



TESIS PM-147501

**ANALISA INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN
PENCEGAHAN KOMPONEN KRITIS EXCAVATOR
KOMATSU PC1250-8R UNTUK MEMINIMASI
BREAKDOWNTIME DI PT XYZ**

Rony Affandi Rachman
09211450015005

DOSEN PEMBIMBING
Nani Kurniati ST. MT. PhD.

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS PM-147501

**ANALISA INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN
PENCEGAHAN KOMPONEN KRITIS EXCAVATOR
KOMATSU PC1250-8R UNTUK MEMINIMASI
BREAKDOWNTIME DI PT XYZ**

Rony Affandi Rachman
09211450015005

DOSEN PEMBIMBING
Nani Kurniati ST. MT. PhD.

DEPARTEMEN MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
FAKULTAS BISNIS DAN MANAJEMEN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Rony Affandi Rachman
NRP. 09211450015005

Tanggal Ujian : 15 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh:


1. Nani Kurniati ST, MT, Ph.D.
NIP. 197504081998022001

(Pembimbing)


2. Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc (Eng)
NIP. 196506301990031002

(Penguji)


3. Prof. Dr. Ir. Budi Santosa, MSc
NIP. 196905121994021001

(Penguji)

Dekan Fakultas Bisnis dan Manajemen Teknologi,


Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc
NIP. 19590318 198701 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayahNya sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan judul “ Analisa Interval Waktu Penggantian Pencegahan Komponen Kritis Excavator Komatsu PC 1250-8R Untuk Meminimasi *Breakdown Time* di PT. XYZ “. Tesis ini terdiri dari beberapa pokok bahasan yang meliputi: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Pengumpulan dan Pengolahan Data, Analisa dan Intepretasi Data serta Kesimpulan dan Saran.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak penulis tidak akan mampu menyelesaikannya dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam dalamnya kepada para pihak:

1. Ibu Nani Kurniati ST. MT. PhD. , selaku dosen pembimbing yang telah dengan begitu baik dan dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan kepada penulis, menyediakan waktu, tenaga, serta pikiran demi mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, MSc(Eng) dan Bapak Prof. Dr. Ir. Budi Santosa MsC selaku penguji pada sidang Tesis penulis, terima kasih.
3. Para Dosen MMT ITS, terima kasih kepada Bapak/ Ibu yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama penulis belajar di MMT Institut Teknologi Sepuluh November.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan ilmu pengetahuan bagi kita semua.

Malang, 29 Januari 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISA INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN PENCEGAHAN
KOMPONEN KRITIS EXCAVATOR KOMATSU PC1250-8R UNTUK
MEMINIMASI *BREAKDOWN TIME* DI PT XYZ**

Nama Mahasiswa : Rony Affandi Rachman
NRP : 09211450015005
Pembimbing : Nani Kurniati ST. MT. PhD.

Abstrak

Sistem pemeliharaan dan perawatan yang benar berpengaruh terhadap kelancaran operasional perusahaan. Pada tambang batubara terbuka, kondisi cuaca sangat mempengaruhi ketersediaan waktu untuk melakukan kegiatan penambangan. Perusahaan tambang dituntut untuk bisa mengoptimalkan waktu yang tersedia. Untuk itu, diperlukan peralatan yang mempunyai tingkat availabilitas yang tinggi. Beberapa pemilik tambang, memilih opsi untuk menyewa alat berat kepada perusahaan persewaan alat berat yang dirasa lebih mampu untuk menyediakan peralatan alat berat dengan availability yang tinggi. PT XYZ, sebuah perusahaan persewaan alat berat, mendapatkan kontrak sewa alat berat berupa empat buah Excavator Komatsu PC1250-8R dengan sebuah tambang batubara terbuka di Kalimantan Selatan. Untuk bisa memenuhi target ketersediaan alat berat yang dibebankan pemilik tambang, PT XYZ harus menerapkan strategi pemeliharaan dan perawatan yang tepat. Availability excavator yang tinggi dapat diraih dengan cara meminimasi downtime yang terjadi. Disamping itu, sejak tahun 2012 terjadi penurunan harga batubara yang berimbas terhadap harga sewa alat berat yang mengalami penurunan. Sehingga, selain harus bisa mengurangi downtime yang terjadi PT XYZ dituntut juga harus dapat meminimasi biaya pemeliharaan dan perawatan untuk bisa survive. Agar minimasi downtime excavator memiliki dampak yang cukup besar, maka harus ditentukan komponen kritis mana yang mempunyai pengaruh paling terhadap downtime peralatan. Setelah diketahui komponen kritis, maka akan dicari juga interval penggantian pencegahan optimum untuk mendapatkan downtime yang minimal. Berdasarkan hasil penelitian ini didapat komponen kritis Excavator Komatsu PC1250-8R adalah *Tooth Adapter* , *Seal Kit Stick Cylinder* , *Track Adjuster* dan *Water Pump*. Sedangkan Interval penggantian komponen optimum *tooth adapter* adalah 3832 jam, komponen seal kit stick cylinder adalah 3698 jam, komponen track adjuster adalah 6338 jam dan komponen water pump adalah 3999 jam.

Kata Kunci : *preventive replacement, reliability, availability, minimasi downtime*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PREVENTIVE REPLACEMENT INTERVAL OF KOMATSU
EXCAVATOR PC1250-8R CRITICAL PART ANALYSIS WITH
MINIMIZE DOWNTIME METHODE TO PT XYZ**

By : **Rony Affandi Rachman**
NRP : **09211450015005**
Supervisor : **Nani Kurniati ST. MT. PhD.**

Abstract

A proper maintenance and maintenance system affects operation of the company. In open coal mines, weather conditions greatly affect the time available for mining activities. Mining companies are required to optimize available time. Therefore, equipment that has a high degree of availability is required. Some mine owners choose the option to lease heavy equipment from heavy equipment rental companies that are more able to provide heavy equipment with high availability. PT XYZ, a heavy equipment rental company, obtained a heavy equipment rental contract in the form of four Komatsu PC1250-8R Excavators with an open coal mine in South Kalimantan. To meet the heavy equipment availability target of the mine owner, PT XYZ must implement appropriate maintenance and maintenance strategies. A high availability excavator can be obtained by minimizing downtime. However, since 2012 there has been a decline in coal prices that impact on the rental price of heavy equipment that has decreased. Thus, in addition to reducing downtime, PT XYZ is also required to be able to minimize maintenance costs to survive. To minimize downtime of the excavator having a considerable impact, company must determined the critical components having the most influence on equipment downtime. After the critical component is known, it will also look for optimum prevention replacement interval to get minimal downtime. Based on the results of this study, Komatsu Excavator PC1250-8R critical components are Tooth Adapter, Stick Cylinder Seal Kit, Track Adjuster and Water Pump. The optimum component replacement interval of tooth adapter is 3832 hours, cylinder stick seal kit component is 3698 hours, track adjuster component is 6338 hours and water pump component is 3999 hours.

Keyword : *preventive replacement, reliability, availability, minimize downtime*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| HALAMAN JUDUL | |
| LEMBAR PENGESAHAN | |
| KATA PENGANTAR | i |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 4 |
| 1.2.1 Batasan Penelitian | 4 |
| 1.2.2 Asumsi Penelitian..... | 4 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 5 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 6 |
| 1.5 Sistematika Penelitian..... | 6 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 9 |
| 2.1 <i>Maintenance</i> (Perawatan) | 9 |
| 2.1.1 Tiga Generasi Manajemen Perawatan..... | 10 |
| 2.1.2 Konsep Dasar Perawatan..... | 11 |
| 2.2 <i>Planned Maintenance</i> | 11 |
| 2.2.1 <i>Preventive Maintenance</i> | 12 |
| 2.2.2 <i>Corrective Maintenance</i> | 13 |
| 2.2.3 <i>Predictive Maintenance</i> | 13 |
| 2.3 <i>Unplanned Maintenance</i> | 13 |
| 2.4.1 Fungsi Keandalan..... | 14 |
| 2.4.2 Penilaian Keandalan | 14 |

| | | |
|-------------|--|----|
| 2.4.3 | <i>Mean Time Between Failure (MTBF)</i> | 15 |
| 2.4.4 | Karakteristik Kegagalan | 15 |
| 2.5 | Laju Kegagalan..... | 17 |
| 2.6 | Pola Distribusi Data Antar Kegagalan..... | 17 |
| 2.6.1 | Distribusi Eksponensial | 18 |
| 2.6.2 | Distribusi Normal..... | 18 |
| 2.6.3 | Distribusi Lognormal..... | 19 |
| 2.6.4 | Distribusi <i>Weibull</i> | 20 |
| 2.7 | Keputusan Penggantian Komponen..... | 21 |
| 2.7.1 | Komponen Kritis..... | 21 |
| 2.7.2 | <i>Interval Preventive Replacement</i> yang Optimal: Meminimalkan <i>Downtime</i> | 22 |
| 2.8 | Optimasi Biaya Interval Pemeliharaan Peralatan | 24 |
| 2.9 | <i>Availability</i> | 26 |
| 2.10 | Penelitian Terdahulu | 27 |
| III. | METODOLOGI PENELITIAN | 32 |
| 3.1 | Studi Lapangan..... | 32 |
| 3.2 | Tinjauan Pustaka..... | 34 |
| 3.3 | Penetapan Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian..... | 34 |
| 3.4 | Pengumpulan Data..... | 34 |
| 3.5 | Pengolahan Data | 34 |
| 3.6 | Analisis dan Pembahasan..... | 35 |
| 3.7 | Kesimpulan dan Saran | 35 |
| IV | PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA | 36 |
| 4.1 | Pengumpulan Data..... | 36 |
| 4.2 | Penentuan Komponen Kritis | 37 |
| 4.3 | Pengujian Distribusi Data dan Parameternya..... | 39 |
| 4.4 | Perhitungan MTTF dan MTTR Komponen | 39 |
| 4.5 | Perhitungan Biaya..... | 40 |
| 4.5.1 | Biaya Tenaga Kerja..... | 40 |
| 4.5.2 | Biaya <i>Lost Production</i> | 40 |
| 4.5.3 | Biaya <i>Preventive Replacement</i> pada Komponen | 41 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 4.5.4 | Biaya <i>Corrective Replacement</i> pada Komponen | 42 |
| 4.6 | Perhitungan Interval Penggantian Komponen untuk Meminimumkan Biaya Total Penggantian | 43 |
| 4.7 | Perhitungan Interval Penggantian Komponen untuk Meminimumkan <i>Downtime</i> | 44 |
| 4.8 | Perhitungan Biaya Total Penggantian dan <i>Downtime</i> untuk MTTF .. | 45 |
| V | ANALISA DAN INTERPRETASI DATA | 46 |
| 5.1 | Analisa Pemilihan Komponen Kritis | 46 |
| 5.2 | Analisa MTTF dan MTTR | 46 |
| 5.3 | Analisa Biaya Penggantian Komponen | 47 |
| 5.4 | Analisa Interval <i>Preventive Replacement</i> Otimal Komponen | 48 |
| 5.5 | Analisa Perbandingan Total Biaya dan Total <i>Downtime</i> antara Kebijakan Penggantian Komponen Eksisting, Rekomendasi Dealer dan Minimasi <i>Downtime</i> | 56 |
| 5.6 | Analisa <i>Availability</i> | 59 |
| VI | KESIMPULAN DAN SARAN | 62 |
| 6.1 | Kesimpulan | 62 |
| 6.2 | Saran | 62 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 64 |
| | LAMPIRAN | 66 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | <i>Bathtub Curve</i> | 16 |
| Gambar 2.2 | <i>Downtime Minimization, Optimal Interval</i> | 22 |
| Gambar 2.3 | <i>Age Based Replacement</i> | 23 |
| Gambar 2.4 | Grafik Optimasi Waktu Pemeliharaan Pencegahan | 24 |
| Gambar 2.5 | Hubungan antara <i>Availability, Reliability</i> dengan MTTF | 26 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Penelitian..... | 32 |
| Gambar 4.1 | Diagram Pareto Komponen | 36 |
| Gambar 5.1a | Kurva Laju Ekspektasi <i>Total Cost Tooth Adapter</i> | 49 |
| Gambar 5.1b | Kurva Laju Ekspektasi <i>Total Cost Seal Kit Stick Cylinder</i> | 49 |
| Gambar 5.1c | Kurva Laju Ekspektasi <i>Total Cost Track Adjuster</i> | 50 |
| Gambar 5.1d | Kurva Laju Ekspektasi <i>Total Water Pump</i> | 50 |
| Gambar 5.2a | Kurva Laju Ekspektasi <i>Downime Cost Tooth Adapter</i> | 51 |
| Gambar 5.2b | Kurva Laju Ekspektasi <i>Downime Seal Kit Stick Cylinder</i> | 51 |
| Gambar 5.2c | Kurva Laju Ekspektasi <i>Downime Track Adjuster</i> | 52 |
| Gambar 5.2d | Kurva Laju Ekspektasi <i>Downime Pump</i> | 52 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 1.1 | Produksi dan Cadangan Batubara Dunia | 1 |
| Tabel 1.2 | Harga Batubara Acuan Indonesia | 2 |
| Tabel 1.3 | Tipe dan Jumlah Alat Berat PT XYZ yang disewakan | 3 |
| Tabel 2.1 | Korelasi Penelitian yang Relevan..... | 29 |
| Tabel 4.1 | Rekap Data Jumlah Penggantian dan <i>Downtime</i> | 35 |
| Tabel 4.2 | Rekap Data Frekuensi Penggantian dan <i>Downtime</i> | 37 |
| Tabel 4.3 | Data Penggantian Komponen <i>Tooth Adapter</i> | 37 |
| Tabel 4.4 | Distribusi Data dan Parameter TTF dan TTR Komponen Kritis | 38 |
| Tabel 4.5 | Nilai MTTF dan MTTR Komponen Kritis | 39 |
| Tabel 4.6 | Biaya <i>Preventive Replacement</i> | 41 |
| Tabel 4.7 | Biaya <i>Corrective Replacement</i> | 41 |
| Tabel 4.8 | Perhitungan Interval tp Komponen <i>Tooth Adapter</i> | 42 |
| Tabel 4.9 | Perbandingan Interval Penggantian Optimum dan Rekomendasi Dealer | 43 |
| Tabel 4.10 | Perhitungan Interval tp Komponen <i>Tooth Adapter</i> (Minimasi <i>Downtime</i>) | 44 |
| Tabel 4.11 | Perbandingan Interval Penggantian Optimum dan Rekomendasi Dealer (<i>Minimasi Downtime</i>)..... | 44 |
| Tabel 4.12 | Nilai C(tp) dan D(tp) untuk MTTF..... | 44 |
| Tabel 5.1 | Perbandingan Interval Penggantian Komponen Kritis <i>Excavator</i> Komatsu PC1250-8R dengan Berbagai Metode | 53 |
| Tabel 5.2 | Perbandingan Total <i>Downtime</i> dan Total Biaya antara Kebijakan Eksisting, Rekomendasi Dealer dan Minimasi <i>Downtime</i> | 55 |
| Tabel 5.3 | Perbandingan Realibility Metode Minimasi <i>Downtime</i> dengan Rekomendasi <i>Dealer</i> | 56 |
| Tabel 5.4 | Perbandingan Availability Eksisting dengan Hasil Perhitungan..... | 57 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LatarBelakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil batubara terbesar di dunia. Berdasarkan data jumlah produksi dan cadangan batubara yang dikutip dari BP *Statistical Review of World Energy* edisi ke-64 tahun 2015, Indonesia menempati urutan ke tiga.

Tabel 1.1 Produksi dan Cadangan Batubara Dunia
Dalam Juta Mt

| No | Negara | Produksi Batubara | Cadangan Batubara |
|----|----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | China | 1,844.60 | 114,500 |
| 2 | USA | 507.80 | 237,295 |
| 3 | Indonesia | 281.70 | 28,017 |
| 4 | Australia | 280.80 | 76,400 |
| 5 | India | 243.50 | 60,600 |
| 6 | Rusia | 170.90 | 157,010 |
| 7 | Afrika Selatan | 147.70 | 30,156 |
| 8 | Kolombia | 57.60 | 6,746 |
| 9 | Kazakhstan | 55.30 | 33,600 |
| 10 | Polandia | 55.00 | 5,465 |

Sumber : BP *Statistical Review* 2015

Produksi batubara yang besar ini ditunjang oleh banyaknya tambang batubara yang beroperasi, terutama di pulau Sumatera dan Kalimantan. Masa keemasan tambang batubara terjadi pada tahun 2012. Harga batubara yang tinggi dan dengan biaya operasional yang rendah, membuat banyak perusahaan tambang memperoleh keuntungan yang besar. Akan tetapi, setelah tahun 2012, harga batubara mengalami penurunan. Akibatnya, perusahaan tambang harus melakukan efisiensi untuk bisa tetap hidup. Perubahan harga batubara di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.2 berikut :

Tabel 1.2 Harga Batubara Acuan Indonesia dalam US\$

| Bulan | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|
| January | 109.29 | 87.55 | 81.90 | 63.84 | 53.20 |
| February | 111.58 | 88.35 | 80.44 | 62.92 | 50.92 |
| March | 112.87 | 90.09 | 77.01 | 67.76 | 51.62 |
| April | 105.61 | 88.56 | 74.81 | 64.48 | |
| May | 102.12 | 85.33 | 73.60 | 61.08 | |
| June | 96.65 | 84.87 | 73.64 | 59.59 | |
| July | 87.56 | 81.69 | 72.45 | 59.16 | |
| August | 84.65 | 76.70 | 70.29 | 59.14 | |
| September | 86.21 | 76.89 | 69.69 | 58.21 | |
| October | 86.04 | 76.61 | 67.26 | 57.39 | |
| November | 81.44 | 78.13 | 65.70 | 54 | |

Sumber : Kementerian ESDM

Tambang batubara di Indonesia kebanyakan menggunakan sistem tambang terbuka (*open pit*). Tambang terbuka sangatlah bergantung pada kondisi cuaca. Apabila hujan deras turun, proses penambangan dihentikan. Oleh karenanya, waktu yang tersedia dimanfaatkan untuk melakukan proses penambangan. Proses penambangan ini berlangsung selama 24 jam setiap harinya. Proses penambangan dimulai dengan *over burden removal*, yaitu proses untuk membuang lapisan tanah yang menutupi batubara. Proses ini membutuhkan beberapa peralatan alat berat. *Excavator* digunakan sebagai alat penggali tanah, kemudian menaikkan tanah yang digali tersebut ke bak *dump truck*. *Dump truck* mengangkut tanah *over burden* menuju disposal. Setelah lapisan tanah habis dikupas, *excavator* akan menggali batubara dan memindahkannya ke bak *dump truck* untuk dibawa ke *stock room* ataupun langsung ke pelabuhan batubara. Selain itu, untuk perawatan *hauling road*, diperlukan adanya *bulldozer* dan *motorgrader*.

