

**USULAN PERENCANAAN PERAWATAN MESIN DENGAN  
METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) DAN  
*AGE REPLACEMENT* PADA MESIN *SUBMERGED SCRAPER*  
*CHAIN CONVEYOR* (SSCC)**

**(Studi Kasus : PT. TANJUNG JATI B UNIT 1 PLTU Jepara)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1  
Pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia**



**Nama : Elisa Nadia Arinta**

**NIM : 16 522 114**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2020**

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN TUGAS AKHIR

Demi Allah, saya akui karya ini ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian harinya ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.



Yogyakarta, 10 Agustus 2020



Elisa Nadia Arinta

## SURAT BUKTI PENELITIAN TUGAS AKHIR



Letter

1(1)

Rozaqiyah

August 10<sup>th</sup>, 2020

TJB-HR-5985 R00

### SURAT KETERANGAN PELAKSANAAN PENGAMBILAN DATA TUGAS AKHIR

Dengan ini menyatakan bahwa :

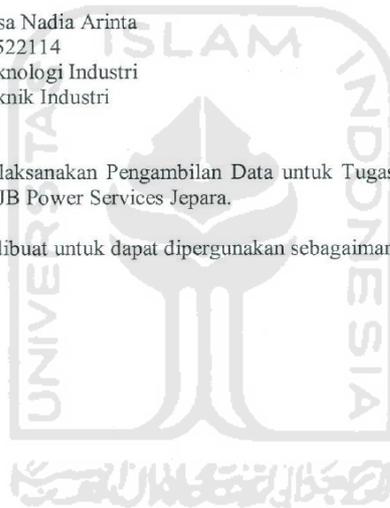
Nama	: Elisa Nadia Arinta
No Mahasiswa	: 16522114
Fakultas	: Teknologi Industri
Program Studi	: Teknik Industri

Nama tersebut diatas telah melaksanakan Pengambilan Data untuk Tugas Akhir pada tanggal 01 sampai 30 Maret 2020 di PT. TJB Power Services Jepara.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jepara, August 10<sup>th</sup>, 2020

  
  
 Arry Wiranto  
 HRD Manager



## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

USULAN PERENCANAAN PERAWATAN MESIN DENGAN METODE  
*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DAN AGE REPLACEMENT*  
PADA MESIN *SUBMERGED SCRAPER CHAIN CONVEYOR (SSCC)*  
(Studi Kasus : PT. TANJUNG JATI B UNIT 1 PLTU Jepara)



Yogyakarta, 27 Juli 2020

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dian Janari', written over a horizontal line.

(Dian Janari, S.T., M.T.)

**USULAN PERENCANAAN PERAWATAN MESIN DENGAN METODE  
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DAN AGE REPLACEMENT  
PADA MESIN SUBMERGED SCRAPER CHAIN CONVEYOR (SSCC)**

(Studi Kasus : PT. TANJUNG JATI B UNIT 1 PLTU Jepara)

**TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh :

Nama : Elisa Nadia Arinta

No. Mahasiswa : 16 522 114

Telah dipertahankan didepan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta, 25 September 2020

Tim Penguji

Dian Janari, S.T., M.T.

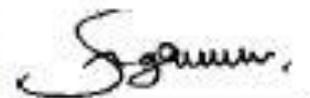
Ketua

Muchamad Sugariindra, S.T., M.T.

Anggota 1

Suci Miranda, S.T., M.Sc.

Anggota 2


Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



  
Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT, kita memuji-Nya, dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Kita berlindung kepada Allah dari kejahatan diri kita dan keburukan amal kita. Barang siapa mendapat petunjuk dari Allah maka tidak akan ada yang menyesatkan dan barang siapa yang sesat maka tidak ada pemberi petunjuk baginya. Aku bersaksi bahwa tidak ada Tuhan selain Allah dan bahwa Muhammad adalah hamba dan Rasul-Nya. Semoga doa, shalawat tercurah pada junjungan dan suri tauladan kita Nabi Muhammad SAW, keluarganya, dan sahabat serta siapa saja yang mendapat petunjuk hingga hari kiamat. Aamiin.

Persembahan Tugas Akhir ini dan rasa terima kasih saya ucapkan untuk :

1. Keluargaku tercinta, kedua orang tuaku serta adik kandungku yang telah memberikan kasih sayang, do'a, dukungan serta motivasi baik secara moril maupun materil untuk selalu terikat dengan hukum syara' dan menjadi orang yang bahagia di dunia maupun di akhirat.
2. Sahabat – sahabatku tersayang yang senantiasa selalu menguatkan saya dan memberikan semangat selama di kuliah ini.
3. Teman – temanku program studi Teknik Industri angkatan 2016 tersayang yang senantiasa memberikan semangat pada saya.
4. Almamaterku tercinta Universitas Islam Indonesia.

## MOTTO

*"Wahai orang-orang yang beriman, bersabarlah engkau dan kuatkanlah kesabaranmu."*

*(QS Al Imran: 200)*



## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarokatuh,*

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kami kemudahan sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu khususnya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* Pada Mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC)” Pada Proses Listrik Selama Masa Operasional Periode 2019 di PLTU Tanjung Jati B *Power Services* Unit 1, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Tanpa pertolongan-Nya tentunya kami tidak akan sanggup untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga terlimpah curahkan kepada baginda tercinta kita yaitu Nabi Muhammad SAW yang kita nanti-nantikan syafa’atnya di akhirat nanti tepat pada waktunya. Tugas Akhir merupakan salah satu syarat yang wajib ditempuh oleh mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri untuk memperoleh gelar sarjana strata - 1. Tugas Akhir ini disusun sebagai mencari hasil analisis kualitatif dan data kuantitatif pada PT. TJB *Power Services* Unit 1, Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah, berhubungan *Preventive Maintenance* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa dorongan moril maupun materiil. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Allah Subhnanu Wa Ta’ala yang telah memberikan Rahmatnya sehingga penulis bisa menyelesaikan penyusunan laporan ini tepat pada waktunya dan diberikan kelancaran.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Taufiq Immawan, Dr.,S.T.,M.M selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

4. Bapak Dian Janari , S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah sabar membimbing dan memberikan arahan dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Dwi Santoso, pak Affin, mas Doni dan mas Danang selaku pembimbing lapangan yang memberikan pengetahuan ilmu sangat berharga.
6. Ibu Ariyani Pujiastuti dan Bapak Witanto selaku orangtua yang sangat saya sayangi yang mengajarkan artinya sabar, ikhlas dengan tulus hati, yang membesarkan saya hingga dewasa dan menyekolahkan saya hingga tamat Strata1.
7. Eyang Parni yang saya sayangi yang sangat membantu kuliah saya sampai memiliki gelar sarjana Strata - 1.
8. Adik kandung tersayang saya yang menghibur saya dengan sepenuh hati yaitu Muhammad Farid Arianto, Muhammad Alwaan Arianto dan Muhammad Gibran Ersya Arianto.
9. Keluarga besar mbah Narto yang sangat menguatkan saya.
10. Sahabat seperjuangan dan keluh kesah yang sangat menguatkan saya di akhir kuliah ini sampai saya memiliki gelar sarjana Strata – 1 yaitu Arta, Qonita Nurmalika, Aulia, Devy Nur, Devy Arum, Heppy Fani, Shonia, Anindya, Ainnayah, Waode Jihan, Deanita Sabrina, Pipit Gupitan dan Miranda Khanza.
11. Adik kos halimma yang saya sayangi yang dapat membantu menguatkan hati dan pikiran saya disaat saya dititik lemah yaitu Siti Anita, Ingrid, Randy.
12. Teman – teman bidang Rumah Tangga yaitu Luthfan , Afni, Indah, Yuni, Dimas, Navi dan Farid.
13. Teman KKN saya yang sampai sekarang menyemangati saya yaitu Gayatri.
14. Teman saya yang membantu menguatkan saya yaitu Tegar Refa Wisesa dan Hanura
15. Teman – teman jurusan Teknik Industri angkatan 2016 yang saya sayangi.

## ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk Indonesia, kebutuhan manusia yang harus dipenuhi secara global juga meningkat termasuk kebutuhan akan energi listrik. PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara dimana salah satu pembangkit yang menghasilkan listrik dimana terhubung dalam sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali. Proses produksinya bersifat *continuous process*. Permasalahan pada perusahaan tersebut dalam perbaikannya menggunakan *corrective maintenance* dimana adanya perbaikan jika ada kerusakan sehingga menimbulkan kehilangan produksi listrik sebesar 100% maka perawatan secara *preventive maintenance* dibutuhkan agar mengatasi *downtime*. Untuk dari itu adanya tujuan dengan menentukan komponen kritis, mengetahui tindakan perawatan dan waktu interval kerusakan, perbaikan mesin secara optimal dan menentukan waktu interval penggantian, pencegahan komponen kritis. Metode yang tepat yaitu metode RCM untuk menemukan komponen yang tergolong kritis. Kemudian metode *Age Replacement* untuk menentukan interval penjadwalan penggantian dan pemeriksaan dari mesin kritis. Hasil yang didapat dari mesin SSCC terdapat RPN tertinggi pada komponen *Chain* sebesar 192, LTA pada *Chain* termasuk *Hidden Failure* dan TS pada *Chain* termasuk *Condition Direct*. Untuk interval penggantian komponen *Chain* setiap 3,15 bulan dan interval waktu pemeriksaan setiap 23 hari. Pada *reliability* setelah dilakukannya *preventive maintenance* maka meningkat sebesar 77,9%. Dan nilai *avaibility* setelah dilakukannya *preventive maintenance* diperoleh sebesar 99,4%. Kesimpulan dari penelitian tersebut agar dapat meminimalisir kegagalan pada sistem proses produksi dan didapat tindakan perawatan yang optimal agar mesin berjalan dengan baik dan sesuai dengan standart performansinya.

**Keywords** : *Age Replacement, Avaibility, Preventive Maintenance, Reliability, Reliability Centered Maintenance (RCM)*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN TUGAS AKHIR .....	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN TUGAS AKHIR .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
MOTTO .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
BAB I.....	17
1.1 Latar Belakang Permasalahan .....	17
1.2 Rumusan Permasalahan.....	21
1.3 Batasan Permasalahan .....	21
1.4 Tujuan Penelitian.....	22
1.5 Manfaat Penelitian.....	22
1.6 Sistematika Penulisan.....	23
BAB II.....	25
2.1 Penelitian Terdahulu.....	25
2.2 Kajian Induktif.....	31
2.2.1 Manajemen Perawatan ( <i>Maintenance</i> ) .....	31
2.2.2 Tujuan Perawatan ( <i>Maintenance</i> ).....	31
2.2.3 Jenis - Jenis Perawatan ( <i>Maintenance</i> ).....	32
2.2.4 Bentuk – Bentuk Perawatan .....	34
2.2.5 Konsep <i>Downtime</i> .....	35
2.2.6 <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) .....	35
2.2.7 <i>Functional Block Diagram</i> (FBD).....	37
2.2.8 <i>Root Cause Failure Analysis</i> (RCFA).....	38
2.2.9 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....	38
2.2.10 <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA).....	44
2.2.11 <i>Task Selection</i> (TS).....	47
2.2.12 Keandalan ( <i>Reliability</i> ).....	49
2.2.13 Fungsi Keandalan .....	49
2.2.14 Perhitungan <i>Reliability</i> Sesudah dan Sebelum .....	50
2.2.15 Laju Kegagalan ( <i>Failure Rate</i> ).....	51
2.2.16 Fungsi Distribusi Kegagalan .....	52
2.2.17 Distribusi Kegagalan .....	52
2.2.18 Penentuan Distribusi <i>Time To Failure</i> dan <i>Time To Repair</i> .....	55
2.2.19 Uji Kecocokan Distribusi ( <i>Uji Goodness Of Fit</i> ) .....	56
2.2.20 Estimasi Parameter .....	59
2.2.21 <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF) .....	60
2.2.22 <i>Mean Time To Repair</i> (MTTR) .....	61

2.2.23 Model Perawatan Penggantian Pencegahan <i>Age Replacement</i> .....	62
2.2.24 <i>Avaibility</i> .....	64
BAB III .....	65
3.1 Objek dan Lokasi Penelitian.....	65
3.2 Perumusan Masalah.....	65
3.3 Studi Literatur.....	65
3.4 Studi Lapangan .....	65
3.5 Metode Pengumpulan Data .....	65
3.5.1 Data Primer.....	66
3.5.2 Data Sekunder .....	66
3.6 Pengolahan Data.....	67
3.6.1 Pengolahan Data Kualitatif.....	67
3.6.2 Pengolahan Data Kuantitatif.....	68
3.7 Alir Penelitian.....	78
BAB IV .....	80
4.1 Latar Belakang Perusahaan .....	80
4.1.1 Sejarah Berdirinya Perusahaan.....	80
4.1.2 Profil Singkat Perusahaan.....	81
4.1.3 Lokasi PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara.....	81
4.1.4 Visi.....	82
4.1.5 Misi.....	82
4.1.6 Nilai.....	82
4.1.7 Waktu Kerja.....	82
4.2 Pengumpulan Data.....	83
4.2.1 Data Waktu Antar Kerusakan Komponen.....	83
4.3 Pengolahan Data.....	87
4.3.1 <i>Functional Block Diagram</i> (FBD).....	87
4.3.2 <i>Root Cause Failure Analysis</i> (RCFA).....	89
4.3.3 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....	90
4.3.4 <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA).....	99
4.3.5 <i>Task Selection Road Map</i> (Pemilihan Tindakan) .....	105
4.3.6 Penentuan Komponen Kritis.....	112
4.3.7 Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Kerusakan .....	114
4.3.8 Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Perbaikan .....	120
4.3.9 <i>Uji Goodness of fit</i> pada Distribusi Data Waktu Kerusakan .....	126
4.3.10 <i>Uji Goodness of fit</i> pada Distribusi Data Waktu Perbaikan .....	127
4.3.11 Perhitungan Parameter dari Distribusi Data Waktu Kerusakan .....	128
4.3.12 Perhitungan Parameter Dari Distribusi Data Waktu Perbaikan .....	129
4.3.13 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Kerusakan.....	129
4.3.14 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Perbaikan.....	130
4.3.15 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan.....	130
4.3.16 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan .....	133
4.3.17 Perbandingan <i>Reliability</i> Sesudah dan Sebelum .....	134
4.3.18 Perhitungan <i>Avaibility</i> .....	136
BAB V .....	137
5.1 Analisa Pengolahan Data Kualitatif (RCM).....	137

5.1.1 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....	137
5.1.2 <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA).....	140
5.1.3 <i>Task Selection</i> (Pemilihan Tindakan).....	141
5.1.4 Penentuan Komponen Kritis.....	143
5.2 Analisa Pengolahan Data Kuantitatif ( <i>Age Replacement</i> ).....	143
5.2.1 Analisis Pola Distribusi Kerusakan .....	143
5.2.2 Analisis <i>Uji Goodness Of Fit</i> .....	144
5.2.3 Analisis Parameter dari Distribusi Data Waktu Kerusakan .....	145
5.2.4 Analisis Parameter dari Distribusi Data Waktu Perbaikan.....	145
5.2.5 Analisis Interval Waktu Penggantian Pencegahan dan Pemeriksaan.....	146
5.2.6 Analisis Perbandingan <i>Reliability</i> Sesudah dan Sebelum .....	147
BAB VI.....	148
6.1 Kesimpulan.....	148
6.2 Saran.....	149
DAFTAR PUSTAKA .....	151
LAMPIRAN.....	154



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya.....	28
Tabel 2. 2 Format <i>Failure Mode Effect and Analysis</i> (FMEA) .....	39
Tabel 2. 3 Keterangan <i>Severity</i> .....	40
Tabel 2. 4 Keterangan <i>Occurency</i> .....	42
Tabel 2. 5 Keterangan <i>Detection</i> .....	43
Tabel 2. 6 Format <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA) .....	45
Tabel 2. 7 Format <i>Task Selection Road Map</i> .....	47
Tabel 4. 1 Jam kerja untuk pekerja <i>Non Shift</i> .....	82
Tabel 4. 2 Jam kerja untuk pekerja .....	82
Tabel 4. 3 Data Waktu Antar Kerusakan Shift Komponen Mesin SSCC.....	83
Tabel 4. 4 <i>Failure Mode Effect and Analysis</i> (FMEA).....	92
Tabel 4. 5 <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA).....	99
Tabel 4. 6 <i>task selection road map</i> .....	106
Tabel 4. 7 Penentuan Mesin Kritis.....	112
Tabel 4. 8 Penentuan Komponen Kritis.....	113
Tabel 4. 9 <i>Time To Failure</i> komponen <i>Chain</i> .....	114
Tabel 4. 10 <i>Time To Failure</i> Distribusi Eksponensial .....	115
Tabel 4. 11 <i>Time To Failure</i> Distribusi Normal .....	116
Tabel 4. 12 <i>Time To Failure</i> Distribusi Log Normal.....	118
Tabel 4. 13 <i>Time To Failure</i> Distribusi Weibull .....	119
Tabel 4. 14 <i>Index Of Fit Time To Failure</i> .....	119
Tabel 4. 15 <i>Time To Repair</i> komponen <i>Chain</i> .....	120
Tabel 4. 16 <i>Time To Repair</i> Distribusi Eksponensial .....	121
Tabel 4. 17 <i>Time To Repair</i> Distribusi Normal .....	122
Tabel 4. 18 <i>Time To Failure</i> Distribusi Log Normal.....	124
Tabel 4. 19 <i>Time To Failure</i> Distribusi Weibull .....	125
Tabel 4. 20 <i>Index Of Fit Time To Repair</i> .....	125
Tabel 4. 21 <i>Perhitungan Kolmogrov-Smirnov Test</i> untuk komponen <i>Chain</i> .....	126
Tabel 4. 22 <i>Perhitungan t</i> untuk komponen <i>Chain</i> .....	127
Tabel 4. 23 <i>Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan</i> .....	130
Tabel 4. 24 <i>Perbandingan Reliability</i> sesudah dan sebelum.....	135
Tabel 5. 1 FMEA.....	137
Tabel 5. 2 Hasil Uji Pola Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan .....	144
Tabel 5. 3 Hasil Uji Pola Distribusi Data Waktu Antar Perbaikan.....	144
Tabel 5. 4 Parameter Distribusi Data Waktu Kerusakan .....	145
Tabel 5. 5 Parameter Distribusi Data Waktu Perbaikan .....	146

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis - Jenis Perawatan.....	34
Gambar 2.2 Alur <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA).....	46
Gambar 2.3 Alur <i>Task Selection Road Map</i> (Pemilihan Tindakan Perawatan).....	48
Gambar 2.4 Distribusi Keandalan.....	50
Gambar 3. 1 Alur Penelitian .....	79
Gambar 4. 1 Lokasi PT.TJBPS PLTU Jebara.....	81
Gambar 4. 2 <i>Functional Block Diagram</i> (FBD).....	88
Gambar 4. 3 <i>Root Cause Failure Analysis</i> (RCFA) .....	90
Gambar 4. 4 Penentuan Mesin Kritis.....	112
Gambar 4. 5 Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis.....	114
Gambar 5. 1 <i>Reliability</i> .....	147



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Permasalahan

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk Indonesia, kebutuhan manusia yang harus dipenuhi secara global juga meningkat termasuk kebutuhan akan energi listrik. Pada tahun 2015 sampai 2019 adanya peningkatan konsumsi listrik per Kapita dimana pada tahun 2015 sebesar 910 KWH/Kapita, 2016 sebesar 956 KWH/Kapita, 2017 sebesar 1.021 KWH/Kapita, 2018 sebesar 1.064 KWH/Kapita dan 2019 sebesar 1.084 KWH/Kapital menurut (ESDM, 2020). Adanya peningkatan penduduk di Indonesia maka kebutuhan listrik merupakan kebutuhan bagi kehidupan masyarakat yang sangat penting. Hal ini ditandai banyaknya manfaat listrik sebagai sumber penerangan bagi kehidupan di wilayah desa dan kota. Selain sebagai sumber energi penerangan, listrik juga dapat diubah menjadi sumber lain yang berguna bagi kehidupan manusia. Ketersediaan listrik dalam suatu negara dapat diperoleh dari perusahaan listrik baik milik negara (PLN) ataupun swasta (non PLN). Oleh karena itu ketersediaan listrik menjadi salah satu indikator penting mengukur kemajuan suatu wilayah. Berdasarkan Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) yang dikelola Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS).

Proses produksi listrik di PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara yang dimana PLTU Jepara salah satu pembangkit yang terhubung dalam sistem interkoneksi 500 kV Jawa Bali. Dengan tingkat kontribusi sebesar 6%. PLTU Tanjung Jati B Unit 1 memiliki peran yang cukup signifikan terhadap sistem operasi Jawa Bali dan untuk proses produksinya bersifat *continuous process*. Adanya proses produksi yang bersifat *continuous process* mengakibatkan performansi mesin akan menurun sehingga apabila ada salah satu mesin yang tidak dapat berfungsi akan menghambat sistem produksi listrik. Permasalahan yang sering terjadi di PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara adanya kerusakan dalam salah satu mesin sistem produksi yang mengakibatkan penghentian sistem produksi sementara (*downtime*) untuk melakukan perbaikan. Bahwa sederhana dari penguat permasalahan pada PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara yaitu jika terjadi *downtime* pada salah satu mesin sistem produksi

maka akan mengakibatkan perusahaan kehilangan produksi sebesar nett 660MW dan mengakibatkan kerugian pada perusahaan tersebut. Karena mesin salah satu pendukung yang sangat penting untuk berlangsungnya sistem produksi agar berjalan dengan baik maka dari itu mesin harus memiliki performansi yang optimal agar dapat agar dapat dioperasikan secara efektif dan efisien dengan tindakan perawatan berkala.

Pada mesin boiler di sub komponen *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yaitu salah satu mesin yang memproduksi listrik di PT. Tanjung Jati B Unit 1 dimana mesin yang sering adanya tindakan perawatan. Dimana boiler yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) berfungsi untuk *sealing* boiler dan media pengangkut, penyalur *abu bottom ash* dimana *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) merupakan alat yang berhubungan langsung dengan boiler. Jika sub komponen yang memiliki resiko tinggi kegagalan akan dibutuhkan tindakan perawatan yang bersifat *preventive maintenance* dimana sebelum terjadi kerusakan atau *corrective maintenance* setelah terjadi kerusakan. Agar menghindari *downtime* terlalu lama dan sistem produksi dapat berjalan lebih efektif dan efisien.

PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara salah satu pembangkit listrik yang sudah melakukan perhitungan untuk perawatan berkala tetapi belum menerapkan perawatan secara berkala dengan tindakan (*preventive maintenance*) dimana pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal dikarenakan tindakan (*preventive maintenance*) meminimalisir kegagalan. Umumnya secara periodik, dimana sejumlah kegiatan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan menurut (Ebeling, 1997). Sistem perbaikan yang dilakukan pada saat tindakan (*corrective maintenance*) dimana kegiatan perawatan yang terjadwal ketika suatu sistem mengalami kegagalan untuk memperbaiki sistem pada kondisi tertentu (Blanchard, 1980). Menurut PT. Tanjung Jati B Unit 1 pada tanggal 14 Februari 2019 adanya permasalahan mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) mengalami kerusakan pada komponen *chain* yang dimana *chain* terlepas dari *pulley* maka akan adanya penurunan beban listrik sebesar nett 660MW pada unit 1 atau penurunan sebanyak 100% karena mesin tersebut yaitu mesin yang vital jika mesin tersebut mengalami kerusakan maka harus *shut down* ke seluruh mesin PLTU Tanjung Jati B Unit 1 dan dari data *downtime* perusahaan bahwa mesin tersebut mengalami kerusakan sebanyak 115 kali pada tahun 2015 sampai 2020. Maka dari itu jika terjadi kerusakan secara tiba – tiba akan menimbulkan *downtime* yang tinggi

dimana akan berdampak pada kerugian perusahaan dengan biaya yang dikeluarkan akan lebih karena perbaikan dan sistem produksi yang terhenti akan mengakibatkan tidak mampu mencapai target perusahaan hingga sesuai. Bahwa mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) harus tetap dijaga perawatannya agar performansi mesin tetap dalam keadaan baik dan proses produksi berjalan dengan lancar.

Metode yang sesuai untuk mengatasi permasalahan diatas yaitu metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mengetahui komponen kritis pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dan metode *Age Replacement* untuk mengetahui interval waktu pemeriksaan dan penggantian komponen mesin kritis. Maka dari itu metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* tepat digunakan karena dapat meminimalisir kegagalan dimana mengetahui komponen kritis dan pemeriksaan, penggantian komponen kritis dengan *preventive maintenance* yang dimana adanya perawatan sebelum terjadinya kerusakan mesin, jika tidak adanya kedua metode tersebut maka tidak dapat menentukan komponen kritis dan waktu pemeriksaan, penggantian komponen. Pada dasarnya setiap adanya komponen kritis harus adanya tindakan perawatan yang efektif dan waktu pemeriksaan, penggantian berkala agar meminimalisir kegagalan. Pentingnya *Reliability* untuk melihat seberapa besar mesin – mesin yang bisa diandalkan dalam mengejar target produksi listrik jika *Availability* bisa menjadi indikator pemenuhan kebutuhan akan produksi listrik. Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yaitu “dasar dari perawatan fisik dan suatu teknik yang digunakan untuk mengembangkan proses perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang terjadwal” (Ben-Daya, 2000). Kelebihan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yaitu dalam penentuan program pemeliharaan yang difokuskan pada komponen atau mesin – mesin kritis dan menghindari kegiatan perawatan yang tidak diperlukan dengan menentukan interval pemeliharaan yang tepat Moubrey (1997) sedangkan tujuan utama dari *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk mempertahankan fungsi sistem dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) dan memprioritaskan kepentingan dari mode kegagalan kemudian memilih tindakan perawatan pencegahan yang efektif dan dapat diterapkan. Pada metode *Age Replacement* yaitu “metode perawatan pencegahan yang dilakukan dengan menetapkan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan selang waktu kerusakan yang menuntut adanya tindakan perbaikan penggantian dengan kriteria minimasi” (AKS Jardine, 1997).

Pada jurnal terkait dengan permasalahan pada PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara jika menurut Agustinus Dwi Susanto dan Hery Hamdi Azwir (2017) tentang “Perencanaan Perawatan Pada Unit Kompresor Tipe *Screw* Dengan Metode RCM Di Industri Otomotif” pada PT. Showa Indonesia *Manufacturing* dengan adanya permasalahan ketidak tahuan akan kehandalan mesin maka kerusakan dapat terjadi sewaktu-waktu dan menyebabkan ketidak pastian akan ketersediaan mesin didalam proses produksi sehingga menyebabkan kerugian yang cukup besar terhadap perusahaan. Bahwa adanya tujuan dalam penelitian yaitu untuk menganalisis dan mengetahui komponen – komponen yang termasuk ke dalam kategori kritis dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement*. Hasil yang diperoleh setelah melakukan metode tersebut bahwa total *downtime* turun sebesar 44,59% dari tindakan *preventive* sebelumnya. Total sebelum adanya *preventive maintenance* didapat sebesar 232,2 jam dan total setelah adanya *preventive maintenance* didapat sebesar 104,00 jam. Kesimpulan pada penelitian tersebut dapat meminimalisir kegagalan sistem proses produksi dengan adanya *preventive maintenance*.

Berdasarkan penjelasan latar belakang permasalahan diatas bahwa dalam mengetahui komponen yang mengalami kegagalan jika nantinya akan menghasilkan *downtime* tinggi dapat diatasi dengan perawatan – perawatan yang tepat untuk dilakukannya tindakan. Dalam penelitian ini menggunakan metode yang sesuai yaitu metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dimana dapat menentukan komponen kritis terjadi yang mencegah dan mengantisipasi terjadinya kegagalan dalam sistem produksi dan *Age Replacement* menentukan interval waktu penggantian komponen yang meminimalisir *downtime* pada saat sistem produksi berjalan.

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dalam penelitian ini, maka dapat dirumuskan masalah yang ada sebagai berikut :

1. Komponen apakah yang tergolong kritis ?
2. Bagaimana menentukan tindakan perawatan yang optimal agar mesin berjalan dengan baik sesuai dengan standar performansinya ?

3. Seberapa besar interval waktu kerusakan, waktu perbaikan yang optimal dan interval waktu penggantian, pencegahan, interval waktu pemeriksaan pada komponen kritis ?

### 1.3 Batasan Permasalahan

Adapun batasan permasalahan yang diperlukan dalam pembuatan Tugas Akhir untuk mencapai tujuan penelitian yang tercapai. Adapun batasan permasalahan sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di PT. Tanjung Jati B *Power Services* Unit 1 PLTU Jepara.
2. Penelitian dilakukan pada bulan Maret 2020.
3. Data yang digunakan adalah data kerusakan dan perbaikan mesin pada bulan Januari 2015 sampai Januari 2020.
4. Mesin yang diteliti yaitu mesin Boiler bagian *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) Unit 1.
5. Peneliti difokuskan pada komponen kritis *Submerged Scraper Chain Conveyor* Unit 1.
6. Peneliti mengesampingkan efek ekonomi pada kegagalan mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor*.
7. Peneliti menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagai identifikasi komponen kritis dan *Age Replacement* sebagai pendekatan minimasi *downtime*.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada laporan Tugas Akhir untuk mengetahui beberapa hal sebagai berikut :

1. Menentukan komponen yang tergolong kritis pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
2. Menentukan tindakan perawatan secara optimal pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
3. Menentukan waktu interval kerusakan, perbaikan mesin secara optimal dan waktu interval penggantian, pencegahan komponen kritis pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan dilakukan penelitian sebagai berikut :

1. Bagi Peneliti
  - a. Peneliti mampu mengaplikasikan teori manajemen perawatan yang didapatkan di perkuliahan dan adanya pengetahuan yang lebih didapatkan di lapangan.
  - b. Peneliti dapat mengembangkan dan mengaplikasikan pengalaman di lapangan untuk dijadikan sebagai bahan pertimbangan Tugas Akhir.
2. Bagi Perusahaan
  - a. Perusahaan mendapatkan referensi manajemen perawatan mesin selain metode yang digunakan oleh perusahaan untuk meminimalisir kegagalan mesin.
3. Bagi Universitas
  - a. Membina kerja sama yang baik antara lingkungan akademis dengan lingkungan kerja.
  - b. Dapat menambah ilmu pengetahuan pada mahasiswa sebagai bahan studi dan sebagai bahan pertimbangan bagi mahasiswa untuk mengerjakan Tugas Akhir.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini penulis menyusun sistematika penulisan atas beberapa bab dengan maksud agar para pembaca mudah memahami laporan ini. Secara garis besar uraian tiap-tiap bab adalah sebagai berikut :

### BAB I

### PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan memuat latar belakang permasalahan, rumusan permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

### BAB II

### KAJIAN LITERATUR

Bagian bab kajian literatur berisikan tentang informasi – informasi sebagai acuan dalam

pembuatan Tugas Akhir, pada bab kajian literatur memuat penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan dan teori – teori pendukung yang berhubungan dengan penelitian.

### **BAB III**

#### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab metodologi penelitian berisikan objek dan lokasi penelitian, metode pengumpulan data, alat bantu analisis, metode analisis data dan bagan alir penelitian untuk menentukan langkah – langkah dalam pembuatan Tugas Akhir.

### **BAB IV**

#### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab pengumpulan dan pengolahan data berisikan data yang diambil selama penelitian dan menguraikan tentang proses pengolahan data, analisis dan hasilnya yang termasuk adanya grafik – grafik yang diperoleh dari pengolahan data.

### **BAB V**

#### **PEMBAHASAN**

Bab pembahasan berisikan informasi tentang pembahasan hasil penelitian, kesesuaian dengan latar belakang permasalahan, rumusan masalah dan tujuan penelitian yang mengarahkan kepada kesimpulan dari hasil penelitian.

### **BAB VI**

#### **PENUTUP**

Dalam bab penutup berisikan kesimpulan dan saran - saran yang akan menyempurnakan penelitian.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Pada daftar pustaka berisikan tentang semua literatur, buku, jurnal, artikel dan lain – lain yang digunakan untuk mendukung penelitian ini.

### **LAMPIRAN**

Pada lampiran berisikan tentang dokumentasi – dokumentasi yang terkait laporan Tugas Akhir.

