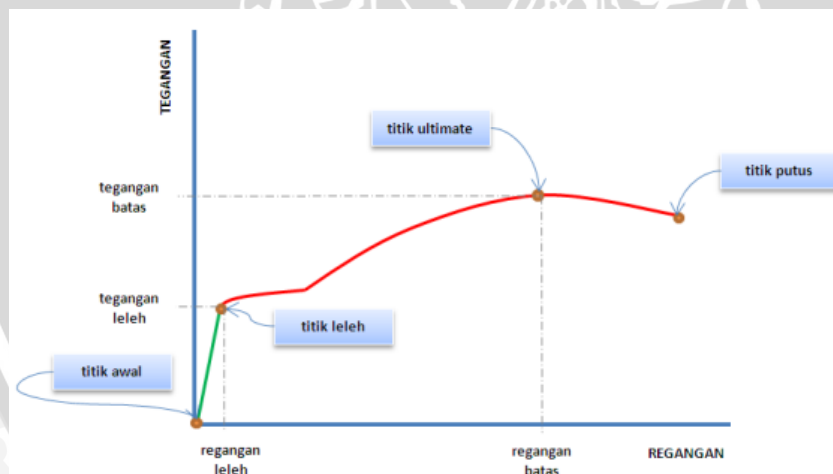
Pada mesin crusher terdapat 2 *timing belt*. *Timing Belt* pada komponen crusher berfungsi untuk mentransmisikan daya dari *top roller* ke *bottom roller*. Sehingga roll crusher dapat berputar dengan putaran *top roller* 300 rpm, *bottom roller* 420 rpm dengan putaran motor listrik sebesar 900 rpm dengan daya 75 hp. *Timing belt* yang terbuat *leather* atau karet memiliki sifat elastis yaitu apabila diberi beban maka akan kembali seperti semula apabila beban dihilangkan. *Timing belt* yang terus berputar secara terus menerus dapat menyebabkan terjadinya aus pada *belt* maupun *pulley* yang dapat menyebabkan *belt* putus. Selanjutnya penyebab terjadinya kegagalan *timing belt* adalah tegangan pada *timing belt*. Apabila tegangan dari *timing belt* kendur dapat menyebabkan terjadinya slip sedangkan apabila tegangan pada *timing belt* terlalu tinggi melebihi batas maksimum tegangan maka dapat menyebabkan *belt*

putus. Pada *belt* dalam kondisi elastis, besarnya gaya berbanding lurus dengan besarnya deformasi.



Gambar 4.7 Diagram Tegangan Regangan Berbanding Lurus

Namun ada suatu keadaan dimana jika gaya atau beban yang bekerja pada benda tersebut ditambah besarnya, benda tersebut tidak bisa kembali ke bentuk semula atau kembali seperti sebelum benda tersebut berdeformasi



Gambar 4.8 Diagram Tegangan Regangan

Gambar 4.8 dimulai dari titik awal (tegangan = 0 dan regangan = 0) hingga mencapai titik putus/runtuh. Disini terlihat, bahwasanya saat deformasi benda sudah mencapai batas elastisnya (sudah mencapai titik leleh), benda tidak langsung putus, tetapi mengembangkan regangannya terlebih dahulu hingga mencapai titik batasnya baru kemudian putus. Benda ini disebut benda *ductile* yaitu sanggup mengembangkan regangannya sampai batas maksimal setelah terjadi pelelehan (mencapai titik leleh). Semakin daktail suatu benda, maka semakin

besar benda tersebut bisa mengembangkan regangan diatas titik lelehnya (kurva warna merahnya semakin panjang), dan sebaliknya semakin tidak daktil suatu benda, maka semakin kecil benda tersebut bisa mengembangkan regangan diatas titik lelehnya (kurva warna merahnya semakin pendek)

Oleh karena itu pada komponen *Timing belt* tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah *On Condition Task* atau *predictive maintenance* yaitu melakukan pengecekan pada *pulley* dan *Timing belt* apakah mengalami aus dan cek tegangan dari *timing belt* untuk menemukan *potential failure*

2. Gigi Crusher

Gigi crusher pada roll crusher berfungsi untuk menggerus batubara dari ukuran 900mm ke ukuran 50 mm. Gigi crusher yang digunakan untuk menggerus batubara secara terus menerus dapat menyebabkan aus. Aus adalah hilangnya bahan atau bagian dari permukaan gigi crusher. Salah satu penyebab kegagalan gigi crusher yaitu proses *hardfacing* yang belum dilakukan kembali pada gigi crusher. *Hardfacing* adalah suatu metode pelapisan permukaan material dasar dengan menggunakan energi panas untuk memperoleh ketahanan terhadap aus. Dalam proses *hardfacing* terjadi proses peleburan antara material pelapis dan material dasar sehingga ikatan ikatan metalurgi akan semakin kuat.

Pada komponen Gigi crusher tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan adalah *Scheduled restoration task*, yaitu perbaikan komponen crusher yang aus dengan melakukan *hardfacing* pada gigi crusher.

3. Bearing

Bearing atau bantalan pada roll crusher terdapat 8 buah. Bearing di PT. KPC merupakan jenis bantalan gelinding. Bantalan gelinding memiliki koefisien paling rendah dari jenis bantalan lainnya. Fungsi dari bearing adalah untuk menjaga poros agar berputar terhadap sumbu porosnya. Penyebab kegagalan pada bearing adalah Pemasangan yang salah pada bearing yang mempunyai toleransi kesesuaian pemasangan antara bearing dan *shaft*. Penyebab kegagalan lain bearing adalah abrasi yaitu masuknya kotoran kedalam bearing menyebabkan keausan dini karena kotoran tersebut akan menyebabkan permukaan bearing menjadi kasar.

Pada komponen Bearing tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan adalah *On Condition Task* atau *predictive maintenance* yaitu melakukan tindakan dengan menggunakan peralatan yang mampu memonitor *primary effect* (efek utama). Teknik ini dimonitor langsung oleh operator dengan mengamati melalui sistem komputer. Periksa vibrasi pada semua bearing

Selanjutnya dilakukan pengecekan pada *grease*, dengan penggunaan indera kemanusiaan yang dimiliki oleh operator (*look, listen/sound, feel/touch & smell*) untuk menemukan *potential failure*

4. V-Belt

V-Belt yang terbuat *leather* atau karet memiliki sifat elastis yaitu apabila diberi beban maka akan kembali seperti semula apabila beban dihilangkan. V-Belt yang terus berputar secara terus menerus dapat menyebabkan terjadinya aus yang menyebabkan *belt* putus. Selanjutnya penyebab terjadinya kegagalan V-Belt adalah tegangan pada V-Belt. Apabila tegangan dari V-Belt kendur dapat menyebabkan terjadinya slip sedangkan apabila tegangan pada V-Belt terlalu tinggi melebihi batas maksimum tegangan maka dapat menyebabkan *belt* putus

