



**PERENCANAAN PERAWATAN MESIN *CONE CRUSHER*  
MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED  
MAINTENANCE***

**SKRIPSI**

Oleh:

**Herry Agustyawan**

**151910101062**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**PERENCANAAN PERAWATAN MESIN *CONE CRUSHER*  
MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED*  
*MAINTENANCE***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

**Herry Agustyawan**

**151910101062**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puja dan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya Ibu tercinta Sri Guntari dan Bapak Suramin yang telah memberi segala do'a, dukungan, semangat, dan materi, serta Almarhum Bapak Dite S. yang telah memberi dukungan semangat dan pelajaran hidup yang berharga meski beliau sudah tidak bisa melihat karya tulis ini hingga selesai. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, do'a, pengorbanan, motivasi dan bimbingan kalian semua demi terciptanya insan yang beriman dan berakhlak mulia. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
2. Kakak Dessy Retnoningsih dan Kakak Mega Julianggreny yang selalu memberikan motivasi, doa dan dukungan, baik moril maupun materil serta dorongan semangat dalam pendidikan.
3. Seluruh guru dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
4. Saudara seperjuanganku Teknik Mesin angkatan 2015.
5. Almamater Universitas Jember tercinta.

**MOTTO**

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(Q.S. Al-Insyirah : 6 – 8)

*"Everything has its wonders, even darkness and silence"*

(Helen Keller)

“Bila kau tak tahan lelahnya belajar, maka kau harus tahan menanggung perihnya kebodohan”

(Imam Syafi’i)

“Hidup itu seperti bersepeda. Kalau kamu ingin menjaga keseimbanganmu, kamu harus tetap bergerak maju”

(Albert Einstein)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Herry Agustyawan

NIM : 151910101062

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Perencanaan Perawatan Mesin *Cone Crusher* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 November 2019  
yang menyatakan,

Herry Agustyawan  
NIM. 151910101062

**SKRIPSI**

**PERENCANAAN PERAWATAN MESIN *CONE CRUSHER*  
MENGUNAKAN METODE *RELIABILITY CENTERED  
MAINTENANCE***

Oleh

**Herry Agustyawan**

**NIM 151910101062**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Andi Sanata, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Perencanaan Perawatan Mesin *Cone Crusher* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 27 November 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T.  
NIP. 19670924 1994 12 1 001

Andi Sanata, S.T., M.T.  
NIP. 19750502 2001 12 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D  
NIP. 19700322 1995 01 1 001

Moch. Edoward Ramadhan S.T., M.T.  
NIP. 19870430 2014 04 1 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM  
NIP. 19661215 199503 2 001



## RINGKASAN

**Perencanaan Perawatan Mesin Cone Crusher Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance;** Herry Agustyawan, 151910101062; 2019; 51 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Univeritas Jember.

Departemen *Ore Proccecing Plant (OPP)* terdapat *primary crusher* dan *secondary crusher* yang bertugas mengecilkan ukuran dari material umpan yang berbentuk bongkahan batu. *Secondary crusher* menggunakan mesin *cone crusher* sebagai penghancur material umpan. *Cone Crusher* menerima material umpan yang telah melewati *primary crusher* dan diangkut menggunakan *soil conveyor*, kemudian material umpan yang masuk ke dalam *cone crusher* akan dikecilkan lagi ukurannya, agar memudahkan pada proses selanjutnya. Permasalahan yang terjadi pada *cone crusher* yaitu kegagalan dari komponen-komponen yang terjadi akibat kurangnya kegiatan perawatan seperti inspeksi rutin pada komponen-komponen yang memiliki resiko terjadi kegagalan tinggi. Beberapa komponen *cone crusher* yang memiliki tingkat kegagalan tertinggi yaitu: *bowl liner*, *head liner*, *dust seal*, dan *lubricarion oil pipe*.

*Cone Crusher* adalah salah satu jenis *crusher* / penghancur yang biasa digunakan untuk mengurangi ukuran dari material keras seperti batu ataupun krikil. Dalam pertambangan emas, *cone crusher* digunakan secara luas sebagai mesin pemecah batu sekunder maupun tersier. Prinsip kerja dari *cone crusher* ialah saat material memasuki celah antara *bowl liner* dan *head liner* yang ada pada *cone crusher*, material akan mengalami gesekan akibat dari perputaran *head liner* yang memiliki gerakan *eccentric* dengan *bowl liner*. Selain itu, ukuran celah antara *head liner* dan *bowl liner* yang semakin kecil juga memberi tekanan pada material.

Salah satu cara untuk menentukan tugas pemeliharaan pada mesin *cone crusher* yaitu menggunakan metode *reliability centered maintenance (RCM)*. RCM adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan tindakan perawatan yang diperlukan dari aset fisik untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik, yang menggabungkan analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dalam penentuan program



pemeliharaannya. RCM memiliki beberapa tahapan seperti analisis *failure mode and effect analysis* (FMEA), penyusunan *RCM information worksheet*, dan penyusunan *RCM decision worksheet*. FMEA dilakukan untuk mengidentifikasi *failure cause* dan *failure effect* dari suatu *failure mode* pada mesin *cone crusher*. FMEA akan dilakukan perhitungan *risk priority number* (RPN) yang berfungsi untuk menentukan tingkat prioritas dari suatu kegagalan yang mengarah pada tindakan perbaikan. *RCM information worksheet* merupakan form yang berisi informasi mengenai *function* (fungsi), *functional failure* (kegagalan fungsional), *failure mode* (mode kegagalan), dan *failure effect* (efek kegagalan). *RCM decision worksheet* merupakan cara untuk menemukan *maintenance task* yang tepat dan efektif. *RCM decision worksheet* berbentuk berupa form yang berisi tentang FMEA dan *RCM information worksheet* serta *proposed task* atau usulan tugas yang dapat dilakukan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai rata-rata *availability* mesin *cone crusher* selama bulan Januari 2018 sampai April 2019 adalah 72.48% dengan standar nilai *availability* yang diterapkan oleh pabrik sebesar 70%. Hal ini menunjukkan bahwa mesin mampu bekerja sesuai dengan standar perusahaan. Dari hasil analisa FMEA dan penilaian resiko dengan RPN menunjukkan bahwa komponen kritis yang perlu mendapat prioritas utama untuk diperhatikan adalah *bowl liner* (336) dan *head liner* (336). Dan hasil dari analisa *RCM decision worksheet* pada komponen yang mendapat prioritas utama dapat dilakukan tindakan yaitu: komponen *bowl liner* dan *head liner* dilakukan *discard task* berupa inspeksi 1 minggu sekali untuk memastikan kondisi serta mengecek ketebalan dari liner, dilakukannya pergantian liner sebelum habis umur pakainya, dan penyediaan *spare parts bowl-head liner* minimal 6 set setiap tahunnya.

## SUMMARY

**Perencanaan Perawatan Mesin Cone Crusher Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance***; Herry Agustawan, 151910101062; 2019; 51 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Univeritas Jember.

*Ore proccecing plant departement (OPP) has primary crusher and secondary crusher in charge of reducing the size of feed material in the form of chunks of rock. Machine that used for secondary crusher is a cone crusher. Cone Crusher receives feed material that has passed through the primary crusher which is transported using a soil conveyor, then the size of feed material that enters cone crusher will be reduced again to make it easier for the next process. Problem that occurs in cone crusher is the failure of the components that occur caused lack of maintenance activities such routine inspections of components that have a high risk of failure. Some cone crusher components that have the highest failure rate are: bowl liner, head liner, dust seal, and lubricarion oil pipe.*

*Cone Crusher is one type of crusher used to reduce the size of hard materials such as stones or gravel. In gold mining, cone crushers are widely used as secondary and tertiary stone breaking machines. The working principle of the cone crusher is, when the stone enters the gap between the mantle liner and the concave / bowl liner that is in the cone crusher, the stone will has friction due to the rotation of the mantle liner which has eccentric motion with the bowl liner, besides the gap size between the mantle liner and The smaller bowl liner also puts pressure on the stone.*

*One of way to determine maintenance tasks on cone crusher machines is to use reliability centered maintenance (RCM) method. RCM is a method that used to determine maintenance actions required from physical asset to carry out functions well, which combines qualitative analysis and quantitative analysis in determining the maintenance program. RCM has some stages such as failure mode and effect analysis (FMEA) analysis, composing of RCM information worksheets, and composing of RCM decision worksheets. FMEA is used to identify failure cause*

*and failure effect from a failure mode on the cone crusher. FMEA calculates risk priority number (RPN) to determine the priority level of a failure that leads to corrective action. RCM information worksheet is a form that contains information about function, functional failure, failure mode, and failure effect. RCM decision worksheet is a way to find the right and effective maintenance task. RCM decision worksheet has a form that contains about FMEA and RCM information worksheets as well as proposed tasks or proposed tasks that can be done.*

*Result of research showed that the average value of cone crusher machines availability during Januari 2018 to April 2019 was 72.48% with the standard availability value applied by the factory is 70%. This showed that the machine was able to work as the company standards. Result of the FMEA analysis and risk assessment with the RPN showed that the critical components needed to get top priority were bowl liner (336) and head liner (336). Result of the RCM decision worksheet analysis on components that got top priority could take actions: components of bowl liner and head liner were discarded task in the form of inspection once a week to ascertain the conditions and to check the thickness of liner, did liner replacement before it was expired, and supplied spare parts bowl-head liner at least 6 sets every year.*

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, yang berjudul “Perencanaan Perawatan Mesin *Cone Crusher* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance*”. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan inspirasi, suri tauladan, dan jalan yang terang bagi umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeritas Jember.

Penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Orang tua saya Ibu tercinta Sri Guntari dan Bapak Suramin yang telah memberi segala do’a, dukungan, semangat, cinta, kasih sayan dan materi, serta Almarhum Bapak Dite S. yang telah memberi dukungan semangat dan pelajaran hidup yang berharga semoga beliau diberikan tempat yang layak disisi-Nya.
2. Kakak Dessy Retnoningsih dan Kakak Mega Julianggreny yang selalu memberikan motivasi, doa dan dukungan, baik moril maupun materil serta dorongan semangat dalam pendidikan.
3. Bapak Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini. Serta Bapak Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Mochamad Edoward Ramadhan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
4. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membantu dalam menyelesaikan studi S.T.
5. Pimpinan, staff, dan karyawan yang telah membimbing serta memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian dan pengambilan data di perusahaan.
6. Keluarga Laboratorium Kerja Logam Jurusan Teknik Mesin, atas dukungan dan ilmu yang telah diberikan untuk membangun *hardskills* dan *softskills*.