Tambang batubara yang besar, akan membutuhkan banyak sekali alat berat untuk menjalankan operasionalnya. Padahal harga alat berat sangatlah mahal. Sehingga untuk menekan biaya investasi, biasanya pemilik tambang akan

menyewa alat dari kontraktor. Adapun untuk menjamin peralatan yang disewa bisa bekerja dengan optimum, pihak pemilik tambang memberi *Key Performance Index* (KPI) berupa target *Availability*. PT XYZ adalah salah satu perusahaan yang menyewakan alat berat pada pemilik tambang. Type alat berat yang disewakan oleh PT XYZ pada sebuah perusahaan tambang di Kalimantan Selatan dapat dilihat pada tabel 1.3

Tabel 1.3 Type dan Jumlah Alat Berat PT XYZ yang Disewakan

| No | Type | Model | Brand | Jumlah |
|----|--------------|-----------|-------------|---------|
| 1 | Excavator | PC1250-8R | Komatsu | 4 Unit |
| 2 | Dump Truck | HD465 | Komatsu | 10 Unit |
| 3 | Dump Truck | OHT773E | Caterpillar | 10 Unit |
| 4 | Motor Grader | 16G | Caterpillar | 1 Unit |
| 5 | Motor Grader | 16H | Caterpillar | 1 Unit |

Sumber : PT XYZ

Selama dalam kontrak kerja dengan pemilik tambang, PT XYZ terkendala dengan kegiatan *maintenance*, terutama dikarenakan turunnya harga batubara. Hal ini menyebabkan revisi harga kontrak sewa alat berat. Saat ini PT XYZ telah menerapkan berbagai strategi *maintenance* berupa *preventive*, *predictive* dan *corrective maintenance*.

Preventive maintenance berupa *preventive replacement* dilakukan sesuai petunjuk pemakaian dan perawatan yang dikeluarkan oleh *dealer* dan pabrikan, namun hanya sebatas untuk filter (oli, bahan bakar, udara) dan lubrikasi (*hydraulic* dan mesin). Sedangkan untuk komponen lain tidak terdapat panduannya. *Dealer* hanya memberi contoh dari perusahaan lainnya. Hal ini tidak dapat dijadikan acuan karena kondisi operasi dan material yang dihadapi berbeda-beda antar tambang. Sehingga untuk komponen-komponen tersebut saat ini PT XYZ menerapkan strategi *corrective replacement*.

Strategi *corrective replacement* yang diterapkan membuat beberapa kesulitan bagi PT XYZ. Adapun kesulitan tersebut adalah alokasi *resources*, penjadwalan, dan anggaran. Dengan menerapkan *corrective replacement*, PT XYZ haruslah selalu menyiapkan *spare part* ataupun komponen tersebut, padahal

jumlah komponen alat berat sangatlah banyak, belum harganya yang tergolong mahal. Selain itu, dengan tiadanya jadwal penggantian komponen yang pasti, PT XYZ kesulitan dalam mengalokasikan *man power*, peralatan maupun ruang *workshop*. Adapun bila *sparepart* atau komponen yang rusak tidak tersedia, maka perlu dilakukan pembelian tanpa melalui anggaran.

Disamping itu, didalam kontrak terdapat klausul pinalti apabila PT XYZ tidak dapat memenuhi *availability* yang diminta oleh pemilik tambang. *Availability* atau tingkat ketersediaan excavator yang tinggi dapat dicapai dengan cara mengurangi downtime yang terjadi. Sehingga PT XYZ harus mencari komponen mana yang mempunyai pengaruh terbesar terhadap downtime excavator. Dengan diketahuinya komponen yang mempunyai pengaruh terbesar terhadap downtime, maka akan lebih mudah untuk memilih strategi perawatan yang akan dilakukan.

Sebagai perusahaan jasa persewaan alat berat, tolak ukur keberhasilan adalah kemampuan PT XYZ untuk memenuhi target ketersediaan peralatan atau *availability* yang dibebankan oleh pihak penyewa. Apabila PT XYZ mampu menyewakan peralatan dengan tingkat *availability* yang baik, maka terbuka peluang bagi perusahaan untuk mendapatkan kontrak baru, baik dengan pihak penyewa sekarang maupun dengan calon penyewa yang mendapatkan informasi tentang performa PT XYZ yang baik.

Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan *interval preventive replacement* sehingga didapatkan *interval* penggantian yang efektif dan efisien dari segi waktu, biaya dan availibilitas. Diantara alat berat yang disewakan, *excavator* merupakan alat yang vital, harus ada di setiap operasi penambangan. Apabila tidak ada *excavator* maka proses penambangan akan terhenti, sehingga penentuan *interval replacement* untuk *excavator* adalah penting. Dengan diketahuinya interval penggantian komponen yang optimum, dapat disusun jadwal *preventive maintenance*. Jadwal *preventive maintenance* tersebut nantinya dapat digunakan untuk membuat *rooster* kerja sumberdaya manusia di PT XYZ. Selain itu jadwal yang disusun dapat digunakan untuk acuan *budgeting*, baik untuk budget bulanan maupun budget tahunan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menentukan komponen kritis yang memberikan efek terbesar terhadap reliabilitas dan availabilitas *excavator* Komatsu PC1250-8R.
2. Bagaimana menentukan interval waktu *preventive replacement* dengan melakukan minimasi *downtime* dan minimasi biaya *excavator* di PT.XYZ sehingga bisa meningkatkan availability peralatan dan meminimasi biaya perawatan peralatan.

1.2.1 Batasan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa batasan yang digunakan, agar arah dari penelitian tidak meluas. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Analisis difokuskan pada *excavator* merk Komatsu PC1250-8R di PT. XYZ.
2. Data kegagalan peralatan yang dicatat adalah data kegagalan yang mengakibatkan kehilangan jam kerja produksi dari bulan Januari tahun 2012 sampai dengan bulan Desember 2016.
3. Data biaya perbaikan yang dicatat meliputi biaya pemeliharaan pencegahan dan biaya kegagalan peralatan *excavator* di PT.XYZ dari bulan Januari tahun 2012 sampai dengan bulan Desember 2016.
4. Tidak membahas kegagalan peralatan *excavator* secara rinci seperti penyebab kegagalan, kegunaan komponen-komponen, serta proses yang terjadi pada peralatan.

1.2.2 Asumsi Penelitian

Asumsi-asumsi dalam penelitian ini adalah :

1. Tidak ada kesalahan pengoperasian peralatan oleh operator *Excavator* di PT.XYZ.
2. Kemampuan mekanik PT. XYZ dalam hal melakukan pemeliharaan dan perbaikan dianggap sama dan telah sesuai dengan standar.

3. Untuk peralatan yang tanpa data kegagalan, nilai keandalan dari peralatan tersebut diasumsikan sama dengan satu.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan komponen kritis yang memberikan efek terbesar terhadap reliabilitas dan *availabilitas excavator* Komatsu PC1250-8R.
2. Menentukan interval waktu *preventive replacement* dengan melakukan minimasi downtime dan minimasi biaya pada peralatan *excavator* di PT. XYZ.
3. Menentukan besaran biaya perawatan baik dengan menggunakan minimasi *downtime* maupun dengan meminimasi biaya perawatan peralatan.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi :

1. Dasar bagi perusahaan untuk mengambil keputusan terkait strategi untuk melakukan perencanaan pemeliharaan/pemeliharaan pencegahan, penyediaan suku cadang, alokasi personel, penjadwalan produksi, dan pembuatan anggaran tahunan di PT. XYZ.
2. Dasar bagi peneliti atau akademisi dalam menerapkan manajemen pemeliharaan pencegahan dengan pendekatan analisis keandalan untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang optimal pada peralatan *excavator* Komatsu PC1250-8R di PT. XYZ.

1.5 Sistematika Penelitian

- **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan penelitian dan asumsi penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

- **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang dasar teori dan referensi yang berhubungan dengan teori-teori yang akan dipergunakan dalam menganalisis data untuk mendapatkan solusi terbaik dari permasalahan.

- **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisikan penjelasan langkah-langkah yang digunakan dalam mencapai tujuan penelitian dengan menggunakan metode pengambilan keputusan yang telah ditetapkan sesuai dengan permasalahan, pembatasan masalah, dan asumsi yang telah ditentukan. Urutan langkah yang telah ditetapkan merupakan suatu kerangka yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian.

- **BAB 4 PENGOLAHAN DATA ANALISIS KEANDALAN**

Bab ini berisikan penjelasan analisis data yang meliputi penentuan distribusi data kegagalan, analisis keandalan, analisis laju kegagalan dan waktu rata-rata antar kegagalan peralatan *excavator* PC1250-8R.

- **BAB 5 PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN PENCEGAHAN**

Bab ini berisikan penjelasan bagaimana optimasi keandalan masing-masing komponen kritis peralatan *excavator* Komatsu PC1250-8R, dan penentuan interval pemeliharaan pencegahan yang optimal.

- **BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan akhir dari penelitian ini serta saran-saran untuk perusahaan dan penelitian mendatang yang sekaligus menjadi penutup penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Maintenance (Perawatan)

Maintenance sudah ada sejak manusia membangun aset fisik seperti rumah, perahu maupun alat-alat pertanian. Peralatan yang digunakan terus menerus akan mengalami penurunan kemampuannya. Ada dua jenis penurunan kemampuan peralatan, yaitu :

- a. *Natural Deterioration*, yaitu menurunnya kinerja mesin atau peralatan secara alami akibat terjadi pemburukan/keausan pada fisik mesin/peralatan selama waktu pemakaian walaupun penggunaan secara benar.
- b. *Accelerated Deterioration*, yaitu menurunnya kinerja mesin atau peralatan akibat kesalahan manusia sehingga dapat mempercepat keausan mesin atau peralatan karena diakibatkan oleh tindakan atau perlakuan yang tidak seharusnya terhadap peralatan.

Untuk itu diperlukan adanya *maintenance* untuk menjaga performa mesin atau peralatan. Menurut Pattrick (2001) *maintenance* didefinisikan sebagai suatu kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas yang ada, memperbaiki, melakukan penyesuaian atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi yang sesuai dengan perencanaan. Sedangkan menurut Assauri (2008), *maintenance* merupakan kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya tercipta suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang telah direncanakan.

Aktivitas *maintenance* dalam perusahaan sangat diperlukan karena :

- Setiap peralatan mempunyai umur pakai dimana suatu saat bisa mengalami kegagalan atau kerusakan.
- Waktu kerusakan atau kegagalan suatu peralatan tidak dapat diketahui secara pasti.
- Manusia selalu berusaha untuk meningkatkan umur penggunaan.

2.1.1 Tiga Generasi Manajemen Perawatan

Dalam tahun – tahun belakangan ini kemajuan proses industri mengakibatkan perubahan ekspektasi, penelitian dan teknik – teknik atau metode – metode yang dipakai. Perkembangan tersebut dapat dibagi dalam tiga generasi. Secara perlahan berkembang menjadi kewaspadaan dampak *failure* terhadap keselamatan dan lingkungan, kewaspadaan terhadap adanya hubungan antara *system maintenance* dengan kualitas produk. Sejak tahun 1930 evolusi dari perawatan dapat dibagi menjadi tiga generasi, yaitu:

a. Generasi Pertama

- Industri tidak banyak menggunakan mesin sehingga *downtime* tidak dianggap penting.
- Peralatan yang digunakan pada generasi pertama ini sangatlah sederhana, *reliable* sangat mudah untuk diperbaiki .
- Sistematis perawatan tidak diperlukan, hanya dilakukan perawatan sederhana seperti pembersihan, servis dan pengecekan secara rutin.
- Tenaga ahli dalam industri ini sangatlah rendah.

b. Generasi Kedua

- Tahun 1950, segala tipe mesin semakin beragam dan kompleks dimana industri semakin tergantung pada mesin – mesin tersebut.
- *Downtime* menjadi fokus yang paling penting. Dimana muncul ide bahwa *failure* dari peralatan dapat dan harus dicegah dimana melaju pada konsep *preventive maintenance*.
- Pada tahun 1960, peralatan secara keseluruhan dilaksanakan pada interval tetap. Biaya perawatan meningkat perlahan bersamaan dengan biaya operasi.

c. Generasi Ketiga

Pertengahan tahun 70an terjadi perubahan proses didalam industri dimana diharapkan ekspektasi yang baru, penelitian terbaru dan pemakaian teknik baru.

Ekspektasi baru:

- Otomasi yang semakin berkembang sehingga lebih banyak dampak *failure* yang terjadi.
- Biaya perawatan semakin meningkat.

Penelitian baru: Berhubungan antara umur operasi dan *failure*

Teknik atau metode baru:

- Pengembangan baru, termasuk peralatan pendukung keputusan seperti studi *hazard*, mekanisme *failure* dan analisa dampaknya dan sistem canggih; teknik perawatan terbaru; desain dari peralatan.

Pemilihan teknik yang benar yaitu teknik yang memungkinkan untuk mengembangkan performansi peralatan dan dapat mereduksi biaya perawatan.

2.1.2 Konsep Dasar Perawatan

Pendekatan perawatan pada dasarnya dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu *Planned* dan *Unplanned Maintenance*. Klasifikasi pendekatan sistem perawatan tersebut adalah :

- a. *Planned Maintenance*, suatu tindakan pemeliharaan yang terorganisir dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Oleh karena itu, program pemeliharaan yang akan dilakukan memerlukan pengawasan dan pengendalian secara aktif.
- b. *Unplanned Maintenance*, suatu tindakan perawatan atau pemeliharaan yang waktu pelaksanaannya tidak direncanakan terlebih dahulu. *Unplanned maintenance* biasanya berupa *breakdown/emergency maintenance*.

2.2 *Planned Maintenance*

Pada konsep *Planned Maintenance*, keputusan diambil berdasarkan informasi data-data yang dilaporkan dan dicatat. Adapun data-data yang penting dalam proses pemeliharaan antara lain laporan permintaan pemeliharaan, laporan pemeriksaan dan laporan perbaikan . *Planned Maintenance* terdiri dari tiga bentuk pelaksanaan, yaitu :

- *Preventive Maintenance*
- *Corrective Maintenance*
- *Predictive Maintenance*

Dengan *planned maintenance* diharapkan akan merubah sistem perawatan dari reaktif menjadi proaktif dan memberdayakan bagian perawatan untuk dapat membantu operator untuk melakukan perawatan yang lebih baik terhadap peralatan / mesin yang menjadi tanggung jawabnya.

2.2.1 Preventive Maintenance

Preventive Maintenance menurut Pattrick (2001) adalah, kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. Dengan demikian semua fasilitas produksi yang diberikan *preventive maintenance* akan terjamin kelancarannya dan selalu diusahakan dalam kondisi atau keadaan yang siap dipergunakan untuk setiap operasi atau proses produksi pada setiap saat. Sehingga dapatlah dimungkinkan pembuatan suatu rencana dan jadwal pemeliharaan dan perawatan yang sangat cermat dan rencana produksi yang lebih tepat. Sedangkan *preventive maintenance* menurut Worsham (2002) adalah suatu sistem perawatan yang terjadwal dari suatu peralatan / komponen yang didesain untuk meningkatkan keandalan mesin serta untuk mengantisipasi segala kegiatan perawatan yang tidak direncanakan sebelumnya. Kegiatan *preventive maintenance* dilakukan erat kaitannya dalam menghindari suatu system atau peralatan mengalami kerusakan.

Ada tiga alasan mengapa dilakukan tindakan *preventive maintenance* :

1. Menghindari terjadinya kerusakan
2. Mendeteksi awal terjadinya kerusakan
3. Menemukan kerusakan yang tersembunyi

Sedangkan keuntungan dari penerapan *preventive maintenance* antara lain adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi terjadinya perbaikan (*repairs*) dan *downtime*.
2. Meningkatkan umur penggunaan dari peralatan
3. Meningkatkan kualitas dari produk
4. Meningkatkan availibilitas dari peralatan

5. Meningkatkan kemampuan dari operator, bagian mekanik dan keselamatan
6. Mengurangi waktu untuk merespon terjadinya kerusakan yang parah
7. Menjamin peralatan dapat digunakan sesuai dengan fungsinya
8. Meningkatkan kontrol dari peralatan dan mengurangi *inventory level*.
9. Memperbaiki sistem informasi terhadap peralatan/komponen
10. Meningkatkan identifikasi dari problem yang dihadapi

2.2.2 Corrective Maintenance

Menurut Patrick (2001), *corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan atau kelalaian pada mesin atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

Adapun menurut Dhillon (2006), *corrective maintenance* adalah perawatan yang tidak direncanakan, tindakan yang memerlukan perhatian lebih yang harus ditambahkan, terintegrasi, atau menggantikan pekerjaan yang telah dijadwalkan sebelumnya.

2.2.3 Predictive Maintenance

Predictive maintenance adalah tindakan-tindakan *maintenance* yang dilakukan pada tanggal yang ditetapkan berdasarkan prediksi hasil analisa dan evaluasi data operasi yang diambil untuk melakukan *predictive maintenance* itu dapat berupa data getaran, temperatur, *vibrasi*, *flow rate*, dan lain-lainnya. Perencanaan *predictive maintenance* dapat dilakukan berdasarkan data dari operator di lapangan yang diajukan melalui *work order* ke departemen *maintenance* untuk dilakukan tindakan tepat sehingga tidak akan merugikan perusahaan.

2.3 Unplanned Maintenance

Unplanned maintenance biasanya berupa *breakdown/emergency maintenance*. *Breakdown/emergency maintenance* (pemeliharaan darurat) adalah tindakan *maintenance* yang tidak dilakukan pada mesin peralatan yang masih dapat beroperasi, sampai mesin/peralatan tersebut rusak dan tidak dapat berfungsi

lagi. Melalui bentuk pelaksanaan pemeliharaan tak terencana ini, diharapkan penerapan pemeliharaan tersebut akan dapat memperpanjang umur dari mesin/peralatan, dan dapat memperkecil frekuensi kerusakan.

2.4 Konsep Keandalan

Menurut *Lewis (1998)*, keandalan atau *reliability* dapat diartikan sebagai peluang bahwa sebuah komponen akan mampu melaksanakan sebuah fungsi yang spesifik dalam suatu kondisi operasi dan periode waktu tertentu. Keandalan merupakan salah satu ukuran keberhasilan sistem pemeliharaan yang digunakan untuk menentukan penjadwalan pemeliharaan itu sendiri. Konsep keandalan digunakan juga pada berbagai industri, misalnya dalam penentuan interval waktu penggantian komponen mesin.