Oleh karena itu pada komponen V-belt tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah *On Condition task* atau *predictive maintenance* yaitu melakukan pengecekan pada *pulley* dan V-belt apakah mengalami aus dan cek tegangan dari V-belt untuk menemukan *potential failure*

5. Shaft

Shaft pada PT. KPC terdapat 8 buah. Pada bagian *bottom* dan *top roller* terpasang *Stub Shaft* dan *secondary stub shaft*, perbedaan dari *shaft* tersebut adalah hanya beda panjangnya, sementara untuk diameter *shaft* tetap sama. Material dari *shaft* adalah tipe AISI 4140 dimana *tensile strength* sebesar 655 MPa dan *yield strength* 415 MPa. Penyebab kegagalan *shaft* adalah karena beban secara berulang yang dapat menyebabkan terjadi *crack* pada *shaft*. Formasi dipicu oleh inti yang retak yang dapat berawal dari lokasi yang paling lemah kemudian terjadi pembebanan secara bolak balik sehingga terjadi perambatan retak hingga mencapai ukuran retak kritis dan akhirnya gagal.

Pada komponen *Shaft* tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah *On Condition Task* atau *predictive maintenance* yaitu melakukan tindakan dengan menggunakan teknik *condition monitoring* pada komponen *Shaft*. Teknik ini menggunakan peralatan khusus untuk melakukan monitor terhadap komponen. Tindakan *maintenance* yang diberikan dengan menggunakan teknik ini adalah pendeteksian kegagalan pada *Shaft* menggunakan alat untuk mengukur *balancing* pada *Shaft* dan menggunakan alat *shaft crack test*. Selanjutnya dilakukan pengecekan kondisi / kekencangan baut-baut *shaft* pastikan tidak ada yg kendur .

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Komponen kritis dari nilai RPN dari yang terbesar ke yang terendah adalah *Timing Belt*, *Gigi Crusher*, *Bearing*, *V-belt*, dan *Shaft*
2. Dari *RCM Information Worksheet* dapat diketahui tindakan pemeliharaan untuk komponen - komponen mesin *crusher*. Tindakan pemeliharaannya adalah sebagai berikut
 - a. *Scheduled On Condition Task* untuk komponen *Shaft*, *Bearing*, *V-belt*, *Timing Belt*
 - b. *Scheduled Restoration Task* untuk komponen gigi *crusher*
3. Nilai keandalan sangat dipengaruhi oleh waktu, semakin lama waktu komponen dipakai, maka nilai keandalan dari komponen tersebut akan semakin berkurang. Besar peningkatan nilai keandalan masing-masing komponen adalah sebagai berikut:
 - a. *Reliability* (keandalan) komponen *timing belt* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90.6 % meningkat sebesar 61.2 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 29.40 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 60$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan *on condition task*.
 - b. *Reliability* (keandalan) komponen gigi *crusher* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90,3 % meningkat sebesar 49.7 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 40.6 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 432$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan *scheduled restoration task*.
 - c. *Reliability* (keandalan) komponen *bearing* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90 % meningkat sebesar 55.11 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 34.89 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 456$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan *on condition task*.
 - d. *Reliability* (keandalan) komponen *V-belt* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90.01 % meningkat sebesar 48.86 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 41.24 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 768$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan *on condition task*.
 - e. *Reliability* (keandalan) komponen *shaft* setelah dilakukan interval pemeliharaan adalah 90 % meningkat sebesar 48.76 % dari nilai *reliability* saat ini yaitu 41.24 %. Oleh karena itu setiap selang waktu $t = 984$ jam diusulkan untuk melakukan tindakan pemeliharaan.

5.2 Saran

1. Perusahaan mempertimbangkan kajian penelitian ini untuk dapat dijadikan acuan dalam proses melakukan perancangan pemeliharaan untuk setiap komponen. Oleh karena itu tindakan pemeliharaan dan interval pemeliharaan yang dasarankan untuk perusahaan adalah

a. *Timing belt*

Pada komponen *Timing belt* tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah *On Condition Task* atau *predictive maintenance* dengan interval waktu pemeliharaan untuk komponen *timing belt* adalah 60 jam.

b. *Gigi Crusher*

Pada komponen *Gigi crusher* tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah *Scheduled restoration task* dengan interval pemeliharaan untuk komponen *gigi crusher* adalah 432 jam

c. *Bearing*

Pada komponen *Bearing* tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah *On Condition Task* dengan interval waktu pemeliharaan untuk komponen *bearing* adalah 456 jam

d. *V-Belt*

Pada komponen *V-belt* tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah *On Condition Task* atau *predictive maintenance* dengan interval waktu pemeliharaan untuk komponen *V-belt* adalah 768 jam

e. *Shaft*

Pada komponen *Shaft* tindakan pemeliharaan yang dilakukan adalah *On Condition Task* atau *predictive maintenance* dengan interval waktu pemeliharaan untuk komponen *shaft* adalah 984 jam



DAFTAR PUSTAKA

- Arina, Faula. 2013. *Penentuan Keandalan Dengan Menggunakan Relibility Block Diagram (RBD) Yang Berkonfigurasi Redudant Pada Mesin Boiler Di PT.XYZ*. Bandung: Universitas Untirta
- Assauri, Sofyan. 1999. “*Manajemen Produksi Dan Operasi Edisi Keempat*”. Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- Ben-Daya, M. 2000. *You May Need RCM to Enhance TPM Implementation*. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 6(2).
- Dhillon, B, S, 2002, *Engineering Maintenance A Modern Approach*, New York: Boca Raton CRC Press
- Ebelling, E, Charles. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, Singapore.
- Islamidina, Farisa. *Implementasi Teknik Keandalan Untuk Mengoptimalkan Interval Perawatan Pada Sistem Coal Feeder (Studi Kasus: PT. PJB UP Paiton)*. Malang: Universitas Brawijaya
- Moubray, John. 1997. “*Reliability Centered Maintenance*”. Second Edition, Penerbit Industrial Press Inc, New York.
- Novitasari, Devi. 2010. *Analisis Overall Equipment Efectiveness Pada Rencana Implementasi Reliability Centered Maintenance Sebagai Dasar Penentuan Kebijakan Perawatan (Studi Kasus: Gas Turbine Generator PT Pupuk Kaltim Utiliy K-3)*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Prawira, Ivan Hadi. 2013. *Perencanaan Jadwal Perawatan Guna Peningkatan Kerja Belt Conveyor Di PT. PJB (Pembangkit Jawa Bali) Up Brantas*. Malang: Universitas Brawijaya
- Sudrajat, Ating, 2011, *Manajemen Perawatan Mesin Industri*, Bandung : Refika Aditama
- Soesetyo, Ivan. 2014. *Penjadwalan Predictive Maintenance dan Biaya Perawatan Mesin Pellet di PT Charoen Pokphand Indonesia - Sepanjang / Jurnal Titra*, Vol. 2, No.2, Juni 2014.