7. Keluarga Paguyuban MAMESO Trenggalek, atas waktu dan tenaga yang telah diberikan untuk menemani keseharian selama menuntut ilmu di Universitas Jember.
8. Teman-teman Badan Perwakilan Mahasiswa Universitas Jember, yang telah memberikan ilmu birokrasi dan sosial humaniora.
9. Club Divisi Raket Teknik Mesin, atas dukungan dan ilmu yang telah diberikan.
10. Saudaraku Teknik Mesin 2015 Universitas Jember yang tanpa henti memberi support dan dukungannya.
11. Semua pihak yang telah membantu dan memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi semua pembaca.

Jember, 27 November 2019

Penulis



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN_PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....	3
1.4.1 Tujuan .....	3
1.4.2 Manfaat .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Cone Crusher</b> .....	5
2.1.1 Komponen-Komponen <i>Cone Crusher</i> .....	5
2.1.2 Mode Kegagalan pada Mesin <i>Cone Crusher</i> .....	7
<b>2.2 Perawatan (Maintenance)</b> .....	8
<b>2.3 Keandalan (Reliability)</b> .....	11

2.3.1 <i>Mean Time Between Failure (MTBF)</i> .....	12
2.3.2 <i>Mean Time To Repair (MTTR)</i> .....	12
2.3.3 <i>Availability</i> .....	12
<b>2.4 <i>Failure Mode and Effects Analysis</i></b> .....	13
<b>2.5 <i>Fault Tree Analysis</i></b> .....	14
<b>2.6 <i>Logic Tree Analysis</i></b> .....	15
<b>2.7 <i>Total Productive Maintenance</i></b> .....	16
<b>2.8 <i>Reliability Centered Maintenance</i></b> .....	17
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	23
3.1 <b>Metode Penelitian</b> .....	23
3.2 <b>Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	23
3.3 <b>Variabel Penelitian</b> .....	23
3.4 <b>Prosedur Penelitian</b> .....	24
3.5 <b>Diagram Alir Penelitian</b> .....	26
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	27
4.1 <b>Proses <i>Maintenance</i> di Departemen <i>Ore Preparation Plant</i></b> .....	27
4.1.1 <i>Pengelompokan data downtime</i> .....	27
4.1.2 <i>Pengolahan Data Availability</i> .....	28
4.2 <b>Proses <i>Reliability Centered Maintenance</i></b> .....	33
4.2.1 <i>System Boundary Definition</i> .....	33
4.2.2 <i>Function and Functional Failure</i> .....	36
4.2.3 <i>Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)</i> .....	36
4.2.4 <i>RCM Information Worksheet</i> .....	39
4.2.5 <i>RCM Decision Worksheet</i> .....	39
4.3 <b>Penggantian <i>Bowl-Head Liner</i> Mesin <i>Cone Crusher</i></b> .....	49
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	52
5.1 <b>Kesimpulan</b> .....	52
5.2 <b>Saran</b> .....	52



<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	53
<b>LAMPIRAN</b> .....	54



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Mode kegagalan dan efeknya pada komponen mesin <i>cone crusher</i> .....	7
Tabel 4.1 Data downtime Departemen OPP bulan Januari 2018 – April 2019 ....	28
Tabel 4.2 Data <i>running time</i> dan <i>loading time</i> bulan Januari 2018 – April 2019.	29
Tabel 4.3 Nilai <i>operation time</i> bulan Januari 2018 – April 2019 .....	30
Tabel 4.4 Nilai <i>availability</i> mesin <i>cone crusher</i> bulan Januari 2018 – April 2019 .....	31
Tabel 4.5 Nilai MTBF dan MTTR mesin <i>cone crusher</i> .....	33
Tabel 4.6 Hasil analisa FMEA mesin <i>cone crusher</i> .....	37
Tabel 4.7 Tabel RCM <i>information worksheet</i> mesin <i>cone crusher</i> .....	40
Tabel 4.8 Form RCM <i>decision worksheet</i> mesin <i>cone crusher</i> .....	47
Tabel 4.9 Data penggantian <i>bowl-head liner</i> dan jumlah produksi .....	50

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Cone crusher</i> Metso Nordberg HP500 (Sumber: PT. BSI, 2019).....	5
Gambar 2.2 Komponen-komponen <i>cone crusher</i> (Sumber: PT. BSI, 2019).....	6
Gambar 2.3 Pembagian jenis-jenis perawatan (Sumber: Priyanta, 2000).....	9
Gambar 2.4 Form RCM <i>information worksheet</i> (Moubray, 1997).....	21
Gambar 2.5 Form RCM <i>decision worksheet</i> (Moubray, 1997) .....	22
Gambar 3.1 Departemen OPP PT. Bumi Suksesindo (Sumber: PT BSI, 2019) ...	23
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 4.1 Grafik nilai availability bulan Januari 2018 – April 2019 .....	32
Gambar 4.2 Sistem pada Departemen OPP.....	34
Gambar 4.3 Sistem crushing pada Departemen OPP (Sumber: PT. BSI, 2019)...	35
Gambar 4.4 Skema pengisian RCM <i>decision worksheet</i> .....	45
Gambar 4.5 Kondisi head liner yang telah aus (Sumber: PT. BSI, 2019) .....	50

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
Lampiran 4.1 Kriteria <i>Severity</i> .....	54
Lampiran 4.2 Kriteria <i>Occurrence</i> .....	55
Lampiran 4.3 Kriteria <i>Detection</i> .....	56
Lampiran 4.4 Dokumentasi pembongkaran <i>bowl</i> dan <i>head liner cone crusher</i> ...	57
Lampiran 4.5 Transkrip Wawancara pada Informan .....	58
Lampiran 4.6 Polusi <i>Oil Lubrication</i> .....	65
Lampiran 4.7 Daftar Motor Mesin <i>Cone Crusher</i> .....	66

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Letak geografis Indonesia yang berada pada dua buah lempeng besar yaitu lempeng Pacifik di Utara dan lempeng Australia di Selatan. Akibat tumbukan kedua lempengan tersebut sangat mendukung pembentukan mineralisasi, sehingga Indonesia menjadi sebuah Negara kaya akan berbagai macam mineral atau bahan galian yang salah satunya yaitu emas. Kegiatan penambangan emas telah dilakukan sejak jaman Hindia Belanda, seperti tambang emas di Cikotok yang baru dilakukan penutupan di akhir tahun 1980-an, dan hingga sekarang telah banyak tambang emas yang berdiri di Indonesia (Manik, 2013).

Pada salah satu perusahaan pertambangan dan pengolahan emas terdapat departemen *Ore Preparation Plant* (OPP). Departemen *Ore Preparation Plant* (OPP) merupakan departemen yang bertugas untuk mempersiapkan material (batu, pasir dan tanah) tambang sebelum dilakukan proses selanjutnya. Departemen *ore preparation plant* terdapat *primary crusher* dan *secondary crusher* yang bertugas mengecilkan ukuran dari material umpan yang berbentuk bongkahan batu. *Secondary crusher* menggunakan mesin *cone crusher* sebagai penghancur material umpan. Mesin *cone crusher* merupakan salah satu mesin yang memiliki peran penting dalam proses pertambangan emas. Sehingga untuk menjaga proses berjalannya produksi, perusahaan selalu melakukan perubahan penjadwalan dan perawatan mesin. Dalam perawatan mesin *cone crusher* dapat diterapkan sistem *preventive maintenance* (perawatan preventif) ataupun *corrective maintenance* (perawatan korektif) dengan melakukan pemeriksaan serta perbaikan secara periodik pada waktu yang sesuai dan efisien untuk mesin *cone crusher* yang ada di departemen *ore preparation plant*.

*Cone crusher* menerima material umpan yang telah melewati *primary crusher* yang diangkat menggunakan *soil conveyor*, kemudian material umpan yang masuk ke dalam *cone crusher* akan dikecilkan lagi ukurannya, agar memudahkan pada proses selanjutnya. *Cone crusher* memiliki komponen utama yaitu: *feed ring*, *mantle nut*, *upper frame*, *mainframe*, *bowl liner*, *head liner*, *main shaft*,

*countershaft*, dan *radial bearings*. *Head liner* merupakan komponen yang bergerak secara *eccentric* pada *cone crusher* berfungsi untuk mengurangi ukuran material umpan akibat bergesekan dengan *head liner* dan *bowl liner*.

Permasalahan yang terjadi pada *cone crusher* yaitu kegagalan dari komponen-komponen yang terjadi akibat kurangnya kegiatan perawatan seperti inspeksi rutin pada komponen-komponen yang memiliki resiko terjadi kegagalan tinggi. Penjadwalan perawatan pada mesin *cone crusher* sangatlah diperlukan untuk mengurangi risiko terjadinya kerusakan komponen mesin yang akan dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen lain dan akan mengakibatkan naiknya biaya perbaikan serta akan merugikan perusahaan. Sinha dan Mukhopadhyay (2013) telah melakukan analisis FMEA terhadap mesin *cone crusher* dimana didapatkan beberapa komponen yang memiliki tingkat kegagalan tertinggi beserta mode kegagalannya dan efek kegagalan tersebut terhadap mesin *cone crusher*. Beberapa komponen *cone crusher* yang memiliki tingkat kegagalan tertinggi yaitu: *bowl liner*, *head/mantle liner*, *dust seal*, dan *lubrication oil pipe*.

*Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah pendekatan sistematis untuk menentukan persyaratan perawatan pabrik dan peralatan dalam operasinya yang digunakan untuk mengoptimalkan strategi *preventive maintenance* (PM) (Afefy, 2010). Sedangkan menurut Moubray (1997) RCM adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan tindakan perawatan yang diperlukan dari aset fisik untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik, yang menggabungkan analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dalam penentuan program pemeliharannya. Menurut penelitian Utomo (2018) di PT. Petrokimia Gresik, tindakan *maintenance* yang telah dilakukan perusahaan sebelumnya terdapat beberapa poin yang tidak dapat dijangkau oleh tindakan *preventive maintenance* ataupun tindakan lainnya. Namun dengan menggunakan metode RCM bentuk mode kegagalan, penyebabnya, dan efek dari kegagalan komponen dapat ditemukan beserta tindakan ataupun solusi permasalahannya. Palit dan Sutanto (2012) menjelaskan dalam penelitiannya, dengan menggunakan metode RCM dan disertai dengan MTBF dari masing-masing komponen, menghasilkan usulan perbaikan



yang berdasar pada analisis perbandingan dapat menurunkan *downtime* sebesar 58,07%.

Berdasarkan pendekatan dari beberapa peneliti di atas, RCM merupakan salah satu metode yang solutif dalam penentuan penjadwalan dan tindakan yang perlu dilakukan dalam perawatan mesin. Penerapan RCM diharapkan mampu mengurangi jumlah kegagalan serta meningkatkan keandalan dari mesin *cone crusher* di departemen *Ore Preparation Plant* (OPP).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan maka perumusan masalah pada penelitian ini yaitu: mencari mode kegagalan komponen dan efeknya terhadap mesin *cone crusher*, serta memberikan penjadwalan dan strategi perawatan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance*.