2.4.1 Fungsi Keandalan

Keandalan dari suatu komponen adalah peluang untuk tidak rusak atau dapat melakukan fungsinya selama periode waktu t atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu dapat diformulasikan sebagai berikut (*Ebeling, 1997*):

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

dengan:

$f(t)$ = fungsi padat peluang (*pdf*) pada waktu t

$R(t)$ = keandalan (*reliability*) pada waktu t

$F(t)$ = peluang kegagalan pada waktu t

2.4.2 Penilaian Keandalan

Penilaian keandalan, baik untuk proses, sistem ataupun peralatan, secara umum dapat didekati dengan dua metode analisis, yaitu:

a. Analisis Kuantitatif

Analisis secara kuantitatif dibedakan menjadi dua bagian, yaitu dengan menggunakan metode analisis statistik seperti *weibull analysis* dan dengan metode simulasi.

b. Analisis Kualitatif

Penilaian keandalan dengan analisis kualitatif dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). *Failure Mode Effect Analysis* merupakan suatu metode yang dirancang untuk mengidentifikasi dan memahami model kegagalan yang potensial dan penyebabnya, serta dampaknya bagi sistem (Carlson, 2012).

2.4.3 Mean Time To Failure (MTTF)

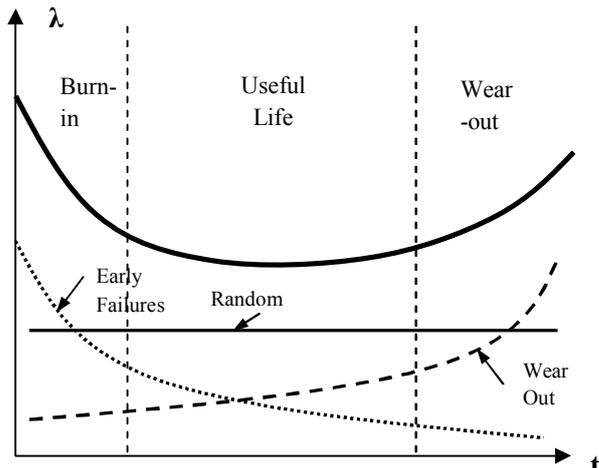
MTTF adalah waktu rata-rata antar kegagalan atau rata-rata waktu operasinya komponen atau sistem tanpa mengalami kegagalan. MTTF merupakan perbandingan antara waktu operasi dengan jumlah kegagalan dalam periode waktu tertentu.

$$MTTF = \frac{\text{waktu operasi}}{\text{jumlah kegagalan}} \quad (2.2)$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.3)$$

2.4.4 Karakteristik Kegagalan

Ukuran pemenuhan performa dinyatakan dalam sebuah notasi peluang. Pemenuhan performa tersebut bukan bersifat deterministik, sehingga tidak dapat diketahui dengan pasti terjadi atau tidak. Oleh sebab itu, harus digunakan peluang untuk menentukan sebuah komponen akan sukses atau tidak. Secara umum konsep *reliability* dapat digambarkan dalam *bathtub curve* untuk menjelaskan siklus hidup komponen (Ebeling, 1997), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Ada tiga tahapan kegagalan yang dijelaskan pada Gambar 2.1, yaitu:



Gambar 2.1 Kurva Karakteristik Kegagalan atau *Bathub Curve* (Ebeling, 1997)

1. Tahap Kegagalan Awal atau *Burn In zone (Early Life)*
 Pada tahap awal pengembangan produk, terdapat beberapa *part*, material, proses yang tidak terpantau oleh bagian *quality control*. Waktu berlangsungnya tahap ini paling cepat dibandingkan dengan periode yang lain. Pada kurva ditunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan karena adanya kesalahan pada saat proses manufaktur dan fabrikasi, pengoperasian yang tidak tepat, belum terampilnya operator sehingga perlu beberapa penyesuaian lebih lanjut.
2. Tahap Kegagalan Konstan atau *Useful Life Time zone*
 Saat stabilisasi populasi selesai, laju kerusakan produk menjadi konstan yang disebut *Constant Failure Rate (CFR)*. Namun, kerusakan tidak dapat diprediksikan secara pasti kapan kerusakan itu akan terjadi karena kerusakan tersebut secara random dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bekerjanya peralatan. Periode ini merupakan periode pemakaian peralatan secara normal.
3. Tahap Kegagalan Meningkat (*Wear-out zone*)
 Saat masa pemakaian produk meningkat, beberapa mekanisme kegagalan mempunyai potensi untuk terjadi namun tidak secara random. Faktanya, kerusakan tersebut berdasarkan waktu atau siklus dan mengarah pada penuaan dan keausan. Dengan demikian, laju kerusakan akan mulai naik

dan umur pakai produk mendekati akhir. Analisis *Weibull* memberikan β yang berbeda-beda untuk ketiga zona tersebut diatas, yaitu: daerah *burn in zone* atau *early life* mempunyai $\beta < 1$, daerah *useful life time zone* mempunyai $\beta = 1$, daerah *wearout zone* dengan nilai β antara 1 dan 4 ($1 < \beta < 4$), dan daerah *old age wear out zone* dengan nilai parameter $\beta > 4$. Nilai β merupakan *shape parameter* atau *slope parameter* yang berarti juga menggambarkan kemiringan garis plot dalam grafik *Weibull*.

2.5 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) 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 atau sistem. Laju kegagalan dinyatakan sebagai berikut (*Ebeling, 1997*):

$$\lambda = \frac{f}{T}, \text{ atau} \quad (2.4)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{T(t)} \quad (2.5)$$

dengan:

f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total antar waktu kegagalan

2.6 Pola Distribusi Data Antar Kegagalan

Dalam teori keandalan, langkah pertama dalam menghitung keandalan suatu peralatan atau komponen adalah menentukan model probabilitas peralatan atau komponen, yang biasanya dinyatakan dalam distribusi statistik. Dalam analisis keandalan ada beberapa distribusi yang umum digunakan yaitu distribusi eksponensial, distribusi normal, distribusi lognormal, dan distribusi *Weibull*. Analisis yang digunakan untuk menentukan distribusi waktu antar kegagalan adalah *Weibull Analysis*.

Dari parameter-parameter distribusi yang didapatkan, dapat ditentukan fungsi padat peluang atau *probability density function (pdf)*, keandalan atau

reliability ($R(t)$), laju kegagalan atau *failure rate* ($f(t)$), dan rata-rata waktu antar kegagalan atau *mean time to failure* ($MTTF$).

2.6.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi ini secara luas digunakan dalam keandalan dan pemeliharaan. Hal ini dikarenakan distribusi ini mudah digunakan untuk berbagai tipe analisis dan memiliki laju kegagalan yang konstan selama masa pakai. Fungsi-fungsi dari distribusi eksponensial adalah (*Ebeling, 1997*):

1. Fungsi padat peluang (*pdf*)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0, \lambda > 0 \quad (2.6)$$

2. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

3. Laju kegagalan

$$\lambda = f/T \quad (2.8)$$

dengan:

λ = laju kegagalan per unit waktu

f = banyaknya kegagalan dalam kurun waktu

T = total waktu antar kegagalan

4. *Mean Time Between Failure* ($MTTF$)

$$MTTF = 1 / \lambda \quad (2.9)$$

2.6.2 Distribusi Normal

Distribusi normal adalah distribusi yang paling sering dan umum digunakan. Distribusi normal disebut juga sebagai distribusi *Gauss* yang ditemukan oleh Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Fungsi-fungsi dari distribusi Normal adalah (*Ebeling, 1997*):

1. Fungsi padat peluang (*pdf*)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.10)$$

dengan:

σ = deviasi standar

μ = rata-rata (*mean*)

2. Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt \quad (2.11)$$

3. Laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2\right]}{\int_t^{\infty} \exp\left[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2\right] dt} \quad (2.12)$$

4. *Mean Time to Failure (MTTF)*

$$MTTF = \mu \quad (2.13)$$

2.6.3 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal sangat cocok menggambarkan lamanya waktu perbaikan suatu komponen. Fungsi-fungsi dari distribusi lognormal adalah (*Ebeling, 1997*):

1. Fungsi padat peluang (*pdf*)

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [\ln t - \mu]^2\right\} \quad (2.14)$$

dengan:

μ = rata-rata

σ = deviasi standar

2. Fungsi keandalan

$$3. R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{\sigma} \ln \left(\frac{t}{e^\mu} \right) \right] \quad (2.15)$$

Dimana Φ adalah *cumulative probability distribution function* dari fungsi lognormal.

4. Laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.16)$$

5. *Mean Time To Failure (MTTF)*

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.17)$$

2.6.4 Distribusi *Weibull*

Distribusi ini dikembangkan oleh W. Weibull pada awal tahun 1950. Distribusi *Weibull* adalah salah satu distribusi yang penting pada teori *reliability*. Distribusi *Weibull* sangat luas digunakan untuk menganalisis kehilangan performansi pada sistem kompleks di dalam sistem rekayasa. Secara umum, distribusi ini dapat digunakan untuk menjelaskan data saat waktu menunggu hingga terjadi kejadian dan untuk menyatakan berbagai fenomena fisika yang berbeda-beda. Dengan demikian, distribusi ini dapat diterapkan pada analisis resiko karena dapat menduga umur pakai (*life time*) komponen. Fungsi-fungsi dari distribusi *Weibull* meliputi (Ebeling, 1997):

1. Fungsi padat peluang (*pdf*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.18)$$

dimana, $f(t) \geq 0, t \geq 0, \eta > 0, \beta > 0$

η = parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$

β = parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$

2. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.19)$$

3. Laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.20)$$

4. *Mean Time Between Failure (MTBF)*

$$MTBF = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.21)$$

2.7 Keputusan Penggantian Komponen

Menurut Jardine (1973) secara umum, untuk meningkatkan keandalan sebuah sistem atau peralatan yang kompleks, dilakukan penggantian komponen kritis sistem. Sehingga sangat penting untuk menentukan komponen mana yang akan dilakukan *preventive replacement* atau dibiarkan sampai umur pakainya habis. Jika sebuah komponen masuk dalam kandidat *preventive replacement*, pertanyaan akan timbul, kapan waktu penggantian yang tepat?

Permasalahan penggantian dan permasalahan *maintenance* pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai *deterministic* atau *stochastic (probabilistic)*. Pada *deterministic problem*, waktu dan hasil penggantinya diketahui secara pasti. Misalnya, ada filter bahan bakar yang belum rusak, akan tetapi biaya penggunaannya akan semakin meningkat seiring berjalannya waktu karena mengakibatkan pemakaian bahan bakar yang boros. Setelah dilakukan penggantian, *trending* biaya operasional diketahui. Sedangkan pada *stochastic problem*, waktu dan hasil penggantian tergantung pada probabilitas.

2.7.1 Komponen Kritis

Menurut Immawan dan Saputra (2010), Program perawatan untuk peralatan maupun mesin harus dilakukan secara terencana. Namun demikian, disadari pula bahwa tidak mungkin membuat suatu program yang merencanakan sistem perawatan untuk semua mesin di pabrik atau tidak mungkin semua kerusakan dapat diatasi. Tetapi dengan adanya program perawatan tersebut

sekurang-kurangnya akan dapat mengatasi masalah – masalah yang ada. Usaha yang mendasar dalam merencanakan perawatan pencegahan dengan cara memberikan perhatian serius pada unit – unit atau komponen – kompone kritis sehingga perlu dipertimbangkan secara cermat mengenai pemilihan bentuk perawatan yang akan diterapkan dikaitkan dengan penggunaan kebutuhan produksi, waktu, biaya, keterandalan tenaga perawatan dan kondisi perawatan yang dikerjakan.

Penggunaan strategi perawatan yang baik adalah suatu cara untuk mencapai *performance* produktivitas yang optimal. Karena dengan pemilihan strategi perawatan yang tepat dapat memberikan hasil yang optimum terhadap kesiapan mesin (*availability*) dalam menunjang proses produksi dengan biaya total produksi yang ekonomis. Pemilihan strategi sistem perawatan yang tepat dapat memberikan hasil yang optimum dalam menunjang proses produksi dan sistem perawatan untuk komponen kritis yang terbaik adalah *Preventive Maintenance*. Suatu komponen atau unit dapat dikualifikasikan kritis apabila :

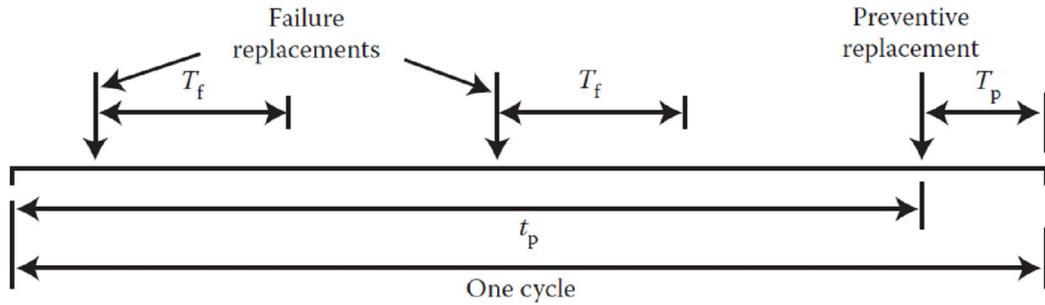
- a. Kerusakan unit itu dapat membahayakan kesehatan atau mengancam keselamatan penggunaannya.
- b. Kerusakan unit dapat mempengaruhi kualitas produksi
- c. Kerusakan unit dapat menimbulkan kemacetan produksi.
- d. Biaya investasi untuk unit itu sangat mahal.

2.7.2 Interval Preventive Replacement yang Optimal : Meminimalkan Downtime

Secara Umum, *preventive replacement* bertujuan untuk meminimalkan total *cost* per satuan unit waktu. Akan tetapi , adakalanya untuk memaksimalkan utilisasi peralatan , *preventive replacement* dilakukan untuk meminimalkan *downtime* peralatan atau meningkatkan *availability* peralatan. Dengan dilakukannya *preventive maintenance*, maka *downtime* akibat penggantian tersebut akan meningkat, akan tetapi di lain pihak akan mengurangi *downtime* akibat rusaknya peralatan. Untuk itu perlu dicari keseimbangan terbaik antara kedua hal tersebut. Ada dua model untuk metode ini yaitu :

• **Determination of optimal preventive replacement interval**

Gambar 2.2 merupakan model dari permasalahan terkait *replacement interval* dan *total down time*.



Gambar 2.2 *Downtime Minimization* : optimal interval . Sumber: Jardine (1973)

Total Downtime $D(t_p)$ per unit waktu,

$$D(t_p) = \frac{\text{Ekspektasi downtime akibat kegagalan} + \text{downtime akibat preventive replacement}}{\text{panjang cycle}}$$

$$D(t_p) = \frac{H(t_p)T_f + T_p}{t_p + T_p} \quad (2.22)$$

Dengan :

$D(t_p)$ = *Total Downtime* selama t_p

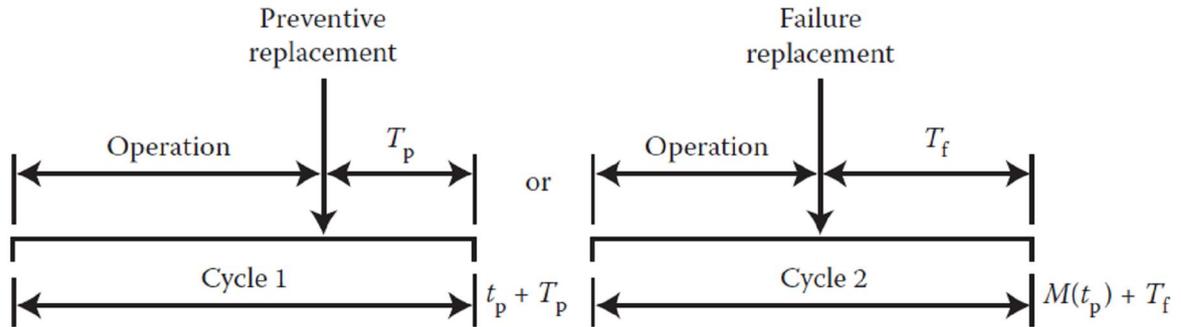
$H(t_p)$ = Jumlah *failure* pada interval t_p

T_f = *Mean downtime* untuk *failure replacement*

T_p = *Mean Downtime* untuk *preventive replacement*

• **Determination of Optimal Preventive Replacement Age**

Gambar 2.3 menunjukkan model untuk optimal *preventive replacement age*.