Lampiran 1. Perhitungan MTTF Komponen *Crusher*

1. Komponen *Bearing*

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

$$MTTF = 3455.28 \Gamma(1 + \frac{1}{0.793792})$$

$$MTTF = 3455.28 \Gamma(2.26)$$

$$MTTF = 3455.28 (1.13954)$$

$$MTTF = 3936.92 \text{ (jam)}$$

2. Komponen *Timing Belt*

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

$$MTTF = 717.82 \Gamma(1 + \frac{1}{1.33127})$$

$$MTTF = 717.82 \Gamma(1.751)$$

$$MTTF = 717.82 (0.91906)$$

$$MTTF = 659.908 \text{ (jam)}$$

3. Komponen *V Belt*

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

$$MTTF = 5050.64 \Gamma(1 + \frac{1}{0.681342})$$

$$MTTF = 5050.64 \Gamma(2.47)$$

$$MTTF = 5050.64 (1.30188)$$

$$MTTF = 6564.91 \text{ (jam)}$$

4. Komponen *Gigi Crusher*

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

$$MTTF = 2558.14 \Gamma(1 + \frac{1}{0.603375})$$

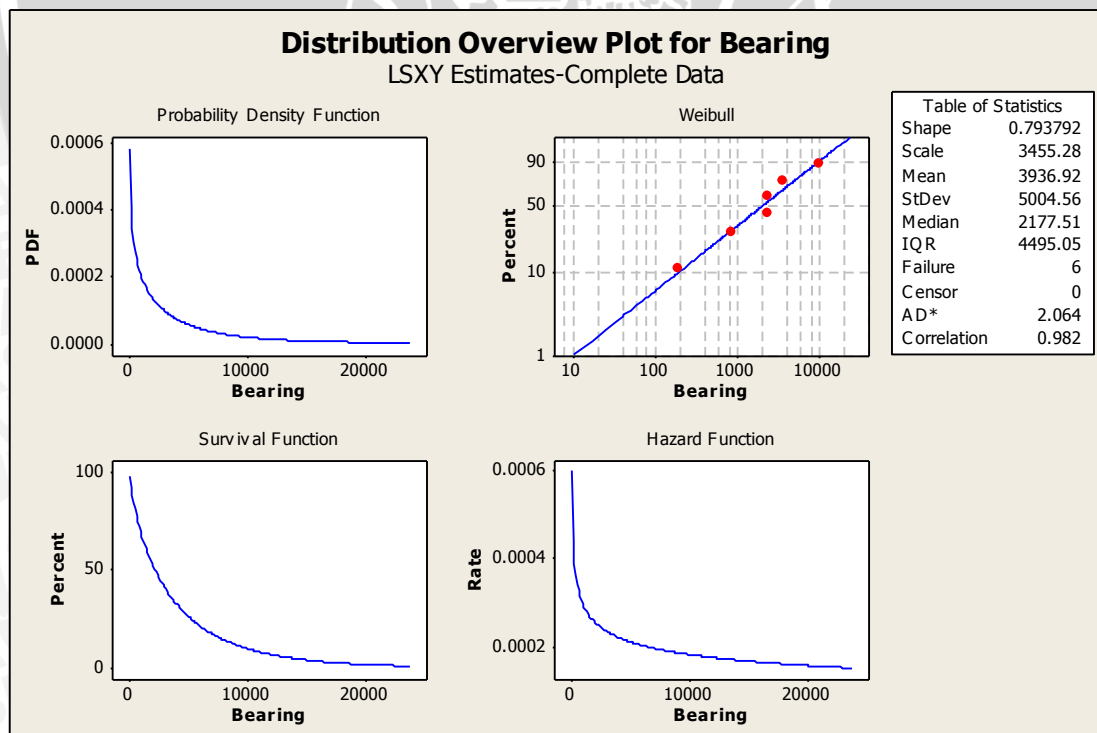
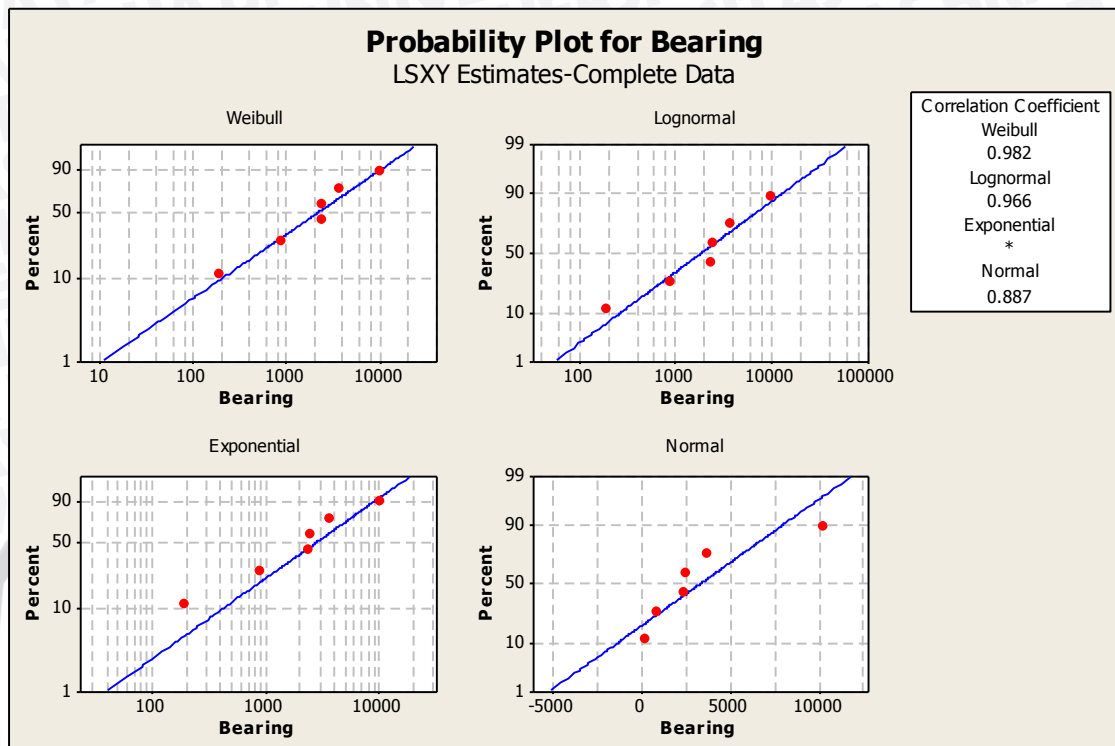
$$MTTF = 2558.14 \Gamma(2.66)$$