## **BAB II**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Pada penelitian terdahulu berisi kajian – kajian yang dilakukan penelitian sebelumnya dimana bersumber dari paper, artikel dan sejenisnya yang berkaitan dengan topik atau tema peneliti dilakukan :

Terdapat penelitian sebelumnya mengenai manajemen perawatan seperti yang dilakukan oleh peneliti Ikramullah Zein, Dkk (2019) tentang penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang mengaplikasikan *Grey FMEA* untuk menentukan prioritas perbaikan pada mesin kompresor. Setelah dilakukannya penerapan metode RCM tersebut, ditemukannya kegagalan fungsi yang terjadi pada mesin kompresor unit D yaitu pada komponen Pompa *Low Pressure* (LP) & *Hight Pressure* (HP) dan sub komponennya yaitu *bearing* karena memiliki koefisien terkecil. Pada penelitian yang dilakukan Atrisita Diastari, Dkk (2017) tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) yang dimana untuk perencanaan kegiatan perawatan sehingga meningkatkan efektifitas kerja alat serta mengurangi angka kecelakaan yang disebabkan oleh kerusakan alat pada mesin pendingin Sabroe. Sedangkan penelitian Reza Satya Rahmawan, Dkk (2015) tentang metode *Reliability Centered Maintenance* dengan tujuan untuk mendapatkan suatu kebijakan perawatan yang efektif dan *maintenance interval* yang tepat agar BTS dapat tetap bekerja sesuai dengan fungsinya, memiliki *availability* yang baik, dan mengurangi potensi terjadinya ketidaktepatan *maintenance task* dan juga kesalahan dalam waktu pelaksanaan kegiatan *maintenance*.

Pada penelitian Heri Wibowo, Dkk (2018) tentang penelitian menggunakan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) digunakan untuk menganalisis sistem tersebut untuk mengetahui komponen-komponen yang termasuk dalam kategori kritis pada mesin Hammer Mill, bak Hammer Mill, bucket Hummer Mill. Menurut Sunaryo, Dkk (2018) tentang penelitian menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) agar diharapkan dapat menetapkan *schedule maintenance* dan dapat mengetahui secara pasti tindakan kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat yang harus dilakukan pada komponen *Main gas admission valve* mesin Wartsila. Sedangkan menurut Diana Puspita Sari, Dkk (2016) tentang metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II. Penelitian difokuskan pada mesin *Blowing I*, karena memiliki *downtime* tertinggi. Jika penelitian Agus Syahabuddin (2019) tentang penelitian menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), dengan aplikasi awal mengetahui fungsi serta kerusakan yang dapat terjadi pada suatu sistem, mulai dari sub-sistem sampai pada level komponen mesin bubuk CY-L1640G. Bahwa menurut Ragil Pardiyono, Dkk (2020) tentang penelitian menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* untuk menentukan komponen kritis dan interval waktu penggantian komponen pada mesin komponen mesin kneader.

Menurut Sabbihisma Robbi Ramadhan, Dkk (2016) tentang penelitian menggunakan metode *age replacement* digunakan untuk menentukan waktu dilakukan penggantian komponen kanvas rem sebelum terjadi kerusakan pada truk. Menurut Divania Maria Christy, Dkk (2019) tentang penelitian menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) yang digunakan untuk menentukan tipe perbaikan atau perawatan yang akan digunakan untuk setiap mesin yang dimana mesin yang paling sering mengalami *downtime* adalah *line* pada mesin *pellet* sehingga perbaikan yang hendak dilakukan berpusat pada *line* mesin *pellet*.

Berdasarkan penelitian diatas terdapat 10 jurnal bahwa adanya hubungan pada *output* penelitian tersebut diimana untuk menentukan komponen kritis dan interval pemeriksaan dan penggantian komponen dengan metode *Reliability Centered Maintenance* dan *Age Replacement* yang dimana metode tersebut dapat meminimalisir kegagalan mesin seperti penelitian Diana Puspita Sari, Dkk (2016) ; Divania Maria Christy, Dkk (2019). Kemudian adanya kelebihan *Reliability*

*Centered Maintenance* (RCM) yaitu dalam penentuan program pemeliharaan yang difokuskan pada komponen atau mesin – mesin kritis dan menghindari kegiatan perawatan yang tidak diperlukan dengan menentukan interval pemeliharaan yang tepat. Maka dari itu penelitian sebelumnya terdapat perbedaan dari objek penelitian yaitu pada mesin *Submerged Scrape Chain Conveyor* (SSCC) dimana mesin yang sangat vital , jika terjadi kerusakan pada mesin tersebut maka harus *shut down* keseluruhan mesin. Selain itu pada proses pengolahan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk data yang digunakan yaitu data yang didapatkan oleh *expert engineer* sehingga hasil dari metode tersebut yaitu komponen kritis yang ada di perusahaan. Pada tahap *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) hanya menghitung *Risk Priority Number* (RPN).



Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

No	Penulis	Tahun	Judul	Penjelasan
1	Ikramullah Zein, Dewi Mulyati, Ilham Saputra	2019	Perencanaan Perawatan Mesin Kompresor Pada PT. Es Muda Perkasa Dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM)	Penelitian ini menggunakan Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) yang mengaplikasikan <i>Grey FMEA</i> untuk menentukan prioritas perbaikan pada mesin kompresor. Setelah dilakukannya penerapan metode RCM tersebut, ditemukannya kegagalan fungsi yang terjadi pada mesin kompresor unit D yaitu pada komponen Pompa <i>Low Pressure</i> (LP) & <i>Hight Pressure</i> (HP) dan sub komponennya yaitu <i>bearing</i> karena memiliki koefisien terkecil
2	Atrisita Diastari, Priyo Agus Setiawan, Aulia Nadia Rachmat	2017	Penjadwalan <i>Maintenance</i> Menggunakan Metode <i>Reliability Centered Maintenance II</i> (RCM II) pada Mesin Pendingin Sabroe Di PT. SMART Tbk.	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode <i>Reliability Centered Maintenance II</i> (RCM II) yang dimana untuk perencanaan kegiatan perawatan sehingga meningkatkan efektifitas kerja alat

No	Penulis	Tahun	Judul	Penjelasan
				serta mengurangi angka kecelakaan yang disebabkan oleh kerusakan alat pada mesin pendingin Sabroe.
3	Reza Satya Rahmawan, Rd. Rohmat Saedudin, dan Amelia Kurniawati	2015	Optimasi kebijakan perawatan <i>base transceiver station</i> (BTS) dengan menggunakan metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) studi kasus : PT Telkomsel Kota Bandung	Penelitian menggunakan metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> dengan tujuan untuk mendapatkan suatu kebijakan perawatan yang efektif dan <i>maintenance interval</i> yang tepat agar BTS dapat tetap bekerja sesuai dengan fungsinya, memiliki <i>availability</i> yang baik, dan mengurangi potensi terjadinya ketidaktepatan <i>maintenance task</i> dan juga kesalahan dalam waktu pelaksanaan kegiatan <i>maintenance</i> .
4	Heri Wibowo, Ahmad Sidiq dan Ariyanto	2018	Penjadwalan Perawatan Komponen Kritis dengan Pendekatan <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) Pada Perusahaan Karet	Penelitian menggunakan pendekatan <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) digunakan untuk menganalisis sistem tersebut untuk mengetahui komponen-komponen yang termasuk dalam kategori kritis pada mesin Hammer

No	Penulis	Tahun	Judul	Penjelasan
				Mill, bak Hammer Mill, bucket Hummer Mill.
5	Sunaryo, Legisnal, Ir.Denur	2018	Aplikasi <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) Pada Sistem Saluran Gas Mesin Wartsila	Penelitian menggunakan metode <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i> agar diharapkan dapat menetapkan <i>schedule maintenance</i> dan dapat mengetahui secara pasti tindakan kegiatan perawatan ( <i>maintenance task</i> ) yang tepat yang harus dilakukan pada komponen <i>Main gas admission valve</i> mesin Wartsila.
6	Diana Puspita Sari, Mukhammad Faizal Ridho	2016	Evaluasi Manajemen Perawatan Dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II</i> Pada Mesin <i>Blowing I</i> Di Plant I PT. Pisma Putra Textile	Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II</i> . Penelitian difokuskan pada mesin <i>Blowing I</i> , karena memiliki downtime tertinggi.
7	Agus Syahabuddin	2019	Analisis Perawatan Mesin Bubut CY-L1640G Dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i> DI PT. Polymindo Permata	Penelitian menggunakan metode <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i> , dengan aplikasi awal mengetahui fungsi serta kerusakan yang dapat terjadi pada suatu sistem, mulai

No	Penulis	Tahun	Judul	Penjelasan
				dari sub-sistem sampai pada level komponen mesin bubuk CY-L1640G.
8	Ragil Pardiyono, Rifki Fadillah	2020	Minimasi <i>Downtime</i> Menggunakan <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) DI PT. Agronesia Inkaba	Penelitian menggunakan metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) dan <i>Age Replacement</i> untuk menentukan komponen kritis dan interval waktu penggantian komponen pada mesin komponen mesin kneader.
9	Sabbihisma Robbi Ramadhan, Yanti Helianty, Fifi Herni Mustofa	2016	Usulan Jadwal Perawatan Pencegahan Kerusakan Komponen Kanvas Rem Pada Truk Dengan Metode <i>Age Replacement</i> DI PT. X	Penelitian menggunakan metode <i>age replacement</i> digunakan untuk menentukan waktu dilakukan penggantian komponen kanvas rem sebelum terjadi kerusakan pada truk.
10	Divania Maria Christy, Prayonne Adi	2019	Perancangan Jadwal <i>Maintenance</i> untuk Menurunkan <i>Downtime</i> pada <i>Line</i> Mesin <i>Pellet</i> 9 dengan Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM)	Penelitian menggunakan metode <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) yang digunakan untuk menentukan tipe perbaikan atau perawatan yang akan digunakan untuk setiap mesin yang dimana mesin yang paling sering mengalami <i>downtime</i> adalah <i>line</i> pada mesin <i>pellet</i>

No	Penulis	Tahun	Judul	Penjelasan
				sehingga perbaikan yang hendak dilakukan berpusat pada <i>line mesin pellet</i>



## **2.2 Kajian Induktif**

### **2.2.1 Manajemen Perawatan (*Maintenance*)**

Menurut Corder (1992) “perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima”.

Assauri (1999) mengatakan “perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan”.

Berdasarkan teori diatas maka perawatan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas, mesin dan peralatan pabrik, mengadakan perbaikan. Penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai apa yang diharapkan. Manajemen perawatan adalah pengorganisasian operasi perawatan untuk memberikan pandangan umum mengenai perawatan fasilitas industri. Pengorganisasian ini mencakup penerapan metode manajemen dan metode yang menunjang keberhasilan manajemen ini adalah suatu penguraian sederhana yang dapat diperluas melalui gagasan dan tindakan.

Menurut Dhillon (1997) “perawatan adalah semua tindakan yang penting dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang baik atau untuk mengembalikan ke dalam keadaan yang memuaskan”. Tujuan dilakukannya perawatan menurut Corder (1988) antara lain :

1. Memperpanjang kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya)
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut

### **2.2.2 Tujuan Perawatan (*Maintenance*)**

Secara umum perawatan menurut (IR. Ating Sudrajat, 2011) bertujuan untuk :

1. Menjamin ketersediaan, keandalan fasilitas (mesin dan peralatan) secara ekonomis maupun teknis, sehingga dalam penggunaannya dapat dilaksanakan seoptimal mungkin.
2. Memperpanjang usia kegunaan fasilitas.
3. Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan dalam keadaan darurat.
4. Menjamin keselamatan kerja, keamanan dalam penggunaannya.

Dilihat dari perkembangan industri, memungkinkan mesin – mesin produksi akan melakukan serangkaian tugas yang panjang dan kompleks, artinya dituntut adanya pelaksanaan pekerjaan perawatan yang baik dan ter-arah. Pekerjaan perawatan lebih diarahkan untuk menjaga kontinuitas sistem, sehingga sistem akan meningkatkan produktivitasnya.

### 2.2.3 Jenis - Jenis Perawatan (*Maintenance*)

Menurut IR. Ating Sudrajat (2011) perawatan terdiri dari dua jenis, yaitu :

a. *Planned Maintenance* (Perawatan yang terencana)

*Planned Maintenance* dahulu, pemeliharaan perencanaan ini mengacu pada rangkaian proses produksi. Pemeliharaan Terencana adalah jenis pemeliharaan yg diorganisir, terencana, pelaksanaannya sesuai jadwal, pengendalian dan pencatatan terjadwal. *Planned Maintenance* terdiri dari :

1. *Preventive Maintenance* (Perawatan pencegahan)

Perawatan pencegahan adalah merupakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin. Kebijakan ini cukup baik dapat mencegah berhentinya mesin yang tidak direncanakan.

2. *Scheduled Maintenance* (Perawatan terjadwal)

Perawatan terjadwal merupakan bagian dari perawatan pencegahan. Perawatan ini bertujuan mencegah terjadi kerusakan dan perawatannya dilakukan secara periodik dalam rentang waktu tertentu. Strategi perawatan ini disebut juga sebagai perawatan berdasarkan waktu (*time based maintenance*).

3. *Predictive Maintenance* (Perawatan prediktif)

Perawatan prediktif ini pun merupakan bagian perawatan pencegahan. Perawatan prediktif ini dapat diartikan sebagai strategi perawatan dimana pelaksanaannya didasarkan kondisi mesin itu sendiri.

b. *Unplanned Maintenance* (Perawatan tidak terencana)

*Unplanned Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan karena adanya indikasi atau petunjuk bahwa adanya tahap kegiatan proses produksi yang tiba – tiba memberikan hasil yang tidak layak. Pemeliharaan tidak terencana adalah pemeliharaan yang dilaksanakan berdasarkan situasi dan kondisi saat tertentu dan cenderung mendesak. Dalam hal ini perlu dilakukan kegiatan pemeliharaan atas mesin secara tidak berencana. *Unplanned Maintenance* terdiri dari :

1. *Emergency Maintenance* (Perawatan darurat)

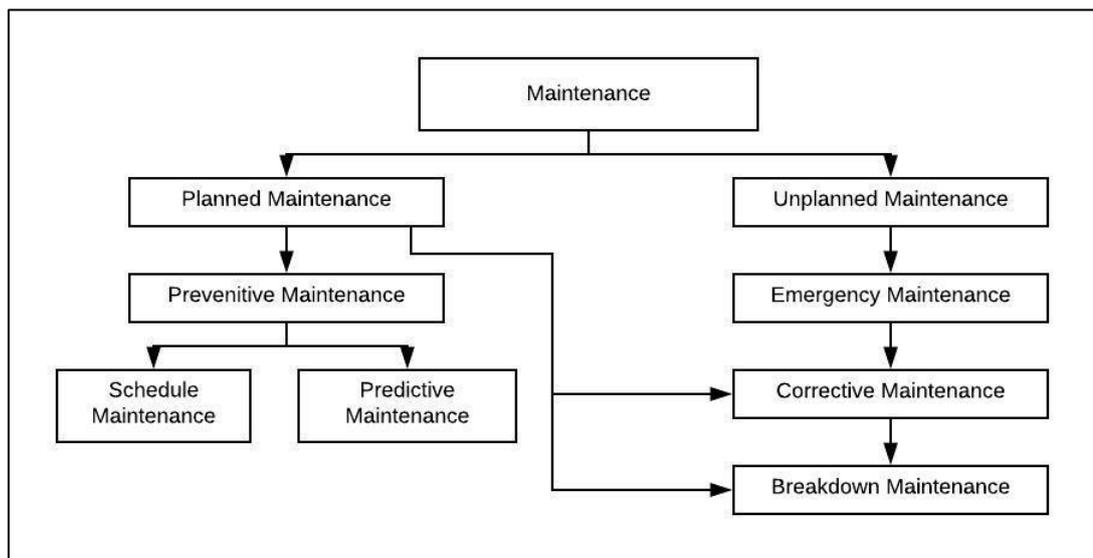
Kegiatan perawatan mesin yang memerlukan penanggulangan yang bersifat darurat agar tidak menimbulkan akibat yang lebih parah.

2. *Breakdown Maintenance* (Perawatan kerusakan)

Perawatan kerusakan dapat diartikan sebagai kebijakan perawatan dengan cara mesin atau peralatan dioperasikan hingga rusak, kemudian baru diperbaiki atau diganti.

3. *Corrective Maintenance* (Perawatan penangkal)

Pemeliharaan yang dilaksanakan karena adanya hasil produk (setengah jadi maupun barang jadi) tidak sesuai dengan rencana, baik mutu, biaya, maupun ketepatan waktunya. Misalnya terjadi kekeliruan dalam mutu atau bentuk barang, maka perlu diamati tahap kegiatan proses produksi yang perlu diperbaiki (koreksi).



Gambar 2.1 Jenis - Jenis Perawatan

Sumber : IR. Ating Sudrajat, 2011

#### 2.2.4 Bentuk – Bentuk Perawatan

Menurut IR. Ating Sudrajat (2011) bentuk – bentuk perawatan terbagi menjadi 4 yaitu:

1. Perawatan Kerusakan (*Breakdown Maintenance*)

Perawatan kerusakan dapat diartikan sebagai kebijakan perawatan dengan cara mesin atau peralatan dioperasikan hingga rusak, kemudian baru diperbaiki atau diganti. Kebijakan ini merupakan strategi yang sangat kasar dan kurang baik karena dapat menimbulkan biaya tinggi, kehilangan kesempatan untuk mengambil keuntungan bagi perusahaan karena diakibatkan terhentinya mesin, keselamatan kerja tidak terjamin, kondisi mesin tidak diketahui, dan tidak ada perencanaan waktu, tenaga kerja maupun biaya yang baik.

2. Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Perawatan pencegahan adalah merupakan perawatan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin. Kebijakan ini cukup baik dapat mencegah berhentinya mesin yang tidak direncanakan.

3. Perawatan Terjadwal (*Schedule Maintenance*)

Perawatan terjadwal merupakan bagian dari perawatan pencegahan. Perawatan ini bertujuan mencegah terjadinya kerusakan dan perawatannya dilakukan

secara periodik dalam rentang waktu tertentu. Strategi perawatan ini disebut juga sebagai perawatan berdasarkan waktu (*time based maintenance*).

#### 4. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Perawatan prediktif ini pun merupakan bagian perawatan. Perawatan prediktif ini dapat diartikan sebagai strategi perawatan dimana pelaksanaannya didasarkan kondisi mesin itu sendiri.

### 2.2.5 Konsep *Downtime*

Gaspersz, V. (1992) pada dasarnya *downtime* didefinisikan sebagai waktu suatu komponen sistem tidak dapat digunakan (tidak berada dalam kondisi yang baik), sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan *downtime* menjadi sangat penting.

### 2.2.6 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

*Reliability Centered Maintenance (RCM)* adalah dasar dari perawatan fisik dan suatu teknik yang digunakan untuk mengembangkan proses perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang terjadwal. Ben-Daya (2000) hal ini didasarkan pada prinsip bahwa keandalan dari peralatan dan struktur dari kinerja yang akan dicapai adalah fungsi dari perancangan dan kualitas pembentukan perawatan pencegahan yang efektif akan menjamin terlaksananya desain keandalan dari peralatan (Moubray, 1997).

Menurut Moubray (1991) *Reliability Centered Maintenance (RCM)* merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan agar setiap asset fisik dapat terus melakukan apa yang diinginkan oleh penggunaannya dalam konteks operasionalnya. Tujuan utama dari RCM adalah untuk mempertahankan fungsi sistem dengan cara mengidentifikasi mode kegagalan (*failure mode*) dan memprioritaskan kepentingan dari mode kegagalan kemudian memilih tindakan perawatan pencegahan yang efektif dan dapat diterapkan.

Menurut Anderson (1990) dalam menggunakan RCM yang akan diimplementasikan dibutuhkan langkah – langkah sebagai berikut :

#### 1. *Functional block diagram (FBD)*

Setelah sistem dipilih dan batasan sistem telah dibuat, maka dilakukan pendeskripsian sistem. Bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan detail penting dari sistem yang menunjukkan hubungan dari masing – masing fungsi asset untuk mempermudah fungsi saat melakukan analisis.

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

Mode kegagalan merupakan suatu keadaan yang dapat menyebabkan kegagalan fungsional. Apabila mode kegagalan sudah diketahui maka memungkinkan untuk mengetahui dampak kegagalan yang menggambarkan apa yang akan terjadi ketika mode kegagalan tersebut terjadi, selanjutnya digunakan untuk menentukan konsekuensi dan memutuskan apa yang akan dilakukan untuk mengantisipasi, mencegah, mendeteksi, atau memperbaikinya.

## 3. *Logic Tree Analysis* (LTA)

*Logic tree Analysis* (LTA) merupakan suatu pengukuran kualitatif untuk mengklasifikasikan mode kegagalan. Mode kegagalan dapat diklasifikasikan ke dalam 4 kategori yaitu :

### a. *Safety problem* (Kategori A)

Mode kegagalan mempunyai konsekuensi dapat melukai atau mengancam jiwa seseorang.

### b. *Outage Problem* (Kategori B)

Mode kegagalan dapat memastikan sistem.

### c. *Minor to Investigation Economic Problem* (Kategori C)

Mode kegagalan tidak berdampak pada keamanan maupun mematikan sistem. Dampaknya tergolong kecil dan dapat diabaikan.

### d. *Hidden Failure* (Kategori D)

Kegagalan yang terjadi tidak dapat diketahui oleh operator.

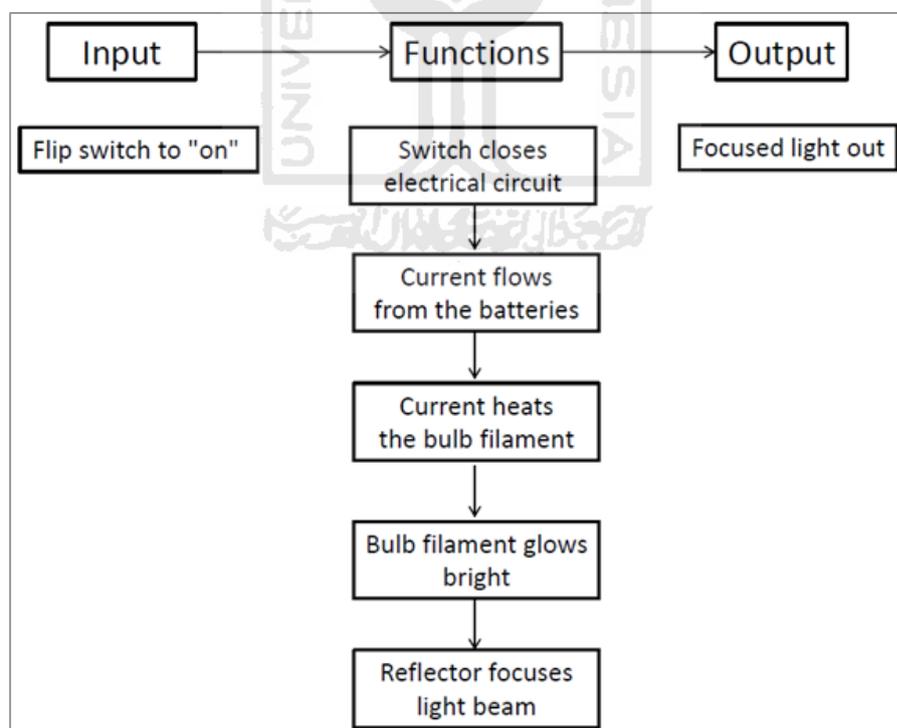
## 4. *Task Selection* (Pemilihan kebijakan perawatan)

*Task Selection* dilakukan untuk menentukan kebijakan – kebijakan yang mungkin untuk diterapkan dan memilih *task* yang paling efisien untuk setiap mode kegagalan. Efektif yang dimaksud adalah kebijakan perawatan yang dilakukan dapat mencegah, mendeteksi kegagalan, atau menemukan *hidden failure*. Sedangkan efisien yang dimaksud adalah kebijakan perawatan yang dilakukan ekonomis bila dilihat dari total biaya perawatan.

### 2.2.7 Functional Block Diagram (FBD)

*Functional Block Diagram* (FBD) merupakan diagram yang berbentuk blok – blok yang menjelaskan mengenai fungsi dari setiap komponen beserta hubungan dari komponen satu dengan yang lainnya sehingga dapat terlibat dengan jelas pengaruh antar komponen. Menurut Rausand (2004) bahwa *Functional Block Diagram* yaitu pendeskripsian sistem bertujuan untuk mengidentifikasi dan mendokumentasikan detail penting dari sistem seperti data historis dari sistem, cara kerja sistem bersangkutan, *input* dan *output* sistem, dsb.

*Functional Block Diagram* (FBD) berfungsi untuk menunjukkan hubungan dari masing – masing fungsi asset untuk mempermudah fungsi saat melakukan analisis dengan menggunakan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan untuk menghindari terjadinya perbedaan persepsi antar anggota tim, Selain menunjukkan fungsi asset dan bagian – bagian didalamnya, *Functional Block Diagram* (FBD) juga menjelaskan hubungan dan aliran kerja antar fungsi yang membentuk suatu sistem dan batasan yang dimiliki sistem tersebut.



Gambar 2.2 *Functional Block Diagram*

Sumber : *Weibull* (2013)

### 2.2.8 *Root Cause Failure Analysis (RCFA)*

Menurut Mobley, R Keith. (1999) bahwa *Root Cause Failure Analysis (RCFA)* adalah sebuah rangkaian langkah logik yang menuntun pengamat melalui proses yang memisahkan fakta – fakta yang mencakup sebuah kegiatan atau kegagalan. Ketika sebuah masalah sudah terdefinisi, analisis ini secara sistematis akan menentukan hal yang paling tepat untuk dilakukan yang akan mengatasi sebuah masalah dan menjamin masalah itu tidak akan terulang kembali. Dimana *Root Cause Failure Analysis (RCFA)* juga merupakan pemecah masalah menggunakan *step by step* dalam mengungkap penyebab dasar dari suatu kegagalan atau kerusakan pada *equipment*.

### 2.2.9 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

*Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mengidentifikasi mode kegagalan dari setiap komponen dari sistem dan menganalisis pengaruhnya terhadap *Reliability* sistem tersebut (Smith&Glen, 2004). *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* bertujuan untuk menganalisis mode kegagalan yang signifikan dan efek kerusakan tersebut pada sistem. *Failure Effect* merupakan akibat yang ditimbulkan oleh mode kegagalan yang terjadi. Hubungan antar kegagalan fungsi serta penyebab terjadi kegagalan pada semua komponen mesin *equipment* untuk mengantisipasi, mencegah atau mendeteksi adanya kegagalan dalam *equipment* tersebut.

Tahapan *Failure Mode Effect Analysis (FMEA)* sendiri seperti terdapat pada (Ebeling, 1997):

- a. Menentukan dan mengidentifikasi sistem yang akan dianalisis.
- b. Mengidentifikasi *failure mode* (mode kegagalan) dari sistem yang diamati berdasarkan komponen atau fungsi.
- c. Mengidentifikasi penyebab (*potential cause*) dari *failure mode* yang terjadi pada proses yang berlangsung.
- d. Mengidentifikasi akibat (*potential effect*) yang ditimbulkan potensial failure mode.

- e. Menetapkan nilai – nilai *severity*, *occurrence* dan *detection*. Ketiga penilaian tersebut dilakukan berdasarkan kriteria penilaian dari Huber dalam jurnalnya yaitu FMEA – FMECA.
- f. Membuat lembar kerja *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). Lembar kerja ini dibuat untuk mempermudah pelaksanaan analisis kegagalan dengan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dapat disesuaikan dengan kondisi serta kebutuhan dalam penelitian yang dilakukan. Lembar kerja ini tidak terpaku pada suatu tabel tertentu melainkan dapat dimodifikasi sesuai dengan keperluan penelitian.
- g. Langkah terakhir dari pelaksanaan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) adalah menentukan tindakan korelatif yang diperlukan untuk mengatasi mode kegagalan yang terjadi.

Tabel 2. 2 Format *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA)

Sistem :									
No	Equipment	Function	Functional Failure	Failure Mode	Effect Of Failure	S	O	D	RPN

Pada tabel diatas pengisian *equipment* diisi dengan komponen dari sebuah sistem, kolom *function* diisi dengan fungsi dari sebuah komponen dalam proses operasi *functional failure* dengan kegagalan yang terjadi dari sebuah fungsi, *failure mode* berisikan kemungkinan penyebab – penyebab terjadinya kegagalan fungsi, *effect of failure* diisi dengan dampak atau akibat dari sebuah kegagalan. Sedangkan S O D merupakan *Severity* (S), *Occurrence* (O) dan *Detection* (D). *Risk Priority Number* (RPN) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\mathbf{RPN = S * O * D} \quad \dots(2.1)$$

Hasil dari *Risk Priority Number* (RPN) menunjukkan tingkat kepentingan dari sebuah sistem komponen yang dianggap mempunyai tingkat resiko tertinggi sehingga memerlukan perlakuan khusus dengan melakukan perbaikan. Berikut ini adalah komponen penyusunan *Risk Priority Number* (RPN) :

a. *Severity*

*Severity* ini mendefinisikan dampak yang terburuk akibat dari adanya kegagalan. Dampak ini dapat ditentukan berdasarkan tingkat kerusakan alat, tingkat cedera yang dialami oleh pengguna, serta lamanya *downtime* yang terjadi

Tabel 2. 3 Keterangan *Severity*

<b>Tingkatan <i>Severity</i> Ranking</b>	<b>Akibat (<i>Effect</i>)</b>	<b>Kriteria Verbal</b>	<b>Akibat pada produksi</b>
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apapun (tidak ada akibat, penyesuaian diperlukan)	Proses dalam pengendalian
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap dapat beroperasi dan keadaan aman, hanya terdapat sedikit gangguan kecil. Serta hanya terdapat gangguan kecil pada peralatan. Akibat dapat diketahui hanya oleh operator yang berpengalaman	Proses berada dalam pengendalian, hanya membutuhkan sedikit penyesuaian
3	Akibat ringan	Mesin tetap dapat beroperasi dan keadaan aman, hanya terdapat sedikit gangguan kecil. Serta hanya terdapat gangguan kecil pada peralatan. Akibat dapat diketahui oleh semua operator	Proses telah berada di luar pengendalian, membutuhkan beberapa penyesuaian
4	Akibat <i>minor</i>	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan atau kecacatan pada produk. Operator merasa tidak puas akibat kinerja yang berkurang	Kurang dari 30 menit <i>downtime</i> atau tidak ada kehilangan waktu produksi

<b>Tingkatan Severity Ranking</b>	<b>Akibat (Effect)</b>	<b>Kriteria Verbal</b>	<b>Akibat pada produksi</b>
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan beberapa kegagalan atau kecacatan pada produk. Operator merasa tidak puas akibat kinerja yang berkurang	30 – 60 menit <i>downtime</i>
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi menimbulkan kegagalan atau kecacatan pada produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerjanya sendiri	1 – 2 jam <i>downtime</i>
7	Akibat major	Mesin tetap beroperasi dan dalam keadaan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas	2 – 4 jam <i>Downtime</i>
8	Akibat Ekstrem	Mesin tidak dapat beroperasi, mesin telah kehilangan fungsi utama mesin	4 – 8 jam <i>Downtime</i>
9	Akibat Serious	Mesin gagal dalam beroperasi dan tidak memenuhi standart keselamatan kerja	> 8 jam <i>Downtime</i>
10	Akibat Berbahaya	Mesin tidak layak untuk dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan kerja secara tiba – tiba dan dapat memenuhi standart keselamatan kerja	> 8 jam <i>Downtime</i>

*b. Occurency*

*Occurency* merupakan tingkat seberapa sering komponen mengalami kegagalan.

Tabel 2. 4 Keterangan *Occurency*

<b>Ranking</b>	<b>Kejadian</b>	<b>Kriteria</b>	<b>Tingkat Kejadian Kerusakan</b>
1	Hampir tidak pernah ada	Hampir kerusakan tidak pernah terjadi	Lebih besar dari 10.000 jam operasi
2	Remote	Kerusakan mesin jarang terjadi	6.001 – 10.000 jam operasi
3	Sangat sedikit	Kerusakan mesin terjadi sangat sedikit	3.0001 – 6.0001 jam operasi
4	Sedikit	Kerusakan mesin terjadi sedikit	2.001 – 3.000 jam operasi
5	Rendah	Kerusakan mesin terjadi dengan tingkat rendah	1.001 – 2.000 jam operasi
6	Medium	Kerusakan mesin terjadi pada tingkat medium	401 – 1.000 jam operasi
7	Agak tinggi	Kerusakan terjadi agak tinggi	11 – 400 jam operasi
8	Tinggi	Kerusakan terjadi tinggi	11 – 100 jam operasi
9	Sangat tinggi	Kerusakan terjadi sangat tinggi	2 – 10 jam operasi
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	Kurang dari jam operasi

c. *Detection*

*Detection* merupakan tingkat pengukuran terhadap kemampuan dalam pengendalian atas kegagalan yang terjadi.