Gambar 2.3 *Age Based Replacement* , Sumber : Jardine (1979)

Total downtime untuk model ini adalah :

$$D(t_p) = \frac{\text{(ekspektasi total downtime / cycle)}}{\text{ekspektasi panjang cycle}}$$

$$D(t_p) = \frac{T_p R(t_p) + T_f [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) R(t_p) + [M(t_p) + T_f] [1 - R(t_p)]} \quad (2.23)$$

dengan :

$D(t_p)$ = Total downtime selama t_p

T_f = Mean Downtime untuk *failure replacement*

T_p = Mean Downtime untuk *preventive replacement*

$R(t_p)$ = Probabilitas *preventive cycle*, sebelum pada t_p

$M(t_p)$ = Mean time to failure

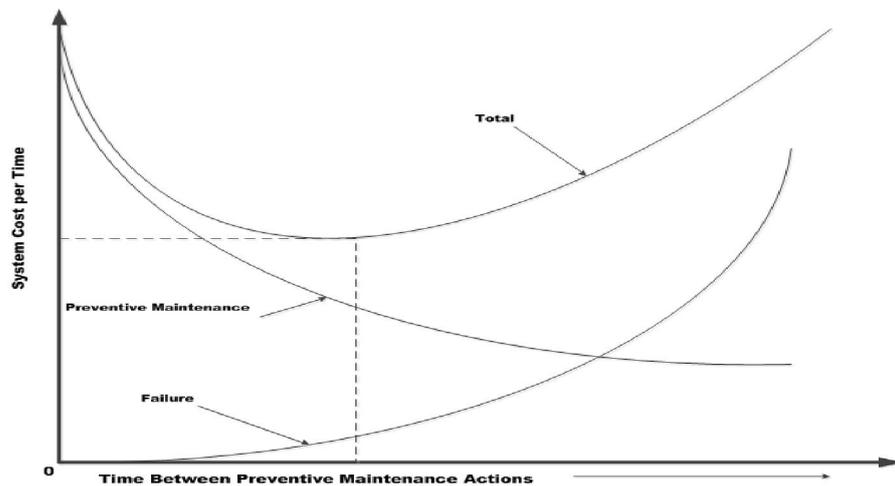
2.8 Optimasi Biaya Interval Pemeliharaan Peralatan

Menurut Ushakov dan Horrison (1994), selama proses operasi semua peralatan akan mengalami penurunan kemampuan. Kegagalan (*failure*), degradasi, dan *aging* akan selalu terjadi, sehingga aktifitas-aktifitas seperti monitoring atau inspeksi sangat dibutuhkan. Biaya-biaya yang harus dikeluarkan yaitu biaya

inspeksi, biaya perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) dan biaya perbaikan. Biaya-biaya yang muncul untuk pemeliharaan sangat berkaitan dengan optimasi interval waktu pemeliharaan. Terdapat tiga kegiatan pemeliharaan yang secara garis besarnya adalah sebagai berikut:

1. Inspeksi
2. Pemeliharaan pencegahan
3. Pemeliharaan prediktif

Pemeliharaan pencegahan dapat dilakukan jika nilai laju kegagalan semakin tinggi, dimana pada kurva *bathhtub* ditunjukkan dengan distribusi *Weibull* yang mempunyai nilai $\beta > 1$. Daerah ini juga disebut dengan nama *wear-out zone* (tahap kegagalan meningkat). Kegagalan peralatan atau sistem yang terjadi didaerah ini dapat dicegah dengan pemeliharaan pencegahan (Jardine, 1979). Grafik penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang optimal dengan meminimalkan total biaya per unit waktu ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2.4 Grafik Optimasi Waktu Pemeliharaan Pencegahan (Anonim, 1999)

Rumus untuk total biaya per unit waktu tersebut adalah:

$$C(t) = \frac{[C_p \times R(t) + C_f \times (1 - R(t))]}{T_p \times R(t) + M(t) \times (1 - R(t))} \quad (2.24)$$

Untuk nilai $M(t) = \int_0^{T_p} \frac{t f(t) dt}{(1 - R(t))}$ maka perumusan diatas menjadi:

$$C(tp) = \frac{C_p \times R(t_p) + C_f \times [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) \times R(t_p) + \left[\int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + T_f \right] \times (1 - R(t_p))} \quad (2.25)$$

dengan:

- C = total biaya per unit waktu
- C_p = biaya pemeliharaan terencana/pencegahan
- C_f = biaya perbaikan kegagalan
- R = nilai keandalan
- f = fungsi padat peluang dari kegagalan peralatan
- M = waktu rata-rata antar kegagalan
- t = umur pemeliharaan pencegahan peralatan

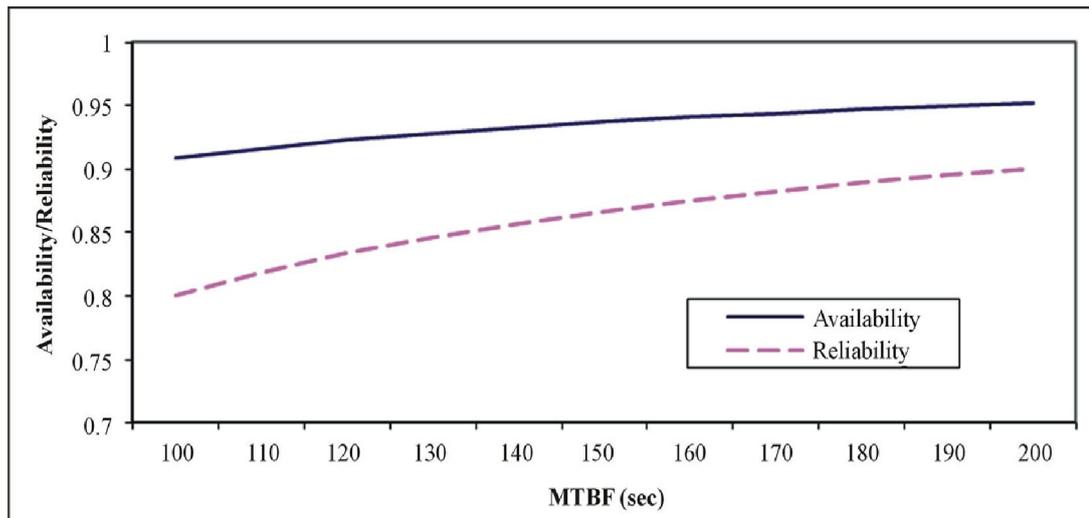
2.9 Availability

Availability adalah keadaan siap suatu peralatan baik dalam jumlah (kuantitas) maupun dalam kualitas sesuai dengan kebutuhan yang digunakan untuk melaksanakan proses operasi. Kesiapan (*availability*) tersebut dapat digunakan untuk menilai keberhasilan atau efektifitas dari kegiatan perawatan yang telah dilakukan. *Availability* dihitung menggunakan :

$$Availability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.26)$$

dengan :

- MTTF = Mean Time To Failure
- MTTR = Mean Time To Repair



Gambar 2.5 Hubungan Antara *Availability* dan *Reliability* dengan MTTF, Sumber : Anonim

2.10 Penelitian Terdahulu

Baradaby (2008) melakukan penelitian di *crusher plant* tambang bauksit Jajarm, Iran. Tujuan jurnal penelitian ini adalah untuk menentukan subsistem kritis pada *crusher plant* untuk menentukan perbaikan yang dibutuhkan sehingga dapat dicapai *reliability* dan *availability* yang diinginkan. Dalam penelitiannya, Baradaby membagi *Crusher Plant* nomor tiga menjadi enam subsistem. Dengan menggunakan pendekatan analisa *reliability* dan dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull + +6* didapatkan ternyata subsistem konveyor dan subsistem screen nomor dua merupakan subsistem yang kritis terhadap *reliability* dan *availability crusher plant*. Sehingga untuk meningkatkan *reliability crusher plant* perbaikan yang dilakukan seharusnya terkonsentrasi pada peningkatan *reliability* subsistem konveyor dan subsistem *screen* nomor dua, karena memiliki *effect* lebih terhadap *reliability crusher plant* dibandingkan subsistem lainnya. Untuk mendapatkan tingkat *reliability crusher plant* sebesar 0,9 , interval waktu *preventive maintenance* untuk subsistem konveyor adalah 8,2 jam. Sedangkan untuk subsistem *screen* nomor dua , interval waktu *preventive maintenancenya* adalah 19,4 jam.

Sedangkan penelitian yang menghitung interval penggantian komponen kritis berdasarkan optimasi biaya dengan menggunakan konsep reabilitas dilakukan oleh beberapa pihak. Diantaranya Satria (2012) dan Nurmala (2015). Obyek penelitian yang dilakukan oleh Satria (2012) adalah alat instrumentasi QSC Scanner Type 2200-2 di PT Pabrik Kertas Tjiwi Kimia. Sedangkan obyek penelitian Berdasarkan data kegagalan peralatan, dihitung MTTF dan distribusi kegagalan alat dengan software Weibull+ +6. Kemudian dihitung biaya yang dikeluarkan apabila melakukan penggantian komponen sebelum terjadi kerusakan. Selain itu dihitung juga biaya yang dikeluarkan apabila melakukan penggantian komponen setelah terjadi kerusakan. Dari kedua penelitian tersebut, didapatkan penggantian yang dilakukan sebelum terjadinya kerusakan terbukti lebih menguntungkan dari segi biaya dibandingkan apabila dilakukan setelah terjadinya kerusakan.

Dalam setiap proyek pertambangan terbuka, aliran investasi modal terbesar adalah pada kegiatan penggalian (*excavation*) dan kendaraan transportasi. Oleh karena itu sangat penting untuk menganalisa secara berkala kinerja peralatan tersebut untuk mencapai efektivitas dalam proses penggalian dan transportasi. Arputharaj (2015) menghitung *availability* dan *utilization* ekskavator, *dump truck* dan *bulldozer*, serta menganalisa faktor-faktor yang dapat meningkatkan performa peralatan secara keseluruhan. Persentase *Availability* menurut Apurtharaj (2015) menggambarkan seberapa baiknya manajemen perawatan dilakukan. Sedangkan untuk utilisasi sangat dipengaruhi dengan pengaturan *shift* kerja operator.

Penelitian yang dilakukan saat ini adalah penentuan interval waktu penggantian komponen kritis excavator Komatsu PC1250-8R di PT XYZ yang bekerja di sebuah pertambangan terbuka di Kalimantan Selatan. Excavator merupakan alat terpenting yang harus selalu ada di proses penambangan dengan sistem terbuka. Untuk itu, excavator menjadi fokus agar tingkat *availability*nya selalu tinggi untuk bisa dapat menunjang proses penambangan. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data-data kerusakan yang terjadi pada excavator Komatsu PC1250-8R. Dari data kerusakan tersebut maka dibuatlah diagram pareto berdasarkan frekuensi dan lamanya kerusakan. Diagram pareto tersebut digunakan untuk menentukan komponen kritis excavator PC1250-8R,

yaitu komponen yang frekuensi dan lamanya rusak yang paling tinggi. Selanjutnya adalah pengujian distribusi dari data kerusakan dan penggantian *spare part* dengan menggunakan *software* Weibull ++. Tujuannya adalah untuk mengetahui distribusi dan karakteristik dari data tersebut. Langkah ketiga adalah perhitungan nilai keandalan dan MTTF. Kemudian dihitunglah interval waktu penggantian komponen dengan melakukan optimasi *availability* peralatan. Setelah itu dihitung biaya-biaya yang timbul baik akibat *preventive maintenance* maupun biaya akibat *corrective maintenance*. Setelah itu dihitung *avaibility* peralatan dan dibandingkan bila menggunakan *preventive maintenance* dengan bila menggunakan *corrective maintenance*. Yang terakhir akan dihitung pula interval waktu penggantian komponen menggunakan optimasi biaya beserta biaya-biaya yang akan timbul. Hasilnya akan dibandingkan dengan dengan hasil optimasi *availability*. Sehingga nantinya manajemen PT XYZ dapat menentukan strategi perawatan mana yang akan dipilih untuk dapat memenuhi persyaratan kontrak sewa yang diberikan oleh pemilik tambang. Penelitian ini diharapkan dapat melengkapi penelitian lain dan dapat menambah referensi penelitian mengenai konsep interval waktu penggantian komponen menggunakan pendekatan *reliability*. Adapun korelasi penelitian yang dikerjakan dengan penelitian terdahulu seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Korelasi Penelitian yang Relevan

| Judul | Penulis | Tahun | Preventive Replacement | Reliability | MTBF | Availability | Optimasi Biaya | Utilization |
|---|-----------------------|-------|------------------------|-------------|------|--------------|----------------|-------------|
| Reliability Analysis of Mining Equipment : A Case Study of Crushing Plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran | Baradaby, Javad | 2008 | | √ | √ | √ | | |
| Analisa Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis Pada Alat Instrumentasi QCS Scanner Type 2200-2 Di PT Pabrik Kertas Tjiwi Kimia | Satria, Yhatna | 2012 | √ | √ | | | | |
| Penentuan Interval Waktu Penggantian Sub-Sub System Pada Mesin Heidelberg CD 102 di PT X | Putra, Trisian Hendra | 2013 | √ | √ | | | √ | |
| Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan serta Laju Biayanya Berdasarkan Alokasi dan Optimasi Keandalan pada Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X | Nurmala, Yulia Rizky | 2015 | √ | √ | √ | | √ | |
| Studies On Availability And Utilization Of Mining Equipment - An Overview | Apurtaraj, M. E | 2015 | | | | √ | | √ |
| Penelitian ini | | 2016 | √ | √ | √ | √ | √ | |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

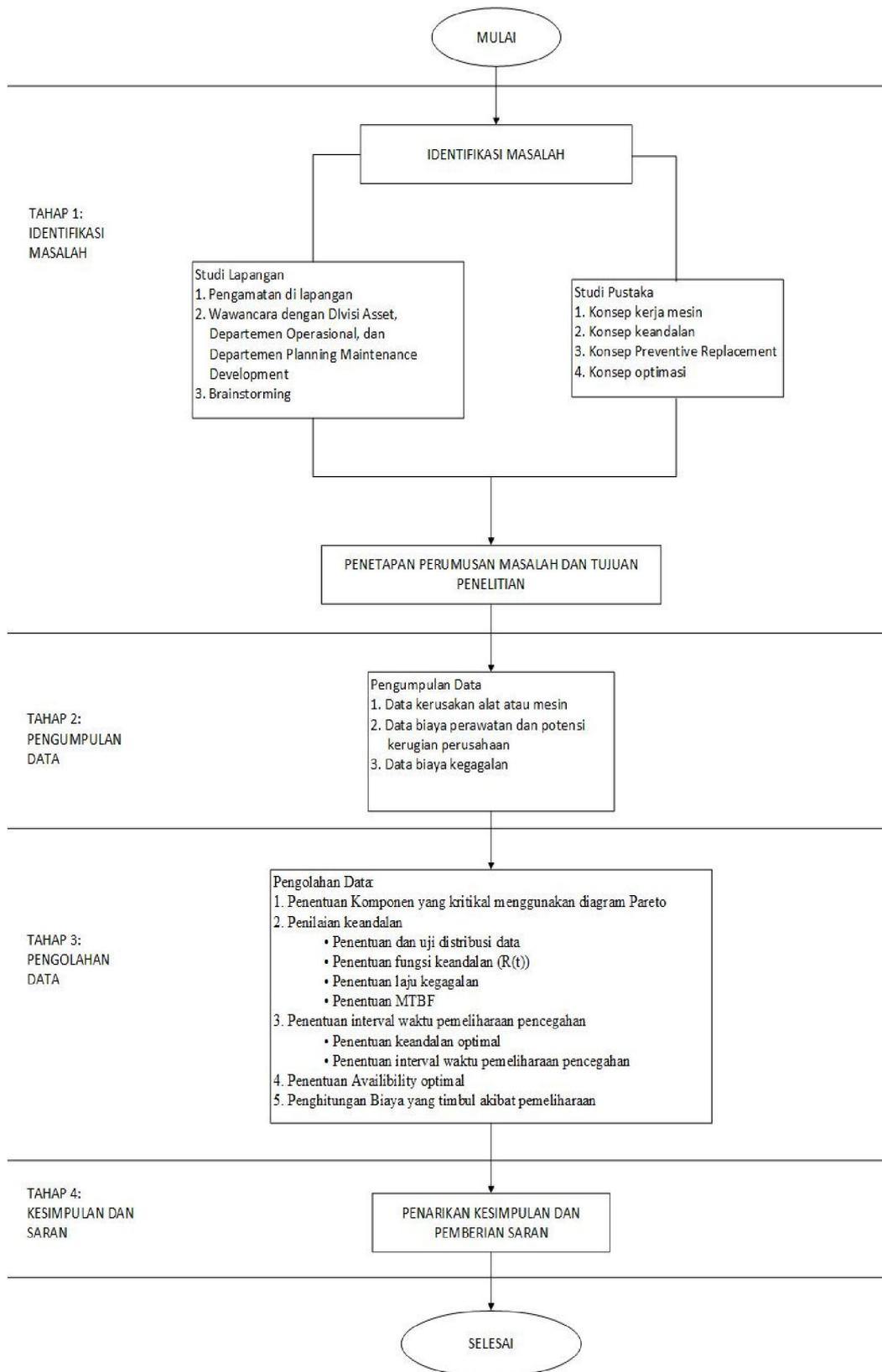
Untuk melakukan suatu penelitian diperlukan sebuah metode yang terstruktur, yang didalamnya terdapat langkah-langkah dan aturan-aturan tertentu untuk mendapatkan suatu hasil penelitian secara benar. Langkah-langkah tersebut tersusun secara sistematis untuk memudahkan pihak lain dalam memahami dan mengikuti proses penelitian. Berikut ini langkah-langkah dasar yang dilakukan untuk mencapai tujuan diatas adalah sebagai berikut:

1. Studi Lapangan dan Identifikasi Masalah
2. TinjauanPustaka
3. PenetapanPerumusan Masalah dan Tujuan Penelitian
4. Pengambilan Data
5. Pengolahan Data
6. Analisis dan Pembahasan
7. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Agar mudah dipahami dan diikuti langkah-langkah tersebut dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

3.1 Studi Lapangan

Kelompok peralatan yang akan diteliti adalah peralatan–peralatan *Excavator* PC1250-8R PT. XYZ diarea kerja tambang batubara di Kalimantan Selatan. Data kegagalan peralatan diperoleh dari data *downtime* yang didapat dari data operasi produksi, sedangkan data biaya pemeliharaan diperoleh dari Departemen *Planning, Maintenance & Development*. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan identifikasi masalah pemeliharaan *Excavator* PC1250-8R yang terjadi di PT. XYZ.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tinjauan Pustaka

Studi kepustakaan merupakan langkah awal untuk membentuk kerangka berpikir mengenai masalah yang dihadapi oleh perusahaan. Dengan studi kepustakaan dapat dibandingkan teori-teori yang diperoleh dengan kondisi aktual yang ada di perusahaan. Studi kepustakaan yang dilakukan antara lain kegiatan telaah buku-buku referensi yang ada di perpustakaan dan sumber-sumber referensi umum seperti jurnal yang terkait dengan analisis keandalan dan teknik optimasi.

3.3 Penetapan Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Setelah mempertimbangkan beberapa hal, diputuskan untuk memfokuskan permasalahan pada analisis keandalan terhadap peralatan *Excavator* Komatsu PC1250-8R di PT. XYZ. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang optimal sehingga dapat dicapai *availability* peralatan yang tinggi.

3.4 Pengumpulan Data

Dalam analisis keandalan, data utama yang menjadi dasar analisis adalah data beda waktu antar kegagalan. Oleh karena itu, data yang dikumpulkan adalah data *downtime* masing-masing komponen yang dianggap kritis pada unit *Excavator* Komatsu PC1250-8R di PT. XYZ. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut :

- Data *downtime* peralatan *Excavator* Komatsu PC1250-8R di PT. XYZ dari bulan Januari 2012 sampai dengan bulan Desember 2016
- Data biaya pemeliharaan pencegahan *Excavator* Komatsu PC1250-8R di PT. XYZ dari bulan Januari 2012 sampai dengan bulan Desember 2016
- Data biaya kegagalan *Excavator* Komatsu PC1250-8R di PT. XYZ dari bulan Januari 2012 sampai dengan bulan Desember 2016.

3.5 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Weibull++6* untuk analisis keandalan sebagai berikut :

- Mengkonversi data *downtime* dari data operasi produksi atau *log sheet* menjadi data waktu antar kegagalan.
- Membuat *pareto* frekuensi dan lamanya *downtime*.
- Menentukan distribusi data waktu antar kegagalan dengan menggunakan perangkat lunak *Weibull++6*. Dari sini didapatkan distribusi probabilitas yang paling sesuai untuk data waktu antar kegagalan yang dimaksud.
- Menentukan fungsi padat peluang untuk kegagalan, laju kegagalan, keandalan peralatan, dan fungsi padat peluang untuk peralatan. Dengan demikian keandalan masing-masing mesin dan system secara keseluruhan untuk suatu periode operasi tertentu dapat dihitung.
- Menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan berdasarkan optimasi *availability* peralatan dengan pendekatan minimasi *breakdown time*.