$$MTTF = 2558.14 (1.49677)$$

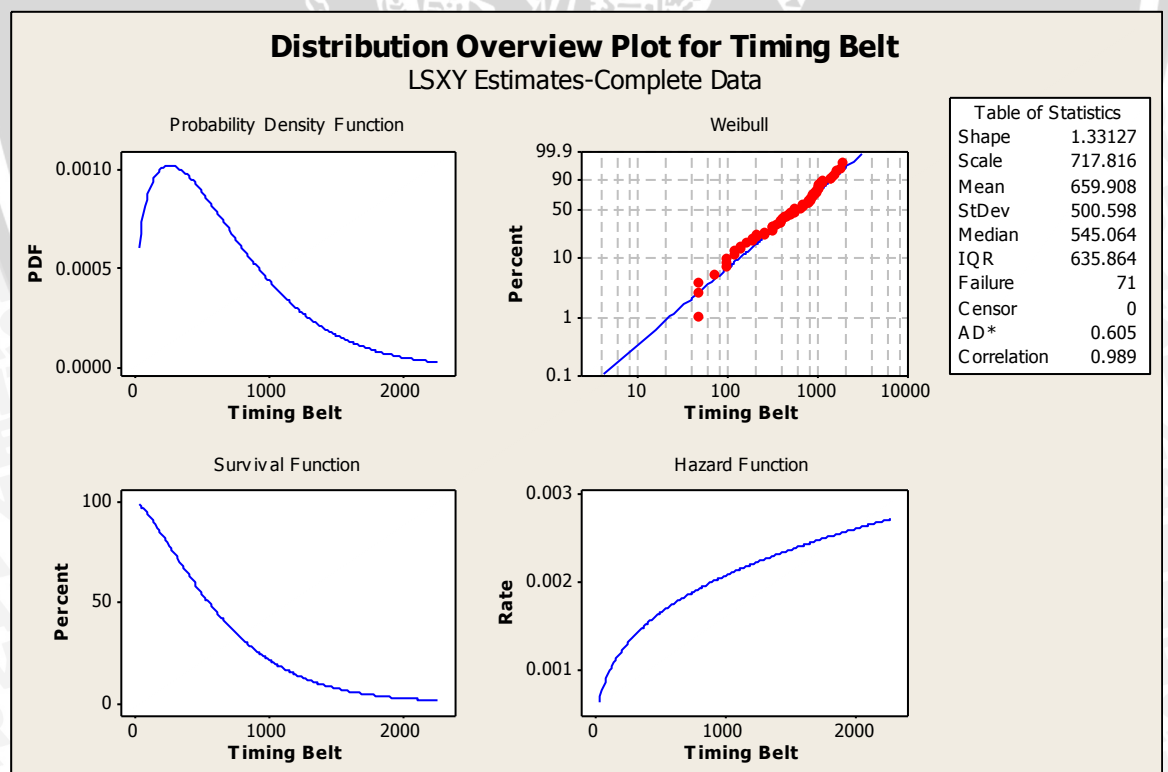
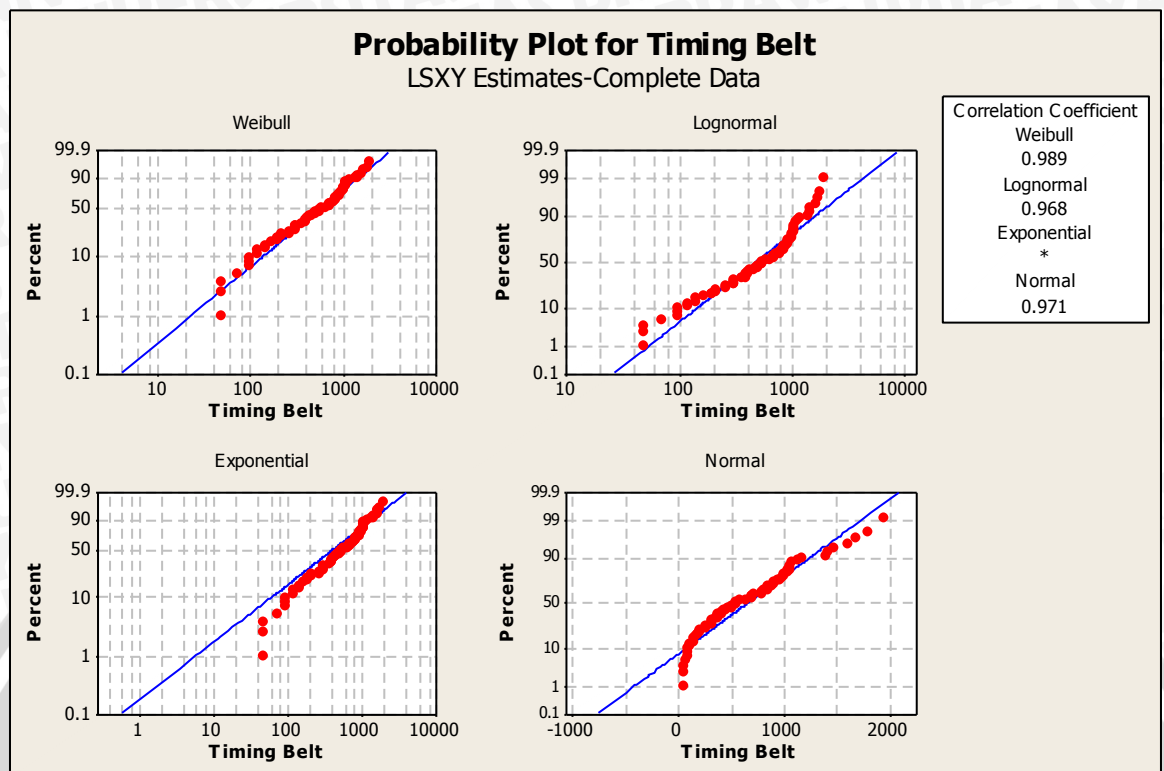
$$MTTF = 3821.05 \text{ (jam)}$$