Tabel 2. 5 Keterangan *Detection*

<b>Ranking</b>	<b>Akibat</b>	<b>Kriteria Verbal</b>
1	Hampir pasti	Perawatan <i>preventive</i> akan selalu mendekati penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	<i>Moderate highly</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>moderate highly</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	<i>Moderate</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>moderate</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
8	<i>Remote</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>remote</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

### 2.2.10 Logic Tree Analysis (LTA)

*Logic Tree Analysis* (LTA) dapat menunjukkan jenis kegiatan perawatan (*Maintenance Task*) yang mana yang layak dan optimal yang digunakan untuk mengatasi masing – masing pada *failure mode*. Tujuan tahap ini adalah memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan tidak sama. Proses *Reliability Centered Maintenance* (RCM) menggunakan tiga pertanyaan logika yang sederhana atau struktur keputusan untuk mempermudah analisis secara akurat menempatkan setiap mode kerusakan dalam satu dari empat kategori. Analisis kekritisan dari mode kegagalan ditempatkan dalam satu dari empat kategori penting (Smith & Glenn, 2004) yaitu :

1. *Evidents*, yaitu apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadinya adanya kerusakan ?
2. *Safety*, yaitu apakah adanya kegagalan tersebut dapat membahayakan keselamatan ?
3. *Outage*, yaitu apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti ?
4. *Category*, yaitu mengklasifikasikan jawaban dari pertanyaan yang diajukan kedalam beberapa kategori. Pada bagian ini kategori *Logic Tree Analysis* (LTA) dibagi menjadi 4 yaitu :

- a. Kategori A (*Safety Problem*)

Apabila mode kegagalan mempunyai konsekuensi membahayakan keselamatan bahkan menyebabkan kematian pada seseorang. Kegagalan ini juga mempunyai konsekuensi lingkungan seperti melanggar peraturan lingkungan yang telah ditetapkan dalam hukum sebelumnya.

- b. Kategori B (*Outage Problem*)

Mode kegagalan dari suatu komponen dapat menyebabkan sistem kerja komponen terhenti sebagian atau keseluruhan sehingga berpengaruh terhadap *operational plant* seperti kuantitas, kualitas produk terhadap hasil produksi yang dapat membengkakan biaya.

- c. Kategori C (*Economic Problem*)

Apabila mode kegagalan tidak mempunyai konsekuensi terhadap *safety* maupun terhadap *operational plant* dan hanya mempengaruhi ekonomi yang relatif kecil meliputi biaya perbaikan.

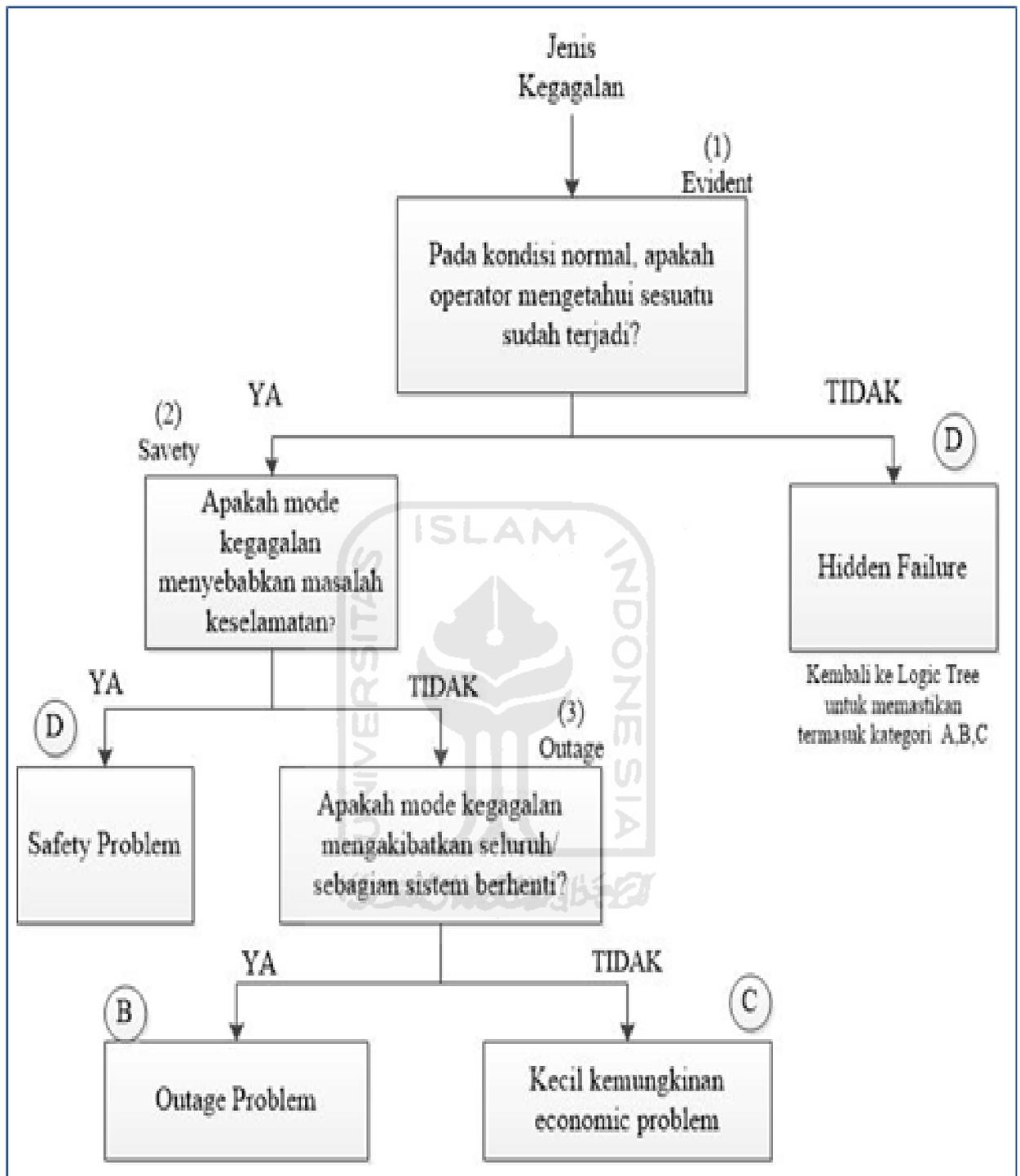
d. Kategori D (*Hidden Failure*)

Apabila mode kegagalan memiliki dampak secara langsung namun apabila perusahaan tidak menanggulangnya resiko ini akan menjadi serius bahkan dapat memicu kegagalan lainnya.

Tabel 2. 6 Format *Logic Tree Analysis* (LTA)

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category





Gambar 2.3 Alur Logic Tree Analysis (LTA)

Sumber : (Smith & Glenn, 2004)

### 2.2.11 Task Selection (TS)

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisa *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Dari tiap mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang paling efektif. Proses analisa ini akan menentukan tindakan *Preventive Maintenance* (PM) yang tepat untuk mode kerusakan tertentu. Tindakan perawatan pada *road map* pemilihan tindakan dapat dibagi menjadi 3 yaitu:

1. *Time Direct* (TD) atau *Preventive Maintenance* (PM)

Tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur ataupun waktu dari komponen.

2. *Condition Direct* (CD) atau *Predictive Maintenance* (PDM)

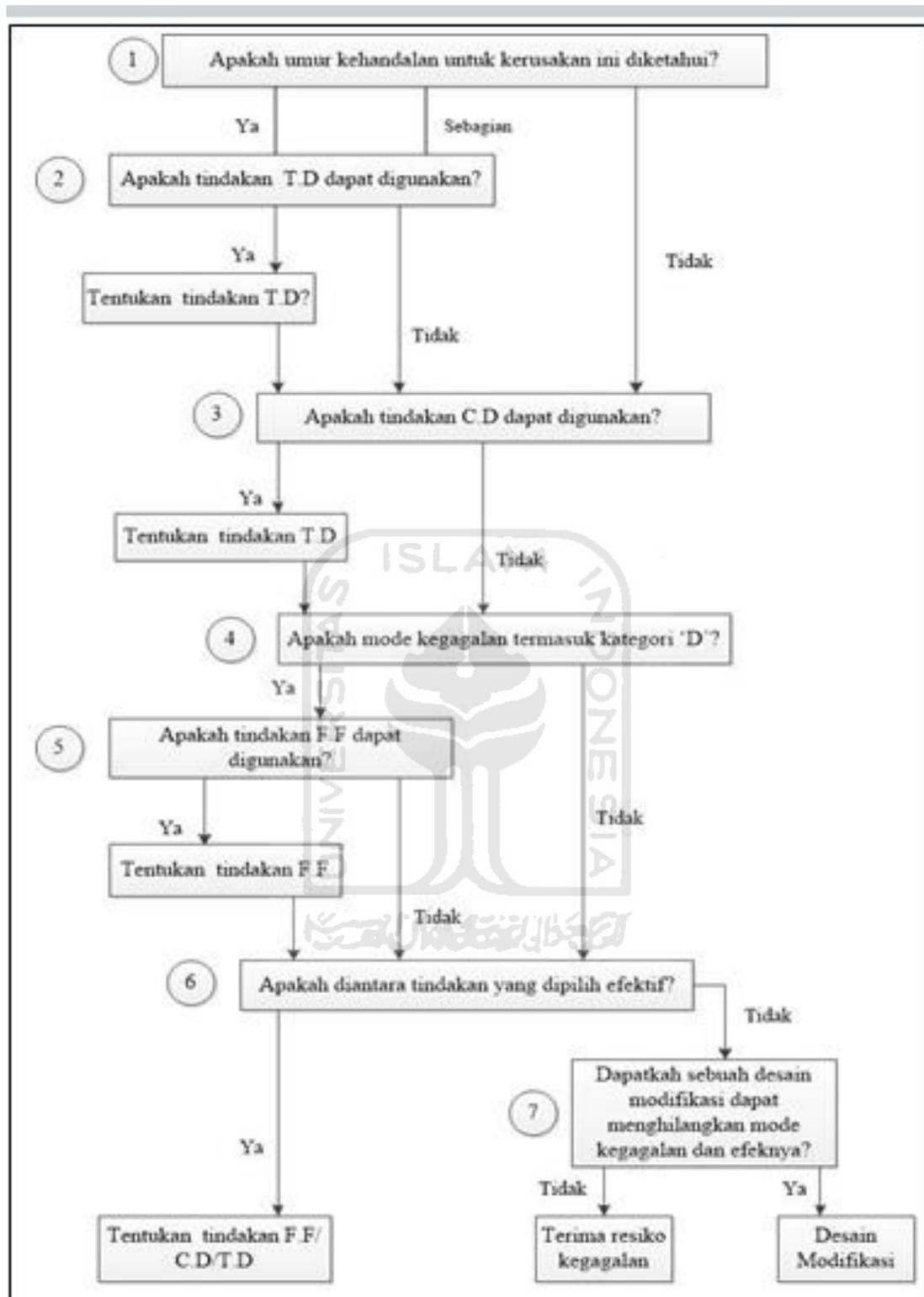
Tindakan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa dan inspeksi. Apabila didalam inspeksi terdapat gejala – gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.

3. *Finding Failure* (FF) atau *Condition Based* (CB)

Tindakan perawatan yang dilakukan dengan tujuan untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi dengan pemeriksaan berkala.

Tabel 2. 7 Format *Task Selection Road Map*

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis							Selection Task
				1	2	3	4	5	6	7	



Gambar 2.4 Alur *Task Selection Road Map* (Pemilihan Tindakan Perawatan)

Sumber : (Smith & Glenn, 2004)

### 2.2.12 Keandalan (*Reliability*)

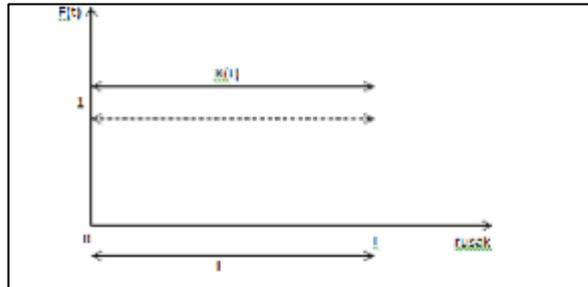
Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas sistem akan memiliki kinerja sesuai fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu (Ebeling, 1997). Definisi lain keandalan adalah probabilitas suatu sistem akan berfungsi secara normal ketika digunakan untuk periode waktu yang diinginkan dalam kondisi operasi yang spesifik (Dhillon, 1997). Berdasarkan definisi diatas, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Probabilitas, dimana nilai *reliability* adalah berada diantara 0 dan 1.
2. Kemampuan yang diharapkan, harus digambarkan secara terang atau jelas. Setiap unit terdapat suatu standar untuk menentukan apa yang dimaksud dengan kemampuan yang diharapkan.
3. Tujuan yang diinginkan, dimana kegunaan peralatan harus spesifik. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa tingkatan dalam memproduksi suatu barang konsumen.
4. Waktu, merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem.
5. Kondisi Lingkungan, mempengaruhi umur dari sistem atau peralatan seperti suhu, kelembaban dan kecepatan gerak. Hal ini menjelaskan bagaimana perlakuan yang diterima sistem dapat memberikan tingkat keandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya.

### 2.2.13 Fungsi Keandalan

Menurut Alkaf Kamdi (1992), keandalan (*reliability*) adalah : “Probabilitas bahwa suatu peralatan atau sistem peralatan akan beroperasi pada suatu periode waktu tanpa mengalami kerusakan dan kondisi peralatan berada pada standart operasi”. Keandalan dapat diartikan sebagai probabilitas dari suatu peralatan yang dapat berfungsi dengan baik dalam melaksanakan tugasnya. Suatu sistem alat mempunyai dua status, yaitu “baik” dan “rusak”. Keadaan status dari keandalan merupakan proses probabilistik (stokastik), sehingga jika keandalan berharga 1, maka sistem dapat dipastikan dalam keadaan baik dan jika keandalan berharga nol, maka dipastikan bahwa sistem dalam keadaan rusak. Jika harga keandalan adalah  $R(t)$ , maka nilai keandalannya berkisar antara  $0 \leq R(t) \leq 1$ . Jadi dalam selang waktu tersebut

suatu peralatan dapat melaksanakan tugasnya dengan baik (Arif, 2009). Keandalan merupakan fungsi dari waktu, sehingga untuk mengukur suatu keandalan diperlukan fungsi keandalan. Fungsi keandalan ini merupakan hubungan antara keandalan dan waktu, dan dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.5 Distribusi Keandalan

Sumber : Arif (2009)

#### 2.1.14 Perhitungan *Reliability* Sesudah dan Sebelum dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

Model keandalan berikut ini mengasumsi sistem kembali ke kondisi baru setelah menjalani perawatan pencegahan. Menurut ebeling(1997) rumus keandalan pada saat t untuk tiap-tiap distribusi sebelum adanya perawatan *preventive* adalah sebagai berikut:

1. Distribusi *Weibull*

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots (2.3)$$

2. Distribusi Normal

$$R(t) = 1 - \Phi \left( \frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad \dots (2.4)$$

3. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi \left( \frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad \dots (2.5)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = \exp (-\lambda t) \quad \dots (2.6)$$

Sedangkan rumus untuk tiap-tiap distribusi setelah tindakan perawatan *preventive* dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Distribusi *Weibull*

$$R(t-nT) = \exp \left[ - \left( \frac{t-nT}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots (2.7)$$

## 2. Distribusi Normal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{(t-nT)-\mu}{\sigma}\right) \quad \dots (2.8)$$

## 3. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}}\right) \quad \dots (2.9)$$

## 4. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = \exp(-\lambda(t-nT)) \quad \dots (2.10)$$

### 2.1.15 Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan ( $\lambda$ ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, sub sistem, atau sistem.

Laju kegagalan suatu komponen dapat digambarkan dengan sebuah kurva bak mandi (*bath tube curve*) dengan variabel waktu sebagai laju kegagalan dari komponen (sistem). Model dari probabilitas kegagalan komponen suatu alat dapat dicocokkan dengan distribusi statistik. Dalam analisa keandalan ada beberapa distribusi statistik yg umum digunakan. Jika laju kerusakan dari sistem *independent* umum dan karakteristik lain secara pengoperasiannya, maka yang lebih tepat digunakan adalah distribusi eksponensial. Distribusi ini berhubungan laju kerusakan konstan. Jika laju kerusakannya meningkat seiring dengan bertambahnya umur sistem, maka distribusi yang digunakan adalah distribusi normal dan *Weibull* (Iksan, 2010).

### 2.2.16 Penentuan Distribusi *Time To Failure* dan *Time To Repair*

Menurut Ebeling (1997), terdapat dua cara untuk mengidentifikasi distribusi yang digunakan dalam mendapatkan lamanya waktu perbaikan untuk waktu kerusakan, yaitu dengan *probability plot* dan *least-square curve fitting*. *Probability plot* dibuat dengan membuat grafik data waktu kerusakan maupun waktu perbaikan. Dapat digunakan untuk ukuran sampel yang kecil atau dengan data yang kurang lengkap. Pada metode *least-square curve fitting*, untuk mengidentifikasi distribusi dari sebuah komponen menggunakan nilai *index of fit* yang terbesar yang akan terpilih.

Menurut Walpole (1995) terdapat metode umum dalam perhitungan metode *least-square curve fitting* yaitu:

- a. Nilai Tengah Kerusakan (*Medium Rank*)

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad \dots (2.36)$$

Dimana:  $i$  = data waktu ke  $i$

$n$  = jumlah data kerusakan

- b. *Index of fit*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{n[\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2]} \sqrt{[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \dots (2.37)$$

Menurut Walpole (1997) perhitungan identifikasi distribusi awal untuk masing-masing distribusi adalah sebagai berikut:

- a. Distribusi *Weibull*

$$X_i = \ln(t_i) \quad \dots (2.38)$$

$$Y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \quad \dots (2.39)$$

- b. Distribusi Normal

$$X_i = t_i \quad \dots (2.40)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \frac{t_i - \mu}{\sigma} \quad \dots (2.41)$$

Dimana  $t_i$  adalah data ke  $i$

Nilai  $Z_i$  didapat dari tabel *Standart Normal Probabilities*.

- c. Distribusi Lognormal

$$X_i = \ln(t_i) \quad \dots (2.42)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1} \left[ \left( \frac{1}{s} \right) \ln t_i - \left( \frac{1}{s} \right) \ln t_{med} \right] \quad \dots (2.43)$$

Nilai  $Z_i$  didapat dari tabel *Standart Normal Probabilities*.

- d. Distribusi Eksponensial

$$X_i = t_i \quad \dots (2.44)$$

$$Y_i = \left[ \frac{1}{1-F(t_i)} \right] \quad \dots (2.45)$$

### 2.2.17 Uji Kecocokan Distribusi (*Uji Goodness Of Fit*)

Uji kecocokan distribusi untuk memastikan bahwa distribusi data yang telah dipilih benar-benar mewakili data. Uji kecocokan distribusi yang dilakukan adalah uji spesifik *Goodness of Fit* karena uji tersebut memiliki probabilitas yang lebih besar dalam menolak suatu distribusi yang tidak sesuai. *Test* ini adalah uji yang diambil setelah menentukan distribusi awal yang digunakan untuk membandingkan dua hipotesis yang berlawanan, yaitu:

Ho: Data kerusakan atau perbaikan mendekati distribusi tertentu.

H1: Data kerusakan atau perbaikan tidak mendekati distribusi tertentu.

Menurut Ebeling (1997), pengujian untuk masing-masing distribusi berbeda-beda seperti Uji *Bartllet* yang digunakan untuk distribusi Eksponensial, Uji *Kolmogorov-Smirnov* digunakan untuk distribusi Normal dan Lognormal serta Uji *Mann* yang digunakan untuk distribusi *Weibull*.

#### A. Uji *Bartllet* untuk Pengujian Distribusi Eksponensial

Hipotesis yang digunakan dalam uji *bartllet* adalah:

H<sub>0</sub>: Data *time failure* berdistribusi Eksponensial

H<sub>1</sub>: Data *time failure* tidak berdistribusi Eksponensial

Uji statistiknya:

$$B = \frac{2r[\ln(1/r) \sum_{t=1}^r t_i - (1/r) \sum_{t=1}^r \ln t_i]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad \dots (2.46)$$

Dimana:

r = jumlah kerusakan

t<sub>i</sub> = data waktu kerusakan ke-i

B = nilai uji statistik untuk *Bartllet's Test*

H<sub>0</sub> diterima apabila nilai B berada didalam wilayah kritis dengan persamaan sebagai berikut:

$$X^2(1-\alpha/2) < B < X^2(\frac{\alpha}{2}) \quad \dots (2.47)$$

#### B. Uji *Mann's Test* untuk Pengujian Distribusi *Weibull*

Menurut Ebeling (1997), Hipotesis yang digunakan dalam uji *mann* adalah:

H<sub>0</sub>: Data *time failure* berdistribusi *Weibull*

H<sub>1</sub>: Data *time failure* tidak berdistribusi *Weibull*

Uji statistiknya:

$$M = \frac{k_1 \sum [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i}{k_2 \sum [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i}; \quad \dots (2.48)$$

dengan :

$$k_1 = \left[ \frac{r}{2} \right] \quad \dots (2.49)$$

$$k_2 = \left[ \frac{r-1}{2} \right] \quad \dots (2.50)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \quad \dots (2.51)$$

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad \dots (2.52)$$

Dimana:

$t_i$  = data antar waktu kerusakan ke- $i$

$n$  = jumlah data antar kerusakan suatu komponen

$M_i$  = Nilai pendekatan Mann untuk data ke- $i$

$M$  = Nilai perhitungan distribusi *Weibull*

$M_{0,05; k_1; k_2}$  = Nilai Distribusi *Weibull*

$r$  = banyaknya data

$r/2$  = bilangan bulat

$k_1$  =  $r/2$

$k_2$  =  $(r-1)/2$

Bila  $M > F_{crit}$  maka  $H_1$  diterima. Namun sebaliknya apabila  $M < F_{crit}$  maka  $H_1$  ditolak. Nilai  $F_{crit}$  diperoleh dari tabel distribusi F dengan  $v_1 = 2k_1$  dan  $v_2 = 2k_2$ .

### C. Uji *Kolmogorov-Smirnov* test

Menurut Ebeling (1997), Hipotesis yang digunakan untuk uji *kolmogorov-Smirnov* adalah:

$H_0$ : Data *time failure* berdistribusi normal (lognormal)

$H_1$ : Data *time failure* tidak berdistribusi normal (lognormal)

Tes statistik,  $D_n = \max (D_1, D_2)$

Dimana :

$$D_1 = \max \phi \left( \frac{t_i - \mu}{s} \right) - \left( \frac{t_i - 1}{n} \right) \quad \dots (2.53)$$

$$D_2 = \max \left( \frac{i}{n} \right) - \phi \left( \frac{t_i - \mu}{s} \right) \quad \dots (2.54)$$

$$\text{Cumulative Probability } F(t) = \left( \frac{t_i - \mu}{\sigma} \right) \quad \dots (2.55)$$

$$\mu = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \ln t_i}{n} \right) \quad \dots (2.56)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} \quad \dots (2.57)$$

Dimana:

- $t_i$  = *time to failure* ke- $i$   
 $\mu$  = Rata- rata *time to failure*  
 $s$  = Standart deviasi  
 $n$  = Banyaknya data

Bila nilai  $D_n < D_{crit}$  maka  $H_0$  diterima, dan apabila sebaliknya nilai  $D_n > D_{crit}$  maka  $H_0$  ditolak. Nilai  $D_{crit}$  diperoleh dari tabel *critical value for the Kolmogorov-Smirnov test for normality*. Perbedaan pengujian distribusi normal dengan lognormal adalah pada penggunaan  $t_i$  apabila lognormal menggunakan nilai  $t_i = \ln(t_i)$ .

### 2.2.18 Estimasi Parameter

Estimasi parameter yang digunakan yaitu menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE). Menurut Ebeling (1997) masing-masing parameter untuk tiap distribusi adalah sebagai berikut:

#### a. Distribusi Weibull

Parameter untuk distribusi *weibull* adalah  $\beta$  (*shape parameter*) dan  $\theta$  (*scale parameter*).

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \sum_{i=1}^n (X_i)^2} \quad \dots (2.58)$$

$$\theta = e^{-a/\beta} \quad \dots (2.59)$$

Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

#### b. Distribusi Normal

Parameter pada distribusi normal adalah  $\sigma$  dan  $\mu$ .

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \dots (2.60)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}}; \text{ untuk } n > 3 \quad \dots (2.61)$$

dan

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}}; \text{ untuk } n \leq 30 \quad \dots (2.62)$$

Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

$n$  = banyaknya data kerusakan

$\mu$  = nilai tengah

$\sigma$  = standart deviasi

c. Distribusi Lognormal

Parameter yang digunakan pada distribusi lognormal adalah  $s$  (parameter bentuk) dan  $t_{med}$  (parameter lokasi).

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} \quad \dots (2.63)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln(t_i) - \mu]^2}{n}} \quad \dots (2.64)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \quad \dots (2.65)$$

Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

$n$  = banyaknya data kerusakan

$\mu$  = nilai tengah

$s$  = standart deviasi

d. Distribusi Eksponensial

Parameter yang digunakan untuk distribusi eksponensial adalah  $\lambda$ .

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad \dots (2.66)$$

Dimana:  $n$  = jumlah kerusakan

$T = \sum_{i=1}^n t_i$  yaitu jumlah waktu kerusakan

### 2.2.19 Mean Time To Failure (MTTF)

Menurut (IR. Ating Sudrajat, 2011) *Mean Time To Failure* (MTTF) yaitu “waktu rata – rata terjadinya kerusakan dari suatu peralatan / mesin atau dapat dikatakan sebagai waktu kemampuan mesin dan peralatan untuk beroperasi. *Mean Time To Failure* (MTTF) ini umumnya digunakan untuk mengetahui berapa lama mesin dapat dioperasikan sampai tidak dapat digunakan kembali. Dengan mengukur rata – rata kelebihan waktu yang digunakan dalam penjadwalan produksi tanpa terjadi gangguan:

$$\text{MTTF} = \frac{\text{waktu total-downtime-waktu yang tidak dimanfaatkan}}{\text{jumlah kerusakan}} \quad \dots(2.67)$$

Berikut ini merupakan perhitungan MTTF masing-masing distribusi sebagai berikut:

a. Distribusi *Weibull*

$$\text{MTTF} = \theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \dots (2.68)$$

Nilai  $\theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$  dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

b. Distribusi Normal

$$\text{MTTF} = \mu \quad \dots (2.69)$$

c. Distribusi Lognormal

$$\text{MTTF} = t_{\text{med}} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots (2.70)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad \dots (2.71)$$

### 2.2.20 Mean Time To Repair (MTTR)

Menurut IR. Ating Sudrajat (2011) *Mean Time To Repair* (MTTR) yaitu “waktu rata – rata yang digunakan untuk melakukan perbaikan. Waktu rata – rata untuk memperbaiki peralatan agar dapat beroperasi kembali, meliputi waktu pemberitahuan, waktu pemindahan. Waktu diagnosa, waktu memperbaiki, waktu tunggu (untuk suku cadang). Waktu perakitan kembali, dan waktu pengetesan, *Mean Time To Repair* (MTTR) juga mengukur berapa lama operasi akan keluar dari produksi, yang mengindikasikan efek pada perawatan terhadap laju produksi.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{total waktu terhentinya alat akibat kerusakan (tidak terjadwal)}}{\text{jumlah kerusakan}} \quad \dots(2.72)$$

Berikut merupakan perhitungan MTTR untuk tiap distribusi dinyatakan sebagai berikut:

a. Distribusi *Weibull*

$$\text{MTTR} = \theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \dots (2.73)$$

Nilai  $\theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$  dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

b. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad \dots (2.74)$$

c. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med}.e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots (2.75)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad \dots (2.76)$$

### 2.2.21 Model Perawatan Penggantian Pencegahan *Age Replacement*

Model matematis sistem perawatan secara pencegahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Age Replacement*, yaitu metode perawatan pencegahan yang dilakukan dengan menetapkan interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan selang waktu kerusakan yang menuntut adanya tindakan perbaikan penggantian dengan kriteria minimasi (AKS Jardine, 1997). Dalam model *Age Replacement* saat untuk dilakukan penggantian pencegahan adalah tergantung pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali interval penggantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan. Jika terjadi kerusakan yang menuntut untuk dilakukannya tindakan penggantian. Dalam melakukan penurunan model penggantian ini terdapat beberapa asumsi yang dikembangkan untuk memfokuskan pada permasalahan, yaitu :

- a. Laju kerusakan komponen bertambah sesuai dengan peningkatan pemakaian.
- b. Peralatan yang telah dilakukan penggantian komponen akan kembali kepada kondisi semula. Tidak ada permasalahan dalam persediaan komponen.

Pada model *Age Replacement* ini terdapat dua siklus operasi, yaitu :

Siklus 1 : Siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan. Ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian sesuai dengan yang telah direncanakan.

Siklus 2 : Siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan. Ditentukan melalui komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya.

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp) + Tf.(1-R(tp))}{(tp+Tp).R(t) + (M(tp) + Tf).(1-R(tp))} \quad \dots (2.77)$$

Keterangan Rumus:

- $tp$  = Interval waktu penggantian pencegahan  
 $Tf$  = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen  
 $Tp$  = Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*  
 $R(tp)$  = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat  $tp$   
 $M(tp)$  = Waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian perbaikan pada masa  $tp$  yang dapat dicari dengan rumus  $M(tp)$  :

$$M(tp) = \frac{MTTF}{1-R(tp)} \quad \dots(2.78)$$

Selain dilakukan perawatan penggantian pencegahan, interval pemeriksaan yang optimum juga perlu dilakukan agar tidak terlalu sering dan tidak terlalu jarang dilakukan pemeriksaan. Tindakan pemeriksaan sangat dibutuhkan untuk menekan laju kerusakan, menjaga performansi mesin dan meminimasi *downtime* yang terjadi akibat kerusakan dari komponen yang terjadi secara tiba-tiba yang dapat mengakibatkan pembengkakan biaya. Model untuk interval waktu pemeriksaan optimal tersebut dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut :

$$D(n) = \lambda(n) \cdot Tf + nTi \quad \dots (2.79)$$

$D(n)$  = *Downtime* yang terjadi karena perbaikan per unit waktu + *downtime* yang terjadi karena pemeriksaan per unit waktu

Dimana:

$$\lambda(n) = \frac{k}{n} \text{ sehingga: } \lambda'(n) = \frac{k}{n^2} \quad \dots (2.80)$$

$$k = \frac{\text{frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{periode terjadinya kerusakan}} \quad \dots (2.81)$$

$$Tf = \frac{1}{\mu}; Ti = \frac{1}{i} \quad \dots (2.82)$$

Sehingga;

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \text{ atau } D(n) = \frac{k}{n \cdot \mu} + \frac{n}{i} \quad \dots (2.83)$$

Jika persamaan diatas dideferensialkan akan menjadi:

$$D^{>(n)} = \frac{k}{n^2 \cdot \mu} + \frac{1}{i} = 0 \quad \dots (2.84)$$

Sehingga Frekuensi pemeriksaan:

$$n = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \quad \dots (2.85)$$

Keterangan:

$\lambda(n)$	= laju kerusakan yang terjadi
$k$	= nilai konstan dari jumlah kerusakan persatuan waktu
$T_f$	= Waktu rata-rata untuk melakukan penggantian
$T_i$	= waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan
$n$	= frekuensi yang dilakukan per satuan waktu

### 2.2.22 Availability

*Availability* didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa suatu komponen atau perangkat dapat melakukan fungsinya sesuai yang diperlukan pada saat tertentu atau dalam periode tertentu ketika dioperasikan dan dipelihara dengan cara yang sudah ditentukan (Ebeling, 1997). Berikut adalah persamaan *availability* untuk sistem seri dan parallel:

- a. *Availability* untuk sistem seri :

$$A_s(t) = \prod_i^n A_i(t) \quad \dots(2.86)$$

- b. *Availability* untuk sistem parallel :

$$A_s(t) = 1 - \prod_i^n (1 - A_i(t)) \quad \dots(2.87)$$

*Availability* (ketersediaan) didefinisikan sebagai peluang sebuah komponen atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan pada waktu tertentu yang berada pada kondisi normal (Ebeling, 1997). *Availability* dapat dihitung dengan rumus:

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad \dots(2.88)$$

Keterangan :

MTTF = waktu rata-rata antar kerusakan mesin

MTTR = waktu rata-rata perbaikan

Langkah-langkah dalam perhitungan *availability* berdasarkan (Walpole, 1986) sebagai berikut:

1. *Availability* berdasarkan frekuensi pemeriksaan:

$$A(n) = 1 - D(n) \quad \dots (2.89)$$

$$D(n) = \frac{k}{\mu \cdot n} + \frac{1}{i} \quad \dots (2.90)$$

2. *Availability* berdasarkan interval penggantian pencegahan:

$$A(tp) = 1 - [\min D(tp)] \quad \dots (2.91)$$

Dimana  $D(tp)$  merupakan total *downtime* persiklus.