3.6 Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini menganalisis hasil pengolahan data yang telah dihitung, dan membahas hasil yang didapat tersebut. Mencari hubungan antara rumusan masalah tujuan penelitian apakah telah menjawab semua permasalahan yang telah diutarakan.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini diberikan kesimpulan dan saran dari keseluruhan rangkaian penelitian yang sudah dicapai dan pemberian saran-saran terhadap perusahaan maupun penelitian yang akan datang.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan dilakukan pengumpulan data frekuensi penggantian komponen dan total downtime *excavator* PC1250-8R. Dari data frekuensi penggantian komponen akan dibuat diagram pareto komponen yang akan digunakan untuk menentukan komponen apa yang merupakan komponen kritis *excavator* PC1250-8R. Setelah diketahui komponen kritisnya, maka akan dilakukan pengujian distribusi dan parameter masing-masing komponen kritis berdasarkan data penggantian masing-masing komponen. Setelah itu akan dihitung pula *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* yang akan digunakan untuk menghitung interval penggantian komponen optimum berdasarkan metode minimasi biaya dan minimasi *downtime*.

4.1. Pengumpulan Data

Data jumlah penggantian komponen dan downtime Excavator PC12508R pada rentang waktu Februari 2012 sampai Desember 2016 dapat dilihat pada tabel 4.1.

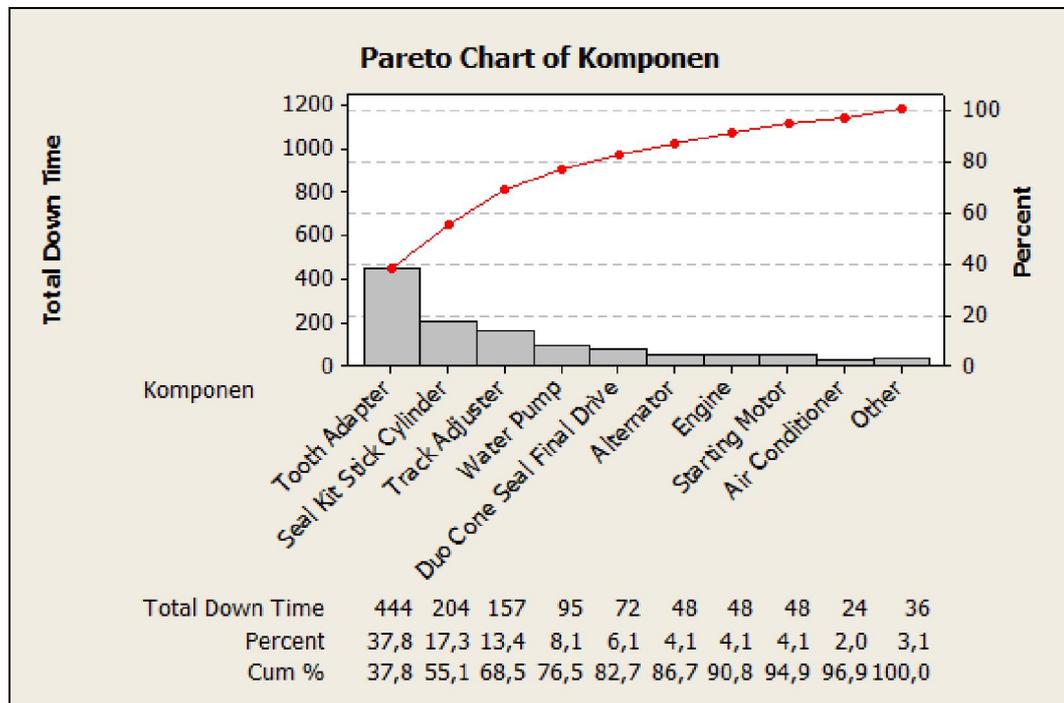
Tabel 4.1 Rekap Data Jumlah Penggantian Komponen dan Downtime

| Komponen | Frekuensi Penggantian | Total Down Time (jam) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Water Pump | 7 | 95 |
| Track Adjuster | 6 | 157 |
| Tooth Adapter | 14 | 444 |
| Seal Kit Stick Cylinder | 9 | 204 |
| Duo Cone Seal Final Drive | 3 | 72 |
| Alternator | 2 | 48 |
| Starting Motor | 2 | 48 |
| Air Conditioner | 2 | 24 |
| Power take Off | 2 | 24 |
| Engine | 1 | 48 |
| Turbocharger | 1 | 12 |

Frekuensi penggantian menunjukkan jumlah kerusakan yang memerlukan penggantian komponen pada rentang waktu Februari 2012 sampai Desember 2016. Sedangkan total *downtime* merupakan penjumlahan lamanya waktu penggantian komponen yang rusak, agar *excavator* dapat beroperasi kembali

4.2 Penentuan Komponen Kritis

Berdasarkan rekap data awal yang diperoleh, akan ditentukan manakah yang termasuk dalam komponen kritis. Komponen kritis didapat dengan mempertimbangkan banyaknya *total downtime* pada *excavator* PC1250 sehingga akan diperoleh pareto komponen seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Pareto Komponen

Dari diagram pareto komponen tersebut didapatkan komponen yang mempunyai total downtime paling besar akan dipilih untuk diamati dalam penelitian ini. Adapun komponen yang akan diamati disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekap Data Frekuensi Penggantian Komponen & Down Time

| Komponen | Frekuensi Penggantian | Total Down Time (jam) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Tooth Adapter | 14 | 444 |
| Seal Kit Stick Cylinder | 9 | 204 |
| Track Adjuster | 6 | 157 |
| Water Pump | 7 | 95 |

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data waktu antar penggantian empat komponen tersebut. Sebagai contoh, data waktu antar penggantian komponen *tooth adapter* dapat dilihat pada tabel 4.3:

Tabel 4.3 Data Penggantian Komponen Tooth Adapter

| No | Tanggal | Waktu Antar Penggantian (jam) | Down time (Jam) |
|------------------|------------|-------------------------------|-----------------|
| 1 | 5/11/2012 | 4291 | 38 |
| 2 | 20/11/2012 | 4310 | 12 |
| 3 | 25/11/2012 | 4627 | 16 |
| 4 | 12/10/2013 | 3549 | 24 |
| 5 | 19/10/2013 | 3840 | 24 |
| 6 | 16/12/2013 | 3421 | 60 |
| 7 | 8/8/2014 | 5811 | 48 |
| 8 | 21/10/2014 | 6142 | 42 |
| 9 | 14/11/2014 | 5571 | 14 |
| 10 | 7/9/2015 | 5334 | 24 |
| 11 | 15/9/2015 | 6413 | 40 |
| 12 | 3/1/2016 | 3215 | 48 |
| 13 | 27/4/2016 | 5146 | 26 |
| 14 | 5/7/2016 | 5218 | 28 |
| Total Downtime : | | | 444 |

Data penggantian tooth adapter pada tabel 4.3 merupakan data yang diambil dari penggantian komponen empat unit excavator. Waktu antar

penggantian menunjukkan *Time To Failure (TTF)* sedangkan *downtime* menunjukkan *Time To Repair (TTR)*. Untuk data waktu antar penggantian komponen lainnya dapat dilihat dilampiran A.

4.3 Pengujian Distribusi Data dan Parameternya

Langkah selanjutnya adalah mencari pola distribusi dan parameternya dari TTF dan TTR masing-masing komponen kritis. Adapun distribusi dan parameter komponen kritis PC1250-8R disajikan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Distribusi Data dan Parameter *Time To Failure (TTF)* dan *Time To Repair (TTR)* Komponen Kritis

| Komponen | Time To Failure (TTF) | | | Time To Repair (TTR) | | |
|---------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|---------|
| | Distribusi | Parameter | | Distribusi | Parameter | |
| | | Beta (β) | Eta (?) | | Beta (β) | Eta (?) |
| Tooth Adapter | Weibull 2 | 5,2161 | 5174,4705 | Weibull 2 | 2,3962 | 35,7710 |
| Seal Kit Stick Cyl. | Weibull 2 | 5,2703 | 5492,4739 | Weibull 2 | 7,3820 | 24,0508 |
| Track Adjuster | Weibull 2 | 3,185 | 7078,1083 | Weibull 2 | 4,2788 | 28,6474 |
| Water Pump | Weibull 2 | 3,5665 | 6613,4281 | Weibull 2 | 1,7599 | 15,6924 |

4.4 Perhitungan MTTF dan MTTR Komponen Kritis

Setelah distribusi data dan parameternya diketahui, maka langkah selanjutnya adalah menghitung MTTF dan MTTR masing-masing komponen dengan menggunakan persamaan MTTF/R di persamaan 2.21. Contoh untuk perhitungan MTTF Tooth Bucket adalah sebagai berikut :

$$MMTF = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$$

$$MTTF = 5174,4705 \Gamma\left(\frac{1}{5,2161} + 1\right)$$

$$MTTF = 4763 \text{ jam}$$

Hasil perhitungan MTTF dan MTTR komponen kritis lainnya dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai MTTF dan MTTR Komponen Kritis

| Komponen | Time To Failure | | | Time To repair | | |
|--------------------|------------------|----------------|---------------|------------------|----------------|---------------|
| | Parameter | | MTTF (Jam) | Parameter | | MTTR (Jam) |
| | Beta (β) | Eta (η) | | Beta (β) | Eta (η) | |
| Tooth Adapter | 5,2161 | 5174,4705 | 4763 | 2,3962 | 35,7710 | 31,913 |
| Seal Kit Stick Cyl | 5,2703 | 5492,4739 | 5058 | 7,3820 | 24,0508 | 22,559 |
| Track Adjuster | 3,185 | 7078,1083 | 6338 | 4,2788 | 28,6474 | 26,066 |
| Water Pump | 3,5665 | 6613,4281 | 5956 | 1,7599 | 15,6924 | 13,971 |

4.5 Perhitungan Biaya

Untuk menghitung interval perawatan pencegahan dapat menggunakan persamaan yang meminimkan biaya dimana yang diperhitungkan adalah biaya tenaga kerja dan biaya *lost production*. Dari biaya tersebut akan dihitung biaya perawatan pencegahan dan biaya kerusakan.

4.5.1 Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja adalah biaya yang dikeluarkan untuk membayar tenaga kerja mekanik yang melakukan maintenance. Dalam satu bulan, mekanik rata rata bekerja selama 28 hari dan dalam sehari kerja dibagi dua shift kerja dengan lama a waktu satu shiftnya 12 jam dengan jam istirahat satu jam. Rata-rata mekanik dalam sebulan dibayar sebesar Rp. 8.000.0000. Sehingga, biaya tenaga kerja per orang tiap jamnya adalah sebesar :

$$\text{Rp.8.400.000} : (28 \text{ Hari} * 10 \text{ Jam/Hari}) = \text{Rp. 30.000}$$

4.5.2 Biaya *Lost Production*

Biaya *lost production* adalah biaya yang timbul akibat berhentinya proses produksi. Dalam hal ini biaya *lost production* adalah kehilangan kesempatan unit disewakan kepada pihak kedua, sehingga biaya lost production adalah sebesar harga sewa unit Komatsu PC1250-8R perjam, yaitu sebesar Rp 2.780.000 / Jam.

4.5.3 Biaya *Preventive Replacement* pada Komponen (Cp)

Biaya *preventive replacement* merupakan biaya yang timbul akibat penggantian yang dilakukan untuk kegiatan perawatan. Biaya ini terdiri dari :

1. Lamanya Waktu Penggantian Pencegahan (Tp)

Lamanya waktu penggantian pencegahan ditetapkan oleh perusahaan ditentukan oleh departemen maintenance berdasarkan pengalaman penggantian komponen sebelum - sebelumnya. Untuk komponen teeth adapter ditentukan lamanya waktu penggantian adalah 24 Jam.

2. Biaya Tenaga Kerja Penggantian Pencegahan

Biaya tenaga kerja penggantian pencegahan adalah biaya per jam per orang dikalikan dengan jumlah tenaga kerja dan waktu penggantian pencegahan (Tp) yang diperlukan untuk melakukan penggantian pencegahan.

$$\begin{aligned}\text{Biaya Tenaga kerja} &= \text{Rp. } 30.000 * 2 \text{ Orang} * 24 \text{ Jam} \\ &= \text{Rp. } 1.440.000\end{aligned}$$

3. Biaya Akibat Penggantian Pencegahan

Biaya dihitung dari biaya lost production dikalikan dengan lamanya waktu penggantian pencegahan.

$$\begin{aligned}\text{Biaya akibat penggantian pencegahan} &= \text{Rp. } 2.780.000 * 24 \text{ Jam} \\ &= \text{Rp. } 66.720.000\end{aligned}$$

4. Biaya Komponen

Biaya komponen didapat dari harga komponen dikalikan dengan jumlah komponen yang diganti pada waktu penggantian pencegahan.

$$\begin{aligned}\text{Biaya komponen Teeth Adapter} &= \text{Rp. } 19.500.000 * 6 \\ &= \text{Rp. } 117.600.000\end{aligned}$$

5. Biaya Penggantian Pencegahan

Merupakan penjumlahan dari biaya tenaga kerja penggantian pencegahan, biaya akibat penggantian pencegahan dan biaya komponen. Besarnya biaya penggantian pencegahan untuk teeth adapter adalah :

$$Cp = \text{Rp. } 1.440.000 + \text{Rp. } 66.720.000 + \text{Rp. } 117.600.000$$

$$C_p = \text{Rp. } 185.760.000$$

Adapun hasil perhitungan biaya penggantian pencegahan komponen kritis PC1250 disajikan pada tabel 4.6:

Tabel 4.6 Biaya *Preventive Replacement* (C_p)

| Komponen | Waktu Penggantian Pencegahan (jam) | Biaya Tenaga Kerja (Rp) | Biaya Akibat Penggantian Pencegahan (Rp) | Harga Komponen (Rp) | CP (Rp) |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|--|---------------------|-------------|
| Tooth Adapter | 24 | 60.000 | 2.780.000 | 117.600.000 | 185.760.000 |
| Seal Kit Stick Cylinder | 12 | 60.000 | 2.780.000 | 19.776.000 | 53.856.000 |
| Track Adjuster | 24 | 60.000 | 2.780.000 | 21.334.000 | 89.494.000 |
| Water Pump | 6 | 60.000 | 2.780.000 | 23.500.000 | 40.540.000 |

4.5.4 Biaya *Corrective Replacement* Pada Komponen (C_f)

Biaya *Corrective Replacement* dapat dihitung dengan cara yang sama dengan biaya *Preventive Replacement*. Yang membedakan adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan *Corrective Replacement* yang merupakan rata-rata waktu penggantian kerusakan dan juga jumlah tenaga kerja bertambah akibat dibutuhkannya operator *crane truck* untuk perbaikan dilapangan, kecuali untuk perbaikan *water pump* tidak diperlukan operator *crane truck*. Adapun

hasil perhitungan untuk biaya *Corrective Replacement* disajikan pada tabel 4.7 :

Tabel 4.7 Biaya *Corrective Replacement* (C_f)

| Komponen | Waktu Penggantian Kerusakan (jam) | Biaya Tenaga Kerja (Rp) | Biaya Akibat Penggantian Kerusakan (Rp) | Harga Komponen (Rp) | Cf (Rp) |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---|---------------------|-------------|
| Tooth Adapter | 32 | 90.000 | 2.780.000 | 117.600.000 | 209.440.000 |
| Seal Kit Stick Cylinder | 23 | 90.000 | 2.780.000 | 19.776.000 | 85.786.000 |
| Track Adjuster | 26 | 90.000 | 2.780.000 | 21.334.000 | 95.954.000 |
| Water Pump | 14 | 60.000 | 2.780.000 | 23.500.000 | 63.260.000 |

4.6 Perhitungan Interval Penggantian Komponen Untuk Meminimumkan Biaya Total penggantian

Perhitungan interval penggantian komponen optimum menggunakan persamaan 2.25. Perhitungan dilakukan dengan mengubah nilai t_p yang berada pada rentang di bawah maupun di atas nilai MTTF tiap komponen. Sehingga nantinya akan diperoleh nilai t_p optimum untuk penggantian komponen. Berikut contoh perhitungan untuk komponen *Tooth Adapter* dengan nilai t_p antara 3606-3610 , untuk $t_p = 3606$ maka

$$C(t_p) = \frac{C_p \times R(t_p) + C_f \times [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) \times R(t_p) + \left[\int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + T_f \right] \times (1 - R(t_p))}$$

$$= \frac{185.860.000 \times R(3606) + 209.440.000 \times [1 - R(3606)]}{(3606 + 24) \times R(3606) + \left[\int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + 32 \right] \times (1 - R(3606))}$$

$$C(t_p) = \text{Rp. } 25.311,508$$

Perhitungan dilanjutkan sampai di dapat nilai $C(t_p)$ menurun dan kemudian kembali meningkat. Hasil perhitungan $C(t_p)$ untuk rentang t_p antara 3606-3610 dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perhitungan Interval t_p Komponen *Bucket Adapter*

| t_p (Jam) | $C(t_p)$ (Rp) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| 3606 | 25.311,508 |
| 3607 | 25.333,500 |
| 3608 | 25.333,497 |
| 3609 | 25.333,498 |
| 3610 | 25.333,502 |

Dari tabel di atas, maka t_p yang digunakan adalah yang memiliki nilai $C(t_p)$ paling optimal, yaitu $t_p = 3608$ jam. Adapun rekap hasil perhitungan komponen yang lain dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Interval Penggantian Optimum dan Rekomendasi Dealer

| Komponen | MTTF (Jam) | Perhitungan | | Dealer | |
|-------------------------|---------------|-------------|------------|----------|------------|
| | | tp (Jam) | C(tp) (Rp) | tp (Jam) | C(tp) (Rp) |
| Tooth Adapter | 4763 | 3608 | 25.333,497 | 4000 | 25.669,869 |
| Seal Kit Stick Cylinder | 5058 | 3440 | 7.248,889 | 4000 | 7.468,833 |
| Track Adjuster | 6338 | 4994 | 9.808,030 | 4000 | 10.187,735 |
| Water Pump | 5956 | 3711 | 5.103,260 | 4000 | 5.118,205 |