Lampiran 2. *Probabilty Plot dan Distribution Overview Plot*

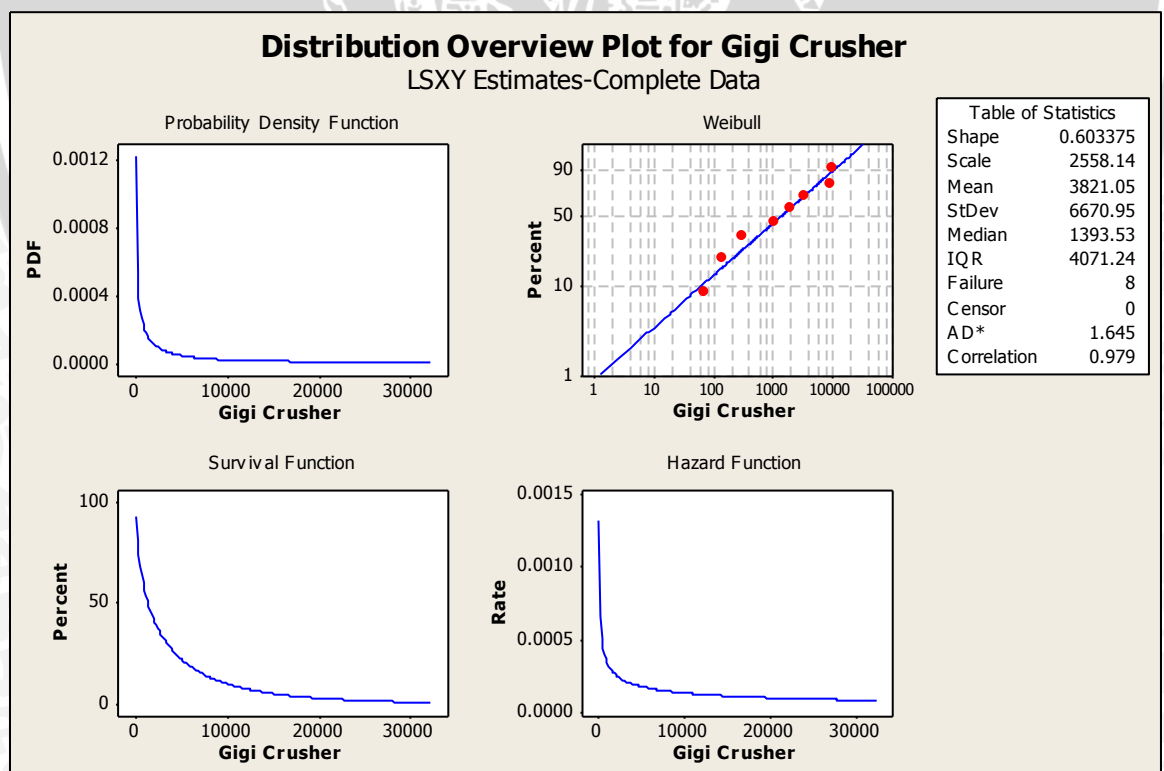
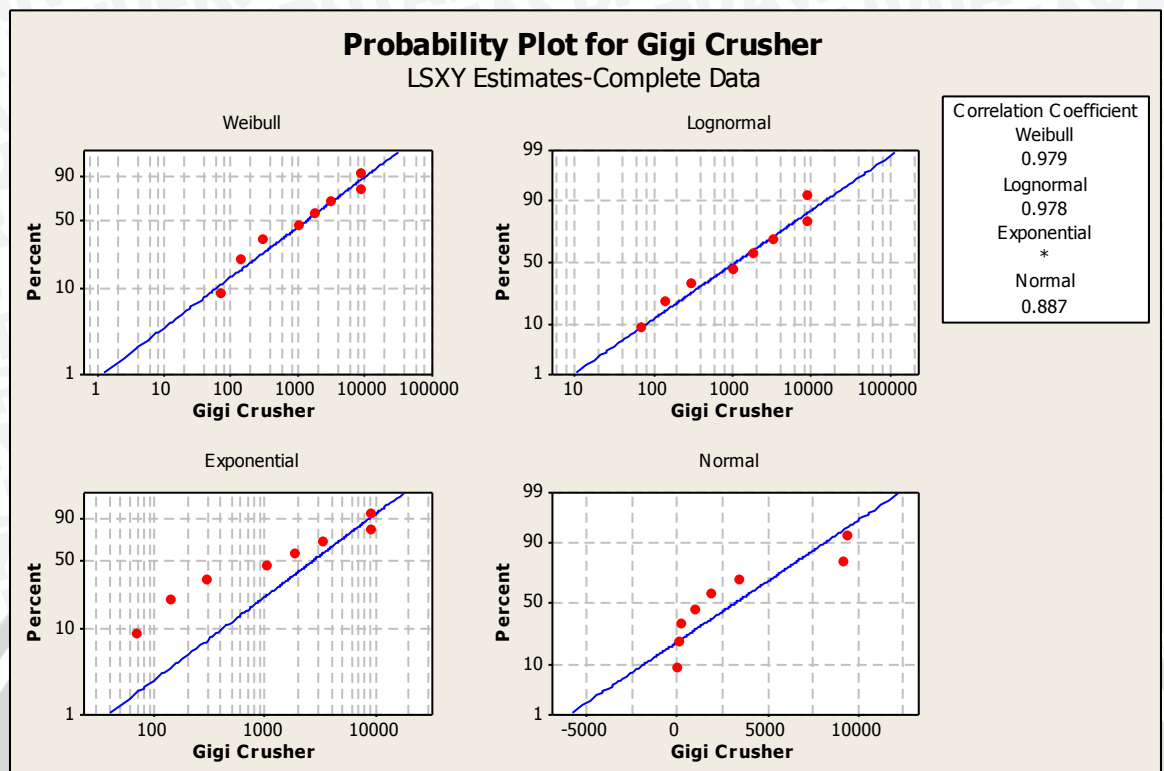
1. Gambar *Probabilty Plot dan Distribution Overview Plot* Komponen Bearing