3. *Availability* total:

$$Availability = A(n) * A(tp) \quad \dots (2.92)$$



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Objek dan Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan di PT. TJB *Power Services* yang bergerak dibidang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Objek yang diambil yaitu mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) merupakan bagian dari sistem boiler yang menggunakan bahan bakar batu bara. PT. TJB *Power Services* berlokasi di Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. Penelitian dilakukan pada bulan Maret 2020.

#### **3.2 Perumusan Masalah**

Perumusan Masalah pada penelitian ini berdasarkan dari *downtime* mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) agar peneliti mengetahui komponen kritis yang sering terjadi *downtime* serta ingin mengetahui interval penggantian komponen kritis dan pemeriksaan komponen.

#### **3.3 Studi Literatur**

Studi Literatur pada penelitian ini menggunakan referensi buku-buku dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement*.

#### **3.4 Studi Lapangan**

Studi lapangan dilakukan untuk melihat dan observasi pada mesin boiler dengan sub mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) pada PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara.

#### **3.5 Metode Pengumpulan Data**

Tahapan ini merupakan tahap pengumpulan data yang akan berhubungan dengan permasalahan yang didapat. Suatu penelitian didukung oleh data yang akurat untuk menunjang agar dapat mencapai tujuan penelitian yang optimal. Berdasarkan cara

untuk memperoleh data penelitian, data dibagi menjadi dua jenis yaitu data primer dan data sekunder sebagai berikut :

### 3.5.1 Data Primer

Data Primer adalah data yang didapat dari penelitian secara langsung dengan cara menanyakan ke sumber yang memberikan informasi. Pengumpulan data primer bisa dilakukan dengan beberapa macam cara antara lain :

a. Wawancara

Langkah pengumpulan data yang dilakukan dengan cara saling bertukar informasi langsung dengan sumber ahli yang dimana untuk mengambil data mengenai kejadian kegagalan, penyebab kegagalan dan efek kegagalan yang ditimbulkan serta tindakan perawatan yang diterapkan pada perusahaan. Pada penelitian ini wawancara pada beberapa orang yang *expert* pada mesin boiler dan sub mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang dilakukan dengan Bapak Bakti kepala bagian *planning* di departemen *development* yang sudah bekerja pada bagian tersebut selama 10 tahun, Bapak Alfin kepala *maintenance* yang sudah bekerja pada bagian tersebut selama 12 tahun, Bapak Dwi Santoso *supervisor* mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang sudah bekerja pada bagian tersebut selama 11 tahun dan Bapak Huda kepala *engineering* mesin boiler yang sudah bekerja pada bagian tersebut selama 10 tahun.

b. Observasi

Langkah observasi merupakan kegiatan yang dilakukan dengan melakukan pengamatan secara langsung pada obyek penelitian atau informasi yang berkaitan dengan penelitian sehingga dapat dipertanggung jawabkan kebenaran sesuai fakta dan benar. Observasi pada penelitian ini adalah observasi secara langsung di bagian mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) untuk mengetahui awal sistem produksi sampai akhir produksi dari mesin tersebut.

### 3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang tidak secara langsung diperoleh dari sumber pertama dan telah tersusun dalam bentuk dokumen-dokumen tertulis yaitu data yang

didapatkan dengan mengumpulkan dan mempelajari dokumen perusahaan dan studi literature yang berkaitan dengan perawatan (*maintenance*) tersedia secara *online* (internet) dan *offline* (tertulis) berkaitan dengan perawatan, kehandalan, RCM dan perawatan pencegahan. Data yang dibutuhkan untuk metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* dalam penelitian ini yaitu :

- a. Data komponen dari mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
- b. Data waktu produksi mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
- c. Data kerusakan yang terjadi pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
- d. Data lama perbaikan dan waktu antar kerusakan komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).

Dikarenakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* pada datanya saling berkaitan untuk mencari seluruh komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dan data *downtime* waktu kerusakan mesin.

### 3.6 Pengolahan Data

#### 3.6.1 Pengolahan Data Kualitatif (Penentuan Komponen Kritis)

Pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diperlukan data primer yang didapat dari wawancara. Dalam metode ini memperlihatkan dari mode kegagalan tiap komponen mesin dan efek yang ditimbulkan. Pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) juga mengklasifikasikan jenis kerusakan yang terjadi dan serta pemilihan tindakan untuk setiap kegagalan. Setelah mendapatkan data yang diinginkan maka selanjutnya dilakukan pengolahan data kualitatif sebagai berikut :

##### A. *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

*Output Reliability Centered Maintenance* (RCM) menghasilkan komponen kritis pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).

##### 1. *Functional Block Diagram* (FBD)

data mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) menjelaskan secara runtut alur proses dan alur material dari awal produksi sampai akhir produksi yang digambarkan menjadi blok diagram dan saling dihubungkan berdasarkan fungsinya.

##### 2. *Root Cause Failure Analysis* (RCFA)

Data mesin dan komponen yang sudah tertulis pada *Functional Block Diagram* (FBD) akan masuk ke dalam rangkaian *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) yang dimana dapat mencari akar permasalahan dari komponen yang sering mengalami kerusakan dalam mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang dapat dilihat banyaknya kerusakan komponen dari awal produksi sampai akhir produksi. Permasalahan yang terjadi didapat dari wawancara dengan *engineer expert* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor*.

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

Data mesin dan komponen yang sudah tertulis pada *Functional Block Diagram* (FBD) maka masuk ke dalam rangkaian *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) yang didalamnya mencari fungsi, mode kegagalan, penyebab kegagalan dan efek dari kegagalan semua komponen dalam mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dan menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN) digunakan untuk melihat komponen mesin yang paling kritis.

### 4. *Logic Tree Analysis* (LTA)

Pada *Logic Tree Analysis* (LTA) memerlukan data *Functional Block Diagram* (FBD) berupa data mesin dan komponen serta fungsinya dan data rangkaian *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) untuk mencari mode kegagalan kemudian pada rangkaian *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk mencari jenis perawatan yang layak dan optimal pada semua komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang digunakan untuk mengatasi mode kegagalan dengan mengisi *critically analysis* yang dijelaskan pada empat hal penting dalam *Logic Tree Analysis* (LTA) sebagai berikut :

- a. *Evident*, yaitu apakah dalam kondisi normal operator dapat menyadari terjadi adanya kegagalan ?
- b. *Safety*, yaitu apakah mode kegagalan tersebut dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti ?
- c. *Category*, yaitu mengklasifikasikan jawaban dari pernyataan yang diajukan ke dalam beberapa kategori.

Terdapat empat kategori dalam *Logic Tree Analysis* (LTA), yaitu :

- a. Kategori A (*Safety Problem*)
- b. Kategori B (*Outage Problem*)

- c. Kategori C (*Economic Problem*)
- d. Kategori D (*Hidden Failure*)

### 3.6.2 Pengolahan Data Kualitatif (Penentuan Tindakan Perawatan)

Pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) diperlukan data primer yang didapat dari wawancara. Dalam metode ini memperlihatkan dari mode kegagalan tiap komponen mesin dan efek yang ditimbulkan. Pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) juga mengklasifikasikan jenis kerusakan yang terjadi dan serta pemilihan tindakan untuk setiap kegagalan. Setelah mendapatkan data yang diinginkan maka selanjutnya dilakukan pengolahan data kualitatif sebagai berikut :

#### A. *Selection Task*

Selanjutnya pada *Selection Task* untuk input data yang diperlukan sama seperti rangkaian *Logic Tree Analysis* (LTA) dimana untuk mencari tindakan semua komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang paling efektif dengan mengisi *critically analysis* yang kemudian disesuaikan untuk mengisi *Selection Task* yang dijelaskan pada jawaban dari pertanyaan tersebut akan menghasilkan tindakan perawatan. Terdapat tiga tindakan perawatan yaitu :

- a. *Conditional Direct* (CD)
- b. *Time Direct* (TD)
- c. *Finding Failure* (FF)

### 3.6.3 Pengolahan Data Kuantitatif (Penentuan Interval Waktu Pemeriksaan dan Penggantian Komponen Kritis)

Pada pengolahan data kuantitatif digunakan untuk mencari interval pemeriksaan dan penggantian komponen kritis yang dimana komponen kritis didapat dari output dari metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan data yang dibutuhkan untuk mengolah metode *Age Replacement* yaitu data historis *downtime* waktu kerusakan mesin kritis.

#### A. *Age Replacement*

*Output* dari *Age Replacement* menghasilkan jadwal penggantian perawatan mesin untuk pencegahan kerusakan.

1. Penentuan Komponen Kritis

Setelah menentukan komponen kritis dari hasil pengolahan data kualitatif lalu menentukan waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan.

## 2. Penentuan Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan

Waktu antar kerusakan dihitung dari waktu komponen selesai diperbaiki sampai awal waktu komponen mengalami perbaikan sedangkan waktu perbaikan dihitung dari awal komponen mengalami kerusakan sampai komponen tersebut selesai diperbaiki.

## 3. Penentuan distribusi Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan

Sesudah didapat data waktu antar kerusakan dan data waktu perbaikan maka masing-masing data dimasukkan kedalam perhitungan untuk mendapatkan nilai *index of fit*. Distribusi yang digunakan ada empat yaitu eksponensial, normal, log normal dan *Weibull*. Pemilihan data distribusi diambil dari nilai *index of fit* tertinggi dan dari data waktu antar kerusakan dan perbaikan terpilih distribusi log normal.

### a. Nilai Tengah Kerusakan ( *Medium Rank* )

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad \dots (2.36)$$

Dimana:  $i$  = data waktu ke  $i$   
 $n$  = jumlah data kerusakan

### b. *Index of fit*

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{n [\sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2]} \sqrt{[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \dots (2.37)$$

Menurut Walpole (1997) perhitungan identifikasi distribusi awal untuk masing-masing distribusi adalah sebagai berikut:

### a. Distribusi *Weibull*

$$X_i = \ln (t_i) \quad \dots (2.38)$$

$$Y_i = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1-F(t_i)} \right) \right] \quad \dots (2.39)$$

### b. Distribusi Normal

$$X_i = t_i \quad \dots (2.40)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \frac{t_i - \mu}{\sigma} \quad \dots (2.41)$$

Dimana  $t_i$  adalah data ke  $-i$

Nilai  $Z_i$  didapat dari tabel *Standart Normal Probabilities*.

### c. Distribusi Lognormal

$$X_i = \ln(t_i) \quad \dots (2.42)$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] = \Phi^{-1} \left[ \left(\frac{1}{s}\right) \ln t_i - \left(\frac{1}{s}\right) \ln t_{med} \right] \quad \dots (2.43)$$

Nilai  $Z_i$  didapat dari tabel *Standart Normal Probabilities*.

#### d. Distribusi Eksponensial

$$X_i = t_i \quad \dots (2.44)$$

$$Y_i = \left[ \frac{1}{1-F(t_i)} \right] \quad \dots (2.45)$$

#### 4. Uji *Goodness Of Fit*

Setelah itu mendapatkan distribusi waktu antar kerusakan dan perbaikan yang dimana di uji kecocokan tersebut untuk memastikan bahwa distribusi data yang telah dipilih benar-benar mewakili data. Langkah ini melakukan perhitungan distribusi, untuk uji kecocokan distribusi menggunakan *Mann's Test* yaitu uji distribusi *Weibull* sedangkan *Kolmogorv-Smirnov* untuk uji distribusi Log Normal. *Test* ini adalah uji yang diambil setelah menentukan distribusi awal yang digunakan untuk membandingkan dua hipotesis yang berlawanan, yaitu:

$H_0$ : Data kerusakan atau perbaikan mendekati distribusi tertentu.

$H_1$ : Data kerusakan atau perbaikan tidak mendekati distribusi tertentu.

Menurut Ebeling (1997, p393), pengujian untuk masing-masing distribusi berbeda-beda seperti Uji *Bartllet* yang digunakan untuk distribusi Eksponensial, Uji *Kolmogorov-Smirnov* digunakan untuk distribusi Normal dan Lognormal serta Uji *Mann* yang digunakan untuk distribusi *Wiebull*.

##### A. Uji *Bartllet* untuk Pengujian Distribusi Eksponensial

Hipotesis yang digunakan dalam uji bartllet adalah:

$H_0$ : Data *time failure* berdistribusi Eksponensial

$H_1$ : Data *time failure* tidak berdistribusi Eksponensial

Uji statistiknya:

$$B = \frac{2r[\ln(1/r) \sum_{i=1}^r t_i - (1/r) \sum_{i=1}^r \ln t_i]}{1 + \frac{(r+1)}{6r}} \quad \dots (2.46)$$

Dimana:

$r$  = jumlah kerusakan

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

$B$  = nilai uji statistik untuk *Bartllet's Test*

$H_0$  diterima apabila nilai  $B$  berada didalam wilayah kritis dengan persamaan sebagai berikut:

$$X^2(1-\alpha/2) < B < X^2(\frac{\alpha}{2}) \quad \dots (2.47)$$

### B. Uji Mann's Test untuk Pengujian Distribusi Weibull

Menurut Ebeling (1997), Hipotesis yang digunakan dalam uji *mann* adalah:

$H_0$ : Data *time failure* berdistribusi *Weibull*

$H_1$ : Data *time failure* tidak berdistribusi *Weibull*

Uji statistiknya:

$$M = \frac{k_1 \sum [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i}{k_2 \sum [\ln t_{i+1} - \ln t_i] / M_i} \quad \dots (2.48)$$

dengan :

$$k_1 = \left[ \frac{r}{2} \right] \quad \dots (2.49)$$

$$k_2 = \left[ \frac{r-1}{2} \right] \quad \dots (2.50)$$

$$M_i = Z_{i+1} - Z_i \quad \dots (2.51)$$

$$Z_i = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{i-0,5}{n+0,25} \right) \right] \quad \dots (2.52)$$

Dimana:

$t_i$  = data antar waktu kerusakan ke- $i$

$n$  = jumlah data antar kerusakan suatu komponen

$M_i$  = Nilai pendekatan Mann untuk data ke- $i$

$M$  = Nilai perhitungan distribusi *Weibull*

$M_{0,05; k_1; k_2}$  = Nilai Distribusi *Weibull*

$r$  = banyaknya data

$r/2$  = bilangan bulat

$k_1$  =  $r/2$

$k_2$  =  $(r-1)/2$

Bila  $M > F_{crit}$  maka  $H_1$  diterima. Namun sebaliknya apabila  $M < F_{crit}$  maka  $H_1$  ditolak. Nilai  $F_{crit}$  diperoleh dari tabel distribusi F dengan  $v_1 = 2k_1$  dan  $v_2 = 2k_2$ .

### C. Uji Kolmogorov-Smirnov test

Menurut Ebeling (1997), Hipotesis yang digunakan untuk uji *kolmogorov-Smirnov* adalah:

$H_0$ : Data *time failure* berdistribusi normal (lognormal)

$H_1$ : Data *time failure* tidak berdistribusi normal (lognormal)

Tes statistik,  $D_n = \max (D_1, D_2)$

Dimana :

$$D_1 = \max \phi \left( \frac{t_i - \mu}{s} \right) - \left( \frac{t-1}{n} \right) \quad \dots (2.53)$$

$$D_2 = \max \left( \frac{i}{n} \right) - \phi \left( \frac{t_i - \mu}{s} \right) \quad \dots (2.54)$$

$$\text{Cumulative Probability } F(t) = \left( \frac{t_i - \mu}{\sigma} \right) \quad \dots (2.55)$$

$$\mu = \left( \frac{\sum_{t=1}^n \ln t_i}{n} \right) \quad \dots (2.56)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\ln t_i - \mu)^2}{n}} \quad \dots (2.57)$$

Dimana:

$t_i$  = *time to failure* ke-i

$\mu$  = Rata-rata *time to failure*

$s$  = Standart deviasi

$n$  = Banyaknya data

Bila nilai  $D_n < D_{crit}$  maka  $H_0$  diterima, dan apabila sebaliknya nilai  $D_n > D_{crit}$  maka  $H_0$  ditolak. Nilai  $D_{crit}$  diperoleh dari tabel *critical value for the Kolmogorov-Smirnov test for normality*. Perbedaan pengujian distribusi normal dengan lognormal adalah pada penggunaan  $t_i$  apabila lognormal menggunakan nilai  $t_i = \ln(t_i)$ .

## 5. Estimasi Parameter

Setelah distribusi terpilih lalu menghitung estimasi parameter menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) untuk mengestimasi parameter distribusi *Weibull*, eksponensial, normal dan lognormal. Parameter yang digunakan pada penelitian sebagai berikut :

- a. Parameter untuk distribusi *Weibull* adalah  $\beta$  (*shape parameter*) dan  $\theta$  (*scale parameter*).
- b. Parameter untuk distribusi Log Normal adalah  $s$  (parameter bentuk) dan  $t_{med}$  (parameter lokasi).

Nilai yang didapat digunakan untuk menuju perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR).

- a. Distribusi *Weibull*

Parameter untuk distribusi *weibull* adalah  $\beta$  (*shape parameter*) dan  $\theta$  (*scale parameter*).

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - n \sum_{i=1}^n (X_i)^2} \quad \dots (2.58)$$

$$\theta = e^{-a/\beta} \quad \dots (2.59)$$

Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

#### b. Distribusi Normal

Parameter pada distribusi normal adalah  $\sigma$  dan  $\mu$ .

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \dots (2.60)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}}; \text{ untuk } n > 30 \quad \dots (2.61)$$

dan

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \mu)^2}{n}}; \text{ untuk } n \leq 30 \quad \dots (2.62)$$

Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

$n$  = banyaknya data kerusakan

$\mu$  = nilai tengah

$\sigma$  = standart deviasi

#### c. Distribusi Lognormal

Parameter yang digunakan pada distribusi lognormal adalah  $s$  (parameter bentuk) dan  $t_{med}$  (parameter lokasi).

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} \quad \dots (2.63)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\ln(t_i) - \mu]^2}{n}} \quad \dots (2.64)$$

$$t_{med} = e^{\mu} \quad \dots (2.65)$$

Keterangan:

$t_i$  = data waktu kerusakan ke- $i$

$n$  = banyaknya data kerusakan

$\mu$  = nilai tengah

$s$  = standart deviasi

d. Distribusi Eksponensial

Parameter yang digunakan untuk distribusi eksponensial adalah  $\lambda$ .

$$\lambda = \frac{n}{T} \quad \dots (2.66)$$

Dimana: n = jumlah kerusakan

$T = \sum_{ti} ti$  yaitu jumlah waktu kerusakan

6. *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR)

Kemudian nilai yang telah didapat dari estimasi parameter maka masuk ke perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) dimana nilai tersebut digunakan untuk menuju ke perhitungan interval waktu penggantian komponen.

Berikut ini merupakan perhitungan MTTF masing-masing distribusi sebagai berikut:

a. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \dots (2.68)$$

Nilai  $\theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$  dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

b. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad \dots (2.69)$$

c. Distribusi Lognormal

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots (2.70)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad \dots (2.71)$$

Berikut merupakan perhitungan MTTR untuk tiap distribusi dinyatakan sebagai berikut:

a. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad \dots (2.73)$$

Nilai  $\theta \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$  dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

b. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad \dots (2.74)$$

## c. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med}.e^{\frac{s^2}{2}} \quad \dots (2.75)$$

## d. Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad \dots (2.76)$$

## 7. Frekuensi pemeriksaan dan interval waktu pemeriksaan

Kemudian hasil *Mean Time To Repair* (MTTR) diperlukan untuk menghitung interval waktu penggantian pencegahan maka dilakukannya frekuensi pemeriksaan dan interval waktu pemeriksaan guna menekan laju kerusakan, menjaga performansi mesin dan meminimasi *downtime* yang terjadi akibat kerusakan pada komponen yang secara tiba – tiba. Model untuk interval waktu pemeriksaan tersebut dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut :

$$D(n) = \lambda(n). T_f + nT_i \quad \dots (2.79)$$

$D(n)$  = *Downtime* yang terjadi karena perbaikan per unit waktu + *downtime* yang terjadi karena pemeriksaan per unit waktu

Dimana:

$$\lambda(n) = \frac{k}{n} \text{ sehingga: } \lambda'(n) = \frac{k}{n^2} \quad \dots (2.80)$$

$$k = \frac{\text{frekuensi jumlah kerusakan}}{\text{periode terjadinya kerusakan}} \quad \dots (2.81)$$

$$T_f = \frac{1}{\mu}; T_i = \frac{1}{i} \quad \dots (2.82)$$

Sehingga;

$$D(n) = \frac{\lambda(n)}{\mu} + \frac{n}{i} \text{ atau } D(n) = \frac{k}{n.\mu} + \frac{n}{i} \quad \dots (2.83)$$

Jika persamaan diatas didiferensialkan akan menjadi:

$$D'(n) = \frac{k}{n^2.\mu} + \frac{1}{i} = 0 \quad \dots (2.84)$$

Sehingga Frekuensi pemeriksaan:

$$n = \sqrt{\frac{k.i}{\mu}} \quad \dots (2.85)$$

Keterangan:

$\lambda(n)$  = laju kerusakan yang terjadi

$k$  = nilai konstan dari jumlah kerusakan persatuan waktu

- Tf = Waktu rata-rata untuk melakukan penggantian  
 Ti = waktu rata-rata untuk melakukan pemeriksaan  
 n = frekuensi yang dilakukan per satuan waktu

#### 8. Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen *Chain*

Setelah itu dari perhitungan estimasi parameter, *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) yang diinput untuk melakukan perhitungan interval waktu penggantian komponen. Perhitungan interval waktu penggantian komponen menggunakan *trial and error* untuk mendapatkan nilai  $D(tp)$  terendah. Waktu dari nilai  $D(tp)$  terendah akan menjadi interval waktu penggantian komponen.

$$D(tp) = \frac{T_p.R(tp) + T_f.(1-R(tp))}{(tp + T_p).R(tp) + (M(tp) + T_f).(1-R(tp))} \quad \dots(2.77)$$

Keterangan Rumus:

- $tp$  = Interval waktu penggantian pencegahan  
 $Tf$  = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen  
 $Tp$  = Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*  
 $R(tp)$  = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat  $tp$   
 $M(tp)$  = Waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian perbaikan pada masa  $tp$  yang dapat dicari dengan rumus  $M(tp)$  :

$$M(tp) = \frac{MTTF}{1-R(tp)} \quad \dots(2.78)$$

#### 9. Perhitungan *Reliability Chain* Sebelum dan Sesudah Dilakukan Tindakan Perawatan Pencegahan

Setelah diketahui waktu interval penggantian komponen *chain* dilakukan perhitungan *reliability* sebelum dan sesudah dilakukannya perawatan yang dimana adanya model keandalan yang mengasumsi sistem kembali ke kondisi baru setelah menjalani perawatan pencegahan yang dimana ketika komponen *chain* telah diganti diasumsikan kondisi mesin boiler kembali seperti standar performansi awal.

##### a. Distribusi *Weibull*

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad \dots (3.1)$$

##### b. Distribusi Normal

$$R(t) = 1 - \Phi \left( \frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad \dots (3.2)$$

c. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots (3.3)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad \dots (3.4)$$

Sedangkan rumus untuk tiap-tiap distribusi setelah tindakan perawatan *preventive* dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Distribusi Weibull

$$R(t-nT) = \exp\left[-\left(\frac{t-nT}{\theta}\right)^\beta\right] \quad \dots (3.5)$$

b. Distribusi Normal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{(t-nT) - \mu}{\sigma}\right) \quad \dots (3.6)$$

c. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}}\right) \quad \dots (3.7)$$

d. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = \exp(-\lambda(t-nT)) \quad \dots (3.8)$$

#### 10. Perhitungan *Avaibility*

Kemudian perhitungan *Avaibility* berdasarkan frekuensi pemeriksaan, interval penggantian pencegahan pada *Avaibility* yang dimana untuk mengetahui kesiapan mesin yang digunakan dengan perhitungan *Avaibility* berdasarkan pemeriksaan dan *Avaibility* berdasarkan interval penggantian komponen. Berikut adalah persamaan *Avaibility* untuk sistem seri dan parallel:

a. *Avaibility* untuk sistem seri :

$$A_s(t) = \prod_i^n = 1 A_{(t)}(t) \quad \dots (2.86)$$

b. *Avaibility* untuk sistem parallel :

$$A_s(t) = 1 - \prod_i^n = 1 (1 - A_i(t)) \quad \dots (2.87)$$

*Availability* (ketersediaan) didefinisikan sebagai peluang sebuah komponen atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan pada waktu tertentu yang berada pada kondisi normal (Ebeling, 1997). *Availability* dapat dihitung dengan rumus:

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad \dots (2.88)$$

Keterangan :

MTTF = waktu rata-rata antar kerusakan mesin

MTTR = waktu rata-rata perbaikan

#### 11. Analisis

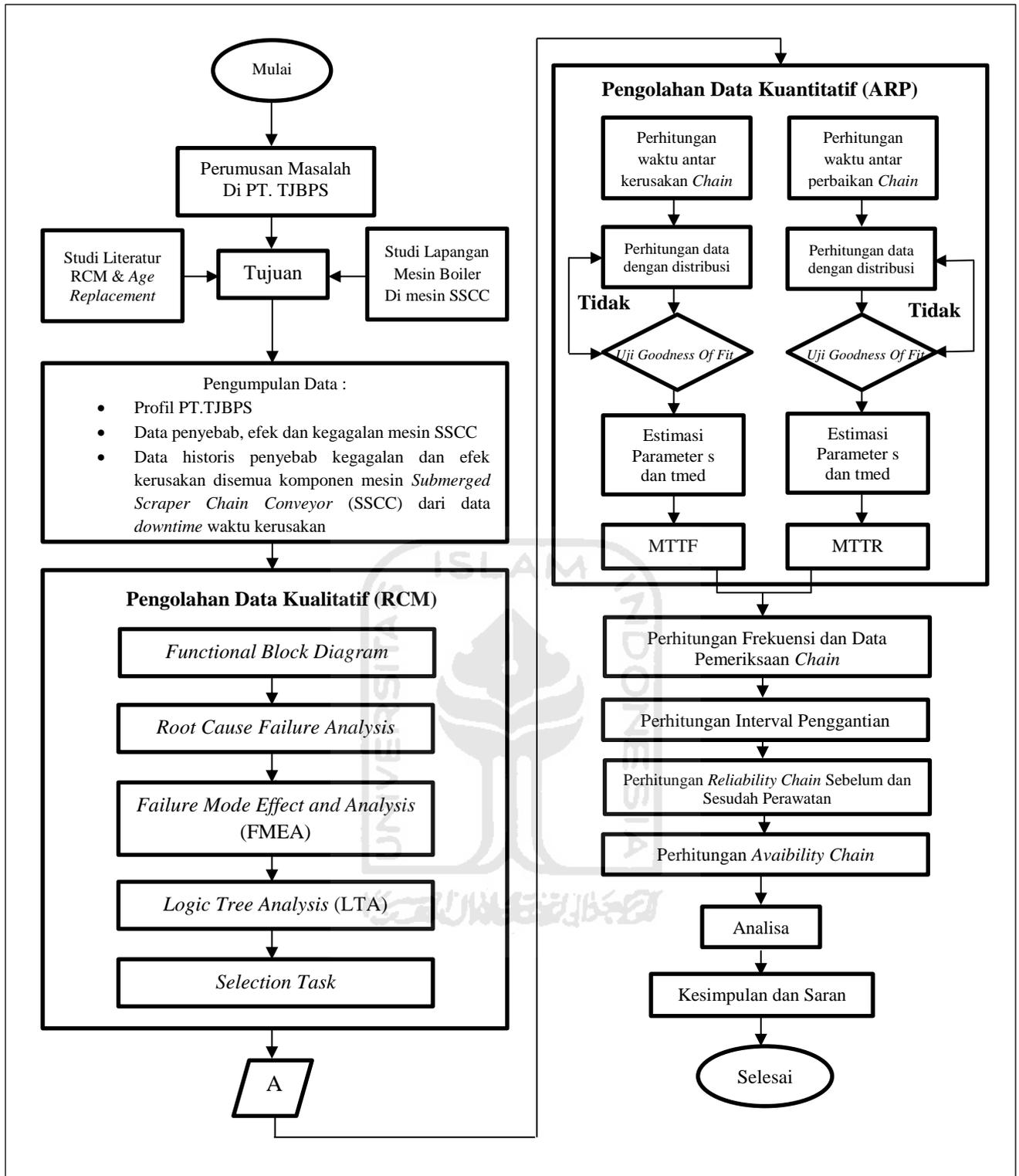
Analisis yang dilakukan oleh penelitian bahwa hasil dari pengolahan data kualitatif, pengolahan data kuantitatif, perhitungan interval waktu penggantian komponen *chain*, perhitungan frekuensi pemeriksaan, perhitungan *reliability chain* sebelum dan sesudah dilakukannya penggantian komponen dan perhitungan *avaibility chain*.

#### 12. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukannya perhitungan dan analisis maka melakukan penyimpulan terhadap hasil yang diperoleh dan melakukan perbandingan hasil tersebut terhadap jadwal perawatan mesin yang telah dilakukan serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya dimana peneliti memberikan saran yang dapat digunakan sebagai rekomendasi perawatan mesin boiler bagi perusahaan.

### 3.7 Alir Penelitian

Beberapa langkah-langkah atau proses yang dilakukan dalam penelitian untuk menyelesaikan permasalahan. Adapun alir penelitian dari dimulainya penelitian sampai akhir dari penelitian yang digambarkan melalui *flowchart* dibawah ini :



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

## **BAB IV**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

#### **4.1 Latar Belakang Perusahaan**

##### **4.1.1 Sejarah Berdirinya Perusahaan**

Pada tahun 1994, PLN menandatangani Perjanjian Pembelian Daya (PPA) dengan PT. HI *Power* Tubanan untuk membangun pembangkit listrik tenaga batu bara Tanjung Jati B 2 x 660 MW. Kontak Rekayasa, Pengadaan, dan Konstruksi (EPC) diberikan kepada Sumitomo *Corporation* (SC) dan manufaktur dimulai pada tahun 1996. Namun sebagai konsekuensi dari krisis ekonomi Asia, pekerjaan konstruksi dihentikan pada Juni 1998.

Pada akhir 1999 awal 2000, dalam iklim ekonomi yang membaik dan lebih apung, diskusi dimulai untuk menyelidiki cara memulai kembali dan menyelesaikan proyek. Pada tahun 2001 Pemerintah Indonesia menyatakan dukungannya. Proposal dan skema pada bulan maret 2002, perjanjian sewa keuangan ditandatangani antara PLN dan Grup Sumitomo, tanggal penyelesaian akhir adalah Juli 2003. Untuk memfasilitasi pembangunan yang diperbarui, kepemilikan pabrik, Sumitomo membentuk perusahaan tujuan khusus “PT. *Central Java Power*”.

Setelah menyelesaikan pembangunan, pengujian dan *commissioning* pabrik, dua unit terdiri dari Tanjung Jati B mencapai operasi komersial pada oktober dan november 2006. Susilo Bambang Yudhoyono, Presiden Indonesia secara resmi membuka pabrik pada 14 Oktober 2006. Pembangkit Listrik Tanjung Jati B dikelola melalui *Finance Lease Agreements* (FLA). Kepemilikan dikelola oleh Jawa Tengah Power sebagai *Lessor*. PLN (Persero) sebagai penyewa, telah membentuk unit usaha anak perusahaan PT PLN (Persero) Pembangkitan Tanjung Jati B, untuk memenuhi semua kewajiban FLA dan untuk mengelola kontak OM dan F (Pemeliharaan Operasi dan Bahan Bakar). Kontrak OM dan F telah dikembangkan dan sebagian dikontrak untuk Operasi dan Pemeliharaan ke PT TJB *Power Services* (sebuah perusahaan yang mencakup PT Medco *Power* Indonesia).