4.7 Perhitungan Interval Penggantian Komponen Untuk Meminimasi *Down Time*

Setelah mengetahui distribusi yang sesuai untuk data *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR) komponen *Teeth Adapter* dengan nilai MTTF dan MTTR berdasarkan distribusi terpilih yaitu distribusi Weibull, selanjutnya dapat dihitung interval waktu perawatan *preventive* optimum untuk komponen kritis menggunakan persamaan 2.23. Adapun contoh perhitungan untuk tooth adapter dengan t_p antara 3830-3834 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 t_p &= 3430 \\
 \beta \text{ (TTF)} &= 5,2161 \\
 \eta \text{ (TTF)} &= 5174,4705 \\
 \text{MTTF} &= 4763 \\
 T_f/\text{MTTR} &= 31,913 \\
 T_p &= 24
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D(t_p) &= \frac{T_p \times R(t_p) + T_f \times [1 - R(t_p)]}{(t_p + T_p) \times R(t_p) + \left[\int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + T_f \right] \times (1 - R(t_p))} \\
 &= \frac{24 \times R(3418) + 31,913 \times [1 - R(3418)]}{(3418 + 24) \times R(3418) + \left[\int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + 31,913 \right] \times (1 - R(3418))} \\
 &= 0.0078516111
 \end{aligned}$$

Kemudian dicari nilai $D(tp)$ yang turun kemudian naik lagi. Dengan cara yang sama didapatkan tp optimum sebesar 3832 jam dengan nilai $D(tp)$ sebesar 0,0078516093 Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Perhitungan Interval tp Komponen *Bucket Adapter*

| tp (Jam) | D(tp) (Jam) |
|-----------------|--------------------|
| 3830 | 0,0078516111 |
| 3831 | 0,0078516094 |
| 3832 | 0,0078516093 |
| 3833 | 0,0078516109 |
| 3834 | 0,0078516114 |

Dengan cara yang sama, didapatkan rekap komponen lainnya yang dapat dilihat di tabel 4.11

Tabel 4.11 Perbandingan Interval Penggantian Optimum dan Rekomendasi Dealer

| Komponen | MTTF (Jam) | Perhitungan | | Existing | |
|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| | | tp (Jam) | D(tp) (Jam) | tp (Jam) | D(tp) (Jam) |
| Tooth Adapter | 4763 | 3832 | 0,0078516093 | 4000 | 0,0078731091 |
| Seal Kit Stick Cylinder | 5058 | 3698 | 0,0040003347 | 4000 | 0,0040527487 |
| Track Adjuster | 6338 | 7000 | 0,0054899130 | 4000 | 0,0069579855 |
| Water Pump | 5956 | 3999 | 0,0020845504 | 4000 | 0,0020845504 |

4.8 Perhitungan Biaya Total Penggantian dan Downtime untuk MTTF

Nilai $C(tp)$ dan $D(tp)$ untuk t sama dengan MTTF dihitung sebagai perbandingan dengan nilai tp optimum hasil perhitungan dan nilai tp existing (rekomendasi dealer). Dengan menggunakan rumus 2.23 dan 2.25 didapatkan $C(tp)$ dan $D(tp)$ untuk nilai tp sama dengan MTTF dapat dilihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Nilai $C(tp)$ dan $D(tp)$ Untuk MTTF

| Komponen | MTTF (Jam) | C(tp) (Rp) | D(tp) (Jam) |
|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Tooth Adapter | 4763 | 28.733,390 | 0,00818 |
| Seal Kit Stick Cyl. | 5058 | 9.489,957 | 0,00478 |
| Track Adjuster | 6338 | 10.765,242 | 0,00577 |
| Water Pump | 5956 | 6.315,316 | 0,00243 |

BAB V

ANALISA DAN INTERPRETASI DATA

5.1 Analisa Pemilihan Komponen Kritis

Dari beberapa komponen *excavator* Komatsu PC1250-8R ditentukan komponen mana yang merupakan komponen kritis. Kriteria yang digunakan adalah lamanya total *downtime*, frekuensi kerusakan dan harga relatif mahal. Dari gambar 4.1 didapatkan *tooth adapter*, *seal kit stick cylinder*, *track adjuster* dan *water pump* memiliki total *downtime* yang paling tinggi. Keempat komponen tersebut walaupun mempunyai fungsi yang berbeda, berperan penting dalam proses kerja *excavator*. Artinya, apabila salah satu komponen tersebut mengalami kerusakan, *excavator* tidak dapat beroperasi sampai dilakukan penggantian komponen yang mengalami kerusakan. Untuk sekali penggantian *tooth adapter*, diperlukan 6 komponen *teeth adapter*. Dengan harga per komponen sebesar Rp.19.600.000, maka total biaya untuk sekali penggantian adalah Rp. 117.600.000. Harga untuk *water pump* adalah Rp. 23.500.000, untuk *track adjuster* adalah Rp. 21.334.000 dan untuk *seal kit stick cylinder* adalah Rp.19.776.000.

5.2 Analisa Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time To Repair (MTTR)

Dari distribusi dan parameter data pada komponen kritis, maka dapat dihitung nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) pada masing – masing komponen kritis. Pada komponen kritis *excavator* Komatsu PC1250-8R berdistribusi Weibull 2 Parameter seperti pada tabel 4.4.

MTTF merupakan ekspektasi umur pakai dari komponen sehingga dapat dikatakan bahwa komponen memiliki nilai MTTF besar adalah komponen yang jarang mengalami kerusakan. Dari data yang sudah dihitung, didapatkan nilai MTTF terbesar adalah komponen *track adjuster* dengan nilai 6338 jam dan nilai MTTF terkecil adalah komponen *tooth adapter* dengan nilai 4763 jam. Hal ini menunjukkan bahwa dibandingkan komponen kritis lainnya, *track adjuster* lebih jarang mengalami kerusakan dan *tooth adapter* adalah komponen yang paling

sering mengalami kerusakan. Hal ini dikarenakan *tooth adapter* merupakan bagian dari *excavator* yang sering bergesekan dengan material tanah. Sedangkan pada lokasi kerja *excavator* PC1250-8R diketahui bahwa material tanahnya berupa pasir yang mempunyai sifat abrasif. Hal ini menyebabkan *tooth adapter* lebih cepat mengalami keausan.

MTTR menunjukkan seberapa lama sebuah penggantian dilakukan untuk membuat unit dapat berproduksi kembali. Artinya, komponen dengan MTTR yang terkecil adalah komponen yang membutuhkan waktu penggantian tercepat. Pada Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai MTTR *water pump* adalah yang terkecil. Sedangkan komponen *tooth adapter* memiliki MTTR terbesar. Hal ini disebabkan, dalam penggantian komponen *tooth adapter* diperlukan proses pengelasan pada saat melepas dan memasang kembali *tooth adapter*.

5.3 Analisa Biaya Penggantian Komponen

Dalam menentukan interval penggantian optimal komponen maupun interval penggantian pencegahan optimal komponen digunakan model matematis dengan kriteria minimasi ekspektasi biaya penggantian komponen maupun ekspektasi biaya penggantian pencegahan komponen. Ekspektasi biaya perawatan total terdiri atas biaya perawatan dan ekspektasi biaya kerusakan per siklus. Dari kedua biaya tersebut dibagi atas biaya tenaga kerja dan biaya kehilangan keuntungan (*lost production*). Dari hasil perhitungan didapatkan biaya tenaga kerja per orang per jam adalah Rp. 30.000,00 dan biaya *lost production* per jam adalah Rp. 2.780.000,00 yang merupakan harga rental unit Excavator Komatsu PC1250-8R. Hal ini menunjukkan bahwa untuk melakukan perawatan maupun penggantian komponen dibutuhkan biaya tenaga kerja sebesar Rp. 30.000,00 per jam dan pada saat proses perawatan maupun penggantian, PT. XYZ mengalami kerugian sebesar Rp. 2.780.000,00 per jam akibat unit tidak dapat disewakan. Untuk ekspektasi biaya pencegahan penggantian, lamanya waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perawatan berkala masing-masing komponen berbeda karena kerumitan pekerjaan yang berbeda. Pada penggantian pencegahan, komponen pengganti, tenaga kerja dan ruang kerja workshop telah tersedia. Berbeda dengan penggantian kerusakan, komponen pengganti dan tenaga kerja belum tentu

tersedia akibat dialokasikan untuk pekerjaan lainnya. Adapun waktu penggantian pencegahan merupakan kebijakan perusahaan berdasarkan rekomendasi dari dealer Komatsu maupun berdasarkan pengalaman PT XYZ sendiri. Waktu penggantian pencegahan untuk *tooth adapter* selama 24 jam, *seal kit stick cylinder* 12 jam, *track adjuster* 24 jam dan *water pump* selama 6 jam. Sedangkan untuk tenaga kerja yang digunakan untuk penggantian pencegahan adalah 2 orang. Sehingga ekspektasi biaya akibat penggantian pencegahan untuk masing-masing komponen kritis adalah, Rp.66.720.000 untuk *tooth adapter* dan *track adjuster*, Rp.33.360.000 untuk *seal kit stick cylinder* dan Rp.16.680.000 untuk *water pump*. Biaya penggantian pencegahan merupakan penjumlahan biaya komponen, biaya tenaga kerja dan biaya *lost production*. Sehingga didapat biaya penggantian pencegahan untuk *tooth adapter* sebesar Rp.185.760.00, *track adjuster* sebesar Rp.89.494.000, *seal kit stick cylinder* sebesar Rp.53.856.000 dan *water pump* sebesar Rp.40.540.000. Sedangkan untuk ekspektasi biaya kerusakan bergantung pada waktu penggantian per komponen ketika terjadi kerusakan dan tenaga kerja yang menangani. Tenaga kerja untuk penggantian kerusakan dilapangan adalah 3 orang, dikarenakan dilapangan diperlukan operator *stick crane truck*. Berbeda dengan *workshop* yang sudah dilengkapi dengan *overhead crane*. Adapun ekspektasi biaya kerusakan untuk komponen *tooth adapter* sebesar Rp. 209.440.000, *seal kit stick cylinder* sebesar Rp.85.768.000, *track adjuster* sebesar Rp.95.954.000 dan *water pump* sebesar Rp.63.260.000.

Ekspektasi total biaya penggantian per siklus terdiri atas biaya siklus *preventive* dan biaya siklus *failure* yang dirumuskan menjadi $C_p.R(tp)+C_f.[1-R(tp)]$. Kedua biaya pada siklus *preventive* (C_p) dan siklus *failure* (C_f) terdiri atas biaya tenaga kerja, biaya kehilangan keuntungan (*lost production*), dan harga komponen. Yang membedakan antara kedua biaya tersebut adalah lamanya *replace time* (T_p dan T_f). Untuk penggantian *preventive* (T_p), secara umum lebih kecil angkanya daripada penggantian *failure* (T_f). Hal ini disebabkan karena untuk penggantian *preventive* (T_p) waktunya sudah dijadwalkan. Sehingga ketersediaan komponen pengganti dan tenaga kerja lebih terjamin. Berbeda dengan penggantian *failure* (T_f), dimana pada saat terjadi kerusakan secara tiba-tiba, mekanik harus mencari terlebih dahulu bagian mana yang mengalami

kerusakan dan mekanik memastikan apakah kerusakan tersebut memerlukan penggantian komponen atau cukup dilakukan repair saja. Setelah itu mekanik perlu mengecek ketersediaan part tersebut di *warehouse*. Apabila tidak tersedia di *warehouse*, maka diperlukan proses pengorderan dan pembelian komponen yang tentunya memerlukan waktu yang lebih lama. Waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian *preventive* (T_p) merupakan standar yang ditetapkan pihak *maintenance* berdasarkan rekomendasi dealer Komatsu dan pengalaman sebelumnya, sedangkan waktu penggantian kerusakan (T_f) diperoleh dari nilai *Mean Time To Repair* (MTTR).

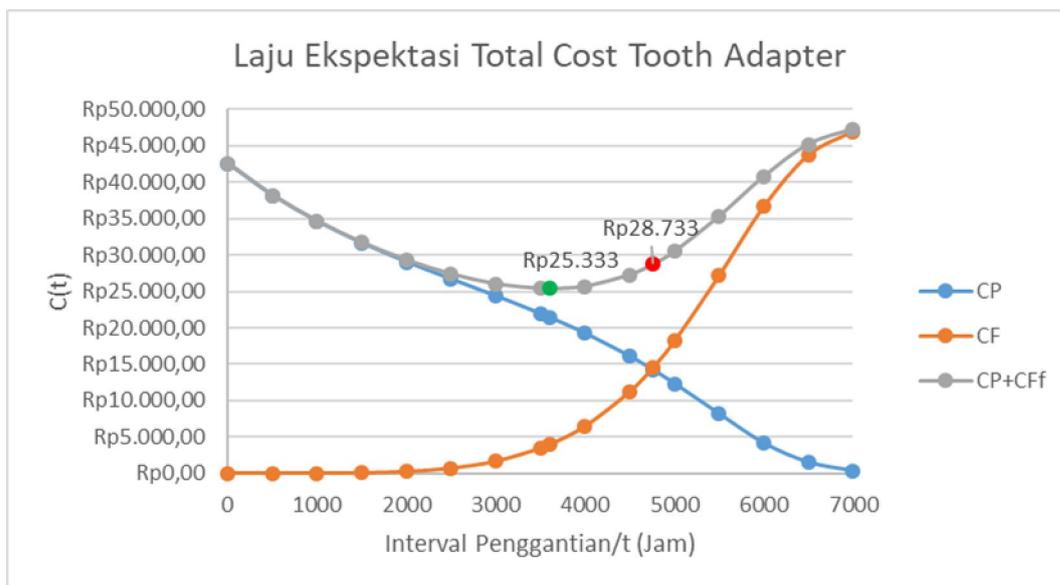
Dari ketiga komponen, biaya tenaga kerja, *lost production* dan harga komponen, maka dapat dihitung biaya penggantian pencegahan (C_p) dan biaya penggantian kerusakan (C_f). Biaya penggantian pencegahan (C_p) paling kecil adalah komponen *water pump* sebesar Rp. 40.540.000,00. Hal ini dikarenakan waktu yang diperlukan untuk melakukan penggantian komponen *water pump* merupakan yang paling kecil yaitu 6 jam. Sedangkan biaya penggantian pencegahan paling besar adalah komponen *tooth adapter*, sebesar Rp. 185.760.000,00, selain karena jumlah komponen dalam sekali penggantian jumlahnya 6 komponen, waktu yang diperlukan juga cukup lama yaitu 24 jam.

Biaya penggantian kerusakan (C_f) paling kecil adalah komponen *water pump* sebesar Rp. 63.260.000 dikarenakan waktu kerusakan (T_f) yang dimiliki komponen ini paling kecil, yaitu 14 jam. Sedangkan C_f paling besar adalah *tooth adapter* sebesar Rp. 209.440.000,00 dikarenakan waktu kerusakan (T_f) komponen paling lama, yaitu mencapai 32 jam. Rata-rata waktu penggantian sangat berpengaruh dalam perhitungan biaya penggantian pencegahan maupun kerusakan karena waktu digunakan dalam menentukan *lost production* dan juga biaya tenaga kerja yang dibutuhkan.

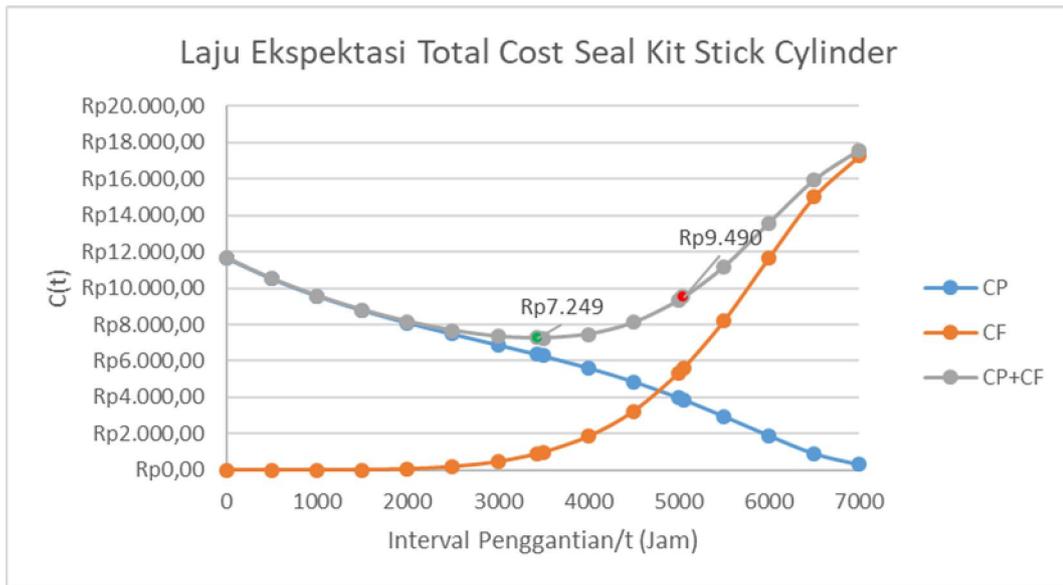
5.4 Analisa Interval *Preventive Replacements* Optimal Komponen

Setelah didapatkan interval penggantian pencegahan optimal sesuai dengan tabel 4.9 dan tabel 4.11 kemudian dibandingkan dengan nilai MTTF untuk tiap komponen. Pada tabel 4.9 semua komponen kritis memiliki interval penggantian optimal (t_p) dibawah MTTF, hal ini disebabkan karena pada interval

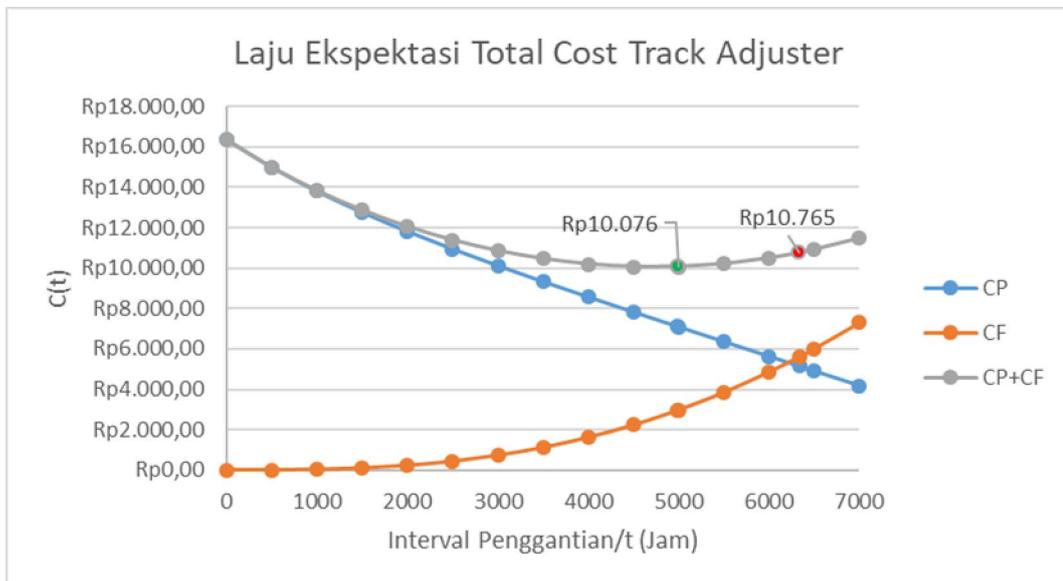
penggantian yang lebih pendek ,biaya penggantian kerusakannya akan lebih kecil daripada biaya penggantian pencegahannya. Sedangkan semakin mendekati nilai MTTF maka akan sering mengalami kerusakan sehingga biaya penggantian kerusakannya akan semakin tinggi. Biaya penggantian pencegahan dan biaya penggantian kerusakan akan minimum pada interval t_p minimasi biaya. Sehingga untuk meminimasi biaya, dilakukan penggantian komponen pada interval t_p . Adapun laju ekspektasi total cost untuk komponen kritis Excavator Komatsu PC1250-8R dapat dilihat pada gambar 5.1