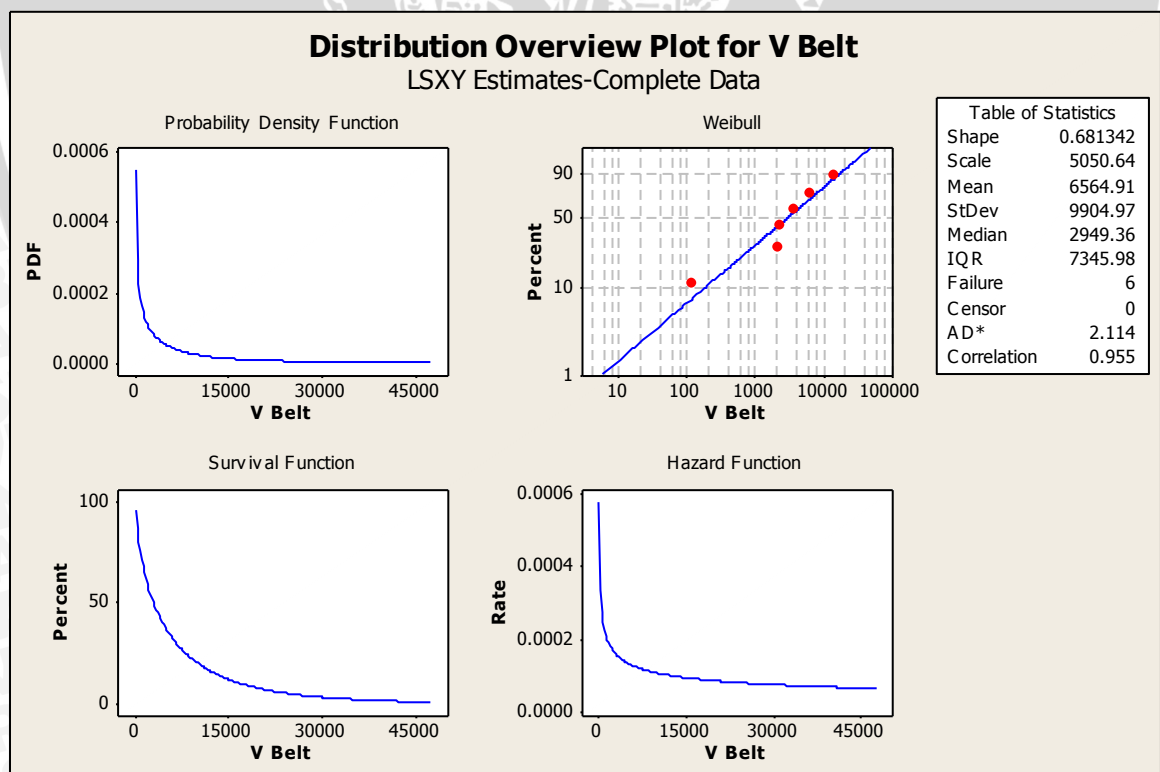
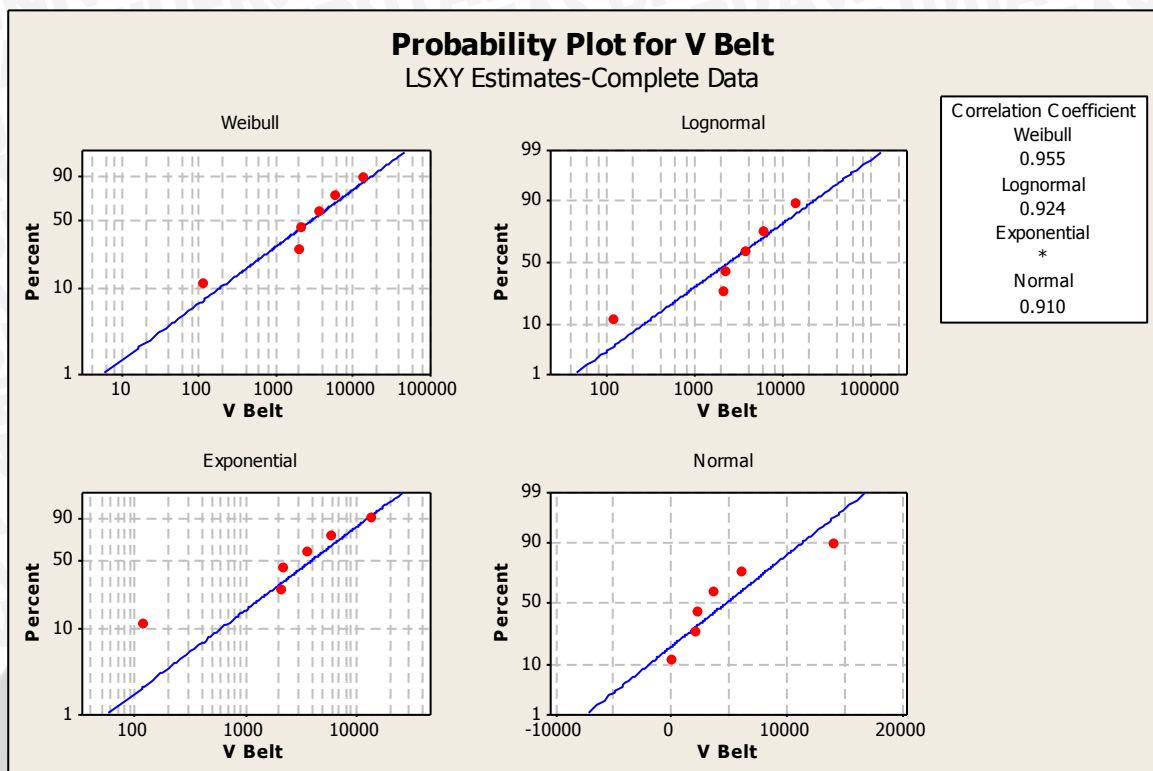
2. Gambar Probability Plot dan Distribution Overview Plot Komponen Timing Belt



3. Gambar *Probability Plot* dan *Distribution Overview Plot* Komponen Gigi Crusher



4. Gambar *Probability Plot* dan *Distribution Overview Plot* Komponen V Belt



Lampiran 3 Data Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama perbaikan

a. Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan *Shaft*

Shaft		
Tanggal	Waktu Antar Kerusakan (Jam)	Waktu Lama Perbaikan
14-06-12	-	2.2
29-06-12	360	0.9
21-10-13	11496	4.1
11-04-14	4128	8.3
03-01-15	6480	7.2

b. Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan *Bearing*

Bearing		
Tanggal	Waktu Antar Kerusakan (Jam)	Waktu Lama Perbaikan
03-02-13		0.8
11-02-13	192	0.1
25-05-13	2472	0.3
26-07-14	10248	0.2
27-12-14	3696	1.9
02-02-15	888	0.4
14-05-15	2424	0.2

c. Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan *Timing Belt*

Timing Belt		
Tanggal	Waktu Antar Kerusakan (Jam)	Waktu Lama Perbaikan
12-01-10		1.10
02-02-10	504	2.00
15-02-10	312	0.50
03-03-10	384	1.20
23-05-10	1944	0.80
11-07-10	1176	0.80
09-08-10	696	0.80
01-09-10	552	0.60
28-09-10	648	1.60
27-10-10	696	0.50
09-12-10	1032	1.30
05-02-11	1392	0.80
18-02-11	312	0.50
04-05-11	1800	0.70
17-06-11	1056	1.00
02-07-11	360	0.80

Tanggal	Waktu Antar Kerusakan (Jam)	Lama Perbaikan
15-08-11	1056	0.50
17-09-11	792	0.70
07-10-11	480	0.70
30-10-11	552	1.40
07-11-11	192	1.40
15-12-11	888	1.40
23-01-12	936	2.30
27-01-12	96	0.80
05-02-12	216	1.70
07-02-12	48	0.80
18-02-12	264	2.40
22-02-12	96	0.80
27-02-12	120	0.70
05-04-12	912	1.40
07-04-12	48	0.70
07-05-12	720	0.80
13-05-12	144	0.70
11-06-12	696	2.00
27-06-12	384	0.40
11-07-12	312	1.40
13-07-12	48	0.60
19-07-12	144	0.80
27-07-12	192	1.10
05-09-12	960	0.90
18-10-12	1032	1.10
22-10-12	72	1.30
14-11-12	552	0.70
19-12-12	840	1.50
24-12-12	120	1.10
11-01-13	432	0.50
14-02-13	816	1.30
27-02-13	312	1.10
18-03-13	456	1.20
24-05-13	1608	2.00
05-07-13	984	0.70
13-09-13	1680	2.10
30-10-13	1128	1.30
30-12-13	1464	0.50
13-02-14	1080	1.30
24-02-14	264	0.50
12-03-14	384	0.70
05-04-14	576	3.00
17-05-14	1008	1.10
24-05-14	168	0.50
26-06-14	792	1.50
09-08-14	1056	0.80