## 1.3 Batasan Masalah

Pada Penelitian yang akan dilakukan terdapat beberapa batasan yang ditentukan, agar penelitian dapat fokus dalam menjawab permasalahan. Batasan penelitian tersebut yaitu:

1. Obyek penelitian hanya dibatasi pada mesin *cone crusher* yang ada pada PT. Bumi Suksesindo;
2. Kegiatan perawatan berupa cara perbaikan, pembongkaran, penggantian, dan pemasangan peralatan tidak dibahas dalam penelitian ini;
3. Tidak dilakukan pengamatan terhadap rangkaian listrik perusahaan;
4. Karakteristik material tidak diteliti.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan

Berdasar dari rumusan masalah yang telah disampaikan, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa penyebab mode kegagalan komponen di mesin *cone crusher*;



2. Memberikan usulan strategi perawatan mesin *cone crusher* yang tepat dan sesuai.

#### 1.4.2 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dapat diambil dari penelitian ini baik bagi pembaca, peneliti selanjutnya maupun perusahaan sendiri sebagai referensi dan masukan tentang perencanaan perawatan mesin yaitu:

1. Perusahaan mendapat informasi tentang penyebab kegagalan komponen mesin *cone crusher*;
2. Sebagai penambah wawasan tentang perkembangan metode perawatan khususnya metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*;
3. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu perusahaan dalam menentukan waktu pemeliharaan yang optimal, sehingga dapat mengurangi kegagalan atau kerusakan dan waktu *downtime* pada mesin *cone crusher*.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Cone Crusher

*Cone Crusher* adalah salah satu jenis *crusher* / penghancur yang biasa digunakan untuk mengurangi ukuran dari material keras seperti batu ataupun krikil. Dalam pertambangan emas, mesin *cone crusher* digunakan secara luas sebagai alat pemecah batu sekunder maupun tersier. Prinsip kerja dari *cone crusher* ialah, saat batu memasuki celah antara *head liner* dan *bowl liner* yang ada pada *cone crusher* batu akan mengalami gesekan akibat dari perputaran *head liner* yang memiliki gerakan *eccentric* dengan *bowl liner*, selain itu ukuran celah antara *head liner* dan *bowl liner* yang semakin kecil juga memberi tekanan pada batu. *Cone crusher* memiliki rasio pemecahan 6–8 : 1. Mesin *cone crusher* yang digunakan pada departemen *Ore Preparation Plant* (OPP) dapat dilihat pada Gambar 2.1.



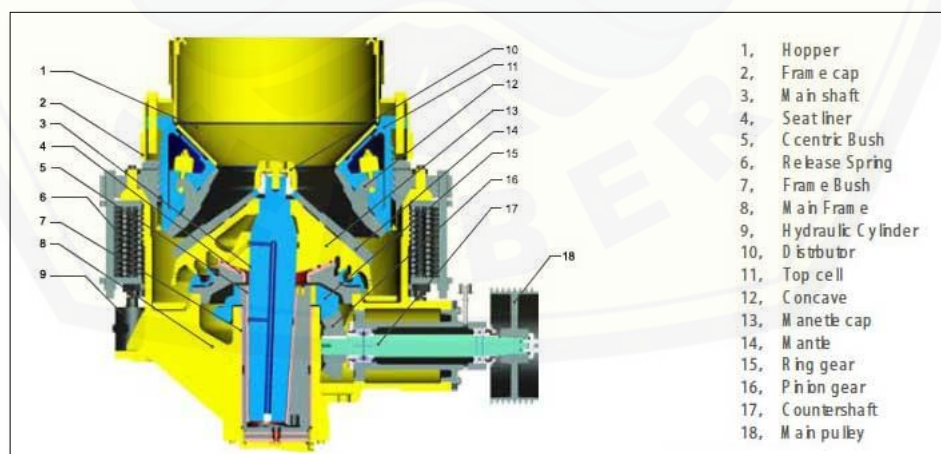
Gambar 2.1 *Cone crusher* Metso Nordberg HP500 (Sumber: PT. BSI, 2019)

#### 2.1.1 Komponen-Komponen *Cone Crusher*

Adapun beberapa komponen utama dari mesin *cone crusher* yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Berikut penjelasan dari beberapa komponen mesin *cone crusher*:

- a. *Feed Cone* digunakan sebagai tempat masuknya material/batu dan mengarahkan material/batu ke dalam *mantle liner* dan *bowl liner*.

- b. *Bowl liner* berfungsi sebagai bagian yang diam saat proses penghancuran. *Bowl liner* biasanya terbuat dari *metal alloy* berbasis mangan (Mn).
- c. *Head liner* berfungsi sebagai bagian yang berputar saat proses penghancuran. *head liner* terpasang pada *head cone* yang memiliki gerakan putar secara *eccentric*.
- d. *Head cone* berfungsi sebagai tempat pemasangannya *mantle liner*. *Head cone* memiliki gerak *eccentric* akibat dari berputarnya *eccentric shaft*.
- e. *Main shaft* dan *eccentric shaft* bagian yang berfungsi sebagai poros dan penggerak *head cone*. *Eccentric shaft* diputar oleh *countershaft* yang terhubung dengan *pulley* dan motor listrik.
- f. *Countershaft* merupakan komponen yang penerus daya dari motor listrik ke *eccentric*. *Countershaft* menggunakan *bevel gear* untuk dapat memutar dan meneruskan daya ke *eccentric*.
- g. Motor listrik merupakan sumber daya utama dari *cone crusher* yang akan memutar *countershaft* dan *eccentric*. Motor 3 phase yang digunakan pada *cone crusher* yaitu tipe TECO 355 Kw 380 V 50 Hz.
- h. *Pulley* berfungsi untuk mentransmisikan / memindahkan daya dari motor listrik menuju *countershaft*, kemudian diteruskan ke *eccentric shaft* dan *head cone*.



Gambar 2.2 Komponen-komponen *cone crusher* (Sumber: PT. BSI, 2019)

### 2.1.2 Mode Kegagalan pada Mesin *Cone Crusher*

Menurut Sinha dan Mukhopadhyay (2013) dari penelitian yang telah dilakukannya, terdapat beberapa mode kegagalan beserta efeknya yang terjadi pada komponen mesin *cone crusher* ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Mode kegagalan dan efeknya pada komponen mesin *cone crusher*

Komponen	Fungsi Komponen	Fungsi Kegagalan Komponen	Mode Kegagalan	Efek Kegagalan
<i>Bowl</i>	Untuk menghancurkan material	Kerusakan <i>bowl</i>	Benturan mendadak	Berhenti menghancurkan
<i>Bowl liner</i>	Untuk melindungi <i>bowl</i>	Kerusakan <i>bowl liner</i>	Aus dan robek	menyebabkan penurunan kinerja penghancuran dan kerusakan <i>bowl</i>
<i>Dust seal</i>	Untuk melindungi <i>bearing</i> dari debu, kotoran, air dll	Kerusakan <i>dust seal</i>	Aus	Menyebabkan masuknya debu dan air kedalam komponen yang bergerak
<i>Head</i>	Untuk memecah material	Kerusakan <i>head</i>	Benturan mendadak	Berhenti menghancurkan
<i>Head Liner</i>	Untuk melindungi <i>crushing head</i>	Kerusakan <i>head liner</i>	Aus dan robek	menyebabkan penurunan kinerja penghancuran dan kerusakan <i>head</i>
<i>Lubrication oil pipe</i>	Untuk menyuplai oli dari tangki ke berbagai bagian	Kerusakan <i>oil pipe</i>	Kebocoran pipa	pelumasan yang tidak memadai, sehingga menyebabkan kegagalan pada komponen lainnya
<i>Lubrication oil</i>	Melumasi bagian-bagian yang bergerak	Kehilangan kemampuan melumasi	Terkontaminasi debu, kotoran, dll	pelumasan yang kurang maksimal sehingga menyebabkan kegagalan pada komponen lain

(Sumber: Sinha dan Mukhopadhyay, Tahun 2013)

Dari Tabel 2.1 dapat dilihat komponen utama mesin *cone crusher* seperti *bowl liner* dan *head liner* bila terjadi keausan atau robek dan tidak segera diganti akan menyebabkan turunnya performa penghancuran dari mesin, hingga dapat merusak *bowl* dan *head* sehingga menyebabkan berhentinya proses penghancuran sehingga perlu dilakukannya *breakdown maintenance*.

Dari penelitian Sinha dan Mukhopadhyay (2013), penyelesaian yang dilakukan ialah dilakukannya penggantian komponen sesuai dengan jadwal pengantiannya sehingga komponen tidak mengalami keausan/kerusakan berlebihan yang sehingga dapat menyebabkan menurunnya performa mesin ataupun kerusakan pada komponen lain.

## 2.2 Perawatan (*Maintenance*)

Pemeliharaan (*maintenance*) merupakan suatu bentuk kegiatan yang berfungsi untuk memelihara serta menjaga fasilitas fisik yang ada, serta melakukan tindakan perbaikan, melakukan<sup>i</sup> kalibrasi / penyesuaian, ataupun penggantian komponen yang telah rusak, hal ini bertujuan untuk mendapatkan ataupun mempertahankan suatu kondisi operasi produksi agar sesuai dengan perencanaan yang telah dilakukan (Patrick, 2001: 407). Untuk saat ini tindakan pemeliharaan atau perawatan lebih banyak difokuskan pada tindakan preventif (pencegahan) untuk menghindari kerusakan yang lebih parah, dan tindakan *preventive maintenace* ini juga difokuskan untuk mempertahankan efisiensi dan fungsi dari sistem sedekat mungkin dengan efisiensi fungsi diharapkan (Priyanta, 2000).

Apabila ekspresi minimum *maintenance approach* (pendekatan perawatan) menunjukkan tindakan perawatan terhadap suatu sistem yang dilakukan hanya untuk memenuhi persyaratan suatu sistem dapat bekerja. Dan tindakan tersebut dikombinasikan dengan manajemen perawatan yang terabaikan, maka hal ini akan memperpendek masa berguna (*usefull life*) dari sistem dan mungkin juga akan menambah biaya lain seperti biaya kerusakan (*downtime cost*) dan berbagai biaya lain yang timbul akibat dampak dari kerusakan sistem (Priyanta, 2000).