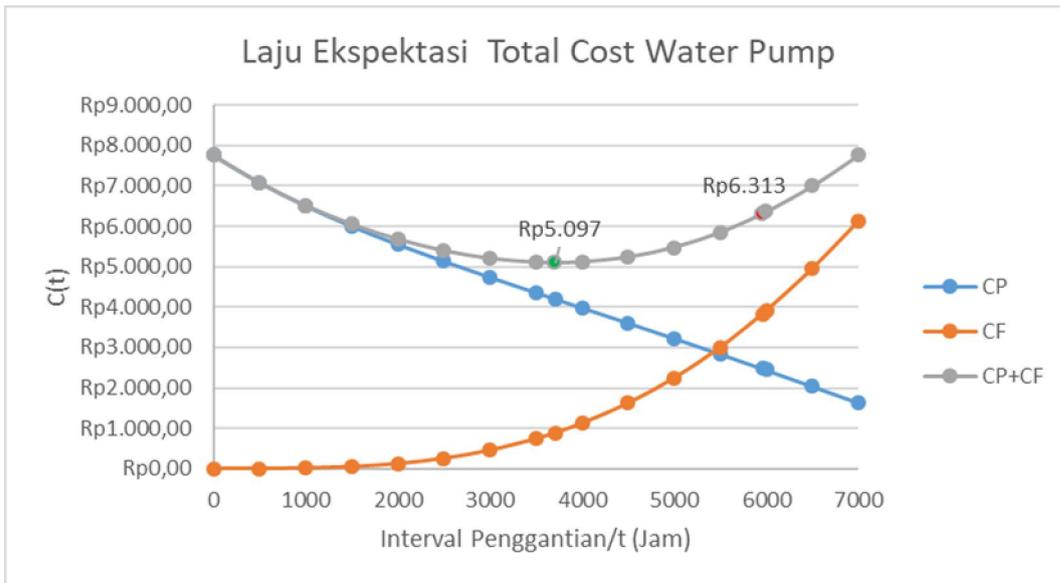
Gambar 5.1a Kurva Laju Ekspektasi Total Cost Tooth Adapter



Gambar 5.1b Kurva Laju Ekspektasi Total Cost Seal Kit Stick Cylinder

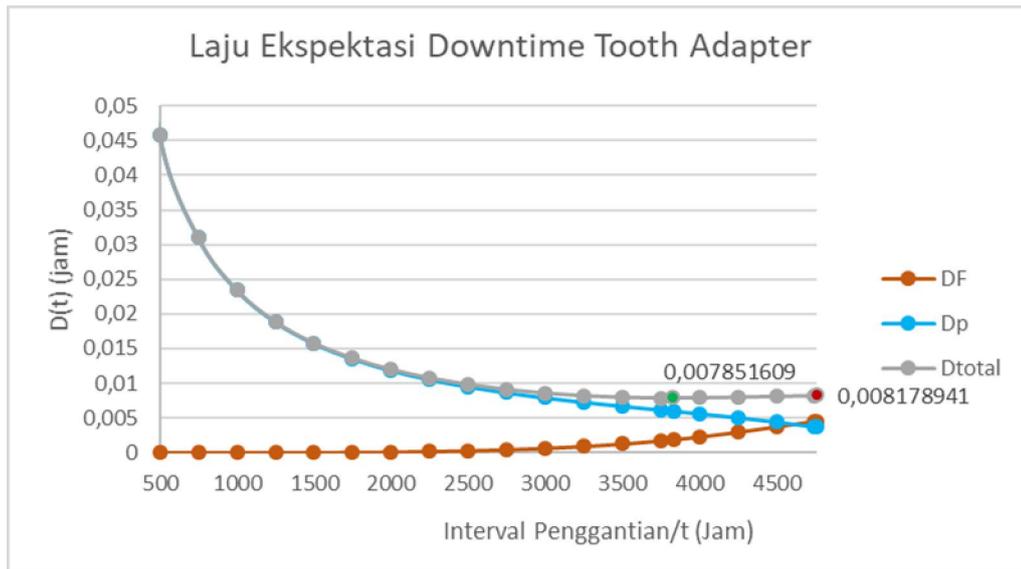


Gambar 5.1c Kurva Laju Ekspektasi Total Cost Track Adjuster

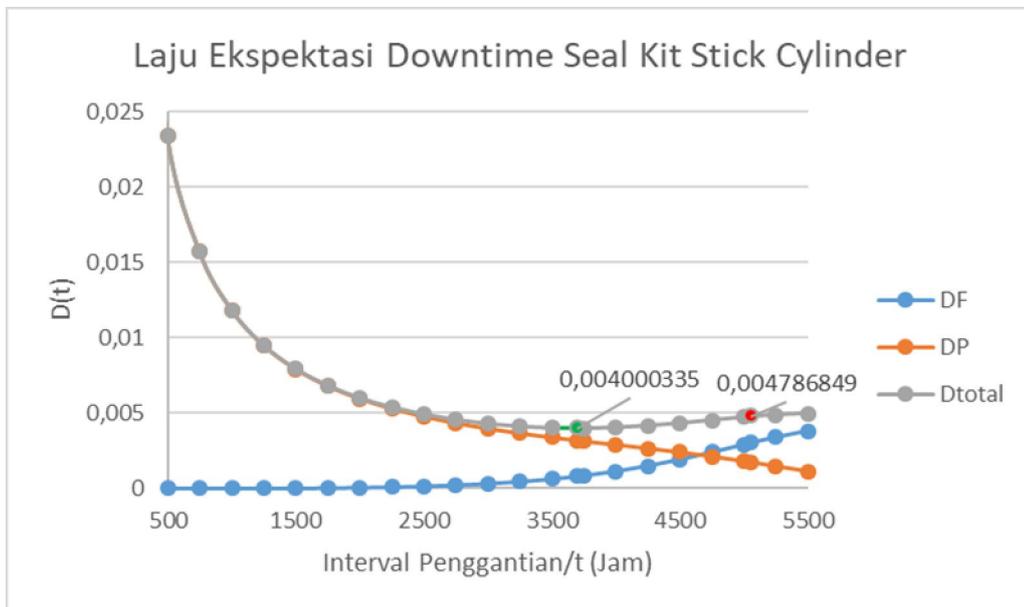


Gambar 5.1c Kurva Laju Ekspektasi Total Cost Water Pump

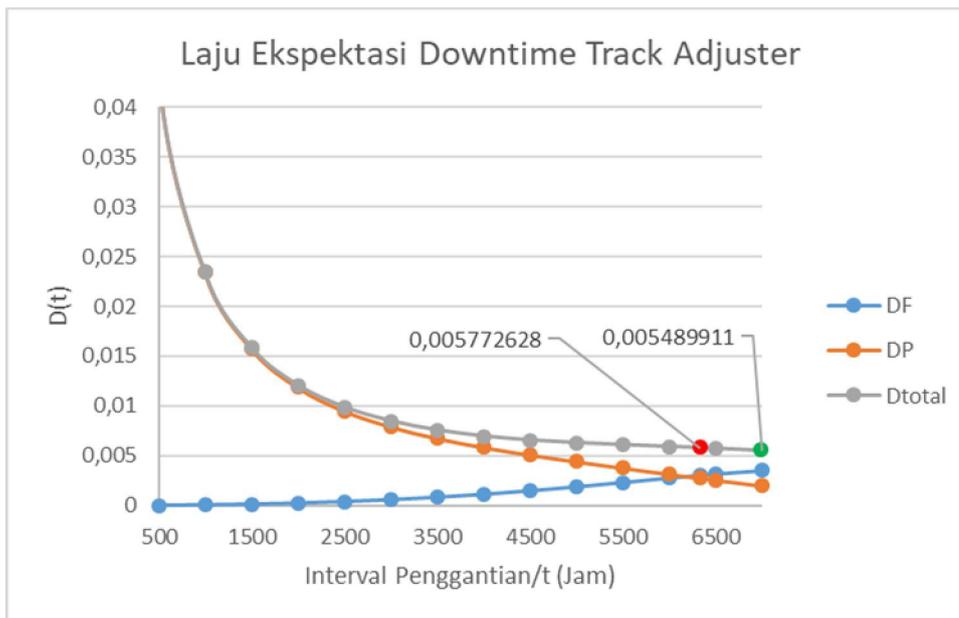
Dari gambar 5.1 tersebut dapat dilihat bahwa nilai $C(t_p)$ untuk semua komponen lebih kecil dari $C(MTTF)$. Nilai $C(p)$ cenderung turun bila interval penggantian komponen diperpanjang, artinya biaya penggantian pencegahan akan turun. Nilai $C(f)$ cenderung naik, kenaikannya akan semakin tinggi ketika interval penggantian komponen mendekati nilai $MTTF$. Hal ini menunjukkan ekspektasi biaya penggantian kerusakan akan cenderung naik dengan semakin panjangnya interval antar penggantian komponen. Demikian pula pada tabel 4.11 nilai t_p minimasi downtime untuk semua komponen lebih kecil daripada $MTTF$ kecuali untuk komponen track adjuster dimana t_p lebih besar dari $MTTF$. Hal ini disebabkan waktu penggantian perawatan (T_p) komponen track adjuster tidak terpaut jauh dibandingkan dengan waktu penggantian kerusakannya (T_f), yaitu T_p sebesar 24 Jam dan T_f sebesar 26 Jam. Adapun laju ekspektasi total downtime dapat dilihat pada gambar 5.2



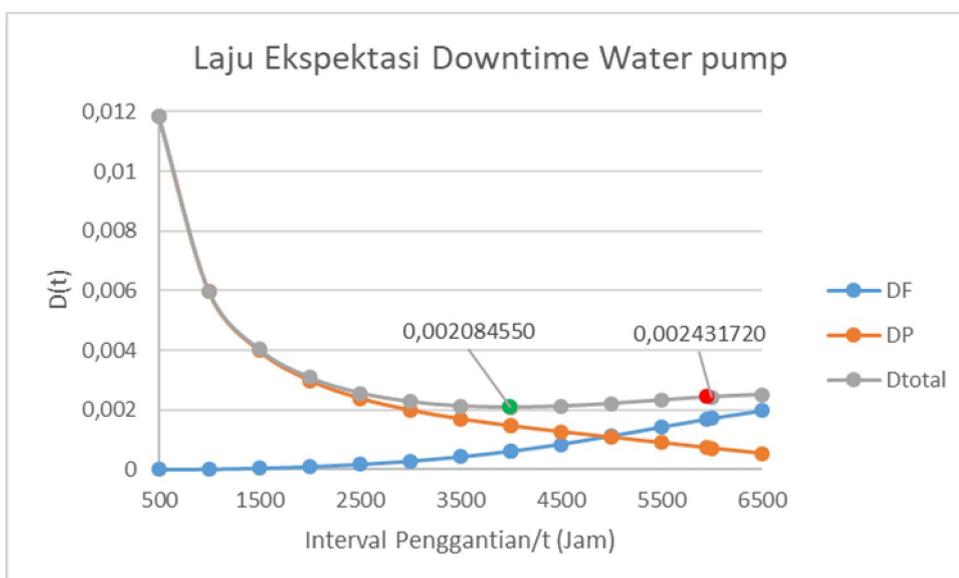
Gambar 5.2a Kurva Laju Ekspektasi Downtime Tooth Adapter



Gambar 5.2b Kurva Laju Ekspektasi Downtime Seal Kit Stick Cylinder



Gambar 5.2c Kurva Laju Ekspektasi Downtime Track Adjuster



Gambar 5.2d Kurva Laju Ekspektasi Downtime Track Adjuster

Perbandingan besaran interval penggantian komponen kritis *excavator* Komatsu PC1250-8R dengan berbagai metode dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Perbandingan Interval Penggantian Komponen Kritis Excavator
Komatsu PC1250-8R dengan Berbagai Metode

| Metode | MTTF/C(t)/D(t) | Tooth Adapter | Seal Kit Stick Cyl | Track Aduster | Water Pump |
|--------------------|----------------|---------------|--------------------|---------------|------------|
| Existing | MTTF | 4763 | 5058 | 6338 | 5956 |
| | C(MTTF) | 28.733,39 | 9.489,96 | 10.765,24 | 6.315,32 |
| | D(MTTF) | 0,00818 | 0,00478 | 0,00577 | 0,00243 |
| Rekomendasi Dealer | T | 4000 | 4000 | 4000 | 4000 |
| | C(T) | 25.669,87 | 7.468,83 | 10.187,74 | 5.118,20 |
| | D(T) | 0,00787 | 0,00405 | 0,00695 | 0,00209 |
| Minimasi Biaya | tp | 3608 | 3440 | 4994 | 3711 |
| | C(tp) | 25.333,50 | 7.248,89 | 9.808,03 | 5.097,08 |
| | D(tp) | 0,00790 | 0,00404 | 0,00628 | 0,00210 |
| Minimasi Downtime | tp | 3832 | 3698 | 7000 | 3999 |
| | C(tp) | 25.439,45 | 7.294,98 | 11.476,95 | 5.103,26 |
| | D(tp) | 0,00785 | 0,00400 | 0,00549 | 0,00208 |

Dari tabel tersebut, didapat interval penggantian komponen optimum untuk minimasi biaya adalah , 3608 jam untuk *tooth adapter* dengan nilai ekspektasi total cost sebesar 25.333,50, 3440 jam untuk *seal kit stick cylinder* dengan nilai ekspektasi total cost sebesar Rp.7248,89, 4994 jam untuk *track adjuster* dengan nilai ekspektasi total cost sebesar Rp.9.808,03 dan 3711 jam untuk *water pump* dengan nilai ekspektasi total cost sebesar Rp.5097,08. Sedangkan interval penggantian komponen optimum untuk meminimasi *downtime* masing- masing kompone adalah : komponen *tooth adapter* 3832 jam dengan nilai ekspektasi total *downtime* sebesar 0,00785, seal kit stick cylinder 3698 jam dengan nilai ekspektasi total *downtime* sebesar 0,004, *track adjuster* 7000 jam dengan nilai ekspektasi total *downtime* sebesar 0,00549 dan water pump 3999 jam dengan nilai ekspektasi *downtime* sebesar 0,00208. Nilai tp untuk komponen *track adjuster* lebih besar dari nilai MTTF nya, hal ini berari bahwa biaya penggantian pencegahan dan biaya penggantian kerusakan mencapai titik minimal

pada tp sebesar 7000 akan tetapi masa pakai komponen tersebut lebih pendek daripada nilai tp, sehingga kemungkinan akan mengalami kerusakan sebelum mencapai interval tp. Dengan demikian komponen *track adjuster* akan diganti pada saat MTTF dengan ekspektasi total downtime sebesar 0,00577.

PT XYZ merupakan perusahaan persewaan unit alat berat untuk industri pertambangan batubara. Alat berat tersebut digunakan pada tambang dengan metode open pit. Adapun tambang dengan metode open pit sangat tergantung dengan cuaca. Apabila hujan turun maka kegiatan penambangan juga akan berhenti. Bahkan saat hujan sudah reda, masih diperlukan waktu beberapa saat untuk persiapan sebelum kegiatan penambangan bisa dilanjutkan. Untuk itu pemilik tambang selaku penyewa *excavator* Komatsu PC1250 PT XYZ, menuntut *availability* peralatan yang cukup tinggi. Didalam kontrak kerja, PT XYZ bisa dikenakan pinalti bila *availability* tidak mencapai target. Selain itu, kemampuan PT XYZ dalam memenuhi perjanjian kontrak akan meningkatkan reputasi PT XYZ didunia tambang. Hal ini akan menarik minat pemilik tambang lainnya untuk menggunakan jasa PT XYZ. *Availability* atau ketersediaan peralatan sendiri terkait dengan total downtime dalam periode tertentu. Semakin kecil downtime maka semakin tinggi *availability* peralatan. Artinya, PT XYZ dalam menentukan kebijakan perawatan harus mengutamakan minimasi downtime disamping tetap mempertimbangkan biaya.