Tanggal	Waktu Antar Kerusakan (Jam)	Lama Perbaikan
13-08-14	96	0.80
11-10-14	1416	0.40
28-10-14	408	0.80
18-11-14	504	0.50
23-12-14	840	1.00
09-01-15	408	0.70
18-01-15	216	1.30
22-02-15	840	0.90
01-04-15	912	0.90
13-05-15	1008	1.80

d. Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan Gigi *Crusher*

Gigi Crusher		
Tanggal	Waktu Antar Kerusakan (Jam)	Waktu Lama Perbaikan
14-06-12		2.2
05-07-13	9264	0.7
08-07-13	72	0.5
14-07-13	144	0.1
27-07-13	312	0.2
10-09-13	1080	0.2
28-11-13	1896	0.7
21-04-14	3456	0.2

e. Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan V Belt

V Belt		
Tanggal	Waktu Antar Kerusakan (Jam)	Waktu Lama Perbaikan (Jam)
09-04-10		0.20
20-11-11	14160	3.30
24-05-13	13224	2.00
22-07-13	1416	1.20
31-03-14	6048	0.40
08-09-14	3864	0.40
27-09-14	456	0.10
01-10-14	96	0.10
11-10-14	240	0.40
14-11-14	816	0.50

Lampiran 4. Tabel Gamma

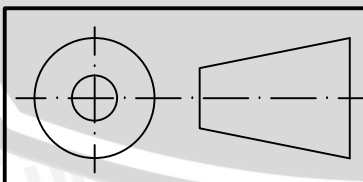
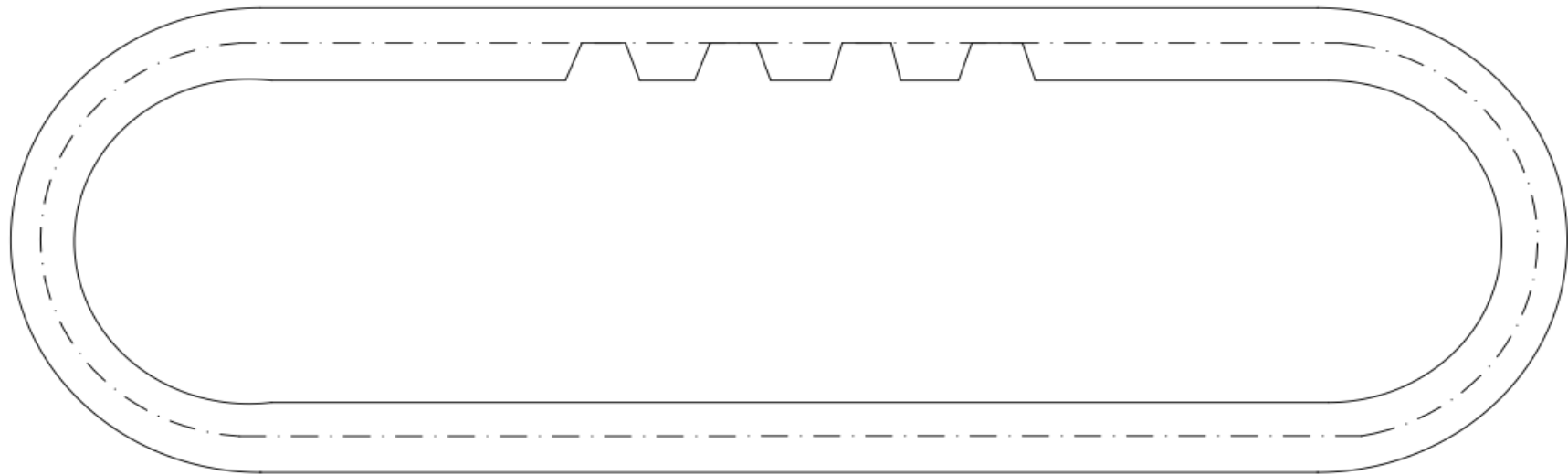
x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1.01	.99433	1.51	.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	.98884	1.52	.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	.98355	1.53	.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	.97844	1.54	.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	.97350	1.55	.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	.96874	1.56	.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	.96415	1.57	.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	.95973	1.58	.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	.95546	1.59	.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	.95135	1.60	.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	.94740	1.61	.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	.94359	1.62	.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	.93993	1.63	.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	.93642	1.64	.89864	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	.93304	1.65	.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	.92980	1.66	.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	.92670	1.67	.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	.92373	1.68	.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	.92089	1.69	.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	.91817	1.70	.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	.91558	1.71	.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	.91311	1.72	.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	.91075	1.73	.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	.90852	1.74	.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	.90640	1.75	.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	.90440	1.76	.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	.90250	1.77	.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	.90072	1.78	.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	.89904	1.79	.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	.89747	1.80	.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	.89600	1.81	.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	.89464	1.82	.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	.89338	1.83	.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	.89222	1.84	.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	.89115	1.85	.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938
1.36	.89018	1.86	.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	.88931	1.87	.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	.88854	1.88	.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	.88785	1.89	.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	.88726	1.90	.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	.88676	1.91	.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	.88636	1.92	.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	.88604	1.93	.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	.88581	1.94	.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	.88566	1.95	.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	.88560	1.96	.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92811
1.47	.88563	1.97	.98769	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	.88575	1.98	.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	.88595	1.99	.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	.88623	2.00	1	2.50	1.32934	3.00	2

© 1991 Aladon Ltd

Lampiran 6 Spesifikasi Mesin *Double Roll Crusher*

Motor		
1	P (Hp)	75
2	n (rpm)	970
3	Starting torque / lock rotor torque %	200
4	staal torque %	350
5	pole	6
6	slip %	3
Pulley Mass		
1	mass (kg)	200
2	Diameter (mm)	320
Fly Wheel Mass		
1	mass (kg)	810
2	Diameter (mm)	1335
3	rpm	231
Shaft		
1	length (mm)	2842
2	mass (kg)	342.4
4	D (mm)	106
6	Jb (mm4)	12388055.2
Pulley Motor		
1	Diameter (mm)	317.5
Volume Crusher		
1	Untuk stage 1 (m3)	1.67
2	Untuk stage 2 (m3)	3.05
Massa Batu bara di shaft crusher		
1	Untuk stage 1 (ton)	1.33
2	Untuk stage 2 (ton)	2.44
Crusher		
1	Stage 1 Diameter (mm)	498.5
2	Stage 2 Diameter (mm)	502





SKALA : 1:2

SATUAN : mm

TANGGAL:14/08/15

DIGAMBAR : Marita Ayu K.