Tujuan dari dilakukannya tindakan pemeliharaan terhadap suatu sistem menurut Patrick (2001: 407) yaitu:

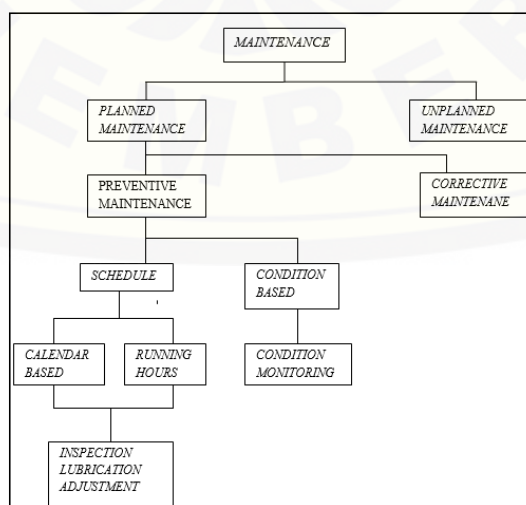
- a. Menjaga kemampuan sistem atau fasilitas produksi agar dapat memenuhi kebutuhan yang telah ditentukan dari rencana produksi;



- b. Mengurangi penggunaan dan penyimpanan diluar batas serta menjaga modal yang telah diinventasikan pada perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijakan perusahaan;
- c. Menjaga agar kegiatan produksi tidak mengalami gangguan sehingga kualitas produk berada pada tingkat yang diharapkan oleh perusahaan;
- d. Memperhatikan serta menghindari kegiatan operasi mesin serta peralatan yang dapat membahayakan kesehatan, keselamatan dan lingkungan kerja;
- e. Mencapai tingkat biaya serendah mungkin (*minimum cost*), dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara tepat dan efisien untuk keseluruhan sistem yang ada.

Perawatan merupakan suatu kegiatan penunjang yang memiliki tujuan untuk menjamin fungsional suatu sistem produksi sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Hal ini dapat dicapai antara lain dengan melakukan perencanaan penjadwalan perawatan dengan tetap memperhatikan pengoptimal waktu penggantian komponen.

Secara umum perawatan dibagi menjadi *Planned Maintenance* dan *Unplanned Maintenance*. Perawatan terencana adalah perawatan yang diorganisir dan dilakukan dengan perencanaan serta pengontrolan yang telah ditentukan terlebih dahulu oleh perencana. Sedangkan perawatan tak terencana adalah suatu jenis perawatan yang dilakukan tanpa perencanaan terlebih dahulu (Priyanta, 2000). Secara skematis pembagian jenis perawatan ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pembagian jenis-jenis perawatan (Sumber: Priyanta, 2000)

a. *Preventive Maintenance*

Tindakan *preventive maintenance* bertujuan untuk memperpanjang umur ataupun meningkatkan keandalan dari suatu sistem. Tindakan *preventive maintenance* ini bervariasi, mulai dari perawatan ringan yang hanya membutuhkan durasi kegagalan pendek seperti pelumasan, uji coba, penggantian terhadap komponen yang telah direncanakan hingga kegiatan *overhaul* yang memerlukan waktu atau durasi kegagalan yang panjang. Dengan melakukan tindakan *preventive maintenance*, bermaksud untuk mengurangi probabilitas atau kemungkinan terjadinya kegagalan dan/atau penurunan performa dari suatu sistem. Berikut ini merupakan tiga alasan untuk dilakukannya tindakan perawatan preventif:

- 1) Menghindari terjadinya kerusakan;
- 2) Mendeteksi awal terjadi kerusakan;
- 3) Menemukan kerusakan-kerusakan yang tersembunyi.

*Schedule maintenance* (perawatan terjadwal) merupakan tindakan perawatan yang dilakukan pada interval waktu tertentu, baik itu banyaknya jam kerja, jumlah siklus yang dilalui, umur pakai dan lain-lain. Bentuk perawatan *preventive* bisa berupa pengecekan (*inspection*) terhadap komponen-komponen dari suatu sistem secara periodik untuk menentukan perlu atau tidaknya dilakukan pengukuran (*adjustment*) dan penggantian (*replacement*) pada sistem tersebut.

*Condition based maintenance* adalah perawatan terhadap suatu sistem yang dilakukan sebagai hasil pengamatan secara terus-menerus ataupun secara periodik. Perawatan ini biasa dilakukan hanya pada kondisi suatu sistem menunjukkan perlu dilakukannya perawatan.

b. *Corrective* atau *Breakdown Maintenance*

*Corrective* atau *Breakdown Maintenance* adalah tindakan perawatan mesin atau sistem pada saat atau setelah mesin/sistem tersebut mengalami kerusakan atau bisa disebut kegagalan pada komponen ataupun sistem secara keseluruhan. Perawatan ini tidak melakukan kegiatan perawatan sampai terjadi kerusakan. Pada sistem ini, biasanya terjadi penumpukan komponen untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan secara mendadak.



### 2.3 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan dari suatu sistem, subsistem atau komponen-komponennya merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelancaran dalam suatu operasi. Selain itu keandalan juga mempengaruhi biaya perawatan mesin-mesin produksi yang dikeluarkan dimana akan mempengaruhi dari produktivitas dari perusahaan.

Keandalan (*reliability*) dapat diartikan sebagai probabilitas / peluang dari suatu sistem untuk mampu beroperasi sesuai dengan fungsinya, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu dalam periode waktu yang telah ditentukan (Priyanta, 2000). Fungsi yang dimaksud diatas dapat berupa fungsi atau gabungan dari berbagai fungsi. Terminologi yang digunakan pada definisi keandalan dapat mewakili komponen, subsistem ataupun sistem itu sendiri dan dianggap sebagai satu-kesatuan.

Secara umum ada dua metode yang dapat digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap keandalan dari suatu komponen atau sistem (Priyanta, 2000), yaitu:

#### a. Analisa Kuantitatif

Analisa keandalan secara kuantitatif dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu, analisa keandalan secara analitis dan analisa keandalan dengan menggunakan simulasi. Metode evaluasi terhadap keandalan secara kuantitatif terdiri atas:

- 1) *Direct calculation* atau perhitungan, digunakan untuk mengevaluasi keandalan dari sistem-sistem yang sederhana;
- 2) *Conditional probability approach*;
- 3) Metode *Cut Set*;
- 4) Metode *Tie Set*;
- 5) Pohon Kejadian (*Event Trees*);
- 6) Pohon Kegagalan (*Fault Trees*);
- 7) Rantai Markov (*Markov Chain*);
- 8) Proses Markov (*Markov Process*);
- 9) Simulasi Monte Carlo (*Monte Carlo Simulation*).

## b. Analisa Kualitatif

Analisa keandalan yang berbasis pada pengalaman dari personel yang terlibat dalam analisa kualitatif. Adapun beberapa metode yang biasa digunakan dalam analisa keandalan secara kualitatif yaitu:

- 1) Analisis mode dan dampak kegagalan (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*);
- 2) Analisis pohon kegagalan (*Fault Tree Analysis – FTA*);
- 3) *Logic Tree Analysis (LTA)*;
- 4) *Total Productive Maintenance (TPM)*;
- 5) *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

### 2.3.1 Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF merupakan waktu rata-rata antar kegagalan komponen, subsistem, atau sistem tanpa mengalami kegagalan. MTBF dapat dirumuskan sebagai hasil bagi antara total waktu operasi dengan jumlah kegagalan dalam periode waktu operasi tersebut.

$$MTBF = \frac{\text{Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Kegagalan}} \dots\dots\dots(2.1)$$

### 2.3.2 Mean Time To Repair (MTTR)

MTTR adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan suatu komponen, subsistem, atau sistem. MTTR dapat disebut juga sebagai bentuk *maintainability*, yaitu usaha yang diperlukan untuk memperbaiki kerusakan pada suatu sistem.

$$MTTR = \frac{\text{Total Downtime}}{\text{Jumlah Kegagalan}} \dots\dots\dots(2.2)$$

### 2.3.3 Availability

*Availability* ialah kemungkinan dari suatu komponen atau sistem untuk menjalankan fungsinya ditinjau dari berbagai aspek keandalan, kemampurawatan,

serta dukungan pemeliharaan. *Availability* juga dapat diartikan sebagai ketersediaan suatu komponen dalam periode waktu tertentu. *Availability* yang berubah terhadap periode waktu dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Availability = \frac{Operation\ Time}{Loading\ Time} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

#### 2.4 Failure Mode and Effects Analysis

*Failure mode and effect analysis* (FMEA) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis suatu bentuk kegagalan yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dan untuk memastikan pengaruh dari kegagalan pada suatu fungsi (Moubray, 1997). FMEA meliputi pengidentifikasian yaitu:

- a. *Failure Cause* : penyebab dari terjadinya suatu mode kegagalan
- b. *Failure Effect*: dampak yang terjadi akibat mode kegagalan. *Failure effect* ini dapat ditinjau dari 3 sisi level yaitu: komponen/lokal, sistem, dan *plant*.

Adapun tahapan-tahapan FMEA menurut Moubray (1997), antara lain:

- a. Identifikasi *failure*
- b. Identifikasi *function failure*
- c. Identifikasi *failure mode*
- d. Identifikasi *failure effect*
- e. Perhitungan *severity*
- f. Perhitungan *occurance*
- g. Perhitungan *detection*
- h. Perhitungan RPN

Dalam FMEA, biasanya dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan tingkat prioritas perawatan dari suatu mode kegagalan. RPN merupakan hubungan antara tiga buah variabel yaitu keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan metode

pendeteksian kegagalan (*detection*). *Risk Priority Number* ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$RPN = S \times O \times D \dots \dots \dots (2.5)$$

*Severity* (keparahan) merupakan peringkat yang menunjukkan keseriusan efek dari mode kegagalan suatu komponen yang potensial. *Severity* sendiri selalu berlaku untuk efek mode kegagalan. Bahkan ada hubungan langsung antara efek dengan *severity* seperti, jika efek dari suatu mode kegagalan tersebut itu kritis maka tingkat keparahannya tinggi, dan sebaliknya jika efeknya tidak kritis maka tingkat keparahannya rendah.

*Occurrence* (kejadian) merupakan peringkat yang berkaitan dengan dengan kemungkinan mode kegagalan terjadi dalam periode waktu tertentu. Dalam kata lain *occurrence* ialah banyaknya kejadian dari suatu mode kegagalan pada suatu komponen dalam periode waktu tertentu.

*Detection* (deteksi) merupakan peringkat dalam metode yang digunakan untuk menilai efektivitas control / inspeksi dalam mendeteksi mode kegagalan ataupun penyebab kegagalan yang potensial dari suatu komponen.