5.5 Analisa Perbandingan Total Biaya dan Total *Downtime* Antara Kebijakan Penggantian Komponen Eksisting , Rekomendasi Dealer dan Minimasi Downtime

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui apakah tiap komponen lebih baik dilakukan penggantian pencegahan atau tidak dengan memperhitungkan biaya tenaga kerja, waktu interval penggantian optimum (tp), MTTF, waktu perawatan pencegahan yang direkomendasikan dealer Komatsu, waktu perawatan kerusakan dan biaya *lost production*. Jumlah penggantian dihitung dari kebijakan umur *excavator* Komatsu PC1250-8R sebelum dilakukan *general overhaul*, yaitu 24.000 jam. Jadi untuk komponen tooth adapter selama umur pakai *excavator*

akan mengalami penggantian sebanyak $6,26 \approx 6$ kali penggantian. Hasil perhitungan total biaya dan total downtime dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Perbandingan Total *Downtime* dan Total Biaya Antara Kebijakan Penggantian Komponen Eksisting , Rekomendasi Dealer dan Minimasi Downtime

| Komponen | Metode | t (Jam) | Jumlah Penggantian | Repair Time (Jam) | Total Downtime (jam) | Biaya Tenaga kerja | Harga Komponen | Lost Production | Total Cost |
|-------------------------|-------------|---------|--------------------|-------------------|----------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Tooth Adapter | MTTF | 4763 | 5 | 32 | 160 | Rp 90.000 | Rp 117.600.000 | Rp 88.960.000 | Rp 691.360.000 |
| | Dealer | 4000 | 6 | 24 | 144 | Rp 60.000 | Rp 117.600.000 | Rp 66.720.000 | Rp 663.360.000 |
| | tp downtime | 3832 | 6 | 24 | 144 | Rp 60.000 | Rp 117.600.000 | Rp 66.720.000 | Rp 663.360.000 |
| Seal Kit Stick Cylinder | MTTF | 5058 | 4 | 23 | 92 | Rp 90.000 | Rp 19.776.000 | Rp 63.940.000 | Rp 171.100.000 |
| | Dealer | 4000 | 6 | 12 | 72 | Rp 60.000 | Rp 19.776.000 | Rp 33.360.000 | Rp 136.560.000 |
| | tp downtime | 3698 | 6 | 12 | 72 | Rp 60.000 | Rp 19.776.000 | Rp 33.360.000 | Rp 136.560.000 |
| Track Adjuster | MTTF | 6338 | 3 | 26 | 78 | Rp 90.000 | Rp 21.334.000 | Rp 72.280.000 | Rp 185.970.000 |
| | Dealer | 4000 | 6 | 24 | 144 | Rp 60.000 | Rp 21.334.000 | Rp 66.720.000 | Rp 182.030.000 |
| | tp downtime | 6338 | 3 | 24 | 72 | Rp 60.000 | Rp 21.334.000 | Rp 66.720.000 | Rp 177.710.000 |
| Water Pump | MTTF | 5956 | 3 | 14 | 42 | Rp 60.000 | Rp 23.500.000 | Rp 38.920.000 | Rp 158.940.000 |
| | Dealer | 4000 | 6 | 6 | 36 | Rp 60.000 | Rp 23.500.000 | Rp 16.680.000 | Rp 136.340.000 |
| | tp downtime | 3999 | 6 | 6 | 36 | Rp 60.000 | Rp 23.500.000 | Rp 16.680.000 | Rp 136.340.000 |

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai total downtime dan total cost penggantian untuk interval penggantian komponen dengan metode minimasi downtime dan rekomendasi dealer adalah sama untuk komponen tooth adapter, seal kit stick cylinder dan waterpump. Akan tetapi nilai *reliability* untuk metode minimasi *downtime* masih lebih besar. Perbandingan *reliability* antara minimasi downtime dapat dilihat pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Perbandingan Reliability Metode Minimasi Downtime dengan Rekomendasi Dealer

| Komponen | Minimasi Downtime | | Rekomendasi Dealer | |
|--------------------|-------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | tp | Reliability | t | Reliability |
| Tooth Adapter | 3832 | 0,812 | 4000 | 0,77 |
| Seal Kit Stick Cyl | 3698 | 0,883 | 4000 | 0,829 |
| Water Pump | 3999 | 0,847 | 4000 | 8,47 |

Dengan nilai reliability yang lebih rendah, maka komponen yang diganti mengikuti interval penggantian komponen rekomendasi dealer lebih berpeluang mengalami kerusakan dibandingkan komponen yang diganti dengan metode minimasi downtime. Sedangkan komponen *track adjuster*, interval penggantian optimumnya adalah sama dengan nilai MTTF. Hal ini disebabkan , waktu untuk melakukan penggantian perawatan dan penggantian kerusakan tidak terpaut banyak, yaitu 24 dan 26 jam.

5.6 Analisa Availability

Setelah interval penggantian optimum diketahui, maka akan dibandingkan *Availability* eksisting dengan interval penggantian hasil perhitungan. Dengan menggunakan rumus 2.26, maka didapatkan nilai *availability* yang disajikan pada tabel 5.4

Tabel 5.4 Perbandingan *Availability* Eksisting dan Hasil Perhitungan

| Availability | Tooth Adapter | Seal Kit Stick Cyl | Adjuster Track | Water Pump |
|---------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| A(MTTF) | 99,334% | 99,556% | 99,590% | 99,766% |
| A(tp) | 99,378% | 99,677% | 99,623% | 99,850% |

Dari tabel 5.4 dapat dilihat terjadi kenaikan *availability* untuk masing-masing komponen. Komponen *tooth adapter* naik dari 99,334% menjadi 99,378%, komponen *seal kit stick cylinder* naik dari 99,556% menjadi 99,667% , komponen track adjuster naik dari 99,590% menjadi 99,623% dan komponen *water pump* naik dari 99,766% menjadi 99,850%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dibuat beberapa kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Selanjutnya dari kesimpulan tersebut dapat diajukan beberapa saran kepada perusahaan terkait interval penggantian komponen.

6.1 Kesimpulan

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

1. Komponen kritis pada excavator Komatsu PC1250-8R PT XYZ adalah *tooth adapter*, *seal kit stick cylinder*, *track adjuster* dan *water pump*.
2. Interval penggantian optimum untuk komponen *tooth adapter* adalah 3832 jam, komponen *seal kit stick cylinder* adalah 3698 jam, komponen *track adjuster* adalah 6338 jam dan komponen *water pump* adalah 3999 jam.
3. Berdasarkan perbandingan biaya antara kebijakan eksisting dan kebijakan usulan didapatkan penghematan sebesar Rp. 93.400.000 selama satu siklus hidup eksavator.
4. Dengan menerapkan kebijakan usulan terjadi kenaikan Availability dibandingkan dengan kebijakan eksisting. Dari komponen *tooth adapter* naik dari 99,334% menjadi 99,378%, komponen *seal kit stick cylinder* naik dari 99,556% menjadi 99,667% , komponen *track adjuster* naik dari 99,590% menjadi 99,623% dan komponen *water pump* naik dari 99,766% menjadi 99,850%.

6.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan sebagai pertimbangan untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya berdasarkan hasil penelitian ini adalah :

1. Perbaiki pencatatan perawatan peralatan yang lebih detail dan spesifik, agar data – data historis yang digunakan sebagai input perhitungan mendapatkan hasil yang lebih akurat.

2. Penelitian dapat dilanjutkan dengan menghitung interval inspeksi komponen.
3. Penelitian interval penggantian komponen ekskavator Komatsu PC1250-8R dapat dicoba dengan metode group replacement. Terutama pada komponen *hose-hose hydraulic* yang jumlahnya cukup banyak dan mempunyai fungsi yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, Sofjan. (2008). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Edisi Revisi 2008, Jakarta :Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia
- Arpurtaraj, M. E. Michael. (2015). Studies on Availability and Utilisation of Mining Equipment – An Overview. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*. Volume 6, Issue 3, March, Pp. 14-21
- Barabadi et. al. (2014). Availability Analysis of The Main Conveyor in The Svea Coal Mine in Norway. *International Journal of Mining Science and Technology* 24. August. Pp 587-591
- Barabady, Javad. (2005). *Improvement of System Availability Using Reliability and Maintainability Analysis*. Lulea University of Technology. Lulea, Sweden.
- Baradaby, Javad. (2008). Reliability Analysis of Mining Equipment : A Case Study of Crushing Plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran. *Reliability Engineering and System Safety* 93. Pp. 647-653
- Dewi, D.S dan Voorthuysen, E.J. (2010). *Service Development in Heavy Equipment*. Industry School of Mechanical and Manufacturing University of New South Wales Sydney NEW AUSTRALIA, 2032.
- Dhillon, B. S dan Reiche, Hans. (1997). *Realibiltiy and Maintainability Management*. CBS Publisher and Distribution. New Delhi
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Taylor and Francis Group. New York : LCC
- Ebeling, Charles, E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, Mc Graw Hill, Singapore, Ltd

- Jardine, A.K.S. (1973). *Maintenance, Replacement and Reliability*. Pitman Publishing, London
- Lewis, E. E. (1998), *Introduction to Reliability Engineering*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Nurmala, Yulia Rizky (2015). Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan serta Laju Biayanya Berdasarkan Alokasi dan Optimasi Keandalan pada Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT X. Thesis Magister Manajemen Teknologi ITS.
- O'Connor, Patrick D. T. (2001). *Practical Reliability Engineering, Fourth Edition*, John Wiley & Sons Ltd. England
- Osarenren, John. (2015). *Integrated Reliability. Condition Monitoring and Maintenance of Equipment*, CRC Press, Boca Raton. Florida.
- Putra, Trisian Hendra (2013). Penentuan Interval Waktu Penggantian Sub-Sub System pada Mesin Heidelberg CD 102 di PT X. Thesis Magister Manajemen Teknologi ITS.
- Satria, Yhatna (2012). Analisa Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen Kritis pada Alat Instrumentasi QSC Scanner Type 2200-2 di PT Pabrik Kertas Tjiwi Kimia. Thesis Magister Manajemen Teknologi ITS.
- Ushakov, I. A., and Horison, R. A., (1994), *Handbook of Reliability Engineering*, John Wiley, Inc., New York.

LAMPIRAN

- A. Data Waktu Antar Penggantian Komponen**
- B. Hasil Pengujian Distribusi dan Parameter Komponen**
- C. Hasil Perhitungan Mean Time To Failure (MTTF) Komponen**

A. Data Waktu Antar Penggantian Komponen

1. Data Penggantian Komponen *Seal Kit Stick Cylinder*

| No | Waktu Antar Penggantian (jam) | Down time (Jam) |
|------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1 | 5314 | 18 |
| 2 | 3440 | 24 |
| 3 | 6513 | 16 |
| 4 | 4410 | 23 |
| 5 | 3992 | 26 |
| 6 | 5681 | 24 |
| 7 | 4725 | 24 |
| 8 | 6332 | 24 |
| 9 | 5255 | 25 |
| Total Downtime : | | 204 |

2. Data Penggantian Komponen *Track Adjuster*

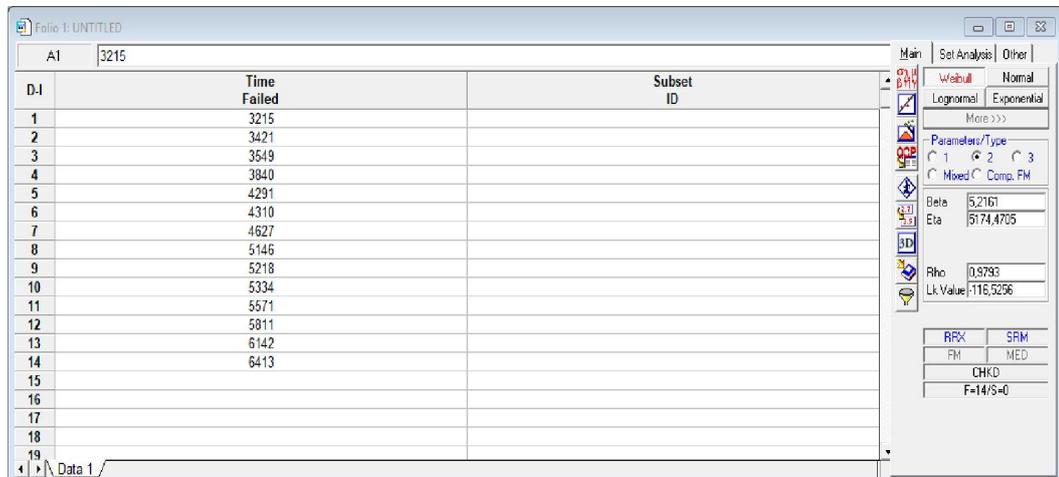
| No | Waktu Antar Penggantian (jam) | Down time (Jam) |
|------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1 | 8348 | 18 |
| 2 | 4106 | 20 |
| 3 | 3784 | 30 |
| 4 | 6185 | 24 |
| 5 | 7379 | 32 |
| 6 | 8264 | 33 |
| Total Downtime : | | 157 |

3. Data Penggantian Komponen *Water Pump*

| No | Waktu Antar Penggantian (jam) | Down time (Jam) |
|------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1 | 8353 | 4 |
| 2 | 4251 | 8 |
| 3 | 7244 | 9 |
| 4 | 5297 | 14 |
| 5 | 3539 | 16 |
| 6 | 6728 | 20 |
| 7 | 6283 | 24 |
| Total Downtime : | | 95 |

B. Hasil Pengujian Distribusi dan Parameter Komponen *Tooth Adapter*

1. Hasil Pengujian Distribusi dan Parameter Komponen *Tooth Adapter*



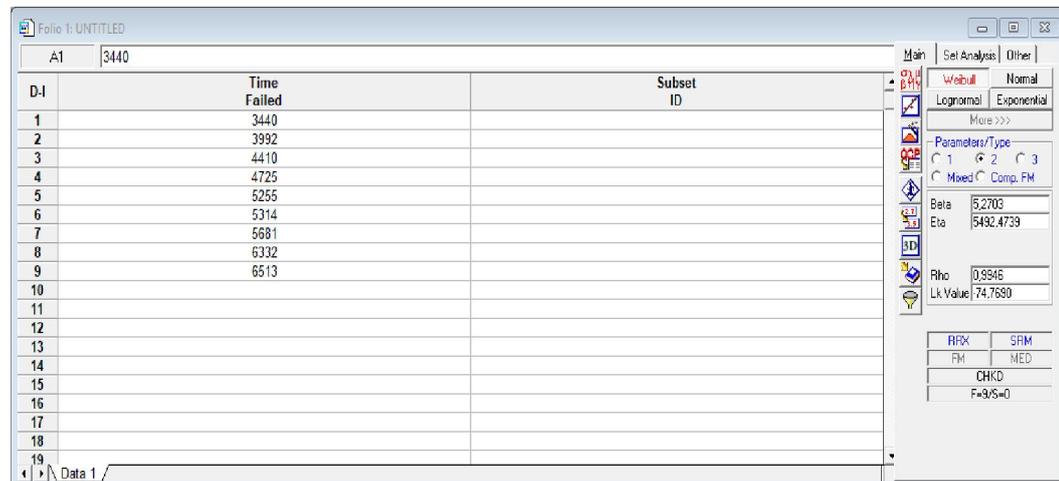
The screenshot shows the Minitab software interface. The main window displays a data table with the following columns: D-I, Time Failed, and Subset ID. The data points are as follows:

| D-I | Time Failed | Subset ID |
|-----|-------------|-----------|
| 1 | 3215 | |
| 2 | 3421 | |
| 3 | 3549 | |
| 4 | 3840 | |
| 5 | 4291 | |
| 6 | 4310 | |
| 7 | 4627 | |
| 8 | 5146 | |
| 9 | 5218 | |
| 10 | 5334 | |
| 11 | 5571 | |
| 12 | 5811 | |
| 13 | 6142 | |
| 14 | 6413 | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |

The right-hand pane shows the distribution parameters for the Weibull distribution:

- Parameters/Type: Weibull
- Lognormal: Exponential:
- Parameters/Type: 1, 2, 3 (selected)
- Mixed: Comp. FM:
- Beta: 5.2161
- Eta: 5174.4705
- Rho: 0.9793
- Lik. Value: -116.5256
- RFK: SRM:
- FM: MED:
- CHKD:
- F=14/S=0

2. Hasil Pengujian Distribusi dan Parameter Komponen *Seal Kit Stick Cylinder*



The screenshot shows the Minitab software interface. The main window displays a data table with the following columns: D-I, Time Failed, and Subset ID. The data points are as follows:

| D-I | Time Failed | Subset ID |
|-----|-------------|-----------|
| 1 | 3440 | |
| 2 | 3992 | |
| 3 | 4410 | |
| 4 | 4725 | |
| 5 | 5255 | |
| 6 | 5314 | |
| 7 | 5681 | |
| 8 | 6332 | |
| 9 | 6513 | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |

The right-hand pane shows the distribution parameters for the Weibull distribution:

- Parameters/Type: Weibull
- Lognormal: Exponential:
- Parameters/Type: 1, 2, 3 (selected)
- Mixed: Comp. FM:
- Beta: 5.2703
- Eta: 5492.4739
- Rho: 0.9546
- Lik. Value: -74.7680
- RFK: SRM:
- FM: MED:
- CHKD:
- F=9/S=0

3. Hasil Pengujian Distribusi dan Parameter Komponen *Track Adjuster*

The screenshot shows a software window titled 'Folio 1: UNTITLED'. The main data table has columns 'D-I', 'Time Failed', and 'Subset ID'. The 'Time Failed' values are 3784, 4106, 6185, 7379, 8264, and 8348. The right-hand panel shows distribution parameters: Weibull, Lognormal, and Exponential are selected. Parameters include Beta (3.1850) and Eta (7078.1083). Other parameters shown are Rho (0.9540) and Lk Value (53.7351). The bottom of the panel shows 'RRX SRM', 'FM MED', 'CHKD', and 'F=6/S=0'.

| D-I | Time Failed | Subset ID |
|-----|-------------|-----------|
| 1 | 3784 | |
| 2 | 4106 | |
| 3 | 6185 | |
| 4 | 7379 | |
| 5 | 8264 | |
| 6 | 8348 | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |

4. Hasil Pengujian Distribusi dan Parameter Komponen *Water Pump*

The screenshot shows a software window titled 'Folio 1: UNTITLED'. The main data table has columns 'D-I', 'Time Failed', and 'Subset ID'. The 'Time Failed' values are 3539, 4251, 5297, 6283, 6728, 7244, and 8353. The right-hand panel shows distribution parameters: Weibull, Lognormal, and Exponential are selected. Parameters include Beta (3.5665) and Eta (6613.4281). Other parameters shown are Rho (0.9930) and Lk Value (61.5871). The bottom of the panel shows 'RRX SRM', 'FM MED', 'CHKD', and 'F=7/S=0'.

| D-I | Time Failed | Subset ID |
|-----|-------------|-----------|
| 1 | 3539 | |
| 2 | 4251 | |
| 3 | 5297 | |
| 4 | 6283 | |
| 5 | 6728 | |
| 6 | 7244 | |
| 7 | 8353 | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |
| 16 | | |
| 17 | | |
| 18 | | |
| 19 | | |

C. Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) Komponen

1. Perhitungan *Mean Time To Failure* Tooth Adapter

MTTF Tooth Adapter

$$\beta := 5.2161 \quad \eta := 5174.4705$$

$$\lambda(t) := \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

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

$$MTTF := \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$MTTF = 4.763 \times 10^3$$

2. Perhitungan *Mean Time To Failure* Seal Kit Stick Cylinder

MTTF Seal Kit Stick Cyl

$$\beta := 5.2703 \quad \eta := 5492.4739$$

$$\lambda(t) := \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

$$R(t) := e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad +$$

$$MTTF := \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$MTTF = 5.058 \times 10^3$$

3. Perhitungan *Mean Time To Failure Track Adjuster*

MTTF Track Adjuster

$$\beta = 3.185 \quad \eta = 7078.1083$$

$$\lambda(t) := \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

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

$$\text{MTTF} := \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$\text{MTTF} = 6.338 \times 10^3$$

4. Perhitungan *Mean Time To Failure Water Pump*

MTTF Water Pump

$$\beta = 3.5665 \quad \eta = 6613.4281$$

$$\lambda(t) := \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

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

$$\text{MTTF} := \int_0^{\infty} R(t) dt$$

$$\text{MTTF} = 5.956 \times 10^3$$