DEPT : MESIN

DILIHAT :

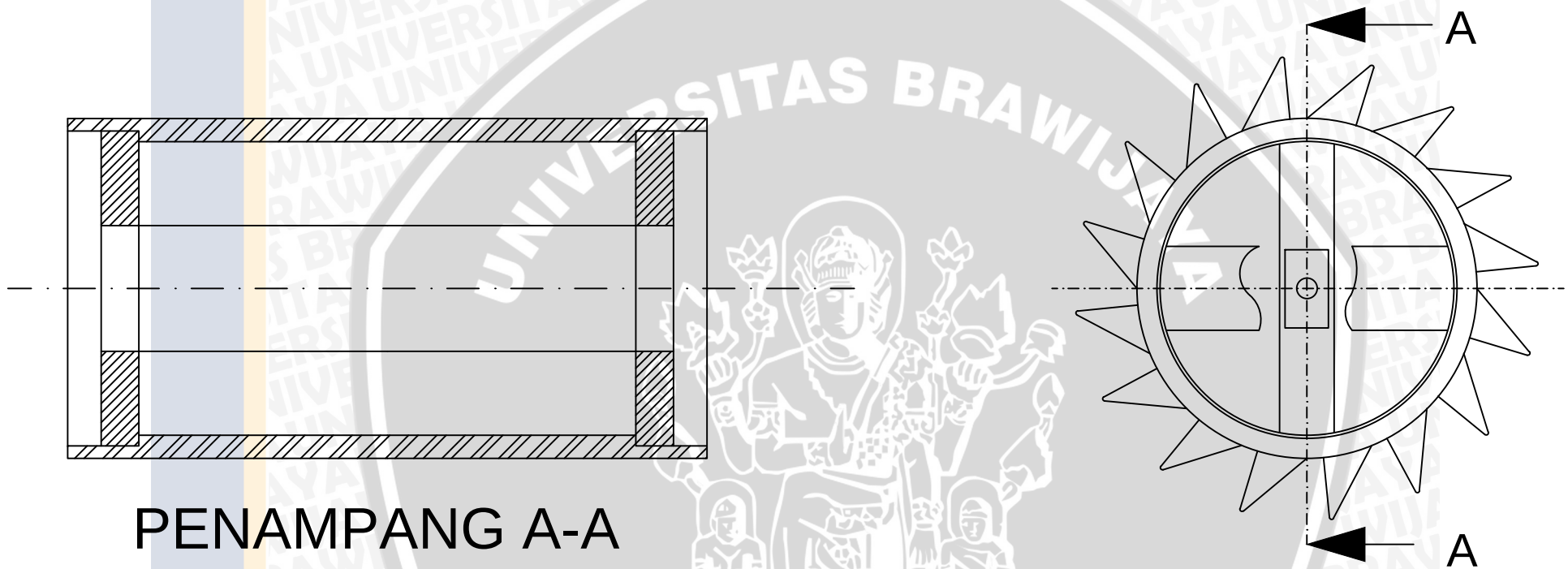
PERINGATAN :

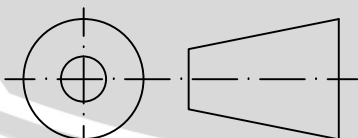
TEKNIK MESIN FT UB

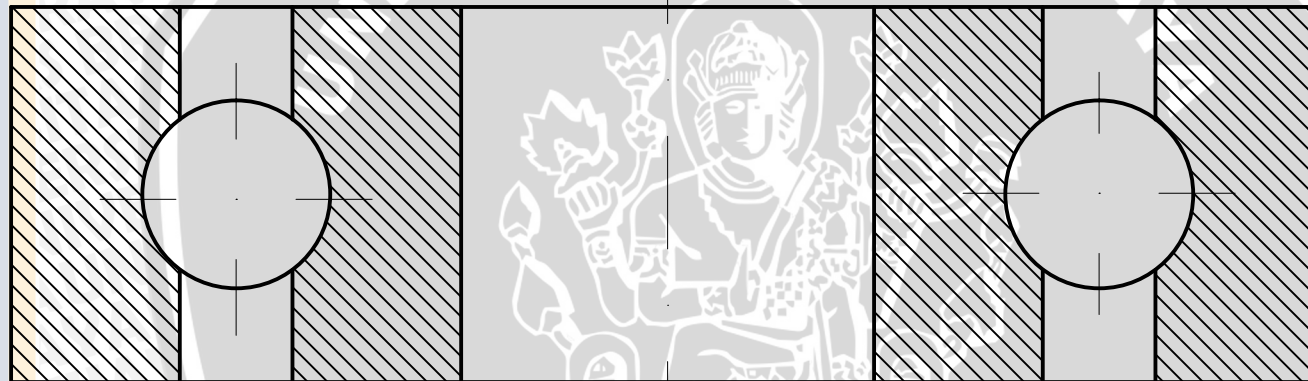
TIMING BELT

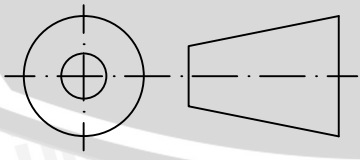
001

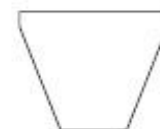
A4



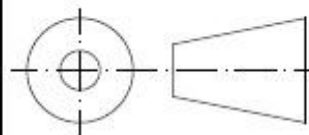
	SKALA : 1: 20	DIGAMBAR : Marita Ayu K.	PERINGATAN :	
	SATUAN : mm	DEPT : MESIN		
	TANGGAL:14/08/15	DILIHAT :		
TEKNIK MESIN FT UB	ROLL CRUSHER		002	A4



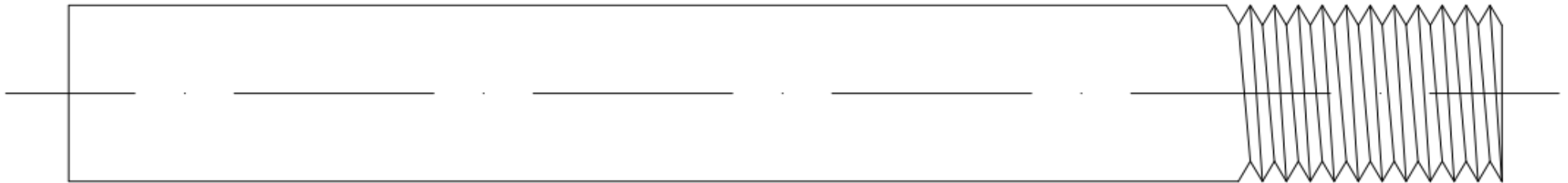
	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : Marita Ayu K.	PERINGATAN :		
	SATUAN : mm	DEPT : MESIN			
	TANGGAL:14/08/15	DILIHAT :			
TEKNIK MESIN FT UB		BEARING		003	A4



PENAMPANG A-A



SKALA : 4:1	DIGAMBAR : Marita Ayu K.	PERINGATAN :	
SATUAN : mm	DEPT : MESIN		
TANGGAL:14/08/15	DILIHAT :		
TUB	V-BELT	004	A4



	SKALA : 1:2	DIGAMBAR : Marita Ayu K.	PERINGATAN :	
	SATUAN : mm	DEPT : MESIN		
	TANGGAL:14/08/15	DILIHAT :		
TEKNIK MESIN FT UB		SHAFT	005	A4