## 2.5 Fault Tree Analysis

*Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan teknik yang digunakan untuk studi yang berkaitan dengan resiko (*risk*) dan keandalan (*reliability*) dari suatu sistem. FTA berorientasi pada fungsi atau yang lebih sering dikenal dengan “*top down approach*”, mengapa demikian karena analisa FTA berawal dari sistem dengan level atas kemudian meneruskannya ke bawah. Titik awal dari analisa yaitu berupa pengidentifikasi mode kegagalan fungsional pada level atas dari suatu sistem atau subsistem. Sebuah TOP event yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem harus diidentifikasi terlebih dahulu sebelum mengkonstruksi FTA.

Setelah mengidentifikasi TOP event, kemudian event-event yang memberi efek secara langsung terhadap terjadinya TOP event, diidentifikasi serta dihubungkan ke TOP event dengan memakai hubungan logika (logical link).

Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan dari komponen sistem (basic event) dan hubungan antara basic event dan TOP event. Berikut tahapan-tahapan yang dilakukan dalam *Fault tree analysis* secara umum yaitu:

- a. Mendefinisikan problem dan kondisi batas dari sistem yang akan dianalisis;
- b. Pengkontruksian *fault tree*;
- c. Mengidentifikasi minimal *cut set* atau minimal *path set*;
- d. Analisa kualitatif dari *fault tree*;
- e. Analisa kuantitatif *fault tree*.

## 2.6 Logic Tree Analysis

Menurut Ahmadi dan Hidayah (2016), dalam penyusunan *logic tree analysis* (LTA) merupakan proses analisa kualitatif yang bertujuan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing mode kegagalan. Selain itu tujuan LTA ialah untuk mengklasifikasikan mode keagalan ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing mode kegagalan berdasarkan kategorinya. Analisis kekritisan menempatkan setiap mode kerusakan ke dalam satu dari empat kategori, yaitu *Evident*, *Safety*, *Outage*, *Category*. Pada bagian *category* terdiri dari 4 kategori yaitu:

- a. Kategori A (*safety problem*), yaitu mode kegagalan suatu komponen yang dapat mengakibatkan gangguan keselamatan pada operator dan lingkungan.
- b. Kategori B (*outage problem*), yaitu mode kegagalan suatu komponen yang dapat mengakibatkan kegagalan pada seluruh ataupun sebagian sistem.
- c. Kategori C (*economic problem*), yaitu mode kegagalan suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada seluruh atau sebagian sistem tetapi menyebabkan kerugian pada perusahaan karena fungsi komponen berkurang.
- d. Kategori D (*hidden failure*), yaitu mode kegagalan suatu komponen yang kegagalan fungsinya tidak disadari dan sulit terdeteksi oleh operator karena tersembunyi dari penglihatan operator.



## 2.7 Total Productive Maintenance

*Total productive maintenance* (TPM) adalah suatu pendekatan untuk manajemen perawatan yang dikembangkan di Jepang oleh Nakajima (1988) untuk mendukung implementasi *just-in-time manufacturing* dan upaya terkait untuk meningkatkan kualitas produk. Kegiatan TPM fokus pada menghilangkan *six major losses* (enam kerugian besar), yaitu;

### a. *Availability losses*

- 1) Kerugian kegagalan perawatan (*breakdown*). biaya terkait termasuk *downtime*, tenaga kerja, dan biaya suku cadang.
- 2) Kerugian pengaturan dan penyesuaian yang terjadi selama pergantian produk, perubahan shift, atau perubahan lain dalam kondisi operasi

### b. *Performance (speed) losses*

- 1) *Idling* dan penghentian minor yang biasanya berlangsung hingga 10 menit. Ini termasuk kemacetan mesin dan penghentian singkat lainnya yang sulit untuk dicatat.
- 2) Kerugian pengurangan kecepatan yang terjadi saat peralatan harus diperlambat untuk mencegah cacat kualitas atau penghentian kecil. Dalam kebanyakan kasus, kehilangan ini tidak dicatat karena peralatan terus beroperasi, meskipun pada kecepatan yang lebih rendah. Berkurangnya kecepatan jelas memiliki efek negatif pada produktivitas dan pemanfaatan aset.

### c. *Quality losses*

- 1) Cacat dalam proses dan pengerjaan ulang kerugian yang disebabkan oleh pembuatan produk yang cacat atau di bawah standar yang harus dikerjakan ulang atau dihilangkan. Kerugian ini termasuk biaya tenaga kerja dan material (jika dibuang) yang terkait dengan produksi yang tidak spesifik.
- 2) Kerugian hasil mencerminkan bahan baku terbuang yang terkait dengan jumlah tolak dan skrap yang dihasilkan dari *start* produksi, pergantian, keterbatasan peralatan, desain produk yang buruk, dan sebagainya. Tidak termasuk kerugian cacat kategori 5 yang dihasilkan selama produksi normal.

*Six major losses* menentukan *overall equipment effectiveness* (OEE), yang merupakan kombinasi multiplikasi dari *equipment availability losses*, *equipment performance losses*, dan *quality losses*. OEE digunakan sebagai indikator seberapa baik kinerja mesin, lini produksi, dan proses dalam hal ketersediaan, kinerja, dan kualitas.  $OEE \geq 85\%$  dianggap sebagai "world class".

## 2.8 Reliability Centered Maintenance

*Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah pendekatan sistematis untuk menentukan persyaratan perawatan pabrik dan peralatan dalam operasinya yang digunakan untuk mengoptimalkan strategi *preventive maintenance* (PM) (Afefy, 2010). Sedangkan menurut Moubray (1997) RCM adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan tindakan perawatan yang diperlukan dari aset fisik untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik, yang menggabungkan analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dalam penentuan program pemeliharannya. Menurut penelitian Utomo (2018) di PT. Petrokimia Gresik, tindakan *maintenance* yang telah dilakukan perusahaan sebelumnya terdapat beberapa poin yang tidak dapat dijangkau oleh tindakan *preventive maintenance* ataupun tindakan lainnya. Namun dengan menggunakan metode RCM bentuk mode kegagalan, penyebabnya, dan efek dari kegagalan komponen dapat ditemukan beserta tindakan ataupun solusi permasalahannya.

Menurut Hidayat dkk (2010) *Reliability centered maintenance* (RCM) merupakan teknik yang lebih baik dan maju dalam menentukan aktivitas *preventive maintenance*, menjamin aset beroperasi dengan desain asli dan mampu menjalankan fungsinya sesuai dengan keinginan pengguna aset. *Failure mode and effects analysis* (FMEA) adalah kunci RCM yang menerapkan proses pada masing-masing aset ditinjau dari fungsi dan *performance* yang diinginkan.

Menurut Hamid (2019), ada beberapa tahapan dalam penyusunan RCM, yaitu:

### a. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi

Jika seluruh sistem yang ada ingin diperbaiki, maka akan memerlukan waktu yang cukup lama serta membutuhkan biaya yang tinggi. Sehingga untuk

menyederhanakan permasalahan perlu ditentukannya sistem yang akan dianalisis secara mendetail. Dalam pemilihan sistem dapat berdasarkan aspek kriteria berikut:

- 1) Sistem dapat mempengaruhi keselamatan (*safety*) dan lingkungan (*enviromtment*);
- 2) Sistem yang memiliki *preventive maintenance* dan/atau biaya *preventive maintenance* yang banyak dan tinggi;
- 3) Sistem yang memiliki *corrective maintenance* dan/atau biaya *corrective maintenance* yang banyak dan tinggi;
- 4) Sistem yang memiliki tingkat kontribusi yang besar penyebab *full* atau *partial outage* (*shutdown*) pada suatu sistem.

b. Definisi batasan sistem

Definisi batasan sistem (*system boundary definition*) dilakukan guna untuk mengetahui batasan-batasan yang termasuk dan yang tidak termasuk dalam sistem yang akan dianalisis dengan RCM. Sehingga semua fungsi dari sistem dapat diketahui dengan jelas dan perumusan definisi batasan sistem yang baik dan benar dapat menjamin keakuratan proses analisis sistem.

c. Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsional

Deskripsi sistem dan diagram blok merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem yang berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut.

d. Penentuan fungsi dan kegagalan fungsional

Fungsi dapat diartikan sebagai standar kerja yang diinginkan oleh pengguna dari sistem. Sehingga kegagalan fungsional dapat diartikan sebagai ketidakmampuan suatu sistem untuk menjalankan fungsi sesuai standarnya yang dapat diterima pengguna dari sistem tersebut. Suatu fungsi dapat memiliki lebih dari satu kegagalan.

e. *Failure mode effect analysis*

f. *Failure Consequence*

*Failure consequence* atau konsekuensi kegagalan merupakan konsekuensi dari setiap kegagalan yang terjadi pada suatu sistem. Dalam RCM, *failure consequence* terbagi menjadi 4, yaitu

1) *Hidden failure consequence*

*Hidden failure consequence* merupakan konsekuensi dari suatu mode kegagalan yang terjadi tidak dapat diketahui oleh operator pada saat kondisi normal. Konsekuensi dari kegagalan ini dapat menimbulkan kegagalan lainnya.

2) *Safety and environmental consequence*

*Safety and environmental consequence* merupakan konsekuensi dari suatu kegagalan yang terjadi dapat berdampak kepada kesehatan/keselamatan operator, manusia lain, dan lingkungan sekitar.

3) *Operational consequence*

*Operational consequence* merupakan konsekuensi dari kegagalan dapat memengaruhi kemampuan operasional dari sistem.

4) *Non-operational consequence*

*Non-operational consequence* merupakan kegagalan yang terjadi sama sekali tidak menimbulkan konsekuensi baik keamanan, lingkungan, maupun operasional. Konsekuensi yang ditimbulkan biasanya hanya berupa biaya perawatan / perbaikan.

g. *Proactive Task and Default Action*

*Proactive task* adalah tindakan yang dapat dilakukan sebelum terjadinya suatu kegagalan. *Proactive Task* bertujuan untuk mencegah komponen atau sistem masuk kedalam kondisi gagal. Tindakan yang termasuk dalam *proactive task* yaitu *predictive maintenance* dan *preventive maintenance*. *Predictive maintenance* termasuk dalam *schedule on-condition task*. Sedangkan *preventive maintenance* termasuk dalam *schedule restoration task* dan *schedule discard task*.

1) *Schedule on-condition task*

*Schedule on-condition task* adalah tindakan inspeksi komponen-komponen yang berpotensi terjadi kegagalan. *Schedule on-condition task* bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi. Syarat dilakukannya tindakan ini, setiap



komponen yang akan dilakukan perawatan harus didefinisikan secara jelas bagaimana bentuk potensi kegagalannya.

2) *Schedule restoration task*

*Schedule restoration task* merupakan tindakan perawatan berupa *remanufacturing single component* atau berupa pembongkaran komponen secara keseluruhan kemudian dilakukan perbaikan atau membentuk kembali komponen tersebut mendekati atau sesuai dengan kondisi awal komponen, yang dilakukan pada saat atau sebelum batas umur dari komponen tersebut.