#### 4.1.2 Profil Singkat Perusahaan

Berikut ini merupakan profil umum perusahaan dimana penulis melakukan Tugas Akhir :

Nama Perusahaan	: PT. Tanjung Jati B <i>Power Services</i> Unit 1
Alamat	: Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah, Kode Pos 59453
Jasa	: <i>Operation dan Maintenance Service</i>
Telepon	: +62 291 771 566
Facsimile	: +62 291 772 119
Website	: <a href="http://www.tjbservices.com">www.tjbservices.com</a>
Kapasitas Nett	: 2 x 660 MW
Bahan Bakar	: Batubara
Area	: 150 ha
COD	: 13 April 2006
Karyawan	: 265 Karyawan

#### 4.1.3 Lokasi PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara

PT. TJB *Power Services* PLTU Tanjung Jati B Unit 1 berlokasi di Dusun Sekuping, Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah, Kode Pos 59453.



Gambar 4. 1 Lokasi PT.TJBPS PLTU Jepara

Sumber : *Google Earth*

#### 4.1.4 Visi

“TOP OPERATOR IN INDONESIA”

- a. *Top Safe*
- b. *High Availability*
- c. *Customer Satisfaction*
- d. *Maximation of overall plant’s profit while keeping the plant in good order*

#### 4.1.5 Misi

*Create Long Term Profitability*

#### 4.1.6 Nilai

- a. *Excellence in Action*
- b. *Continuous Improvement*
- c. *High Ethics*
- d. *Co-Operation*

#### 4.1.7 Waktu Kerja

Berdasarkan penelitian yang kami peroleh maka didapat jam kerja bagi karyawan PT. TJB *Power Services* dimana pembagian jam kerja terbagi menjadi 2 yaitu jam kerja *Non Shift* dan jam kerja *Shift*. Dimana jam kerja *Non Shift* pada bagian karyawan di *office* sedangkan jam kerja *Shift* karyawan pada bagian operator. Adapun sistem pembagian jam kerja *non shift* dan *shift* PT. TJB *Power Services* sebagai berikut:

- a. Jam kerja untuk pekerja *Non Shift (Office)*

Untuk menjalankan proses produksi pada *office* semua karyawan diberi waktu istirahat 1 jam sampai 1,5 jam dengan pekerjaan yang tidak menggunakan *shift* atau *non shift* dimana pekerjaan itu dilaksanakan di kantor.

Tabel 4. 1 Jam kerja untuk pekerja *Non Shift*

No	Hari	Non Shift	Jam Kerja	Istirahat
1	Senin – Kamis	1	07.30 – 16.30 WIB	12.00 – 13.00 WIB
	Jum’at			11.30 – 13.00 WIB

- b. Jam kerja untuk pekerja *Shift (Operator)*

Tabel 4. 2 Jam kerja untuk pekerja *Shift*

No	Hari	Non Shift	Jam Kerja	Istirahat
1	Senin – Minggu	1	07.00 – 15.00 WIB	Tanpa Istirahat
		2	15.00 – 23.00 WIB	Tanpa Istirahat
		3	23.00 – 07.00 WIB	Tanpa Istirahat

Untuk menjalankan proses produksi Listrik maka ada pembagian 3 *shift* jam kerja dimana *shift* tersebut dilaksanakan setiap hari dan jika tidak dapat hadir maka harus ada penggantinya . Didalam pekerjaan ini dilakukan untuk operator pada mesin – mesin di Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

#### 4.2 Pengumpulan Data

##### 4.2.1 Data Waktu Antar Kerusakan Komponen Mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)*

Data total *downtime* dari komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* pada unit 1 diambil pada periode Januari 2015 sampai Januari 2020 sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Data Waktu Antar Kerusakan Komponen Mesin SSCC

No	Komponen	<i>Actual Start</i>	<i>Actual Finish</i>
1	<i>Hydraulic Motor</i>	30/11/2016 10:00 AM	30/11/2016 11:00 AM
		19/12/2016 8:30 AM	19/12/2016 10:30 AM
		09/11/2017 1:30 PM	09/11/2017 17:00 AM
		18/12/2017 8:15 AM	18/12/2017 10:15 AM
		14/02/2017 9:00 AM	14/02/2017 9:30 AM
		05/11/2018 8:00 AM	05/11/2018 15:00 AM
		08/02/2019 10:41 AM	08/02/2019 16:29 AM
		10/12/2019 2:15 PM	10/12/2019 19:15 AM
		15/01/2020 10:00 AM	15/01/2020 11:00 AM
2	<i>Gear Box</i>	16/11/2015 8:30 AM	16/11/2015 11:30 AM
		30/12/2016 9:00 AM	30/12/2016 11:30 AM
		31/03/2016 8:30 AM	31/03/2016 15:45 AM

<b>No</b>	<b>Komponen</b>	<b>Actual Start</b>	<b>Actual Finish</b>
		09/11/2017 1:30 PM	09/11/2017 3:00 PM
		21/02/2017 8:00 AM	21/02/2017 14:37 AM
		16/07/2018 1:00 PM	16/07/2018 4:00 PM
3	<i>Hydrostatic Drive Unit</i>	18/09/2015 9:00 AM	18/09/2015 10:00 AM
		24/09/2015 2:00 PM	24/09/2015 15:00 AM
		30/11/2016 1:30 PM	30/11/2016 2:30 PM
		16/12/2016 9:30 AM	16/12/2016 10:30 AM
		15/11/2017 10:00 AM	15/11/2017 11:00 AM
		29/11/2017 1:30 PM	29/11/2017 14:00 AM
		26/02/2017 2:00 PM	26/02/2017 3:00 PM
		12/04/2017 1:30 PM	12/04/2017 14:00 AM
		05/12/2019 2:15 PM	05/12/2019 3:15 PM
		13/02/2019 1:30 PM	13/02/2019 2:30 PM
		20/02/2019 1:30 PM	21/02/2019 9:00 AM
		4	<i>Secondary Drive</i>
27/11/2015 10:00 AM	27/11/2015 11:00 AM		
28/01/2016 10:00 AM	28/01/2016 20:30 AM		
28/07/2016 8:00 AM	28/07/2016 9:00 AM		
03/02/2017 10:00 AM	03/02/2017 11:00 AM		
07/09/2017 9:00 AM	07/09/2017 10:00 AM		
22/09/2017 9:00 AM	22/09/2017 10:00 AM		
5	<i>Pinion Gear</i>	16/11/2015 8:30 AM	16/11/2015 16:00 AM
		23/08/2018 8:00 AM	23/08/2018 3:00 PM
		01/10/2018 8:30 AM	01/10/2018 9:30 AM
6	<i>Drive Sprocket</i>	14/04/2017 3:00 AM	14/04/2017 10:30 AM
		17/04/2017 2:09 PM	18/04/2017 4:00 PM
		19/04/2017 3:30 PM	19/04/2017 9:00 PM
		19/06/2017 10:00 AM	19/06/2017 3:00 PM
		28/09/2017 10:00 AM	28/09/2017 11:30 AM
		12/03/2018 8:30 AM	12/03/2018 11:30 AM
		30/05/2018 8:00 AM	30/05/2018 4:00 PM

No	Komponen	<i>Actual Start</i>	<i>Actual Finish</i>
		06/06/2018 8:30 AM	06/06/2018 3:00 PM
		16/07/2018 1:00 PM	16/07/2018 4:00 PM
		06/08/2018 1:30 PM	06/08/2018 4:00 PM
		23/08/2018 8:00 AM	23/08/2018 3:00 PM
		11/02/2019 2:00 PM	11/02/2019 7:00 PM
		08/04/2019 2:00 PM	09/04/2019 4:00 PM
7	<i>Chain</i>	16/11/2015 8:30 AM	16/11/2015 11:30 AM
		31/03/2016 8:30 AM	01/04/2016 15:45 AM
		01/11/2017 8:00 AM	01/11/2017 9:00 AM
		29/11/2017 7:48 AM	02/12/2017 8:03 AM
		05/03/2018 8:00 AM	05/03/2018 4:00 PM
		17/04/2018 10:00 AM	17/04/2018 1:00 PM
		18/06/2018 8:00 AM	18/06/2018 11:00 AM
		14/02/2019 1:00 PM	14/02/2019 4:00 PM
		06/03/2019 10:00 AM	06/03/2019 12:00 PM
		05/04/2019 8:30 AM	05/04/2019 2:30 PM
		06/05/2019 8:00 AM	06/05/2019 9:00 AM
		30/10/2019 8:00 AM	30/10/2019 10:00 AM
		06/01/2020 8:00 AM	06/01/2020 9:00 AM
		20/01/2020 1:00 PM	20/01/2020 3:00 PM
8	<i>Scraper Flights</i>	19/12/2018 9:00 AM	19/12/2018 10:00 AM
		09/01/2018 9:00 AM	09/01/2018 11:00 AM
		04/03/2019 9:00 AM	04/03/2019 4:00 PM
		06/03/2019 10:01 AM	06/03/2019 4:00 PM
		18/04/2019 9:00 AM	18/04/2019 10:00 AM
		06/08/2019 9:00 AM	06/08/2019 10:00 AM
		21/01/2019 9:00 AM	21/01/2019 10:30 AM
		28/01/2020 9:00 AM	28/01/2020 4:00 PM
		19/12/2018 9:00 AM	19/12/2018 10:00 AM
		09/01/2018 9:00 AM	09/01/2018 11:00 AM
		04/03/2019 9:00 AM	04/03/2019 4:00 PM

<b>No</b>	<b>Komponen</b>	<b>Actual Start</b>	<b>Actual Finish</b>
		06/03/2019 10:01 AM	06/03/2019 4:00 PM
9	<i>Pulley</i>	24/12/2015 8:30 AM	24/12/2015 17:00 AM
		17/04/2017 2:09 PM	17/04/2017 16:00 AM
		04/12/2018 8:00 AM	04/12/2018 4:00 PM
		17/10/2019 1:30 PM	17/10/2019 3:30 PM
10	<i>Tension Sensor</i>	25/11/2015 8:30 AM	25/11/2015 11:00 AM
		12/01/2016 3:00 PM	12/01/2016 17:30 AM
		17/02/2016 11:00 AM	17/02/2016 11:30 AM
		11/01/2016 11:00 AM	11/01/2016 14:30 AM
		01/11/2017 8:00 AM	01/11/2017 9:00 AM
		02/11/2017 8:30 AM	02/11/2017 15:00 AM
		04/12/2017 1:30 PM	04/12/2017 16:30 AM
		07/11/2017 9:00 AM	07/11/2017 11:00 AM
		25/10/2018 8:30 AM	25/10/2018 11:00 AM
		24/10/2018 9:00 AM	24/10/2018 12:00 PM
		06/01/2020 8:00 AM	06/01/2020 9:00 AM
11	<i>Seal Skirt</i>	13/12/2017 8:30 AM	13/12/2017 12:00 AM
		25/03/2017 10:27 AM	25/03/2017 17:00 AM
		12/11/2018 8:00 AM	12/11/2018 10:20 AM
		06/11/2018 1:00 PM	06/11/2018 15:30 AM
		12/03/2019 9:00 AM	12/03/2019 16:00 AM
12	<i>Transfer Chute</i>	16/11/2016 8:00 AM	16/11/2016 14:00 AM
		21/08/2017 9:00 AM	21/08/2017 12:25 AM
		19/09/2017 7:54 AM	19/09/2017 15:00 AM
		25/01/2019 9:00 AM	25/01/2019 11:00 AM
13	<i>Water Level</i>	14/10/2015 1:00 PM	14/10/2015 14:00 AM
		28/10/2015 9:01 AM	28/10/2015 12:00 AM
		29/11/2016 8:30 AM	29/11/2016 12:00 AM
		06/03/2017 8:00 AM	06/03/2017 10:00 AM
		23/03/2017 9:00 AM	23/03/2017 13:00 AM
		25/10/2018 8:30 AM	25/10/2018 4:00 PM

No	Komponen	Actual Start	Actual Finish
		17/10/2019 1:30 PM	17/10/2019 3:30 PM
		14/01/2020 8:00 AM	14/01/2020 11:00 AM
14	<i>Dewatering Slope</i>	26/03/2015 8:00 AM	26/03/2015 12:00 PM
		06/10/2016 9:00 AM	06/10/2016 10:00 AM
		26/03/2017 8:00 AM	26/03/2017 13:00 AM
15	<i>Basalt</i>	26/03/2015 8:00 AM	26/03/2015 12:00 PM
		26/03/2017 8:00 AM	26/03/2017 13:00 AM
		01/07/2018 9:52 AM	01/07/2018 11:22 AM
		10/06/2019 8:00 AM	10/06/2019 16:00 AM
16	<i>Bottom Ash Bunker</i>	10/09/2019 9:05 AM	09/10/2019 17:00 AM

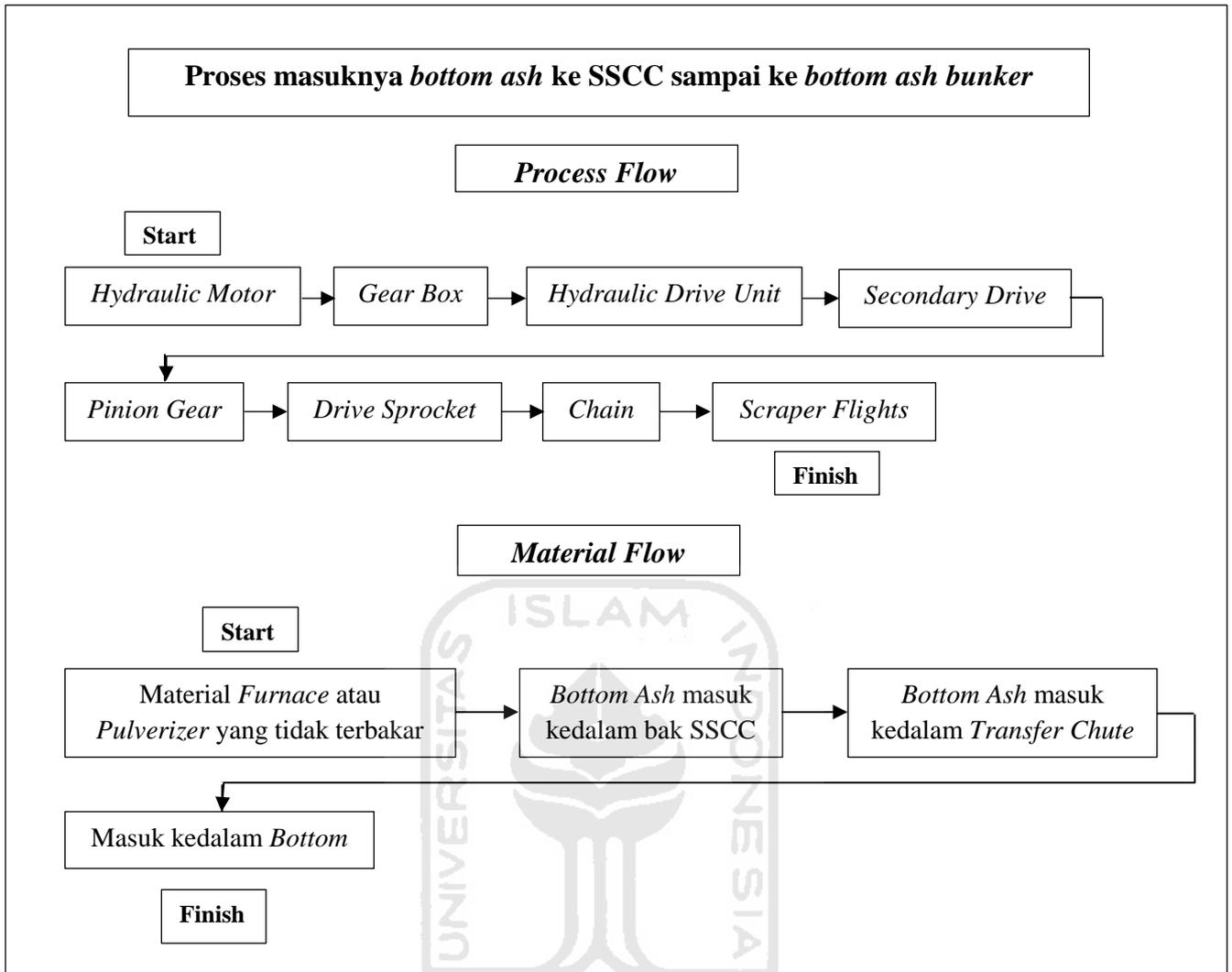
Untuk jadwal pembersihan mesin di PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara dilakukan setiap 1 bulan sekali yang dilaksanakan secara serentak saat *visual* inspeksi.

#### 4.3 Pengolahan Data Kualitatif (Penentuan Komponen Kritis)

Pengolahan data kualitatif menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menentukan komponen kritis.

##### 4.3.1 *Functional Block Diagram* (FBD)

Hasil dari informasi dan analisis yang dituangkan kedalam *Functional Block Diagram* (FBD) bahwa fungsinya untuk menggambarkan *flow process* atau *flow material* fungsi dari mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dengan diagram sederhana. Berikut merupakan *Functional Block Diagram* (FBD) *flow process* atau *flow material* fungsi dari mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) :



Gambar 4. 2 *Functional Block Diagram (FBD)*

Penjelasan gambar *Functional Block Diagram (FBD)* sebagai berikut :

1. *Process Flow*

Pada *process flow* adanya komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* yang dimana penjelasan alur proses menggunakan komponen awal sampai komponen akhir pada sistem produksi. Pertama komponen *Hydraulic Motor*, *Gear Box*, *Drive Unit*, *Secondary Drive*, *Pinion Gear* *running* secara berurutan dimana untuk menggerakkan *Chain* dan *Scraper* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)*. Kedua komponen *Drive Sprocket* bergerak dimana gear yang didalam mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* untuk menggerakkan *Chain* dan *Scraper*. Ketiga *Chain* bergerak dimana adanya rantai untuk menyambungkan *Scraper – Scraper* pada mesin *Submerged Scraper Chain*

*Conveyor* (SSCC) dan untuk menampung air laut, sebagai media pendingin abu sisa hasil pembakaran di *furnace* dan sebagai media pengangkut dan penyalur *abu bottom ash*. Keempat *Scraper Flights* bergerak dimana besi berbentuk persegi panjang untuk membawa *Bottom Ash*.

## 2. *Material Flow*

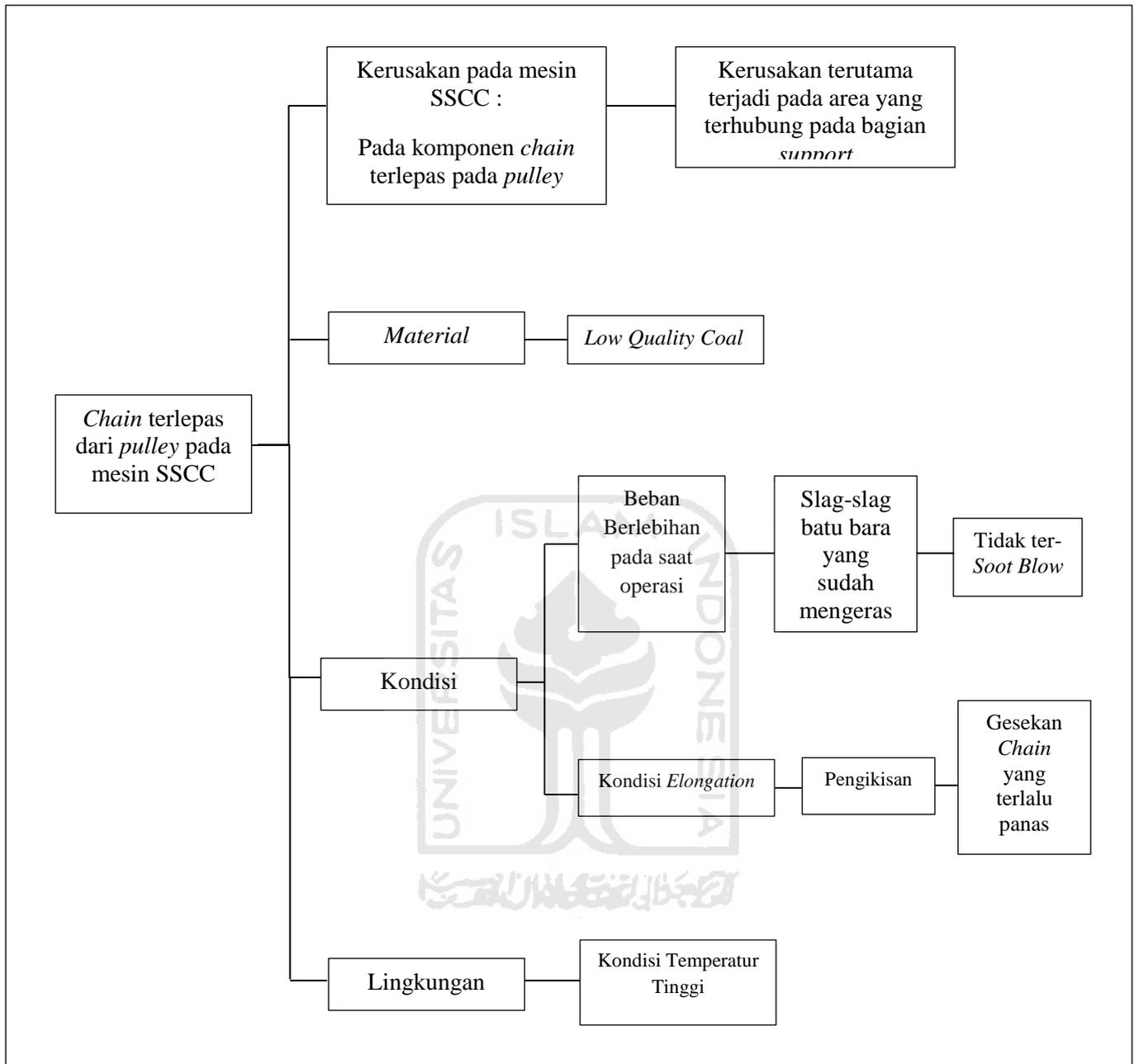
*Flow Material* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) pada yang pertama *bottom ash* jatuh dari *furnace* atau dari *pulverizer* dimana batu bara yang tidak dapat terurai dengan baik dikarenakan terlalu besar dan keras. Setelah itu *bottom ash* masuk ke dalam bak *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) kemudian dibawa *scraper* menuju ke *Transfer Chute* untuk dibuang ke *Bottom Ash Bunker*.

### 4.3.2 **Root Cause Failure Analysis (RCFA)**

Menganalisis setiap akar pada suatu kegagalan mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) untuk mengetahui penyebab masalah suatu *failure* sehingga tidak terjadi pengulangan *failure* atau mengakibatkan *failure* pada sistem yang lain.

Menurut *Work Order* secara riil bahwa kerusakan *Chain* yang terlepas pada *Pulley* tertera pada tanggal 14 Februari 2019 sebagai berikut :

1. *Chain* yang terlepas dari *Pulley* dengan keadaan *elongation* yang disebabkan karena adanya pengikisan terhadap *Chain* tersebut dimana adanya gesekan *Chain* yang beroperasi terus menerus maka mengakibatkan panas berlebihan.
2. *Chain* terlepas dari *Pulley* dikarenakan kejatuhan material *split ring castings* pada boiler yang membuat hambatan di *Pulley*.
3. *Chain* terlepas dari *Pulley* dikarenakan *Overweigh* yang dimana slag-slag batu bara yang sudah mengeras karena tidak terkena *Soot Blow* dikarenakan adanya *Low Quality Coal*.



Gambar 4. 3 *Root Cause Failure Analysis* (RCFA)

Pada gambar 4.3 untuk *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) didapat dengan menggunakan wawancara terhadap *engineer expert* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor*, terdapat tiga parameter menjadi acuan pada permasalahan yang terjadi pada komponen *chain*.

### 4.3.3 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

*Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* merupakan digunakan untuk menilai dari suatu mode kegagalan dan efek kegagalan dari setiap komponen dari sistem dan menganalisis pengaruhnya terhadap *reliability* sistem tersebut. Berikut merupakan salah satu data dari *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* :

1. Mesin yang mengalami kerusakan adalah pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)*.
2. Komponen dari mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* yang mengalami kerusakan adalah komponen *chain*, yang memiliki fungsi untuk menyambungkan *scraper – scraper* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* dimana *chain* merupakan komponen vital jika tidak ada *chain* maka tidak ada penggerak *scraper* yang dimana untuk membawa *bottom ash* ke *bottom ash bunker*.
3. Mode kegagalan komponen *Chain* adalah *Chain* atau rantai putus.
4. Penyebab kegagalannya adalah *over weigh* dimana beban yang digerakkan *chain* terlalu besar dan *tension* terlalu kuat atau ketegangan dalam *chain* tersebut sangat kuat.
5. Efek kegagalan yang ditimbulkan adalah mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* tidak beroperasi atau berhenti.
6. Tingkat *Severity* yang dimana adanya dampak yang terburuk akibat dari adanya kegagalan pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* dengan komponen *Chain* didapatkan rating 8 yang dimana akibatnya ekstrem dengan kriteria verbal mesin tidak dapat beroperasi, mesin telah kehilangan fungsi utama mesin maka akibat pada produksi 4-8 jam *downtime*.
7. Tingkat *Occurrence* yang dimana tingkatan seberapa sering komponen mengalami kegagalan pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* dengan komponen *Chain* didapatkan rangking 8 dengan kejadian tinggi untuk kriteria yang adanya kerusakan terjadi tinggi bahwa tingkat kejadian kerusakan 11-100 jam operasi.
8. Tingkat *Detection* yang dimana tingkat pengukuran terhadap kemampuan dalam pengendalian atas kegagalan yang terjadi pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* dengan komponen *Chain* didapatkan rangking 3 dengan akibat Tinggi dan kriteria verbalnya perawatan *preventive* memiliki kemungkinan tinggi

untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan.

9. *Risk Priority Number* (RPN) yang dimana  $severity * occurrence * number$  dengan  $8 \times 8 \times 3 = 192$ . Nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang didapat 192 adalah komponen *Chain* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dikarenakan sering terjadi kerusakan dan jika *chain* putus mengakibatkan mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) berhenti dan semua mesin yang berada di PLTU Tanjung Jati B unit 1 .

Tabel 4. 4 *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA)

Sistem : Boiler – <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i>									
No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Effect of Failure	S	O	D	RPN
1	<i>Hydraulic Motor</i>	Menggerakkan <i>Chain</i> dan <i>Scraper</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)	Konsleting, mesin akan ngetrip	<i>Over weigh</i>	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) tidak beroperasi atau berhenti	8	2	4	64
2	<i>Gear Box</i>	Menggerakkan <i>Chain</i> dan <i>Scraper</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)	<i>Gear Box</i> akan aus	<i>Over Weigh</i>	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) tidak beroperasi atau berhenti	8	2	4	64
3	<i>Hydrostatic Drive Unit</i>	Menggerakkan <i>Chain</i> dan <i>Scraper</i> pada	Konsleting, mesin akan ngetrip	<i>Over weigh</i> dan	Mesin <i>Submerged Scraper</i>	8	2	4	64

<b>Sistem : Boiler – Submerged Scraper Chain Conveyor</b>									
<b>No</b>	<b>Equipment</b>	<b>Function</b>	<b>Failure Mode</b>	<b>Failure Causes</b>	<b>Effect of Failure</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>RPN</b>
		mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)		<i>pressure</i> lebih tinggi	<i>Chain Conveyor</i> (SSCC) tidak beroperasi atau berhenti				
4	<i>Secondary Drive</i>	Menggerakkan <i>Chain</i> dan <i>Scraper</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)	<i>Secondary Drive</i> akan aus	<i>Material</i> tidak dapat ditransport, <i>bottom ash</i> menumpuk	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) tidak beroperasi atau berhenti	8	2	4	64
5	<i>Pinion Gear</i>	Menggerakkan <i>Chain</i> dan <i>Scraper</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)	<i>Pinion Gear</i> akan aus	<i>Material</i> tidak dapat ditransport, <i>bottom ash</i> menumpuk	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) tidak beroperasi atau berhenti	8	2	4	64
6	<i>Drive Sprocket</i>	Gear yang didalam mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) untuk	<i>Drive Sprocket</i> aus	<i>Life time</i> , Kurangnya <i>grease</i>	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)	8	7	3	168

Sistem : Boiler – <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i>									
No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Effect of Failure	S	O	D	RPN
		menggerakkan <i>Chain</i> dan <i>Scraper</i>			tidak beroperasi atau berhenti				
7	<i>Chain</i>	Adanya rantai untuk menyambungkan <i>Scraper – Scraper</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) dan untuk menampung air laut, sebagai media pendingin abu sisa hasil pembakaran di <i>furnace</i> dan sebagai media pengangkut dan penyalur <i>abu bottom ash</i> .	<i>Chain</i> atau rantai putus	<i>Over weigh, tension</i> terlalu kuat	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) tidak beroperasi atau berhenti	8	8	3	192
8	<i>Scraper Flights</i>	Besi berbentuk persegi panjang untuk membawa <i>Bottom Ash</i>	<i>Scraper</i> Patah	<i>Life time</i> , terlalu banyak <i>slag</i> yang berada di <i>Scraper</i>	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)	8	7	3	168

<b>Sistem : Boiler – Submerged Scraper Chain Conveyor</b>									
<b>No</b>	<b>Equipment</b>	<b>Function</b>	<b>Failure Mode</b>	<b>Failure Causes</b>	<b>Effect of Failure</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>RPN</b>
					tidak beroperasi atau berhenti				
9	<i>Pulley</i>	Mentransfer putaran pada <i>chain</i>	Pecah , tidak <i>center</i>	<i>Life time</i>	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) tidak beroperasi atau berhenti	8	2	4	64
10	<i>Tension Sensor</i>	Memberitahu seberapa besar adanya kekuatan <i>chain</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)	Sensor error	<i>Life time</i> , terkena air	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) dapat beroperasi atau berjalan namun tidak dapat <i>monitoring</i> tingkat kekencangan rantai	7	3	4	84
11	<i>Seal Skirt</i>	<i>Sealing</i> pada boiler agar yang	<i>Seal Skirt</i> bocor	Terlalu besar <i>slag</i>	Mesin <i>Submerged</i>	7	2	4	56

Sistem : Boiler – <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i>									
No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Effect of Failure	S	O	D	RPN
		didalam tidak keluar dan yang diluar tidak kedalam			<i>Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i> dapat beroperasi atau berjalan namun tidak <i>sealing</i> kembali				
12	<i>Transfer Chute</i>	Tempat pembuangan <i>Bottom Ash</i>	<i>Bottom Ash</i> akan menumpuk atau menggumpal	Ukuran batu bara yang terlalu besar	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i> dapat beroperasi atau berjalan namun tidak adanya tempat pembuangan <i>Bottom Ash</i>	7	2	4	56
13	<i>Water Level</i>	Menjaga level air di mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i>	Sensor error	<i>Life time</i> , vibrasi tinggi	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i>	7	2	4	56

Sistem : Boiler – <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i>									
No	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Causes	Effect of Failure	S	O	D	RPN
		(SSCC) agar tetap <i>overflow</i>			dapat beroperasi atau berjalan namun tidak dapat monitoring tingkat kekuatan rantai				
14	<i>Dewatering Slope</i>	Memisahkan zona <i>sealing</i> air dengan zona kering	<i>Basalt</i> akan hancur	Gesekannya karena kering	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) dapat beroperasi atau berjalan namun sisi <i>scraper</i> lepas, <i>chain</i> miring	7	2	4	56
15	<i>Basalt</i>	Jalur batu bara	<i>Basalt</i> akan hancur	Gesekannya karena kering, batu bara tersumbat	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) dapat beroperasi	7	2	4	56

<b>Sistem : Boiler – Submerged Scraper Chain Conveyor</b>									
<b>No</b>	<b>Equipment</b>	<b>Function</b>	<b>Failure Mode</b>	<b>Failure Causes</b>	<b>Effect of Failure</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>RPN</b>
					atau berjalan namun sisi scraper lepas, <i>chain</i> miring				
16	<i>Bottom Ash Bunker</i>	Tempat pembuangan akhir di <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC)	<i>Bottom Ash Bunker</i> akan menumpuk di <i>chute</i>	<i>Bottom Ash</i> tidak dibuang	Mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor</i> (SSCC) dapat beroperasi atau berjalan namun tidak ada tempat pembuangan akhir	7	2	4	56

#### 4.3.4 Logic Tree Analysis (LTA)

Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) digunakan untuk menunjukkan jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) dimana yang layak dan optimal untuk mengatasi masing – masing pada *failure mode*. Tujuan tahap ini adalah memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan. Berikut ini merupakan penjelasan dari salah satu komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) berdasarkan pada tabel *Logic Tree Analysis* (LTA) :

1. Komponen yang mengalami kerusakan adalah *Chain* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
2. Fungsi *Chain* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) untuk menyambungkan *Scraper – Scraper* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
3. Mode kegagalan pada *Chain* yaitu *Chain* atau rantai putus.
4. Analisis kekritisitas (mode kegagalan) :
  - a. *Evident* (apakah operator dalam kondisi normal dapat mengetahui bahwa telah terjadi adanya kegagalan?) **Yes**
  - b. *Safety* (apakah adanya kegagalan tersebut dapat membahayakan keselamatan?) **No**
  - c. *Outage* (apakah mode kegagalan ini dapat mengakibatkan seluruh atau sebagian sistem terhenti?) **Yes**
  - d. **Category D (Hidden Failure)** dimana kegagalan memiliki dampak secara langsung, namun apabila perusahaan tidak menanggulanginya resiko ini akan menjadi serius bahkan dapat memicu kegagalan lainnya.