3) *Schedule discard task*

*Schedule discard task* merupakan tindakan perawatan dimana dilakukan pergantian komponen pada saat atau sebelum dari batas umur komponen.

*Default task* merupakan tindakan perawatan yang dilakukan dimana sistem atau komponen benar-benar dalam kondisi gagal dalam menjalankan fungsinya dan tidak mungkin untuk dilakukan tindakan *proactive task*. Tindakan yang termasuk dalam *default task* antara lain:

1) *Failure finding*

*Failure finding* merupakan tindakan mencari kegagalan dari suatu sistem atau komponen dengan cara pengecekan berkala terhadap fungsi tersembunyi sistem atau komponen tersebut. Pengecekan ini bertujuan untuk memastikan sistem atau komponen masih dapat berfungsi atau tidak. Jika sistem atau komponen dipastikan tidak dapat menjalankan fungsinya atau rusak maka wajib dilakukan pergantian ataupun *redesign*.

2) *Redesign*

*Redesign* merupakan tindakan mendesain ulang suatu komponen dan prosedur kerja. Tindakan ini juga mencakup pergantian komponen, pergantian mesin dan penambahan alat baru.

3) *No schedule maintenance*

*No schedule maintenance* merupakan tindakan tanpa melakukan perawatan atau perbaikan. Dengan kata lain, tindakan ini merupakan tindakan membiarkan suatu komponen atau sistem gagal dan setelah gagal akan



dilakukan perbaikan. Tindakan ini dilakukan apabila sudah tidak ditemukan pertimbangan tindakan *proactive task* yang efektif.

#### h. RCM *Information Worksheet*

RCM *information worksheet* merupakan form yang berisi informasi mengenai *function* (fungsi), *functional failure* (kegagalan fungsional), *failure mode* (mode kegagalan), dan *failure effect* (efek kegagalan) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.

RCM II INFORMATION WORKSHEET © 1996 ALADON LTD		SYSTEM <i>Cooling Water Pumping System</i>	
		SUB-SYSTEM	
FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE (Loss of Function)	FAILURE MODE (Cause of Failure)	
1 To transfer water from tank X to tank Y at not less than 800 litres/minute	A Unable to transfer any water at all	1 Bearing seizes 2 <b>Impeller comes adrift</b> 3 <b>Impeller jammed by foreign object</b> 4 Coupling hub shears due to fatigue 5 Motor burns out 6 Inlet valve jams closed ... etc	
	B Transfers less than 800 litres per minute	1 <b>Impeller worn</b> 2 Partially blocked suction line ... etc	

Gambar 2 4 Form RCM *information worksheet* (Moubray, 1997)

#### i. RCM *Decision Worksheet*

RCM *decision worksheet* merupakan cara untuk menemukan *maintenance task* yang tepat dan efektif. RCM *decision worksheet* berbentuk berupa form yang berisi tentang tahapan yang telah dijelaskan sebelumnya. Bentuk form RCM *decision worksheet* dapat dilihat pada Gambar 2.5.

RCM II DECISION WORKSHEET © 1990 ALADDIN LTD		SYSTEM		System NP	Facilitator:	Date	Sheet NP	
SUB-SYSTEM		SUB-SYSTEM		Sub-system NP	Auditor:	Date	of	
Information reference	Consequence evaluation	H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Default action	Proposed task	Initial interval	Can be done by
F FF FM	H S E O	N1	N2	N3	H4 H5 S4			

Gambar 2.5 Form RCM *decision worksheet* (Moubray, 1997)

Dari Gambar 2.5 di atas kolom *information reference* berisi *function* (F), *failure function* (FF), dan *failure mode* (FM), informasi ini didapatkan berdasarkan *RCM information worksheet*. Kolom *consequence evaluation* berisi *hidden failure consequence* (H), *safety consequence* (S), *environmental consequence* (E), dan *operational consequence* (O). Pada kolom selanjutnya berisi apakah tindakan-tindakan *proactive task* mampu mencegah dan mengantisipasi *failure consequence*, tindakan-tindakan tersebut di konotasikan dengan H1, H2, H3, H4 dan seterusnya. Kolom *default action* berisi informasi *default action* apakah yang mampu mengatasi kondisi jika terjadi kegagalan, H4 untuk *failure finding*, H5 untuk *redesign* dan S4 untuk *non schedule maintenance*. Pada kolom *proposed task* berisi tentang kesimpulan *maintenance task* yang tepat berdasarkan analisa dari kolom-kolom sebelumnya.

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif. Metode deskriptif adalah sebuah metode penelitian yang mencari dan menentukan sebuah ilmu pengetahuan yang sesuai dengan apa yang ditemukan dan fakta di lapangan. Metode ini mengumpulkan data-data secara detail, mendalam dan actual, kemudian data yang diperoleh dianalisis sehingga dapat menentukan solusi untuk mengatasi permasalahan yang terjadi di lapangan. Dalam penelitian ini data dianalisis menggunakan metode *reliability centered maintenance* (RCM).

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di departemen OPP pada perusahaan PT. Bumi Suksesindo yang berlokasi di Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur seperti pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Departemen OPP PT. Bumi Suksesindo (Sumber: PT BSI, 2019)

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah sesuatu yang dapat ditetapkan ataupun diubah oleh peneliti untuk diketahui dan dipelajari sehingga dapat diperoleh informasi dan pengaruhnya bagi penelitian baik secara teoritis dan actual. Beberapa variabel yang

digunakan dalam penelitian adalah variabel bebas dan variabel terikat. Berikut penjelasan dari masing – masing variabel penelitian.

Variabel bebas adalah variabel ataupun perlakuan yang bebas ditentukan oleh peneliti dan dapat menentukan variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah data produksi dan data maintenance PT. Bumi Suksesindo. Kemudian data yang diperoleh akan dianalisis dengan metode RCM.

Variabel terikat adalah variabel hasil yang dapat dicari dan dihitung visual atau nilainya. Variabel ini diperoleh dari adanya variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah tabel keputusan perawatan RCM, yang berisi komponen yang mengalami kegagalan, *failure cause* (penyebab kegagalan), *risk priority number*, *rank* berdasarkan *logic tree analysis*, konsekuensi kategori kegagalan, *maintenance task*, *mean time between failure*, *mean time between repair* dan juga usulan tindakan perawatan yang sesuai.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan pada saat penelitian yang terdiri dari persiapan penelitian, tahapan pengambilan data, tahapan analisa data, hipotesis, kesimpulan serta saran.

#### a. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian dapat dilakukan dengan cara studi literature dan observasi ataupun studi dilapang. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara mencari data melalui beberapa referensi seperti jurnal, buku, maupun data resmi dari perusahaan. Sedangkan observasi dapat dilakukan dengan cara mencari perusahaan yang bersedia untuk dilaksanakan studi lapang sesuai dengan topik penelitiannya.

#### b. Tahapan Pengambila Data

Ada 2 jenis pengambilan data dalam penelitian ini yaitu primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh peneliti secara langsung melalui hasil wawancara dengan pihak perusahaan yang terkait maupun melalui observasi di lapangan. Sedangkan data sekunder merupakan data yang diperoleh peneliti dari laporan perusahaan yaitu data maintenance dan data produksi.



c. Tahapan Analisis Data

Tahapan analisis data yang dilakukan dengan menganalisis data downtime dan breakdown di mesin *cone crusher* yang diproses dengan metode realibility centered maintenance (RCM).

d. Usulan

Setelah mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan pada mesin *cone crusher* maka dibuat usulan perawatan dan perbaikan sesuai faktor dari permasalahan tersebut.

e. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian berdasarkan pada uji hipotesis yang hasilnya bisa menunjukkan diterima atau tidaknya uji hipotesis tersebut.

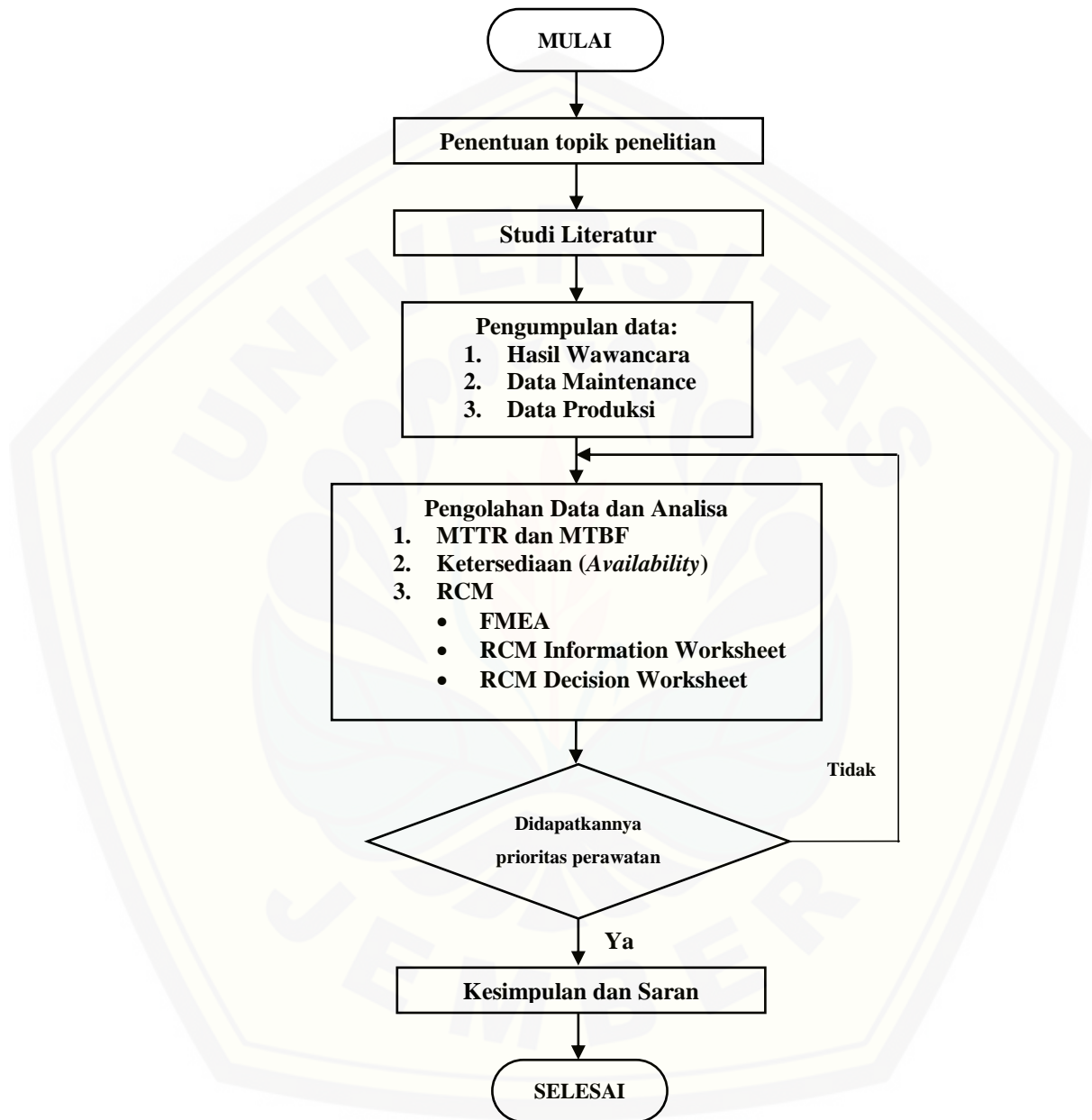
f. Saran

Hasil dari penelitian ini nantinya dapat digunakan sebagai solusi perbaikan perawatan untuk perusahaan.



### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian ini yang dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan hasil analisa yang telah dilakukan penulis pada bab sebelumnya maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai rata-rata *availability* mesin *cone crusher* selama bulan Januari 2018 sampai April 2019 adalah 72.48%. Hal ini menunjukkan bahwa mesin mampu bekerja sesuai dengan standar perusahaan.
- b. Hasil analisa FMEA dengan memperhatikan nilai *Risk Priority Number* (RPN) menunjukkan bahwa komponen kritis yang perlu mendapat prioritas utama untuk diperhatikan adalah *bowl liner* (336) dan *head liner* (336)
- c. Hasil analisa RCM *decision worksheet* pada komponen yang mendapat prioritas utama dapat dilakukan tindakan yaitu: komponen *bowl liner* dan *head liner* dilakukan *discard task* berupa inspeksi 1 minggu sekali untuk memastikan kondisi serta mengecek ketebalan dari liner, dilakukannya pergantian liner sebelum habis umur pakainya, dan penyediaan *spare parts bowl-head liner* minimal 6 set setiap tahunnya.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Menyediakan *spare part* pada komponen kritis maupun yang tidak, sehingga ketika terjadi kegagalan maka perusahaan sudah siap dalam perbaikan ataupun penggantian.
- b. Lebih meningkatkan pengawasan pada mesin *cone crusher* dan tindakan inspeksi pada komponen *bowl* dan *head liner*.
- c. Lebih meningkatkan tindakan perawatan sesuai dengan SOP yang dimiliki perusahaan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Afey, I. H. 2010. Reliability-centered maintenance methodology and application: A case study. *Scientific Research, Engineering*. 2: 863-873.
- Ahmadi, N., dan N. Y. Hidayah. 2017. Analisis pemeliharaan mesin blowmould dengan metode RCM di PT. CCAI. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. 16(2): 167-176.
- Hidayat, R., N. Ansori., dan A. Imron. 2010. Perencanaan kegiatan maintenance dengan metode reliability centered maintenance II. *Makara Teknologi*. 14(1):7-14.
- Hamid, R. A. 2019. Perancangan Penjadwalan dan Maintenance Task pada Boiler dengan metode *Reliability Centered Maintenance*. *Skripsi*. Jember: Teknik Mesin, Universitas Jember.
- Manik, J.D.N. 2013. Pengelolaan pertambangan yang berdampak lingkungan di Indonesia. *Jurnal Promine*.
- Moubray, J. 1997. *Reliability Centered Maintenance II*. 2<sup>nd</sup> ed. Woburn: Butterworth-Heinimann, Ltd.
- Patrick, O. 2001. *Practical Reliability Engineering. Fourth Edition*. New Jersey: John Willey & Sons, Ltd.
- Priyanta, D. 2000. *Keandalan dan Perawatan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sinha. R. S., dan A. K. Mukhopadhyay. 2013. Analysis of failure statistic for cone crusher maintenance Vis-à-vis operational reliability assessment. *IJMPERD*. 3(1): 125-132.
- Stamatis, D. H. 2003. *Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from Theory to Execution*. 2<sup>nd</sup> ed. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- Utomo, M. R. W. 2018. Perencanaan Perawatan Mesin Pump 107 dengan Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* di PT. Petrokimia Gresik. *Skripsi*. Jember: Teknik Mesin, Universitas Jember.

**LAMPIRAN**

Lampiran 4.1 Kriteria *Severity*

<b>Effect</b>	<b>Criteria Severity</b>	<b>Rank</b>
Berbahaya tanpa peringatan	Tingkat keparahan sangat tinggi: Mempengaruhi operator, pabrik atau personel pemeliharaan, keselamatan dan atau dampak ketidakpatuhan terhadap peraturan pemerintah tanpa peringatan	10
Berbahaya dengan peringatan	Keparahan tinggi: Mempengaruhi operator, pabrik, or maintenance personnel, keselamatan dan atau dampak ketidakpatuhan terhadap peraturan pemerintah dengan peringatan	9
Sangat tinggi	Downtime 8+ jam atau, produksi suku cadang yang rusak selama lebih dari 2 jam	8
Tinggi	Downtime 2 sampai 4 jam atau, produksi cacat hingga 2 jam	7
Sedang	Downtime 60-120 menit atau, produksi suku cadang yang rusak hingga 60 menit	6
Rendah	Downtime 30-60 menit tanpa produksi bagian cacat atau, produksi bagian yang rusak hingga 30 menit	5
Sangat rendah	Downtime 15-30 menit tanpa produksi bagian cacat	4
Kecil	Downtime hingga 15 menit tanpa produksi bagian cacat	3
Sangat kecil	Variabilitas parameter proses tidak dalam batas spesifikasi. penyesuaian dapat dilakukan selama produksi. tidak ada downtime dan tidak ada cacat	2
Tidak ada	Variabilitas parameter proses dalam batas spesifikasi. Penyesuaian dapat dilakukan selama perawatan normal	1

(Sumber: Stamatis, 2003)

Lampiran 4.2 Kriteria *Occurrence*

<b>Probability of Failure</b>	<b>Criteria of Occurrence</b>	<b>Rank</b>	<b>Alternate criteria for occurrence</b>
Kegagalan terjadi setiap jam	$R(t) < 1$ atau MTBF	10	1 dalam 1
Kegagalan terjadi setiap shift	$R(t) = 5\%$	9	1 dalam 8
Kegagalan terjadi setiap hari	$R(t) = 20\%$	8	1 dalam 24
Kegagalan terjadi setiap minggu	$R(t) = 37\%$	7	1 dalam 80
Kegagalan terjadi setiap bulan	$R(t) = 60\%$	6	1 dalam 350
Kegagalan terjadi setiap 3 bulan	$R(t) = 78\%$	5	1 dalam 1000
Kegagalan terjadi setiap 6 bulan	$R(t) = 85\%$	4	1 dalam 2500
Kegagalan terjadi setiap tahun	$R(t) = 90\%$	3	1 dalam 5000
Kegagalan terjadi setiap 2 tahun	$R(t) = 95\%$	2	1 dalam 10000
kegagalan terjadi setiap 5 tahun	$R(t) = 98\%$	1	1 dalam 25000

(Sumber: Stamatis, 2003)



Lampiran 4.3 Kriteria *Detection*

<b>Detection</b>	<b>Criteria for Detection</b>	<b>Rank</b>
Sangat rendah	Kontrol desain saat ini tidak dapat mendeteksi penyebab potensial atau tidak ada kontrol desain yang tersedia	10
	Kebijaksanaan tim tergantung pada mesin dan situasi	9
	Kebijaksanaan tim tergantung pada mesin dan situasi	8
Rendah	Kontrol mesin akan mengisolasi mode penyebab dan kegagalan setelah kegagalan terjadi, tetapi tidak akan mencegah terjadinya kegagalan	7
	Kebijaksanaan tim tergantung pada mesin dan situasi	6
Sedang	Kontrol permesinan akan memberikan indikator kegagalan yang akan terjadi	5
	Kebijaksanaan tim tergantung pada mesin dan situasi	4
Tinggi	Kontrol mesin akan mencegah kegagalan yang akan terjadi dan mengisolasi penyebabnya	3
	Kebijaksanaan tim dihasilkan tergantung pada mesin dan situasi	2
Sangat tinggi	Kontrol mesin tidak diperlukan. kontrol desain hampir setiap waktu akan mendeteksi penyebab potensial dan kegagalan selanjutnya	1

(Sumber: Stamatis, 2003)

Lampiran 4.4 Dokumentasi Pembongkaran *Bowl* dan *Head Liner Cone Crusher*



## Lampiran 4.5 Transkrip Wawancara pada Informan

**Informan** : AA dan MS

**Hari, Tanggal Wawancara** : Selasa, 21-23 Mei 2019

**Waktu Wawancara** : 09.00 WIB

**Lokasi Wawancara** : Departemen OPP

No	Pertanyaan	Jawaban
1	Tindakan perawatan apa yang sering dilakukan pada mesin <i>cone crusher</i> ?	Untuk tindakan perawatan yang dilakukan setiap harinya itu pengecekan suhu motor penggerak mas, dan disini biasa dilakukan <i>planned shutdown</i> 1 bulan sekali, untuk memeriksa keseluruhan sistem produksi termasuk mesin <i>cone crusher</i> , dimana akan dilakukan inspeksi atau pengecekan pada komponen-komponen utama, seperti <i>bowl liner</i> , <i>head liner</i> , oli mesin maupun oli hidrolis, kemudian motor listrik dll.
2	Dari data yang saya dapat, ada beberapa komponen seperti <i>bowl liner</i> , <i>head liner</i> , <i>dust seal</i> , <i>oil lubrication</i> , <i>belt</i> , <i>feed cone</i> , <i>bearing</i> , dan motor, apa merupakan komponen yang rawan dan sering terjadi kegagalan/kerusakan?	Iya mas, untuk pembongkaran <i>bowl-head liner</i> itu aja bisa memakan waktu 8 jam lebih mas.
3	Pada komponen <i>bowl liner</i> dan <i>head liner</i> , mode kegagalan apa	Aus mas, kan <i>liner</i> itu ada batas pakainya, batas pakainya itu



	yang sering terjadi dan apa penyebabnya serta efek dari kegagalan tersebut terhadap mesin <i>cone crusher</i> ?	berdasarkan jumlah produksi material yang telah dihancurkan, yang dipakai disini itu yang 500000 ton sama 600000 ton. Kalau melewati batas itu <i>liner</i> akan menjadi tipis, dan bisa-bisa berlubang yang nanti efeknya bakal merusak <i>bowl</i> dan <i>head</i> yang akhirnya biaya perbaikannya akan meningkat.
4	Dengan mode kegagalan berupa aus atau robek/berlubang, apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan ini mudah diketahui operator?	Susah mas, karena untuk mesin <i>cone crusher</i> itu beroperasi terus menerus, bisa dilakukan inspeksi itu yah setiap ada <i>planned shutdown</i> tiap bulannya itu.
5	Apakah tindakan untuk mendeteksi kegagalan yang sedang terjadi atau yang akan terjadi layak untuk dilakukan?	Bisa dikatakan tidak sih mas, karena kalau menunggu <i>planned shutdown</i> tiap bulannya, takutnya kondisi <i>liner</i> sudah rusak sebelum itu.
6	Apakah tindakan <i>restoration</i> untuk mengurangi tingkat kegagalan layak dilakukan?	Kalau perbaikan sepertinya tidak mas
7	Apakah tindakan discard/penggantian sebelum habis umur pakainya untuk mengurangi tingkat kegagalan layak dilakukan?	Memungkinkan mas, dapat dilakukan dengan meninjau dari jumlah produksi dari <i>cone crusher</i> .
8	Pada komponen <i>dust seal</i> , kegagalan apa yang sering terjadi dan apa penyebabnya serta efek	Robek sih mas dan efeknya nanti debu bisa masuk ke oli ataupun

	dari kegagalan tersebut terhadap mesin <i>cone crusher</i> ?	komponen-komponen yang bergerak lainnya.
9	Dengan mode kegagalan berupa robek, apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan ini mudah diketahui operator?	Yah agak sulit mas, tetap harus dibongkar dulu, lalu dilihat kondisinya apakah masih baik atau tidak, kalau tidak yah dilakukan pergantian.
10	Pada komponen <i>oil lubrication</i> , kegagalan apa yang sering terjadi dan apa penyebabnya serta efek dari kegagalan tersebut terhadap mesin <i>cone crusher</i> ?	Terkontaminasi debu, air dan unsur lainnya mungkin, penyebabnya yah itu tadi kalau disambungan pipa <i>dust seal</i> ada yang robek air sama debu bisa masuk kedalam oli, nah kalau udah masuk ke oli bisa merusak komponen lainnya juga.
11	Dengan mode kegagalan berupa terkontaminasi tadi, apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan ini mudah diketahui operator?	Untuk tingkat oli bisa dipantau melalui <i>control room</i> , kalau untuk melihat kondisi oli yah harus dilihat secara langsung mas.
12	Apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan dapat melukai dan berbahaya bagi operator dan orang disekitarnya?	Tidak sih mas
13	Apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan dapat melanggar standar keamanan lingkungan yang ada?	Tidak juga mas



14	Apakah mode kegagalan ini memiliki efek merugikan terhadap fungsi operasional (output, kualitas, layanan, atau biaya) secara langsung?	Mungkin di biaya ya mas, karena bisa merusak komponen yang lain jika sudah terkontaminasi.
15	Apakah tindakan untuk mendeteksi kegagalan yang sedang terjadi atau yang akan terjadi layak untuk dilakukan?	Inspeksi secara langsung yang memang paling memungkinkan mas, dilihat kondisinya bagaimana, kalau sudah terlalu kotor yah oli diganti.
16	Pada komponen <i>belt</i> , kegagalan apa yang sering terjadi dan apa penyebabnya serta efek dari kegagalan tersebut terhadap mesin <i>cone crusher</i> ?	Kalau <i>belt</i> itu, dulu pernah putus itu gara-gara sudah waktunya ganti dan <i>belt</i> nya terlalu kencang kalau ga salah, akhirnya yah mesin berhenti mas, dan itu bisa dilihat di <i>control room</i> . Kemudian pernah kendor, licin juga pernah karena ketumpahan oli, efeknya jadi putaran <i>cone crusher</i> jadi berkurang padahal rpm motor udh tinggi.
17	Dengan mode kegagalan berupa putus, apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan dapat melukai dan berbahaya bagi operator dan orang disekitarnya?	Bisa mas, jika pas waktu putus ada operator berada didekat <i>belt</i> tersebut.
18	Apakah tindakan untuk mendeteksi kegagalan yang sedang terjadi atau	Bisa dilakukan inspeksi sih mas, untuk melihat kondisi dari <i>belt</i> apakah sudah pecah/retak, licin,

	yang akan terjadi layak untuk dilakukan?	atau longgar maupun terlalu kencang. Dan jika kondisi <i>belt</i> sudah buruk, bisa dilakukan pergantian.
19	Pada komponen <i>feed cone</i> , kegagalan apa yang sering terjadi dan apa penyebabnya serta efek dari kegagalan tersebut terhadap mesin <i>cone crusher</i> ?	Dulu sempat berlubang sih mas, mungkin selain karena aus bisa juga karena karat sehingga bisa menimbulkan lubang, efeknya sih material bisa keluar dari lubang itu.
20	Dengan mode kegagalan berupa aus dan berlubang, apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan ini mudah diketahui oleh operator?	Mudah mas, karena lubangnya dapat terlihat
21	Apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan dapat melukai dan berbahaya bagi operator dan orang disekitarnya?	Bisa saja sih mas, karena kita tidak tahu bila ada material yang tiba-tiba terlempar keluar.
22	Apakah tindakan untuk mendeteksi kegagalan yang sedang terjadi atau yang akan terjadi layak untuk dilakukan?	Sepertinya tidak mas, jika terlihat lubang biasanya langsung dilakukan penambalan pakai plat kemudian dilas gitu mas.
23	Pada komponen <i>bearing</i> , kegagalan apa yang sering terjadi dan apa penyebabnya serta efek dari kegagalan tersebut terhadap mesin <i>cone crusher</i> ?	Aus sama dulu itu pernah timbul suara akibat ada <i>ball</i> yang pecah, penyebabnya sih bisa karena debu yang masuk kedalam <i>bearing</i> dan kurangnya pelumasan/stampad itu mas, efeknya yah kemampuan

		menahan putaran poros berkurang mas.
24	Dengan mode kegagalan berupa aus dan timbul suara, apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan ini mudah diketahui oleh operator?	Sulit sih mas, mungkin kalau yang timbul suara masih bisa dideteksi.
25	Apakah tindakan untuk mendeteksi kegagalan yang sedang terjadi atau yang akan terjadi layak untuk dilakukan?	Kalau untuk pelumasan mungkin masih bisa dilakukan rutin mas, tapi untuk mencegah terjadinya aus atau ada bearing yang pecah mungkin agak sulit.
26	Apakah tindakan <i>restoration</i> untuk mengurangi tingkat kegagalan layak dilakukan?	Tidak mungkin sih mas
27	Apakah tindakan discard/penggantian sebelum habis umur pakainya untuk mengurangi tingkat kegagalan layak dilakukan?	yah ini yang paling memungkinkan mas, bisa dilakukan penggantian sebelum umurnya habis
28	Pada komponen <i>motor</i> , kegagalan apa yang sering terjadi dan apa penyebabnya serta efek dari kegagalan tersebut terhadap mesin <i>cone crusher</i> ?	Dulu itu pernah timbul bunyi gitu mas, ada bagian yang rusak didalamnya.
29	Dengan mode kegagalan berupa timbul suara, apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan ini mudah diketahui oleh operator?	Mudah mas, dan juga jika ada masalah di motor pasti bisa dipantau melalui <i>control room</i> .

30	Apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan dapat melukai dan berbahaya bagi operator dan orang disekitarnya?	Tidak mas
31	Apakah hilangnya fungsi yang disebabkan oleh mode kegagalan dapat melanggar standar keamanan lingkungan yang ada?	Tidak
32	Apakah mode kegagalan ini memiliki efek merugikan terhadap fungsi operasional (output, kualitas, layanan, atau biaya) secara langsung?	Bisa jadi mas, bisa merusak komponen yang lain juga dari motor dan menimbulkan biaya lebih
33	Apakah tindakan untuk mendeteksi kegagalan yang sedang terjadi atau yang akan terjadi layak untuk dilakukan?	Sulit dideteksi sih mas
34	Apakah tindakan <i>restoration</i> untuk mengurangi tingkat kegagalan layak dilakukan?	Tidak mungkin untuk dilakukan perbaikan, kemungkinan besar langsung dilakukan penggantian mas jika ada komponen motor yang rusak.
35	Dari perusahaan sendiri sekiranya apa yang akan dilakukan untuk meningkatkan kualitas dari perawatan dari mesin <i>cone crusher</i> ?	Lebih meningkatkan tindakan inspeksi rutin lebih rutin, bukan hanya 1 bulan sekali, sehingga kondisi komponen-komponen mesin <i>cone crusher</i> bisa lebih terjaga dan terawat.

Lampiran 4.6 Polusi *Oil Lubrication*

<b>Contamination Chemical component</b>	<b>If the analysis gives results lower than the following values, no further investigation is necessary</b>
Copper (Cu)	210 PPM
Aluminium (Al)	10 PPM
Iron (Fe)	50 PPM
Silica (Si)	65 PPM
Chromium (Cr)	1.5 PPM
Lead (Pb)	190 PPM
Total solid particles	0.2%
Water	1%
Viscosity at 40°C	140 mm <sup>2</sup> /s

1 PPM = 1mg/kg

(Sumber: Installation, Operation and Maintenance Manual - Secondary Cone Crusher HP500)



Lampiran 4.7 Daftar Motor Mesin *Cone Crusher*

**HP500 CONE CRUSHER - MOTOR LIST**

<u>Main Drive Motor</u>	TECO 355 kW 4 Pole D355AC Frame 1475 RPM 380 Volt 50 Hz
<u>Hydraulic Unit Motor</u>	7.5kW 132M Frame 1470 RPM 380 Volt 50 Hz
<u>Lubrication Unit Pump Motor</u>	7.5kW 132M Frame 1470 RPM 380 Volt 50 Hz
<u>Oil Heaters</u>	3 x 4.6 kW each
<u>Air Cooler Fan Motor</u>	5.5kW 1485 RPM 380 Volt 50 Hz
<u>Blower Motor</u>	0.55kW 2790 RPM 380 Volt 50 Hz

		<b>CERTIFIED</b>	
<b>PURCHASER NAME</b> PT BLM SUKSESINDO		<b>METSO MINERALS SIN</b> HP500MAG315	
<b>CUSTOMER NAME</b> PT BLM SUKSESINDO		<b>EQUIPMENT NAME</b> SECONDARY CRUSHER	
<b>PROJECT NAME</b> TUBUH BAWIT GOLD - ORE PREPARATION PLANT		<b>CUSTOMER DIVISION/KEY PROJECT PRIC/INSTRUMENT</b>	
<b>METSO PROJECT CODE</b> C6148		<b>SUBMITTED BY</b> METSO MINERALS	
<b>CUSTOMER EQUIPMENT NUMBER</b> 20 - CRU - 02		<b>DATE SUBMITTED</b> 20 May 2015	