Tabel 4. 5 *Logic Tree Analysis* (LTA)

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
1	Hydraulic Motor	Menggerakkan Chain dan Scraper pada mesin	Konsleting, mesin akan ngetrip	Y	N	Y	D

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
		<i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i>					
2	<i>Gear Box</i>	Menggerakkan <i>Chain dan Scraper</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i>	<i>Gear Box</i> akan aus	Y	N	Y	D
3	<i>Hydrostatic Drive Unit</i>	Menggerakkan <i>Chain dan Scraper</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i>	Konsleting, mesin akan ngetrip	Y	N	Y	D
4	<i>Secondary Drive</i>	Menggerakkan <i>Chain dan Scraper</i>	<i>Secondary Drive</i> akan aus	Y	N	N	D

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
		pada mesin <i>Submerge d Scapper Chain Conveyor (SSCC)</i>					
5	<i>Pinion Gear</i>	Menggerakkan <i>Chain</i> dan <i>Scraper</i> pada mesin <i>Submerge d Scapper Chain Conveyor (SSCC)</i>	<i>Pinion Gear</i> akan aus	Y	N	N	D
6	<i>Drive Sprocket</i>	<i>Gear</i> yang didalam mesin <i>Submerge d Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i> untuk menggerakkan <i>Chain</i> dan <i>Scraper</i>	<i>Drive Sprocket</i> aus	Y	N	Y	D

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
7	Chain	Adanya rantai untuk menyambungkan <i>Scraper – Scraper</i> pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i> dan untuk menampung air laut, sebagai media pendingin abu sisa hasil pembakaran di <i>furnace</i> dan sebagai media pengangkutan dan penyalur	Chain atau rantai putus	Y	N	Y	D

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
		<i>abu bottom ash.</i>					
8	<i>Scraper Flights</i>	Besi berbentuk persegi panjang untuk membawa <i>Bottom Ash</i>	<i>Scraper</i> Patah	Y	N	N	D
9	<i>Pulley</i>	Mentransfer putaran pada <i>chain</i>	Pecah , tidak <i>center</i>	Y	N	N	D
10	<i>Tension Sensor</i>	Memberitahu seberapa besar adanya kekuatan rantai pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i>	Sensor error	Y	N	Y	B
11	<i>Seal Skirt</i>	<i>Sealing</i> pada boiler agar	<i>Seal Skirt</i> bocor	Y	N	N	B

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
		yang didalam tidak keluar dan yang diluar tidak kedalam					
12	<i>Transfer Chute</i>	Tempat pembuangan <i>Bottom Ash</i>	<i>Bottom Ash</i> akan menumpuk atau menggumpal	Y	N	N	B
13	<i>Water Level</i>	Menjaga level air di mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i> agar tetap <i>overflow</i>	Sensor error	Y	N	N	B
14	<i>Dewatering Slope</i>	Memisahkan zona <i>sealing</i> air dengan zona kering	<i>Basalt</i> akan hancur	Y	N	N	B

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis			
				Evidents	Safety	Outage	Category
15	Basalt	Jalur batu bara	Basalt akan hancur	Y	N	N	D
16	Bottom Ash Bunker	Tempat pembuangan akhir di Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)	Bottom Ash Bunker akan menumpuk di chute	Y	N	N	D

#### 4.4 Pengolahan Data Kualitatif (Penentuan Tindakan Perawatan)

##### 4.4.1 Task Selection Road Map (Pemilihan Tindakan)

Pemilihan tindakan yang berdasarkan oleh pertanyaan penuntun (*task selection*) yang disesuaikan dengan *road map* pemilihan tindakan. Dalam proses *task selection road map* menentukan tindakan yang tepat untuk mode kegagalan mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC). Berikut ini merupakan salah satu contoh penjelasan dari komponen kritis yaitu *Chain* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) berdasarkan pada tabel *Task Selection* diatas:

1. Komponen yang mengalami kerusakan adalah komponen *Chain* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
2. Fungsi pada mesin *Submerged Scapper Chain Conveyor* (SSCC) sebagai untuk menyambungkan *Scraper – Scraper* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC).
3. Mode kegagalan adalah komponen *Chain*
4. *Selection Guide* (Mode Kerusakan) :
  - a. Apakah hubungan dengan *age reliability* diketahui ? **Yes**
  - b. Apakah tindakan TD bisa digunakan ? **Yes**
  - c. Apakah tindakan CD dapat digunakan ? **Yes**
  - d. Apakah termasuk dalam mode kerusakan ? **Yes**







No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis							Selection Task
				1	2	3	4	5	6	7	
8	<i>Scraper Flights</i>	Besi berbentuk persegi panjang untuk membawa <i>Bottom Ash</i>	<i>Scraper Patah</i>	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD
9	<i>Pulley</i>	Mentransfer putaran pada <i>chain</i>	Pecah , tidak <i>center</i>	Y	Y	Y	N	Y	Y	-	CD
10	<i>Tension Sensor</i>	Memberitahu seberapa besar adanya kekuatan rantai pada mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i>	Sensor error	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	CD
11	<i>Seal Skirt</i>	<i>Sealing</i> pada boiler agar yang didalam tidak keluar dan yang diluar tidak kedalam	<i>Seal Skirt</i> bocor	N	Y	Y	Y	Y	Y	-	TD

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis							Selection Task
				1	2	3	4	5	6	7	
12	<i>Transfer Chute</i>	Tempat pembuangan <i>Bottom Ash</i>	<i>Bottom Ash</i> akan menumpuk atau menggumpal	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	CD
13	<i>Water Level</i>	Menjaga level air di mesin <i>Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)</i> agar tetap <i>overflow</i>	Sensor error	Y	Y	Y	Y	Y	Y	-	CD
14	<i>Dewatering Slope</i>	Memisahkan zona <i>sealing</i> air dengan zona kering	<i>Basalt</i> akan hancur	Y	Y	Y	N	Y	Y	-	CD
15	<i>Basalt</i>	Jalur batu bara	<i>Basalt</i> akan hancur	Y	Y	Y	N	Y	Y	-	TD
16	<i>Bottom Ash Bunker</i>	Tempat pembuangan akhir di <i>Submerged Scraper Chain</i>	<i>Bottom Ash Bunker</i> akan menumpuk di <i>chute</i>	Y	Y	Y	N	Y	Y	-	TD

No	Equipment	Function	Failure Mode	Critically Analysis							Selection Task
				1	2	3	4	5	6	7	
		Conveyor (SSCC)									



#### 4.5 Pengolahan Data Kuantitatif (Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian Komponen Kritis)

Pengolahan data kuantitatif menggunakan metode *Age Replacement* untuk menentukan waktu interval pemeriksaan dan interval waktu penggantian komponen kritis.

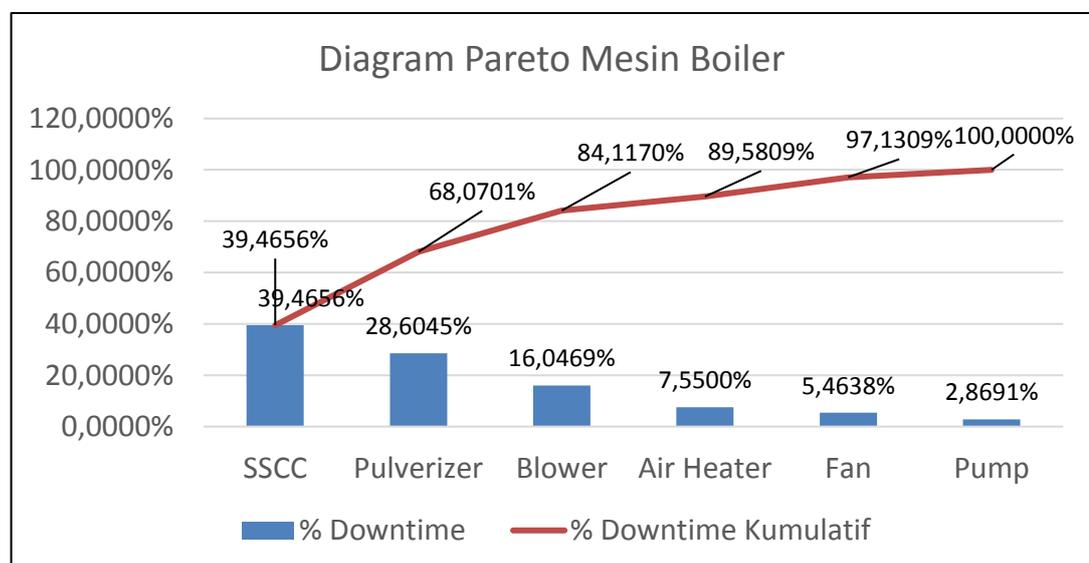
##### 4.5.1 Penentuan Komponen Kritis

Berikut merupakan penentuan mesin kritis dengan *downtime* terbesar sebesar 33.219 atau 39,46% dari persentase *downtime* kumulatif pada mesin boiler. Dibawah ini merupakan tabel data pada mesin boiler :

Tabel 4. 7 Penentuan Mesin Kritis

No	Mesin	<i>Downtime</i> (Menit)	% <i>Downtime</i>	% <i>Downtime</i> Kumulatif
1	SSCC	33219	39,46%	39,46%
2	<i>Pulverizer</i>	24077	28,60%	68,07%
3	<i>Blower</i>	13507	16,04%	84,11%
4	<i>Air Heater</i>	6355	7,55%	89,58%
5	<i>Fan</i>	4599	5,46%	97,13%
6	<i>Pump</i>	2415	2,86%	100,00%
<b>TOTAL</b>			<b>100,00%</b>	

Berikut merupakan diagram pareto pada mesin boiler dalam penentuan mesin kritis yang diperoleh dari adanya data *downtime* mesin boiler sebagai berikut :



## Gambar 4. 4 Penentuan Mesin Kritis

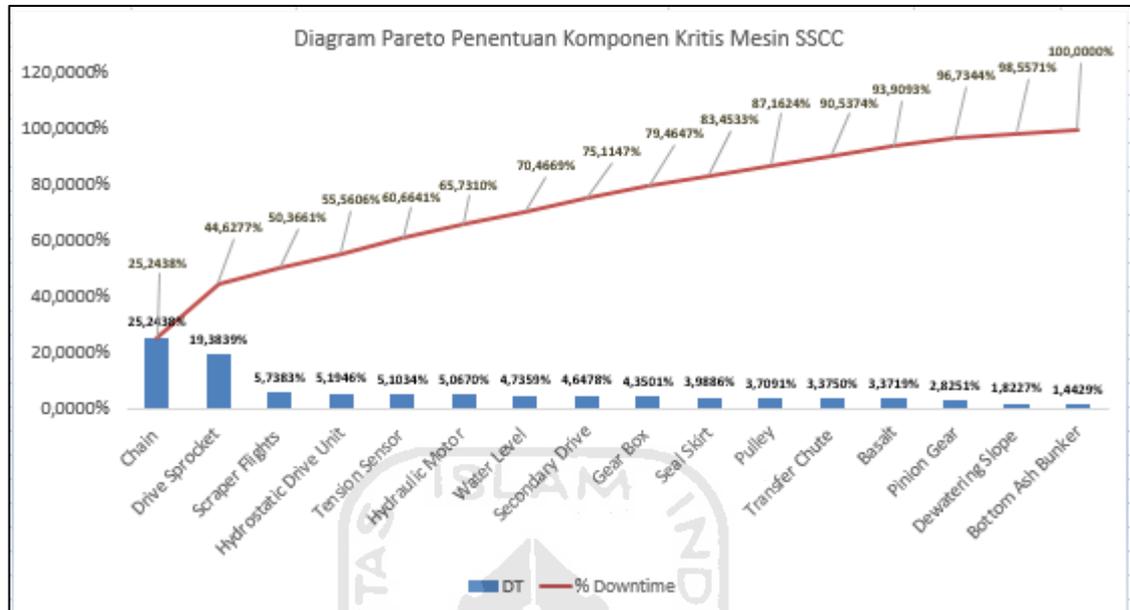
Sumber : Pengolahan Data

Dalam penentuan kritis dimana menunjukkan tingkat kepentingan dari sebuah komponen yang dianggap mempunyai tingkat resiko tertinggi sehingga memerlukan perlakuan khusus dengan melakukan perbaikan. Berikut merupakan tabel data pada komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor (SSCC)* :

Tabel 4. 8 Penentuan Komponen Kritis

No	Komponen Mesin	Frekuensi Kerusakan	Downtime (menit)	% Downtime	% Downtime Kumulatif
1	<i>Chain</i>	14	8310	25,24%	25,24%
2	<i>Drive Sprocket</i>	13	6381	19,38%	44,62%
3	<i>Scraper Flights</i>	12	1889	5,73%	50,36%
4	<i>Hydrostatic Drive Unit</i>	11	1710	5,19%	55,56%
5	<i>Tension Sensor</i>	11	1680	5,10%	60,66%
6	<i>Hydraulic Motor</i>	9	1668	5,06%	65,73%
7	<i>Water Level</i>	8	1559	4,73%	70,46%
8	<i>Secondary Drive</i>	7	1530	4,64%	75,11%
9	<i>Gear Box</i>	6	1432	4,35%	79,46%
10	<i>Seal Skirt</i>	5	1313	3,98%	83,45%
11	<i>Pulley</i>	4	1221	3,70%	87,16%
12	<i>Transfer Chute</i>	4	1111	3,37%	90,53%
13	<i>Basalt</i>	4	1110	3,37%	93,90%
14	<i>Pinion Gear</i>	3	930	2,82%	96,73%
15	<i>Dewatering Slope</i>	3	600	1,82%	98,55%
16	<i>Bottom Ash Bunker</i>	1	475	1,44%	100,00%
<b>TOTAL</b>		<b>115</b>	<b>32919</b>		

Berikut merupakan diagram pareto pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dalam penentuan mesin kritis yang diperoleh dari adanya data *downtime* mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Diagram Pareto Penentuan Komponen Kritis

Sumber : Pengolahan Data

#### 4.5.2 Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

Selanjutnya saat komponen kritis sudah diketahui maka menentukan jarak antar kerusakan pada komponen *Chain* sebagai berikut :

Tabel 4. 9 *Time To Failure* komponen *Chain*

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Ti
1	16/11/2015 8:30 AM	16/11/2015 11:30 AM	0
2	31/03/2016 8:30 AM	01/04/2016 15:45 AM	195.660
3	01/11/2017 8:00 AM	01/11/2017 9:00 AM	833.295
4	29/11/2017 7:48 AM	02/12/2017 8:03 AM	40.248
5	05/03/2018 8:00 AM	05/03/2018 4:00 PM	133.917
6	17/04/2018 10:00 AM	17/04/2018 1:00 PM	61.560
7	18/06/2018 8:00 AM	18/06/2018 11:00 AM	88.980
8	14/02/2019 1:00 PM	14/02/2019 4:00 PM	347.160
9	06/03/2019 10:00 AM	06/03/2019 12:00 PM	28.440

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Ti
10	05/04/2019 8:30 AM	05/04/2019 2:30 PM	42.990
11	06/05/2019 8:00 AM	06/05/2019 9:00 AM	44.250
12	30/10/2019 8:00 AM	30/10/2019 10:00 AM	254.820
13	06/01/2020 8:00 AM	06/01/2020 9:00 AM	97.800
14	20/01/2020 1:00 PM	20/01/2020 3:00 PM	20.400

Pada pengujian berikut menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* dimana adanya pemilihan nilai *Index Of Fit* terbesar. Ada 4 distribusi untuk menghitung waktu kerusakan yaitu distribusi *Eksponensial*, Normal, Log Normal dan *Weibull*.

### 1. Distribusi *Eksponensial*

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi *Eksponensial* ( $i = 1$ ) :

$$X_i = t_i \quad \dots(2.44)$$

$$= 20.400$$

$$X_i^2 = 20.400^2$$

$$= 416.160.000$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots(2.36)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(13+0,4)} = 0,052$$

$$Y_i = \text{Ln} \left[ \frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right] \quad \dots(2.45)$$

$$= \text{Ln} \left[ \frac{1}{\{1-0,052238806\}} \right] = 0,054$$

$$Y_i^2 = 0,053652713^2$$

$$= 0,0029$$

$$X_i Y_i = 20400 * 0,053652713$$

$$= 1094,52$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi *Eksponensial*.

$$r_{\text{eksponensial}} = \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] - [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \dots(2.37)$$

$$r_{\text{(index of fit)}} = \frac{(13 * (1094,515355)) - (20400 * (0,053652713))}{\sqrt{((13 * 416160000) - (20400^2)) * ((13 * 0,002878614) - (0,053652713)^2)}} \\ = 0,943$$

Tabel 4. 10 *Time To Failure* Distribusi *Eksponensial*

No	Ti	Xi = ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	20400	20400	416160000	0,05	0,05	0,002	1094,51
2	28440	28440	808833600	0,12	0,13	0,01	3858,33
3	40248	40248	1619901504	0,20	0,22	0,05	9056,24
4	42990	42990	1848140100	0,27	0,32	0,10	13891,30
5	44250	44250	1958062500	0,35	0,43	0,18	19112,97
6	61560	61560	3789633600	0,42	0,55	0,30	34106,35
7	88980	88980	7917440400	0,5	0,69	0,48	61676,23
8	97800	97800	9564840000	0,57	0,85	0,73	83598,31
9	133917	133917	17933762889	0,64	1,04	1,09	140303,79
10	195660	195660	38282835600	0,72	1,28	1,65	251799,13
11	254820	254820	64933232400	0,79	1,60	2,56	408222,38
12	347160	347160	1,2052E+11	0,87	2,06	4,26	716755,72
13	833295	833295	6,94381E+11	0,94	2,95	8,71	2459828,21
<b>TOTAL</b>	<b>2189520</b>	<b>2189520</b>	<b>9,63973E+11</b>	<b>6,5</b>	<b>12,22</b>	<b>20,17</b>	<b>4203303,54</b>

## 2. Distribusi Normal

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi Normal ( $i = 1$ ) :

$$X_i = t_i \quad \dots(2.40)$$

$$= 20.400$$

$$X_i^2 = 20.400^2$$

$$= 416.160.000$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots(2.36)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(13+0,4)} = 0,052$$

$$Y_i = z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] \quad \dots(2.41)$$

$$= z_i = \Phi^{-1} [0,052238806] = -1,623523182$$

$$Y_i^2 = -1,623523182^2$$

$$= 2,64$$

$$X_i Y_i = 20400 * -1,623523182$$

$$= -33119,87$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi Normal.

$$r_{normal} = \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] - [ \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2 ]}} \quad \dots(2.37)$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(13*(-33119,87291))-(20400*(-1,623523182))}{\sqrt{((13*416160000)-20400^2)*((13*2,635827521)-(-1,623523182)^2)}}$$

$$= 0,80$$

Tabel 4. 11 *Time To Failure* Distribusi Normal

No	Ti	Xi = ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	20400	20400	416160000	0,05	-1,62	2,63	-33119,87
2	28440	28440	808833600	0,12	-1,14	1,30	-32459,51
3	40248	40248	1619901504	0,20	-0,83	0,69	-33659,47
4	42990	42990	1848140100	0,27	-0,59	0,35	-25553,62
5	44250	44250	1958062500	0,35	-0,38	0,14	-16961,31
6	61560	61560	3789633600	0,42	-0,18	0,03	-11583,51
7	88980	88980	7917440400	0,5	0	0	0
8	97800	97800	9564840000	0,57	0,18	0,03	18402,66
9	133917	133917	17933762889	0,64	0,38	0,14	51331,25
10	195660	195660	38282835600	0,72	0,59	0,35	116302,00
11	254820	254820	64933232400	0,79	0,83	0,69	213106,45
12	347160	347160	1,2052E+11	0,87	1,14	1,30	396225,19
13	833295	833295	6,94381E+11	0,94	1,62	2,63	1352873,75
<b>TOTAL</b>	<b>2189520</b>	<b>2189520</b>	<b>9,63973E+11</b>	<b>6,5</b>	<b>0</b>	<b>10,34</b>	<b>1994903,99</b>

### 3. Distribusi Log Normal

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi Log Normal ( $i = 1$ ) :

$$X_i = \ln t_i \quad \dots(2.42)$$

$$= \ln (20400) = 9,923$$

$$X_{i2} = 9,92329018^2$$

$$= 98,47$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots(2.36)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(13+0,4)} = 0,052$$

$$Y_i = z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] \quad \dots(2.43)$$

$$= z_i = \Phi^{-1} [0,052238806] = -1,62$$

$$Y_{i2} = -1,623523182^2$$

$$= 2,64$$

$$X_i Y_i = 9,92329018 * -1,623523182$$

$$= -16,11$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi Log Normal.

$$r \text{ Log normal} = \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] - [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \dots(2.37)$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(13 * (-16,11069165)) - (9,92329018 * (-1,623523182))}{\sqrt{((13 * 98,47168799) - 9,92329018^2) * ((13 * 2,635827521) - (-1,623523182)^2)}} \\ = 0,98$$

Tabel 4. 12 Time To Failure Distribusi Log Normal

No	ti	Xi = ln ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	20400	9,92	98,47	0,05	-1,62	2,63	-16,11
2	28440	10,25	105,17	0,12	-1,14	1,30	-11,70
3	40248	10,60	112,41	0,20	-0,83	0,69	-8,86
4	42990	10,66	113,82	0,27	-0,59	0,35	-6,34
5	44250	10,69	114,43	0,35	-0,38	0,14	-4,10
6	61560	11,02	121,61	0,42	-0,18	0,03	-2,07
7	88980	11,39	129,87	0,5	0	0	0
8	97800	11,49	132,03	0,57	0,18	0,03	2,16
9	133917	11,80	139,35	0,64	0,38	0,14	4,52
10	195660	12,18	148,45	0,72	0,59	0,35	7,24
11	254820	12,44	154,96	0,79	0,83	0,69	10,41
12	347160	12,75	162,75	0,87	1,14	1,30	14,56
13	833295	13,63	185,86	0,94	1,62	2,63	22,13
<b>TOTAL</b>	<b>2189520</b>	<b>148,89</b>	<b>1719,23</b>	<b>6,5</b>	<b>0</b>	<b>10,34</b>	<b>11,83</b>

#### 4. Distribusi Weibull

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi Weibull (i = 1) :

$$X_i = \ln t_i \quad \dots(2.38)$$

$$= \ln (20400) = 9,92$$

$$X_i^2 = 9,92329018^2$$

$$= 98,47$$

$$F(t_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots(2.36)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(13+0,4)} = 0,052$$

$$Y_i = \ln \left| \ln \left| \frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right| \right| \quad \dots(2.39)$$

$$= \ln \left| \ln \left[ \frac{1}{\{1-0,052238806\}} \right] \right| = -2,93$$

$$Yi2 = -2,925223234^2$$

$$= 8,56$$

$$XiYi = 9,92329018 * -2,925223234$$

$$= -29,03$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi *Weibull*

$$r_{weibull} = \frac{[n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi) (\sum_{i=1}^n Yi)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2] - [\sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}} \quad \dots(2.37)$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(13 * (-29,02783899)) - (9,92329018 * (-2,925223234))}{\sqrt{((13 * 98,47168799) - 9,92329018^2) * ((13 * 8,556930966) - (-2,925223234)^2)}}$$

$$= 0,94$$

Tabel 4. 13 *Time To Failure* Distribusi *Weibull*

No	ti	Xi = ln ti	Xi2	F(ti)	Yi	Yi2	XiYi
1	20400	9,92	98,47	0,05	-2,92	8,55	-29,02
2	28440	10,25	105,17	0,12	-1,99	3,99	-20,48
3	40248	10,60	112,41	0,20	-1,49	2,22	-15,81
4	42990	10,66	113,82	0,27	-1,12	1,27	-12,05
5	44250	10,69	114,43	0,35	-0,83	0,70	-8,98
6	61560	11,02	121,61	0,42	-0,59	0,34	-6,51
7	88980	11,39	129,87	0,5	-0,36	0,13	-4,17
8	97800	11,49	132,03	0,57	-0,15	0,02	-1,80
9	133917	11,80	139,35	0,64	0,04	0,002	0,54
10	195660	12,18	148,45	0,72	0,25	0,06	3,07
11	254820	12,44	154,96	0,79	0,47	0,22	5,86
12	347160	12,75	162,75	0,87	0,72	0,52	9,24
13	833295	13,63	185,86	0,94	1,08	1,17	14,75
<b>TOTAL</b>	<b>2189520</b>	<b>148,89</b>	<b>1719,23</b>	<b>6,5</b>	<b>-6,92</b>	<b>19,24</b>	<b>-65,35</b>

Tabel dibawah ini merupakan hasil dari *Index Of Fit* pada 4 distribusi yaitu distribusi Eksponensial, Normal, Log Normal dan *Weibull* sebagai berikut :

Tabel 4. 14 *Index Of Fit Time To Failure*

No	Distribusi	<i>Index Of Fit</i>
1	Eksponensial	0,943300016

No	Distribusi	Index Of Fit
2	Normal	0,8038607
3	Log Normal	0,984261017
4	Weibull	0,942480152
No	Distribusi	Index Of Fit
1	Log Normal	98,43%
2	Ekspensial	94,33%
3	Weibull	94,25%
4	Normal	80,39%

Dari tabel diatas maka didapat nilai terbesar dari hasil *Index Of Fit* yaitu distribusi Log Normal dengan nilai *Index Of Fit* sebesar 98,43% . Distribusi yang dipilih yaitu distribusi Log Normal.

#### 4.5.3 Penentuan Distribusi Data Antar Waktu Perbaikan (*Time To Repair*)

Selanjutnya saat komponen kritis sudah diketahui maka menentukan jarak antar kerusakan pada komponen *Chain* sebagai berikut :

Tabel 4. 15 *Time To Repair* komponen *Chain*

No	Mulai Downtime	Selesai Downtime	Dti
1	16/11/2015 8:30 AM	16/11/2015 11:30 AM	180
2	31/03/2016 8:30 AM	01/04/2016 15:45 AM	1875
3	01/11/2017 8:00 AM	01/11/2017 9:00 AM	60
4	29/11/2017 7:48 AM	02/12/2017 8:03 AM	4335
5	05/03/2018 8:00 AM	05/03/2018 4:00 PM	480
6	17/04/2018 10:00 AM	17/04/2018 1:00 PM	180
7	18/06/2018 8:00 AM	18/06/2018 11:00 AM	180
8	14/02/2019 1:00 PM	14/02/2019 4:00 PM	180
9	06/03/2019 10:00 AM	06/03/2019 12:00 PM	120
10	05/04/2019 8:30 AM	05/04/2019 2:30 PM	360
11	06/05/2019 8:00 AM	06/05/2019 9:00 AM	60
12	30/10/2019 8:00 AM	30/10/2019 10:00 AM	120
13	06/01/2020 8:00 AM	06/01/2020 9:00 AM	60
14	20/01/2020 1:00 PM	20/01/2020 3:00 PM	120

Selanjutnya penentuan distribusi data antar waktu perbaikan, pada pengujian berikut menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* dimana adanya pemilihan nilai *Index Of Fit* terbesar. Ada 4 distribusi untuk menghitung waktu kerusakan yaitu distribusi *Eksponensial*, Normal, Log Normal dan *Weibull*.

### 1. Distribusi *Eksponensial*

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi *Eksponensial* ( $i = 1$ ) :

$$X_i = dt_i \quad \dots(2.44)$$

$$= 60$$

$$X_{i2} = 60^2$$

$$= 3600$$

$$F(dt_i) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots(2.36)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(14+0,4)} = 0,048$$

$$Y_i = \text{Ln} \left[ \frac{1}{\{1-F(t_i)\}} \right] \quad \dots(2.45)$$

$$= \text{Ln} \left[ \frac{1}{\{1-0,048611111\}} \right] = 0,0498$$

$$Y_{i2} = 0,049832374^2$$

$$= 0,00248$$

$$X_i Y_i = 60 * 0,049832374$$

$$= 2,989$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi *Eksponensial*.

$$r \text{ eksponensial} = \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] - [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \dots(2.37)$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(14 * (2,989942425)) - (60 * (0,049832374))}{\sqrt{((14 * 3600) - 60^2) * ((14 * 0,002483265) - (0,049832374)^2)}} \\ = 0,868$$

Tabel 4. 16 *Time To Repair* Distribusi *Eksponensial*

No	dti	Xi = dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	60	60	3600	0,04	0,04	0,002	2,98
2	60	60	3600	0,11	0,12	0,01	7,53
3	60	60	3600	0,18	0,20	0,04	12,45
4	120	120	14400	0,25	0,29	0,08	35,63
5	120	120	14400	0,32	0,39	0,15	47,41

6	120	120	14400	0,39	0,50	0,25	60,46
7	180	180	32400	0,46	0,62	0,39	112,68
8	180	180	32400	0,53	0,76	0,58	137,72
9	180	180	32400	0,60	0,92	0,85	166,81
10	180	180	32400	0,67	1,11	1,25	201,53
11	360	360	129600	0,74	1,35	1,84	489,20
12	480	480	230400	0,81	1,67	2,80	803,50
13	1875	1875	3515625	0,88	2,13	4,56	4006,12
14	4335	4335	18792225	0,95	3,02	9,14	13108,62
<b>TOTAL</b>	<b>8310</b>	<b>8310</b>	<b>22851450</b>	<b>7</b>	<b>13,21</b>	<b>22,01</b>	<b>19192,72</b>

## 2. Distribusi Normal

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi Normal ( $i = 1$ ) :

$$\begin{aligned} X_i &= dt_i \\ &= 60 \end{aligned} \quad \dots(2.40)$$

$$\begin{aligned} X_{i2} &= 60^2 \\ &= 3.600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(dt_i) &= \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \\ &= \frac{(1-0,3)}{(14+0,4)} = 0,0486 \end{aligned} \quad \dots(2.36)$$

$$\begin{aligned} Y_i &= z_i = \Phi^{-1} [F(t_i)] \\ &= z_i = \Phi^{-1} [0,048611111] = -1,658 \end{aligned} \quad \dots(2.41)$$

$$\begin{aligned} Y_{i2} &= -1,658472061^2 \\ &= 2,750 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_i Y_i &= 60 * -1,658472061 \\ &= -99,508 \end{aligned}$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi Normal.

$$r \text{ normal} = \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] - [\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad \dots(2.37)$$

$$\begin{aligned} r \text{ (index of fit)} &= \frac{(14 * (-99,50832366)) - (60 * (-1,658472061))}{\sqrt{((14 * 3600) - 60^2) * ((14 * 2,750529577) - (-1,658472061)^2)}} \\ &= 0,689 \end{aligned}$$

Tabel 4. 17 Time To Repair Distribusi Normal

No	dti	Xi = dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	60	60	3600	0,04	-1,65	2,75	-99,50
2	60	60	3600	0,11	-1,18	1,40	-71,08
3	60	60	3600	0,18	-0,88	0,78	-53,22
4	120	120	14400	0,25	-0,65	0,42	-78,33
5	120	120	14400	0,32	-0,44	0,20	-53,98
6	120	120	14400	0,39	-0,26	0,06	-31,69
7	180	180	32400	0,46	-0,08	0,007	-15,68
8	180	180	32400	0,53	0,08	0,007	15,68
9	180	180	32400	0,60	0,26	0,06	47,54
10	180	180	32400	0,67	0,44	0,20	80,98
11	360	360	129600	0,74	0,65	0,42	235,00
12	480	480	230400	0,81	0,88	0,78	425,83
13	1875	1875	3515625	0,88	1,18	1,40	2221,43
14	4335	4335	18792225	0,95	1,65	2,75	7189,47
<b>TOTAL</b>	<b>8310</b>	<b>8310</b>	<b>22851450</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>11,29</b>	<b>9812,42</b>

### 3. Distribusi Log Normal

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi Log Normal ( $i = 1$ ) :

$$X_i = \ln dti \quad \dots(2.42)$$

$$= \ln (60) = 4,094$$

$$X_i^2 = 4,094344562^2$$

$$= 16,76365739$$

$$F(dti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots(2.36)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(14+0,4)} = 0,0486$$

$$Y_i = z_i = \Phi^{-1} [F(ti)] \quad \dots(2.43)$$

$$= z_i = \Phi^{-1} [0,048611111] = -1,658$$

$$Y_i^2 = -1,658472061^2$$

$$= 2,750$$

$$X_i Y_i = 4,094344562 * -1,658472061$$

$$= -6,790$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi Log Normal.

$$r \text{ Log normal} = \frac{[n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) (\sum_{i=1}^n Y_i)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2] - [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad \dots(2.37)$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(14 * (-6,790356065)) - (4,094344562 * (-1,658472061))}{\sqrt{((14 * 16,76365739) - 4,094344562^2) * ((14 * 2,750529577) - (-1,65847206)^2)}} \\ = 0,918$$

Tabel 4. 18 *Time To Failure* Distribusi Log Normal

No	dti	Xi = ln dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	60	4,09	16,7636	0,0486	-1,6584	2,7505	-6,79
2	60	4,09	16,7636	0,1180	-1,1847	1,4036	-4,85
3	60	4,09	16,76	0,18	-0,88	0,78	-3,63
4	120	4,78	22,92	0,25	-0,65	0,42	-3,12
5	120	4,78	22,92	0,32	-0,44	0,20	-2,15
6	120	4,78	22,92	0,39	-0,26	0,06	-1,26
7	180	5,19	26,96	0,46	-0,08	0,007	-0,45
8	180	5,19	26,96	0,53	0,08	0,007	0,45
9	180	5,19	26,96	0,60	0,26	0,06	1,37
10	180	5,19	26,96	0,67	0,44	0,20	2,33
11	360	5,88	34,64	0,74	0,65	0,42	3,84
12	480	6,17	38,11	0,81	0,88	0,78	5,47
13	1875	7,53	56,79	0,88	1,18	1,40	8,92
14	4335	8,37	70,13	0,95	1,65	2,75	13,88
<b>TOTAL</b>	<b>8310</b>	<b>75,38</b>	<b>426,60</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>11,29</b>	<b>14,02</b>

4. Distribusi *Weibull*

Berikut ini adalah contoh perhitungan distribusi *Weibull* ( $i = 1$ ) :

$$X_i = \ln dti \quad \dots(2.38)$$

$$= \ln (60) = 4,094$$

$$X_i^2 = 4,094344562^2$$

$$= 16,763$$

$$F(dti) = \frac{(i-0,3)}{(n+0,4)} \quad \dots(2.36)$$

$$= \frac{(1-0,3)}{(14+0,4)} = 0,0486$$

$$Y_i = \ln \left| \ln \left| \frac{1}{1-F(t_i)} \right| \right| \quad \dots(2.39)$$

$$= \ln \left| \ln \left| \frac{1}{\{1-0,048611111\}} \right. \right| = -2,999$$

$$Yi2 = -2,999090431^2$$

$$= 8,994$$

$$XiYi = 4,094344562 * -2,999090431$$

$$= -12,279$$

Tabel dibawah ini adanya perhitungan nilai r pada distribusi *Weibull*.

$$r_{weibull} = \frac{[n \sum_{i=1}^n XiYi - (\sum_{i=1}^n Xi) (\sum_{i=1}^n Yi)]}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n xi^2 - (\sum_{i=1}^n xi)^2] - [\sum_{i=1}^n yi^2 - (\sum_{i=1}^n yi)^2]}} \quad \dots(2.37)$$

$$r \text{ (index of fit)} = \frac{(14 * (-12,2793096)) - (4,094344562 * (-2,999090431))}{\sqrt{((14 * 16,76365739) - 4,094344562^2) * ((14 * 8,994543413) - (-2,99909043)^2)}}$$

$$= 0,847$$

Tabel 4. 19 *Time To Failure* Distribusi *Weibull*

No	dti	Xi = ln dti	Xi2	F(dti)	Yi	Yi2	XiYi
1	60	4,09	16,76	0,04	-2,99	8,99	-12,27
2	60	4,09	16,76	0,11	-2,07	4,30	-8,49
3	60	4,09	16,76	0,18	-1,57	2,47	-6,43
4	120	4,78	22,92	0,25	-1,21	1,47	-5,81
5	120	4,78	22,92	0,32	-0,92	0,86	-4,44
6	120	4,78	22,92	0,39	-0,68	0,46	-3,28
7	180	5,19	26,96	0,46	-0,46	0,21	-2,43
8	180	5,19	26,96	0,53	-0,26	0,07	-1,39
9	180	5,19	26,96	0,60	-0,07	0,005	-0,39
10	180	5,19	26,96	0,67	0,11	0,01	0,58
11	360	5,88	34,64	0,74	0,30	0,09	1,80
12	480	6,17	38,11	0,81	0,51	0,26	3,18
13	1875	7,53	56,79	0,88	0,75	0,57	5,72
14	4335	8,37	70,13	0,95	1,10	1,22	9,26
<b>TOTAL</b>	<b>8310</b>	<b>75,38</b>	<b>426,60</b>	<b>7</b>	<b>-7,48</b>	<b>21,04</b>	<b>-24,40</b>

Tabel dibawah ini merupakan hasil dari *Index Of Fit* pada 4 distribusi yaitu distribusi Eksponensial, Normal, Log Normal dan *Weibull* sebagai berikut :

Tabel 4. 20 *Index Of Fit Time To Repair*

No	Distribusi	<i>Index Of Fit</i>
1	Ekspensial	0,868096616
2	Normal	0,689749904
3	Log Normal	0,918450176
4	<i>Weibull</i>	0,847530626
No	Distribusi	<i>Index Of Fit</i>
1	Log Normal	91,85%
2	Ekspensial	86,81%
3	<i>Weibull</i>	84,75%
4	Normal	68,97%

Dari tabel diatas maka didapat nilai terbesar dari hasil *Index Of Fit* yaitu distribusi Log Normal dengan nilai *Index Of Fit* sebesar 91,85% . Distribusi yang dipilih yaitu distribusi Log Normal.

#### 4.5.4 Uji Goodness of fit pada Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

*Uji Goodness Of Fit* atau uji kecocokan yang dipergunakan untuk menguji hipotesis yang diberikan pada distibusi yang terpilih dimana distibusi yang diuji yaitu distibusi Log Normal dimana sesuai dengan data yang dipilih sesuai dengan proses pemilihan distibusi awal untuk data kerusakan. Berikut ini merupakan *Uji Goodness Of Fit* pada distibusi data waktu kerusakan menggunakan *Kolmogrov-Smirnov Test*.

Tabel 4. 21 Perhitungan *Kolmogrov-Smirnov Test* untuk komponen *Chain*

No	Ln(ti)	$[ti - \bar{x}]^2$	Zti	Fti	D1	D2
1	9,92	2,34	-1,47	0,07	0,07	0,006
2	10,25	1,43	-1,15	0,12	0,04	0,02
3	10,60	0,72	-0,82	0,20	0,05	0,02
4	10,66	0,61	-0,75	0,22	-0,006	0,08
5	10,69	0,57	-0,72	0,23	-0,07	0,15
6	11,02	0,18	-0,41	0,34	-0,04	0,12
7	11,39	0,003	-0,05	0,47	0,01	0,06
8	11,49	0,001	0,03	0,51	-0,02	0,10
9	11,80	0,12	0,33	0,63	0,01	0,05

No	Ln(ti)	[ti - xbar ti] <sup>2</sup>	Zti	Fti	D1	D2
10	12,18	0,53	0,70	0,75	0,06	0,009
11	12,44	0,99	0,95	0,83	0,06	0,01
12	12,75	1,70	1,25	0,89	0,04	0,02
13	13,63	4,75	2,10	0,98	0,05	0,01
<b>TOTAL</b>	<b>148,89</b>	<b>13,97</b>		<b>Dn Max</b>	<b>0,07</b>	<b>0,15</b>

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa :

Dhitung dapat diperoleh dari nilai terbesar antara D1 dan D2, maka Dhitung = 0,1515448

Hipotesa untuk melakukan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test* adalah:

H0 = Data *Time Failure* berdistribusi Log Normal

H1 = Data *Time Failure* tidak berdistribusi Log Normal

$\alpha$  = 0,05

Dtabel = Dapat dilihat dari tabel D *Kolmogorov-Smirnov*, dengan nilai Dcrit 13;0,05 = 0.36143

Wilayah kritis : Dn < Dcrit maka H0 diterima.

Bahwa keputusannya Dn < Dcrit, Dn = 0,1515448 < Dcrit = 0.36143 , yaitu H0 diterima.

#### 4.5.5 Uji Goodness of fit pada Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Time To Repair*)

*Uji Goodness Of Fit* atau uji kecocokan yang dipergunakan untuk menguji hipotesis yang diberikan pada distribusi yang terpilih dimana distribusi yang diuji yaitu distribusi Log Normal dimana sesuai dengan data yang dipilih sesuai dengan proses pemilihan distribusi awal untuk data perbaikan Berikut ini merupakan *Uji Goodness Of Fit* pada distribusi data waktu kerusakan menggunakan *Kolmogrov-Smirnov Test*.

Tabel 4. 22 Perhitungan t untuk komponen *Chain*

No	Ln(ti)	[ti - xbar ti] <sup>2</sup>	Zti	Fti	D1	D2
1	4,09	1,66	-1,06	0,14	0,14	-0,07
2	4,09	1,66	-1,06	0,14	0,07	-0,001
3	4,09	1,66	-1,06	0,14	0,001	0,07
4	4,78	0,35	-0,49	0,31	0,09	-0,02
5	4,78	0,35	-0,49	0,31	0,02	0,04

No	Ln(ti)	[ti - xbar ti]2	Zti	Fti	D1	D2
6	4,78	0,35	-0,49	0,31	-0,04	0,11
7	5,19	0,03	-0,15	0,43	0,008	0,06
8	5,19	0,03	-0,15	0,43	-0,06	0,13
9	5,19	0,03	-0,15	0,43	-0,13	0,20
10	5,19	0,03	-0,15	0,43	-0,20	0,27
11	5,88	0,25	0,41	0,66	-0,05	0,12
12	6,17	0,62	0,64	0,74	-0,04	0,11
13	7,53	4,62	1,77	0,96	0,10	-0,03
14	8,37	8,93	2,46	0,99	0,06	0,006
<b>TOTAL</b>	<b>75,38</b>	<b>20,65</b>		<b>Dn Max</b>	<b>0,14</b>	<b>0,27</b>

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa :

Dhitung dapat diperoleh dari nilai terbesar antara D1 dan D2, maka Dhitung = 0,277

Hipotesa untuk melakukan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test* adalah:

H0 = Data *Time Failure* berdistribusi Log Normal

H1 = Data *Time Failure* tidak berdistribusi Log Normal

$\alpha$  = 0,05

Dtabel = Dapat dilihat dari tabel D *Kolmogorov-Smirnov*, dengan nilai Dcrit  
14;0,05 = 0.34890

Wilayah kritis : Dn < Dcrit maka H0 diterima

Bahwa keputusannya Dn < Dcrit, Dn = 0,277 < Dcrit = 0,348, yaitu H0 diterima.

#### 4.5.6 Perhitungan Parameter dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

Parameter yang digunakan untuk perhitungan dari distribusi data waktu kerusakan yaitu Tmed (parameter lokasi) dan s (parameter bentuk) dengan perhitungan sebagai berikut :

a. Tmed (parameter lokasi)

$$N = 13$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(ti)}{n} \quad \dots(2.63)$$

$$\mu = \frac{148,891}{13}$$

$$\mu = 11,45$$

$$\begin{aligned}
 T_{med} &= e^{\mu} && \dots(2.65) \\
 &= e^{11,4531538} \\
 &= 94195,87
 \end{aligned}$$

b. S (parameter bentuk)

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n}} && \dots(2.64) \\
 S &= \sqrt{\frac{148,891}{13}} \\
 S &= 1,04
 \end{aligned}$$

#### 4.5.7 Perhitungan Parameter Dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Time To Repair*)

Parameter yang digunakan untuk perhitungan dari distribusi data waktu perbaikan yaitu  $T_{med}$  (parameter lokasi) dan  $s$  (parameter bentuk) dengan perhitungan sebagai berikut :

a.  $T_{med}$  (parameter lokasi)

$$\begin{aligned}
 N &= 14 \\
 \mu &= \frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n} && \dots(2.63) \\
 \mu &= \frac{75,388}{14} \\
 \mu &= 5,38485714 \\
 T_{med} &= e^{\mu} && \dots(2.65) \\
 &= e^{5,38485714} \\
 &= 218,08
 \end{aligned}$$

b. S (parameter bentuk)

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \ln(t_i)}{n}} && \dots(2.64) \\
 S &= \sqrt{\frac{75,388}{14}} \\
 S &= 1,21
 \end{aligned}$$

#### 4.5.8 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Kerusakan (*Mean Time To Failure*)

Berikut ini adalah penentuan nilai tengah dari distribusi data waktu kerusakan *Mean Time To Failure* (MTTF) untuk distribusi eksponensial sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= t_{\text{med}} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} && \dots(2.70) \\
 &= 94195,87297 * e^{\frac{1,0748}{2}} \\
 &= 161217,48 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.9 Penentuan Nilai Tengah dari Distribusi Data Waktu Perbaikan (*Mean Time To Repair*)

Berikut ini adalah penentuan nilai tengah dari distribusi data waktu perbaikan *Mean Time To Repair* (MTTR) untuk distribusi Log Normal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{MTTR} &= \theta \cdot \tau \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) && \dots(2.75) \\
 &= 22213863,1 \cdot \tau(2,47) \frac{1}{0,679167711} \\
 &= 456,02 \text{ menit} \\
 &(\text{nilai } \theta \cdot \tau(2,47) = 1,30 \text{ dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma})
 \end{aligned}$$

#### 4.5.10 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Pencegahan dengan Minimasi *Downtime*

Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* menggunakan metode *Age Replacement* yang dimana nilai interval waktu antar kerusakan ( $t_p$ ) dimana yang terpilih yaitu yang memiliki nilai *downtime* terkecil. Dibawah ini merupakan data – data yang dibutuhkan untuk mencari interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* sebagai berikut :

1. Data waktu kerusakan berdistribusi Log Normal

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= 161217,47 \\
 T_{\text{med}} &= 94195,872 \\
 S &= 1,04
 \end{aligned}$$

2. Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

$$T_f = 456,0147922 \text{ menit}$$

3. Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*

$$T_p = 456,0147922 \text{ menit}$$

Dibawah ini merupakan data – data untuk perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime* sebagai berikut :

Tabel 4. 23 Perhitungan interval waktu penggantian pencegahan dengan minimasi *downtime*

<b>Tp</b>	<b>R(tp)</b>	<b>F(tp)</b>	<b>tp + Tp</b>	<b>MTTF/F(tp) + Tf</b>	<b>D(tp)</b>
1	1	1,1253E-28	457,0147922	1,43264E+33	0,0028205734910651
1000	0,999994186	5,814E-06	1456,014792	27729166330	0,0028032520667282
10000	0,984744239	0,01525576	10456,01479	10568101,6	0,0026586538155612
20000	0,932513974	0,06748603	20456,01479	2389357,656	0,0025288667334572
30000	0,865131753	0,13486825	30456,01479	1195826,184	0,0024304268926725
40000	0,795646971	0,20435303	40456,01479	789372,5302	0,0023566732298635
50000	0,729376916	0,27062308	50456,01479	596183,0186	0,0023014505255161
60000	0,668241696	0,3317583	60456,01479	486404,6027	0,0022600947700764
70000	0,61270267	0,38729733	70456,01479	416718,8361	0,0022292179101727
80000	0,562600749	0,43739925	80456,01479	369037,9884	0,0022063642517481
90000	0,517529233	0,48247077	90456,01479	334605,7507	0,0021897350711473
100000	0,477003025	0,52299698	100456,0148	308713,0163	0,0021779936154358
110000	0,440535144	0,55946486	110456,0148	288619,7439	0,0021701312089890
120000	0,407669763	0,59233024	120456,0148	272631,0096	0,0021653754771465
130000	0,377994526	0,62200547	130456,0148	259645,8226	0,0021631268602812
<b>136089</b>	<b>0,361329955</b>	<b>0,63867005</b>	<b>136545,0148</b>	<b>252882,883</b>	<b>0,0021627806734965</b>
140000	0,351143034	0,64885697	140456,0148	248919,8331	0,0021629141073807
140100	0,350887653	0,64911235	140556,0148	248822,0796	0,0021629209252554
150000	0,326792826	0,67320717	150456,0148	239932,7844	0,0021643626121309
160000	0,304661494	0,69533851	160456,0148	232310,6841	0,0021671715490596
170000	0,284502226	0,71549777	170456,0148	225778,1403	0,0021710971252718
180000	0,266099401	0,7339006	180456,0148	220128,1059	0,0021759401437157
190000	0,249264518	0,75073548	190456,0148	215202,0649	0,0021815366491531
200000	0,233832561	0,76616744	200456,0148	210876,7023	0,0021877508081573
210000	0,219658805	0,78034119	210456,0148	207054,7185	0,0021944694289312
220000	0,206616065	0,79338394	220456,0148	203658,3638	0,0022015976993653
230000	0,194592313	0,80540769	230456,0148	200624,8013	0,0022090558404348
240000	0,183488651	0,81651135	240456,0148	197902,7245	0,0022167764546764
250000	0,17321756	0,82678244	250456,0148	195449,8505	0,0022247024077617
260000	0,163701412	0,83629859	260456,0148	193231,0374	0,0022327851227561

<b>Tp</b>	<b>R(tp)</b>	<b>F(tp)</b>	<b>tp + Tp</b>	<b>MTTF/F(tp) + Tf</b>	<b>D(tp)</b>
270000	0,154871191	0,84512881	270456,0148	191216,8521	0,0022409831966582
<b>272178</b>	<b>0,153032774</b>	<b>0,84696723</b>	<b>272634,0148</b>	<b>190802,7889</b>	<b>0,0022427804654988</b>
280000	0,146665397	0,8533346	280456,0148	189382,4673	0,0022492612706883
290000	0,139029108	0,86097089	290456,0148	187706,8044	0,0022575891019174
300000	0,131913165	0,86808684	300456,0148	186171,8588	0,0022659407958125
310000	0,125273475	0,87472652	310456,0148	184762,1661	0,0022742941682734
320000	0,119070412	0,88092959	320456,0148	183464,3748	0,0022826302125466
330000	0,113268287	0,88673171	330456,0148	182266,9018	0,0022909326515953
340000	0,107834901	0,8921651	340456,0148	181159,6531	0,0022991875605063
350000	0,102741146	0,89725885	350456,0148	180133,7953	0,0023073830466054
360000	0,097960662	0,90203934	360456,0148	179181,5676	0,0023155089773684
370000	0,093469535	0,90653047	370456,0148	178296,1266	0,0023235567481136
380000	0,089246034	0,91075397	380456,0148	177471,4166	0,0023315190829527
390000	0,085270381	0,91472962	390456,0148	176702,0616	0,0023393898636747
400000	0,081524545	0,91847546	400456,0148	175983,274	0,0023471639821815
410000	0,077992064	0,92200794	410456,0148	175310,778	0,0023548372128647
420000	0,074657886	0,92534211	420456,0148	174680,7441	0,0023624061019252
430000	0,071508229	0,92849177	430456,0148	174089,7337	0,0023698678711422
440000	0,068530454	0,93146955	440456,0148	173534,6516	0,0023772203340054
450000	0,065712958	0,93428704	450456,0148	173012,7046	0,0023844618224591
460000	0,063045075	0,93695493	460456,0148	172521,3671	0,0023915911227841
470000	0,060516985	0,93948302	470456,0148	172058,35	0,0023986074193681
480000	0,058119639	0,94188036	480456,0148	171621,5746	0,0024055102453080
				<b>Min D(tp)</b>	<b>0,0021627806734965</b>

Berikut ini adalah contoh perhitungan interval waktu penggantian pencegahan pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* di komponen *chain* dengan distribusi Log Normal untuk  $t_p = 456,0147922$  menit sebagai berikut :

$$a. F(t_p) = \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots(3.3)$$

$$= 0,85$$

$$b. R(t_p) = 1 - F(t_p) \quad \dots(2.13)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - 0,84696723 \\
 &= 0,15 \\
 \text{c. } (tp+Tp) \times R(tp) &= 272634,0148 \times 0,84696723 \\
 &= 230.912,08 \\
 \text{d. Ekspektasi panjang siklus kerusakan :} \\
 (M(tp) + tf) \times (1 - R(tp)) &= \dots(2.77) \\
 \left(\frac{MTTF}{1-R(tp)} + Tf\right) \times (1 - R(tp)) &= \dots(2.78) \\
 &= (190.802,789) \times (1 - 0,153032774) \\
 &= 161.603,71 \text{ menit} \\
 \text{e. } D(tp) &= \frac{Tp \cdot R(tp) + Tf \cdot (1 - R(tp))}{(tp + tp) \cdot R(tp) + (M(tp) + Tf) \cdot (1 - R(tp))} \dots(2.77) \\
 &= 0,0022427804654988
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapat nilai  $D(tp)$  yang paling minimum adalah pada  $tp = 136.089$  menit. Bahwa waktu interval penggantian komponen *chain* dengan kriteria minimasi *downtime* pada menit ke 136.089.

#### 4.5.11 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan

Berikut ini adalah perhitungan interval waktu pemeriksaan pada komponen *chain* :

1. Waktu yang dibutuhkan perusahaan untuk pemeriksaan *chain* adalah 1 jam
2. Jumlah pemeriksaan (k)
  - a. 1 Bulan = 30 hari kerja; 1 hari 24 jam kerja
  - b. T = 30 hari/bulan x 24 jam/hari = 720 jam/bulan
  - c. Jumlah kerusakan komponen *chain* selama 5 tahun = 14 kali
  - d.  $K = \frac{14}{60 \text{ bulan}} \dots(2.81)$   
= 0,23
3. Waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk perbaikan
  - a. MTTR = 458,0147922 menit = 7,63 jam
  - b. T = 720 jam/bulan
  - c.  $1/\mu = MTTR/t \dots(2.82)$   
 $1/\mu = 7,63/720$   
 $1/\mu = 0,01059722$   
 $\mu = 94,364371$
4. Waktu rata-rata melakukan pemeriksaan

- a. Waktu untuk melakukan pemeriksaan ( $t_i$ ) = 1 jam  
 b.  $T = 720$  jam/bulan  
 c.  $\frac{1}{i} = \frac{t_i}{t}$  ... (2.82)  
 $= \frac{1}{720} = 0,00138889$

5. Perhitungan frekuensi pemeriksaan

$$N = \sqrt{\frac{k \cdot i}{\mu}} \quad \dots (2.85)$$

$$= \sqrt{\frac{0,233 \cdot 720}{94,364371}}$$

$$= 1,33 \text{ kali pemeriksaan per bulan}$$

6. Interval waktu pemeriksaan =  $t/n$  ... (2.80)  
 $= 720/1,33$   
 $= 541,353 \text{ jam} = 23 \text{ hari}$

#### 4.5.12 Perbandingan *Reliability* Sesudah dan Sebelum Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Perawatan pencegahan dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan dimana untuk mengetahui umur yang optimal dari komponen. Dibawah ini merupakan rumus *Reliability* berdasarkan distribusi Log Normal sesuai dengan *Failure Time* sebagai berikut :

- a. *Reliability* kondisi sebelum interval waktu penggantian

$$R(tp) = 1 - \Phi \left( \frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad \dots (3.3)$$

*Reliability* kondisi sesudah interval waktu penggantian

$$R(t-nT) = 1 - \Phi \left( \frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}} \right) \quad \dots (3.37)$$

$N$  = Jumlah perawatan pencegahan yang telah dilakukan sampai saat ini

$T$  = Interval waktu perawatan pencegahan

$R(t-Nt)$  = Probabilitas keandalan untuk waktu  $t-nT$  dari perawatan *preventive* terakhir

Berikut adalah perhitungan *Reliability* sebelum dan sesudah dilakukannya tindakan sebagai berikut :

$$s = 1,038$$

$$T_{med} = 94195,87$$

$T(\text{age replacement}) = 150.000$  menit

Tabel 4. 24 Perbandingan *Reliability* sesudah dan sebelum

N	Tp (hari)	R(tp)	R(t-nT)
0	1	0,999993	0,999993
0	10000	0,906855	0,9068551
0	30000	0,736838	0,7368381
0	50000	0,595347	0,5953466
0	70000	0,479468	0,4794678
0	80000	0,429894	0,4298937
0	90000	0,385251	0,3852514
0	100000	0,34509	0,34509
0	110000	0,30899	0,30899
0	130000	0,247457	0,2474569
1	136089	0,231219	1
1	150000	0,197928	0,8713868
1	170000	0,158138	0,7069782
1	190000	0,126224	0,570795
1	210000	0,100663	0,4594621
1	230000	0,080214	0,3690346
1	250000	0,063873	0,295891
1	270000	0,050827	0,2369044
2	272178	0,049576	1

Contoh perhitungan :

$$T = 150.000$$

$$N = 1$$

$$R(tp) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad \dots(3.3)$$

$$= 1 - \Phi\left(\frac{1}{1,036704285} \ln \frac{150.000}{94195,87297}\right)$$

$$= 0,198$$

$$R(t-nT) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t-nT}{t_{med}}\right) \quad \dots(3.37)$$

$$= 1 - \Phi\left(\frac{1}{1,036704285} \ln \frac{150.000 - (1 \cdot 136.089)}{94195,87297}\right)$$

$$= 0,87$$

Pada tingkat keandalan ke 150.000 menit sebelum dilakukan penggantian pencegahan sebesar 0,197928 dan setelah penggantian pencegahan sebesar 0,8713868.

#### 4.5.13 Perhitungan *Avaibility*

Perhitungan *avaibility* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keandalan setelah dilakukan perawatan yang bersifat *preventive*. Dibawah ini yaitu langkah – langkah dalam perhitungan *avaibility* dua kejadian dengan adanya kejadian *avaibility* berdasarkan frekuensi pemeriksaan dan *avaibility* berdasarkan interval penggantian pencegahan sebagai berikut :

a. *Avaibility* berdasarkan frekuensi pemeriksaan :

$$\begin{aligned} D(n) &= \frac{k}{\mu.n} + \frac{1}{i} && \dots(2.90) \\ &= \frac{0,233}{94,364371.1} + \frac{1}{720} \\ &= 0,00386 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(n) &= 1 - D(n) && \dots(2.89) \\ &= 1 - 0,003858041 \\ &= 0,996 \end{aligned}$$

b. *Avaibility* berdasarkan interval penggantian pencegahan :

$$\begin{aligned} A(tp) &= 1 - [\min D(tp)] && \dots(2.91) \\ &= 1 - 0,0021627806734965 \\ &= 0,998 \end{aligned}$$

c. *Avaibility* total :

$$\begin{aligned} \text{Avaibility} &= A(n) * A(tp) && \dots(2.92) \\ &= 0,996141959 * 0,997837219 \\ &= 0,994 \end{aligned}$$

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

#### **5.1 Analisis Pengolahan Data Kualitatif (Penentuan Komponen Kritis)**

Bahwa komponen kritis mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) didapatkan dari hasil pengolahan data pada rangkaian *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) dengan didukung oleh rangkaian *Functional Block Diagram* (FBD) untuk mengetahui fungsi dan hubungan antar mesin. Kemudian *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk mengetahui kategori kerusakan komponen tersebut. Lalu *Task Selection* (TS) untuk mengetahui tindakan perawatan yang efektif. Informasi yang didapat untuk penelitian metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Age Replacement* didapat beberapa *expert* di bidang yang berkaitan dengan penelitian seperti Bapak Bekti kepala bagian *planning* di departemen *development* yang sudah bekerja pada bagian tersebut selama 10 tahun, Bapak Alfin kepala *maintenance* yang sudah bekerja pada bagian tersebut selama 12 tahun, Bapak Dwi Santoso *supervisor* mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang sudah bekerja pada bagian tersebut selama 11 tahun dan Bapak Huda kepala *engineering* mesin boiler yang sudah bekerja pada bagian tersebut selama 10 tahun.

pada tahap *Functional Block Diagram* (FBD) mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dengan adanya 2 *flow* yaitu *flow process* dan *flow material* dimana *Flow Proses* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) pada yang pertama beroperasi yaitu *Hydraulic Motor*, *Gear Box*, *Hydrostatic Drive Unit*, *Pinion Gear* dan *Gear Drive running* untuk menggerakkan mesin selanjutnya yaitu *Drive Sprocket* yang dimana adanya *gear* didalam mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) untuk menggerakkan *Chain* dan *Scraper* yang dimana *Chain* untuk menyambungkan *Scraper – Scraper* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dan *Scraper* yaitu besi berbentuk persegi panjang untuk membawa *Bottom Ash* ke *Buttom Ash Bunker*.

*Flow Material* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) pada yang pertama *bottom ash* jatuh dari furnace atau dari *pulverizer* dimana batu bara yang tidak dapat terurai dengan baik dikarenakan terlalu besar dan keras. Setelah itu *bottom ash* masuk ke dalam bak *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) kemudian dibawa *scraper* menuju ke *Transfer Chute* untuk dibuang ke *Bottom Ash Bunker*.

Pada tahap *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) bahwa pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) pada tanggal 14 Februari 2019 terjadi kerusakan pada *Chain* dimana *Chain* yang terlepas dari *Pulley* dengan keadaan *elongation* yang disebabkan karena adanya pengikisan terhadap *Chain* tersebut dimana adanya gesekan *Chain* yang beroperasi terus menerus maka mengakibatkan panas berlebihan, *Chain* terlepas dari *Pulley* dikarenakan kejatuhan material *split ring castings* pada boiler yang membuat hambatan di *Pulley* dan *Chain* terlepas dari *Pulley* dikarenakan *Overweigh* yang dimana slag-slag batu bara yang sudah mengeras karena tidak terkena *Soot Blow* dikarenakan adanya *Low Quality Coal*.

Pada tahap *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan teknik yang banyak digunakan secara luas untuk penilaian yang menyebutkan bentuk, penyebab pengaruh, kerusakan terhadap keandalan sistem secara keseluruhan. Penilaian kualitatif yang menjadi dasar dari *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) terkadang menyebabkan beberapa perkiraan mengenai kemungkinan terjadinya kerusakan. Kolom *function* menunjukkan fungsi terjadinya kegagalan, sedangkan kolom *failure mode* menunjukkan penyebab terjadinya kegagalan, sedangkan kolom *failure effect* menunjukkan apa yang terjadi ketika komponen pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) gagal memenuhi standart performansinya. Berdasarkan hasil dari *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) bahwa terdapat *Risk Priority Number* tertinggi pada komponen *Chain* dengan *Risk Priority Number* (RPN) yang dimana  $severity * occurrence * number$  yaitu  $8 \times 8 \times 3 = 192$  untuk mendapatkan hasil *Risk Priority Number* (RPN) dengan wawancara pada beberapa orang yang *expert* mesin boiler dan sub mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang dilakukan dengan Bapak Bakti kepala bagian *planning* di departemen *development*, Bapak Alfin kepala *maintenance* yang, Bapak Dwi Santoso *supervisor* mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dan Bapak Huda kepala *engineering* mesin boiler. Pada *severity* terdapat ranking 8 dikarenakan mesin tidak dapat beroperasi, mesin telah kehilangan fungsi utama mesin, untuk *occurrence*

terdapat ranking 8 dikarenakan kerusakan terjadi tinggi dan untuk *number* terdapat ranking 3 dikarenakan perawatan *preventive* memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan. Maka dari itu komponen *Chain* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) sering terjadi kerusakan dan jika *chain* putus mengakibatkan mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) berhenti dan semua mesin yang berada di PLTU Tanjung Jati B unit 1.

Pada tahap Penyusunan *Logic Tree Analysis* (LTA) merupakan proses yang kualitatif digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC). Tujuan *Logic Tree Analysis* (LTA) adalah mengklasifikasikan *failure mode* ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya. Berikut adalah komponen yang sudah dikategorikan ke empat kategori dengan dibantu wawancara pada beberapa orang yang *expert* mesin boiler dan sub mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang dilakukan dengan Bapak Bakti kepala bagian *planning* di departemen *development*, Bapak Alfin kepala *maintenance* yang, Bapak Dwi Santoso *supervisor* mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dan Bapak Huda kepala *engineering* mesin boiler sebagai berikut :

1. Kategori A (*Safety Problem*) Apabila mode kegagalan mempunyai konsekuensi membahayakan keselamatan bahkan menyebabkan kematian pada seseorang. Kategori A tidak terdapat *Safety Problem* karena sudah memenuhi standar keselamatan yang sebelumnya seluruh karyawan PT. Tanjung Jati B Unit 1 Jepara harus mengikuti *safety induction* terlebih dahulu.
2. Kategori B (*Outage Problem*) Mode kegagalan dari suatu komponen dapat menyebabkan sistem kerja komponen terhenti sebagian atau keseluruhan sehingga berpengaruh terhadap *operational plant* seperti kuantitas, kualitas produk terhadap hasil produksi yang dapat membengkakan biaya. Kategori B terdapat 5 komponen jika salah satu komponen tersebut mengalami kegagalan maka menyebabkan sistem kerja komponen terhenti sebagian.
3. Kategori C (*Economic Problem*) Apabila mode kegagalan tidak mempunyai konsekuensi terhadap *safety* maupun terhadap operasional plant dan hanya mempengaruhi ekonomi yang relatif kecil meliputi biaya perbaikan. Kategori C

tidak terdapat *Economic Problem* dikarenakan mode kegagalan mempunyai konsekuensi terhadap *safety* maupun terhadap *operational plant*.

4. Kategori D (*Hidden Failure*) Apabila mode kegagalan memiliki dampak secara langsung namun apabila perusahaan tidak menanggulangnya resiko ini akan menjadi serius bahkan dapat memicu kegagalan lainnya. Kategori D memiliki 10 komponen yang termasuk pada *Hidden Failure* dikarenakan mode kegagalan memiliki dampak secara langsung namun apabila perusahaan tidak menanggulangnya resiko ini akan menjadi serius bahkan dapat memicu kegagalan lainnya.

Dalam penentuan mesin kritis diperoleh dari data *downtime* terbesar yang akan menunjukkan tingkat kepentingan dari sebuah mesin yang dianggap mempunyai tingkat resiko tertinggi sehingga memerlukan perlakuan khusus dengan melakukan perbaikan pada mesin tersebut. Mesin yang memiliki *downtime* tertinggi yaitu mesin boiler sebesar 33.219 menit atau 39,46% dan pada sub mesin yang memiliki *downtime* tertinggi yaitu sub mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) sebesar 8310 menit atau 23,24%. Dalam penentuan komponen kritis diperoleh dari hasil *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dimana perhitungan *Severity\* Occurency\* Detection* yang menghasilkan hasil *Risk Priority Number* (RPN) yang menunjukkan tingkat kepentingan dari sebuah komponen yang dianggap mempunyai tingkat resiko tertinggi sehingga memerlukan perlakuan khusus dengan melakukan perbaikan. Komponen kritis dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi pada komponen *Chain* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yaitu sebesar 192. Nilai ini menggambarkan komponen *Chain* mengalami kegagalan yang harus ditangani akibat komponen tersebut bisa terjadi putus dan mematikan mesin.

## 5.2 Analisis Pengolahan Data Kualitatif (Penentuan Tindakan Perawatan)

Pemilihan tindakan merupakan tahap terakhir dari proses analisa *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Dari tiap mode kerusakan dibuat daftar tindakan yang mungkin untuk dilakukan dan selanjutnya memilih tindakan yang paling efektif. Pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) bahwa pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) disimpulkan pada setiap komponen dengan dibantu wawancara pada beberapa orang yang *expert* mesin boiler dan sub mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) yang dilakukan dengan Bapak Bektu kepala bagian *planning* di departemen *development*, Bapak Alfin kepala *maintenance* yang, Bapak Dwi Santoso *supervisor* mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) dan Bapak Huda kepala *engineering* mesin boiler sebagai berikut:

A. *Time Direct* (TD) atau *Preventive Maintenance* (PM) terdapat 5 komponen yang sesuai dengan perawatannya dengan adanya tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur ataupun waktu dari komponen dimana adanya perawatan pencegahan dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin. Kebijakan ini cukup baik dapat mencegah berhentinya mesin yang tidak direncanakan.

B. *Condition Direct* (CD) atau *Predictive Maintenance* (PDM) terdapat 11 komponen yang sesuai dengan perawatannya dengan adanya tindakan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa dan inspeksi. Komponen dibawah ini didalam inspeksi terdapat gejala – gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen dengan *Predictive Maintenance* (PDM).

Hasil yang didapat pada komponen kritis yaitu *chain* termasuk kedalam tindakan perawatan pencegahan dimana tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur ataupun waktu dari komponen dimana adanya perawatan pencegahan dilakukan sebelum terjadi kerusakan mesin agar setiap umur komponen sudah tercapai maka harus dilakukan penggantian untuk meminimalisir kegagalan pada mesin.

## 5.3 Analisis Pengolahan Data Kuantitatif (Penentuan Interval Pemeriksaan dan Penggantian Komponen Kritis)

Pada pengolahan data kuantitatif mendapatkan waktu interval pemeriksaan komponen *chain* selama 23 hari sekali dan interval penggantian selama 3,15 bulan sekali yang didapat pada rangkaian tabel 4.3 dari data yang dimasukkan kedalam

perhitungan distribusi, perhitungan distribusi, estimasi parameter, nilai *Mean Time To Repair* (MTTR) dan *Mean Time To Failure* (MTTF) kemudian menghitung waktu interval pemeriksaan komponen *chain* dan perhitungan waktu interval penggantian komponen *chain* dalam perhitungan tersebut hanya menggunakan data *downtime* komponen *chain* pada tabel 4.3 .

Pada analisis pola distribusi kerusakan yang dimana terdapat empat distribusi yaitu distribusi Log Normal, Eksponensial, *Weibull* dan Normal. Pada pola pengujian distribusi tersebut dilakukan untuk menghitung *Index Of Fit* waktu antar kerusakan dan perbaikan pada komponen kritis yaitu komponen *chain* pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC). Pada analisis pola distribusi kerusakan menggunakan metode *Least Square Curve Fitting* (LSCF) untuk menentukan distribusi yang digunakan dengan mempertimbangkan *Index Of Fit* terbesar dan hasil *Index Of Fit* pada pengujian distribusi dengan metode *Least Square Curve Fitting* (LSCF) untuk data waktu antar kerusakan komponen *chain*.

Pada hasil pola distribusi yang terbesar setelah pengujian empat distribusi yang dimana didapat dari perhitungan mulai *downtime* sampai selesai *downtime* dengan data DT,  $t_i$ ,  $t_i$  urut yang dimulai dari nol (0) dan perhitungan dari distribusi Eksponensial dan Normal dengan rumus  $t_i$ ,  $x_i = t_i$ ,  $X_i^2$ ,  $F(t_i)$ ,  $Y_i$ ,  $Y_i^2$  dan  $X_i.Y_i$  sedangkan distribusi Log Normal dan *Weibull* dengan rumus  $t_i$ ,  $x_i = \ln t_i$ ,  $X_i^2$ ,  $F(t_i)$ ,  $Y_i$ ,  $Y_i^2$  dan  $X_i.Y_i$  maka didapat distribusi Log Normal memiliki persentase terbesar dibandingkan distribusi Eksponensial, *Weibull* dan Normal. Distribusi Log Normal terdapat *Index Of Fit* sebesar 98,43% untuk data waktu antar kerusakan.

Pada hasil pola distribusi yang terbesar setelah pengujian empat distribusi yang dimana didapat dari perhitungan mulai *downtime* sampai selesai *downtime* dengan data DT,  $d_{t_i}$ ,  $d_{t_i}$  urut dan perhitungan dari distribusi Eksponensial dan Normal dengan rumus  $d_{t_i}$ ,  $x_i = d_{t_i}$ ,  $X_i^2$ ,  $F(d_{t_i})$ ,  $Y_i$ ,  $Y_i^2$  dan  $X_i.Y_i$  sedangkan distribusi Log Normal dan *Weibull* dengan rumus  $d_{t_i}$ ,  $x_i = \ln d_{t_i}$ ,  $X_i^2$ ,  $F(d_{t_i})$ ,  $Y_i$ ,  $Y_i^2$  dan  $X_i.Y_i$  maka didapat distribusi Log Normal memiliki persentase terbesar dibandingkan distribusi Eksponensial, *Weibull* dan Normal. Distribusi Log Normal terdapat *Index Of Fit* sebesar 91,85% untuk data waktu antar perbaikan.

Pada distribusi yang sudah didapat dari *Index Of Fit* (  $r$  ) terbesar maka harus diuji kembali agar distribusi yang terpilih benar – benar mewakili data waktu antar kerusakan dan perbaikan. Hasil dari *Index Of Fit* (  $r$  ) terbesar pada data waktu antar kerusakan diperoleh pada distribusi Log Normal, maka uji kecocokan tersebut

dilakukan dengan menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test*. Jika hasil uji *Kolmogorov-Smirnov Test* dengan adanya  $H_0$  diterima maka data antar waktu kerusakan berdistribusi Log Normal sedangkan untuk data waktu antar perbaikan diperoleh pada distribusi Log Normal, maka uji kecocokan tersebut dilakukan dengan menggunakan Uji *Kolmogorov-Smirnov Test*. Jika hasil uji *Kolmogorov-Smirnov Test* dengan adanya  $H_0$  diterima maka data antar waktu perbaikan berdistribusi Log Normal.

Setelah pola distribusi data waktu antar kerusakan diperoleh maka menentukan hasil dari *Mean Time To Failure* (MTTF) dengan menghitung estimasi dari data distribusi tersebut. Data waktu antar kerusakan mengikuti distribusi Log Normal, maka untuk hasil dari parameter distribusi antar kerusakan atau *Mean Time To Failure* (MTTF) sebagai berikut Komponen *chain* terdapat *Mean Time To Failure* (MTTF) sebesar 161.217,47 menit atau 2.686,96 jam. Komponen *chain* akan mengalami kerusakan setelah beroperasi sebesar 2.686,9 jam yang didapat dari perhitungan data  $\ln(t_i)$ ,  $[\ln(t_i) - \bar{x} \ln(t_i)]^2$ ,  $Z_{ti}$ ,  $F_{ti}$ ,  $D_1$  dan  $D_2$ .

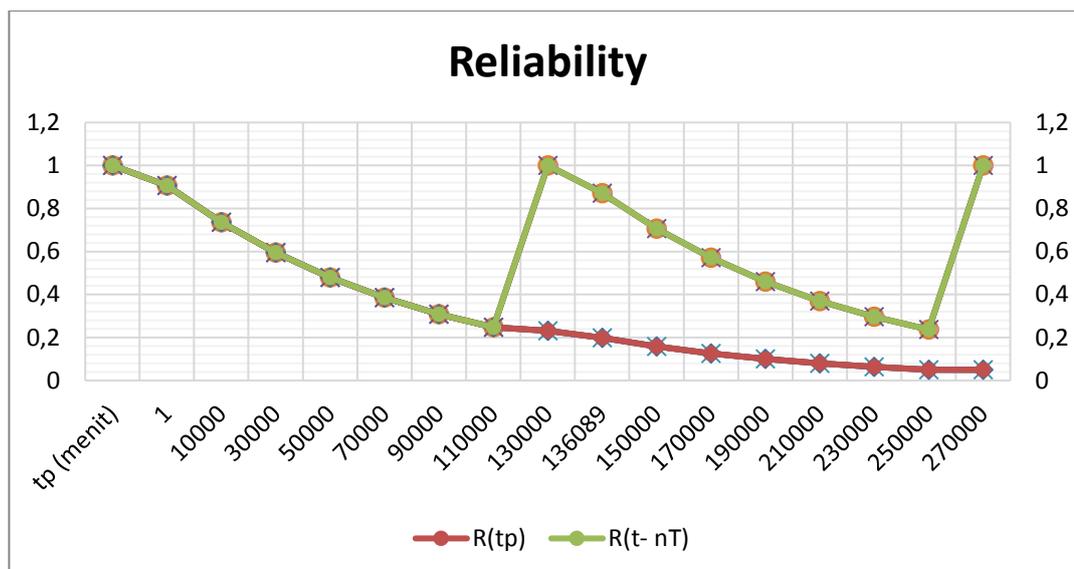
Setelah pola distribusi data waktu antar perbaikan diperoleh maka menentukan hasil dari *Mean Time To Repair* (MTTR) dengan menghitung estimasi dari data distribusi tersebut. Data waktu antar kerusakan mengikuti distribusi Log Normal, maka untuk hasil dari parameter distribusi antar perbaikan atau *Mean Time To Repair* (MTTR) sebagai berikut Komponen *chain* terdapat *Mean Time To Repair* (MTTR) sebesar 456,01 menit atau 7,6 jam. Komponen *chain* akan mengalami perbaikan selama 7,6 jam yang didapat dari perhitungan data  $\ln(t_i)$ ,  $[\ln(t_i) - \bar{x} \ln(t_i)]^2$ ,  $Z_{ti}$ ,  $F_{ti}$ ,  $D_1$  dan  $D_2$ .

Setelah menentukan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) maka menentukan perhitungan selang waktu penggantian pencegahan dengan parameter pada distribusi yang telah lulus uji kecocokan distribusi. Menghitung selang waktu pencegahan penggantian menggunakan kriteria minimasi *downtime* dimana hasil perhitungan dengan kriteria minimasi *downtime* yang dipilih yaitu yang menghasilkan nilai *downtime* terkecil dan model yang digunakan yaitu *Age Replacement* dengan menggunakan distribusi Log Normal. Untuk nilai *Mean Time To Repair* (MTTR) yaitu nilai yang murni dari perhitungan dengan jumlah kerusakan pada Januari 2015 sampai Januari 2020 sebesar 115 kali bahwa jumlah kerusakan ini berdasarkan dari data *downtime*.

Dari pengolahan data didapat bahwa komponen *chain* untuk interval waktu penggantian yaitu selama 136.089 menit atau sekitar 3,15 bulan yang didapat dari perhitungan  $t_p$ ,  $R(t_p)$ ,  $F(t_p)$ ,  $t_p + T_p$ ,  $MTTF/F(t_p) + T_f$  dan  $D(t_p)$  untuk  $D(t_p)$  diambil yang terkecil dan didapat pada  $t_p$  ke 136.086 dengan min  $D(t_p)$  sebesar 0,0021627806734965. Komponen kritis yaitu *chain* harus sudah diganti dengan *chain* yang sudah dipotong setelah beroperasi selama 3,15 bulan dengan adanya interval waktu penggantian pencegahan komponen kritis dan umur pemakaian *chain* harus sudah diganti dengan komponen baru selama 1 tahun. Perusahaan dapat menjadwalkan penggantian pencegahan pada komponen *chain* dengan terjadwal. Sedangkan interval pemeriksaan komponen kritis diperoleh 23 hari, maka komponen *chain* diperiksa setiap 23 hari sekali. Dimana untuk mencegah terjadinya kerusakan yang mengakibatkan terganggunya sistem produksi dikarenakan komponen yang membuat mesin terhenti beroperasi.

Pada PT. Tanjung Jati B *Power Services* Unit 1 PLTU Jepara yaitu perusahaan yang belum menerapkan *preventive maintenance* yang dimana dalam interval waktu penggantian tidak menentu dikarenakan hanya melihat dari kondisi, jika kondisi komponen *chain* masih dapat digunakan maka tetap digunakan sampai parameter kelonggarannya yang menggunakan *weigher* sudah memanjang ukurannya (cm). Jika tetap dilakukan dengan belum adanya *preventive maintenance* maka kualitas komponen *chain* akan menurun dan menimbulkan kemungkinan besar terjadi kegagalan ataupun kerusakan mesin yang akan mengganggu sistem produksi pada perusahaan. Maka dari itu adanya perhitungan penggantian komponen kritis dari sebelum penggantian yang tidak menentu menjadi selama 3,15 bulan penggantian komponen agar meminimalisir kegagalan sistem produksi.

Analisis perbandingan *Reliability* bahwa tindakan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang dimana diharapkan dapat meningkatkan keandalan (*reliability*) yang dimana komponen merupakan suatu peluang sehingga nilai tertinggi yaitu satu (1). Dibawah ini yaitu grafik tingkat keandalan sesudah dan sebelum penentuan interval waktu penggantian pencegahan komponen :



Gambar 5. 1 Reliability

Sumber : Pengolahan Data

Pada gambar 5.1 untuk menit ke - 1 dengan adanya grafik berwarna merah atau  $R(tp)$  (sebelum dilakukan *preventive maintenance*) dan grafik berwarna hijau atau  $R(t-Nt)$  (sesudah dilakukan *preventive maintenance*) dimana mempunyai nilai keandalan 1 bahwa tingkat keandalan optimal karena kondisi komponen yang sudah diganti. Dan pada menit ke 10.000 adanya penurunan sampai menit ke 13.000 dikarenakan seiring berjalannya waktu maka komponen akan mengalami penurunan keandalan. Tetapi pada menit ke 136.089 untuk grafik berwarna hijau mengalami kenaikan karena telah dilakukannya penggantian pencegahan sehingga komponen mengalami kenaikan keandalan (*reliability*) dikarenakan kondisi yang sudah diganti.

#### 5.4 Kekurangan Dalam Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan terdapat kekurangan yaitu hanya membahas satu komponen kritis dari mesin yang paling kritis serta tidak mempertimbangkan pengaruh dari komponen lain dalam perhitungan *reliability* dan diasumsikan ketika komponen diganti maka kondisi mesin akan seperti baru.

Kemudian kekurangan pada tahap penentuan tindakan perawatan digunakan asumsi jika tindakan perawatan tersebut efektif untuk diterapkan dan meminimalisir kegagalan mesin. Selain itu pada tahap perhitungan interval pemeriksaan dan penggantian komponen kritis digunakan dengan asumsi jika mesin tersebut diganti maka kondisinya kembali seperti awal.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Komponen yang tergolong kritis pada mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) didapat dari *Failure Mode Effect and Analysis* (FMEA) dimana dilihat dari *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi pada setiap komponen mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) bahwa komponen *chain* yang dimana  $severity * occurrence * number$  dengan  $8 \times 8 \times 3 = 192$ .
2. Tindakan perawatan yang optimal pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) bahwa pada mesin *Submerged Scrape Chain Conveyor* (SSCC) disimpulkan pada setiap komponen sebagai berikut :
  - A. *Time Direct* (TD) atau *Preventive Maintenance* (PM)

*Time Direct* (TD) atau *Preventive Maintenance* (PM) terdapat 5 komponen mengalami tindakan perawatan yang dilakukan secara langsung terhadap sumber kerusakan dengan didasari umur ataupun waktu dari komponen.
  - B. *Condition Direct* (CD) atau *Predictive Maintenance* (PDM)

*Condition Direct* (CD) atau *Predictive Maintenance* (PDM) terdapat 11 komponen mengalami tindakan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa dan inspeksi. Apabila didalam inspeksi terdapat gejala – gejala kerusakan, maka dilanjutkan dengan perbaikan atau penggantian komponen.
3. Pada interval kerusakan dan perbaikan mesin *Submerged Scraper Chain Conveyor* (SSCC) bahwa *Mean Time To Failure* (MTTF) didapat sebesar 161217,4793 menit atau 2.686,96 jam. Komponen *chain* akan mengalami kerusakan setelah beroperasi sebesar 2.686,9 jam atau 111,96 hari. Sedangkan *Mean Time To Repair* (MTTR) didapat 456,0147922 menit atau 7,6 jam dan adanya komponen *chain* akan mengalami perbaikan selama 7,6 jam. Waktu interval penggantian dan pencegahan komponen kritis bahwa dari pengolahan data didapat bahwa komponen *chain* pada interval waktu penggantian selama 136.089 menit atau sekitar 94,51 hari atau 3,15 bulan.

## 6.2 Saran

### 6.2.1 Saran Untuk Perusahaan

Adapun saran – saran yang dapat diberikan sebagai masukan perusahaan dan penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Berdasarkan dari hasil penelitian diatas bahwa peneliti menyarankan agar *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ini dapat lebih diterapkan sebagai pendekatan sistem perawatan mesin di PT. Tanjung Jati B Unit 1 PLTU Jepara. Karena dengan adanya penerapan konsep *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ini, perusahaan dapat mengetahui jenis tindakan perawatan yang optimal sehingga dapat meningkatkan keandalan mesin-mesin perusahaan.
2. Berdasarkan dari hasil penelitian diatas bahwa peneliti menyarankan agar lebih baik tentang pemeriksaan umur tiap komponen serta kondisi dari tiap komponen selama 23 hari sekali agar tidak terjadi *downtime* pada komponen mesin tersebut.

### 6.2.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Diperhitungkan untuk komponen lain selain komponen kritis yang didapatkan dalam penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alkaf Khamdi, Abbdulloh, 1992, Teknik Keandalan Sistem, Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya
- Arif, 2009, Penilaian Pabrik, Mesin dan peralatan, Gramedia, Jakarta
- Atrisita Diastari, Priyo Agus Setiawan, Aulia Nadia Rachmat. 2017. “Penjadwalan *Maintenance* Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) Pada Mesin Pendingin Sabroe Di PT. Smart Tbk”, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Ben-Daya, M., 2000. *You May Need RCM to Enhance TPM Implementation. Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 82-85.
- Blanchard, B.S. 1980. *Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management*. Wiley Series, USA.
- Corder, Antony, Teknik Manajemen Pemeliharaan, Erlangga, Jakarta, 1992.
- Corder, A.S. 1988. Teknik Manajemen Pemeliharaan. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Dhillon, B.S. 1997. *Reliability Engineering in System Design and Operation*. Van Nostrand Reinhold Company, Inc., Singapore.
- Dhillon, B.2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. CRC Press.
- Ebeling, C.E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. The Mc-Graw Hills Companies Inc., Singapore.
- Gaspersz, V. 1992. Analisis Sistem Terapan: Berdasarkan Pendekatan Teknik Industri. Penerbit “Tarsito”, Bandung.
- Heri Wibowo, Ahmad Sidiq dan Ariyanto. 2018. “Penjadwalan Perawatan Komponen Perawatan Komponen Kritis Dengan Pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Pada Perusahaan Karet”, Universitas Malahayati.

- Iksan. 2010. “Menentukan interval perawatan pencegahan padamesin stripping di PT Aditama Raya Farmino dengan metode age replacement”. *Agritek*, Vol. 5 (1), pp. 61 – 71.
- Ikramullah Zein, Dewi Mulyati, Ilham Saputra. 2019. “Perencanaan Perawatan Mesin Kompresor Pada PT. Es Muda Perkasa Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)”, Universitas Serambi Mekkah.
- IR. Ating Sudrajad, MT. 2011. *Manajemen Perawatan Mesin Industri*
- Jardine, AKS, 1997, *Maintenance Replacement dan Reability Titman Publishing*, New York.
- Kementerian ESDM. “Konsumsi Listik Nasional”, <https://databoks.katadata.co.id>, 2020
- Lewis, EE., 1987, *Introduction To Reliability Engineering, Department of Mechanical and Nuclear Engineering Northwestern University*, John Willey & Sons.
- Mobley, R Keith. 1999. “*Root Cause Failure Analysis*”. Woburn: Butterworth-Heinemann.
- Moubray, John. 1991. *Reliability Centered Maintenance II*. Oxford: Butterworth-Heinemann, Ltd.
- Moubray, J. 1997. *Reliability Centered Maintenance II*. New York: Industrial Press Inc.
- Prawirosentono, Suyadi. 2001. *Manajemen Operasi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Rausand, M dan Hoyland, A. 2004. *System Reliability Theory Models, Statistical Methods and Applications*. John Wiley & Sons, United States of America.
- Reza Satya Rahmawan, Rd. Rohmat Saedudin, dan Amelia Kurniawati. 2015. “Optimasi Kebijakan Perawatan *Base Transceiver Station* (BTS) Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Studi Kasus : PT Telkomsel Kota Bandung”, Bandung.
- Smith, A. M. & Glenn, H. R. (2004). *RCM – Gateway to World Class Maintenance*. London : Elsevier Inc.

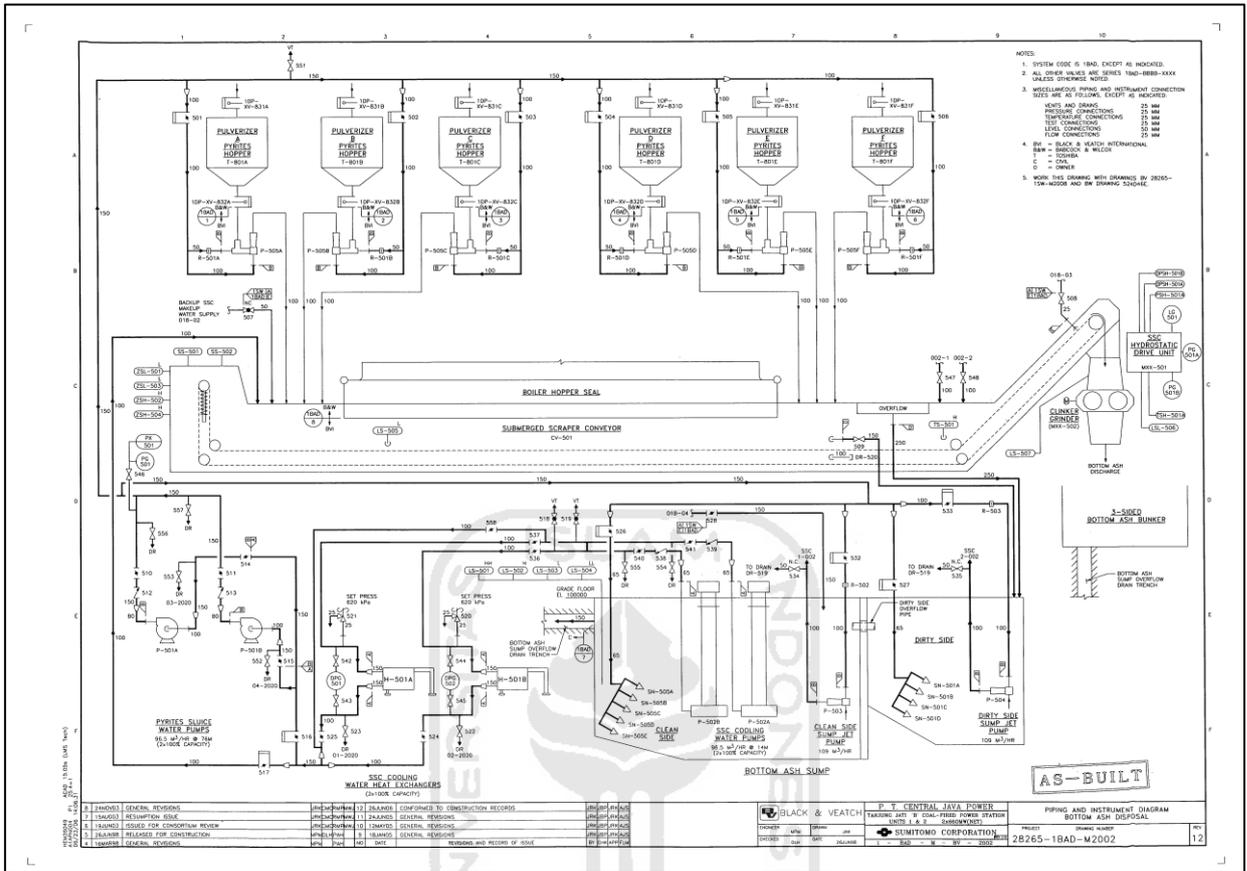
Sunaryo, ST,MT, Legisnal, ST,MT , Ir.Denur, MM. 2018. “Aplikasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Pada Sistem Saluran Gas Mesin Wartsila”, Universitas Muhammadiyah Riau.

Walpole, R. E., Myers, R. H., dan Myers, S. L., 1995, Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan, ITB, Bandung.

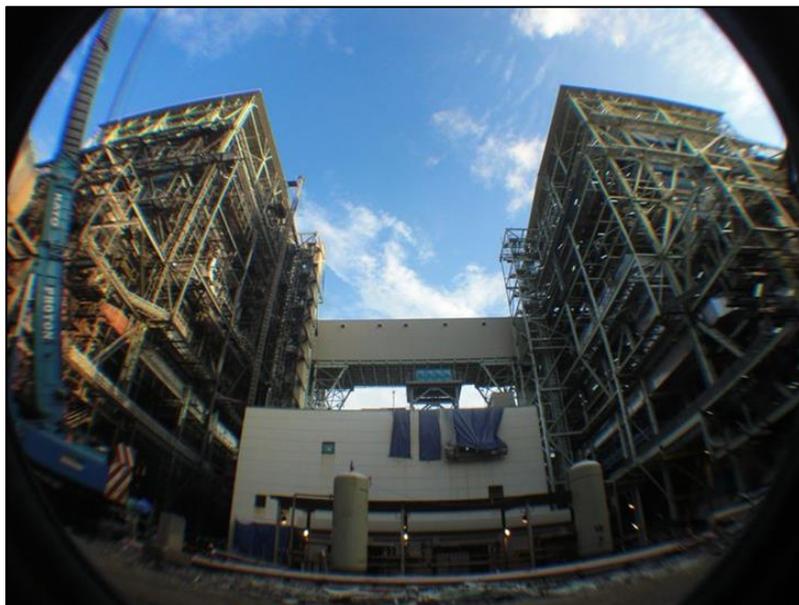
Walpole, R. E., Myers, R. H., dan Myers, S. L., 2003, *Probabilitas & Statistika untuk Teknik dan Sains*, Prenhallindo, Jakarta.



# LAMPIRAN



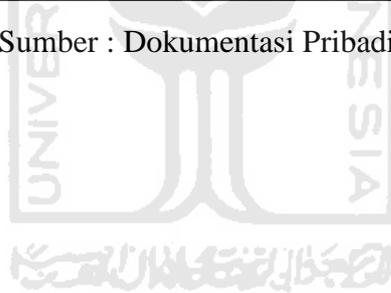
Sumber : PT. Tanjung Jati B Unit 1 & 2 PLTU Jebara



Sumber : Dokumentasi Pribadi



Sumber : Dokumentasi Pribadi



1. Tabel *Kolmogorov-Smirnov*

$n \backslash \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68987	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26896	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18645	0.16982	0.15790	0.14886
<b>OVER 50</b>	<b>1.94947</b>	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$

Sumber : Walpole, R. E., Myers, R. H., dan Myers, S. L., 1995, Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan, ITB, Bandung.

## 2. Tabel Fungsi Gamma

c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$
1.01	0.99433	1.51	0.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	0.98884	1.52	0.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	0.98355	1.53	0.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	0.97844	1.54	0.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	0.97350	1.55	0.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	0.96874	1.56	0.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	0.96415	1.57	0.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	0.95973	1.58	0.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	0.95546	1.59	0.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	0.95153	1.60	0.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	0.94740	1.61	0.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	0.94359	1.62	0.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	0.93993	1.63	0.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	0.93642	1.64	0.89864	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	0.93304	1.65	0.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	0.92980	1.66	0.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	0.92670	1.67	0.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	0.92373	1.68	0.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	0.92089	1.69	0.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	0.91817	1.70	0.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	0.91558	1.71	0.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	0.91311	1.72	0.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	0.91075	1.73	0.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	0.90852	1.74	0.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	0.90640	1.75	0.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	0.90440	1.76	0.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	0.90250	1.77	0.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	0.90072	1.78	0.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	0.89904	1.79	0.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	0.89747	1.80	0.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	0.89600	1.81	0.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	0.89464	1.82	0.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	0.89338	1.83	0.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	0.89222	1.84	0.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	0.89115	1.85	0.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938
1.36	0.89018	1.86	0.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	0.88931	1.87	0.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	0.88854	1.88	0.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	0.88785	1.89	0.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	0.88726	1.90	0.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	0.88676	1.91	0.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	0.88636	1.92	0.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	0.88604	1.93	0.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	0.88581	1.94	0.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	0.88566	1.95	0.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	0.88560	1.96	0.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92814
1.47	0.88563	1.97	0.98769	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	0.88575	1.98	0.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	0.88595	1.99	0.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	0.88623	2.00	1.00000	2.50	1.32934	3.00	2.00000

Sumber : Ebeling, C.E. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*,  
Mc Graw-Hill, New York, 1997

Sumber : Ebeling, C.E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. The Mc-Graw Hills, New York, 1997.