

repository.ub.ac.id

**PERENCANAAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* KOMPONEN
CANE CUTTER I DENGAN PENDEKATAN AGE
REPLACEMENT**
(Studi Kasus di PG Kebon Agung Malang)

SKRIPSI
Konsentrasi Rekayasa Sistem Industri

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
SHABRINA DYAH MUTIARA
NIM. 105060700111072-67

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN

PERENCANAAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* KOMPONEN *CANE CUTTER* I DENGAN PENDEKATAN *AGE REPLACEMENT*

(Studi Kasus di PG Kebon Agung Malang)

SKRIPSI

Konsentrasi Rekayasa Sistem Industri

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SHABRINA DYAH MUTIARA
NIM. 105060700111072-67

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Arif Rahman, ST., MT.
NIP. 19740528 200801 1 010

Dosen Pembimbing II

Ihwan Hamdala, ST., MT.
NIP. 83101806110375

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN *PREVENTIVE MAINTENANCE* KOMPONEN *CANE CUTTER* I
DENGAN PENDEKATAN *AGE REPLACEMENT*
(Studi Kasus PG. Kebon Agung Malang)**

**SKRIPSI
KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**SHABRINA DYAH MUTIARA
NIM. 105060700111072 – 67**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 24 Juli 2014

Skripsi I

Ishardita Pambudi T, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730819 199903 1 002

Skripsi II

Nasir Widha Setyanto, ST., MT.
NIP. 19700914 200501 1 000

Komprehensif

Yeni Sumantri, S.Si., MT., Ph.D.
NIP. 19720219 20064 2 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Industri



Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730819 199903 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan unsur – unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 23 Juli 2014
Mahasiswa



SHABRINA DYAH MUTIARA
NIM. 105060700111072

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi merupakan salah satu persyaratan akademik untuk dapat mencapai gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi, sangatlah sulit bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam pembuatan laporan skripsi ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Secara khusus ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, yang telah memberi motivasi, ilmu, serta arahan kepada penulis.
2. Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan dan saran yang membangun dalam menyusun skripsi ini.
3. Bapak Ihwan Hamdala, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan saran yang membangun dalam menyusun skripsi ini.
4. Bapak dan Ibu dosen pengamat/penguji pada Seminar Proposal, Seminar Hasil, dan Ujian Komprehensif atas saran dan masukannya, serta seluruh dosen Teknik Industri yang telah memberikan arahan dan saran dalam menyusun skripsi kepada penulis.
5. Bapak Agung, Ibu Sherlyn, dan Bapak Mujahidin serta Bapak dan Ibu karyawan PG Kebon Agung Malang yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi.
6. Orang tua tercinta, Sudiyana dan Yuliati yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, arahan, dan masukan tiada henti kepada penulis
7. Kedua adik tercinta. Yudan a Bintang Nugraha dan Fairuz Hanna Nabila yang selalu mendoakan, memberikan semangat kepada penulis.
8. Sahabatku Nur Laily, Naura Vizkia, Ainur Rodliyah, Novia Alvin, Aini Nur Mahdina, Lalena Bunga Tanjung, dan Ayu Mustikaning Pramesti yang telah membantu dan mendukung dalam penyusunan skripsi ini.
9. Teman-teman simulator asisten Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri, khususnya April Fortunella, Ega Pratida Fauzi, Sindy Putri Utami, Rochsi Syahada, Ridha Wirardy Abdul Halim Najib, Irawan Harnadi Bangun, Fibri Ridho Pratiwi,

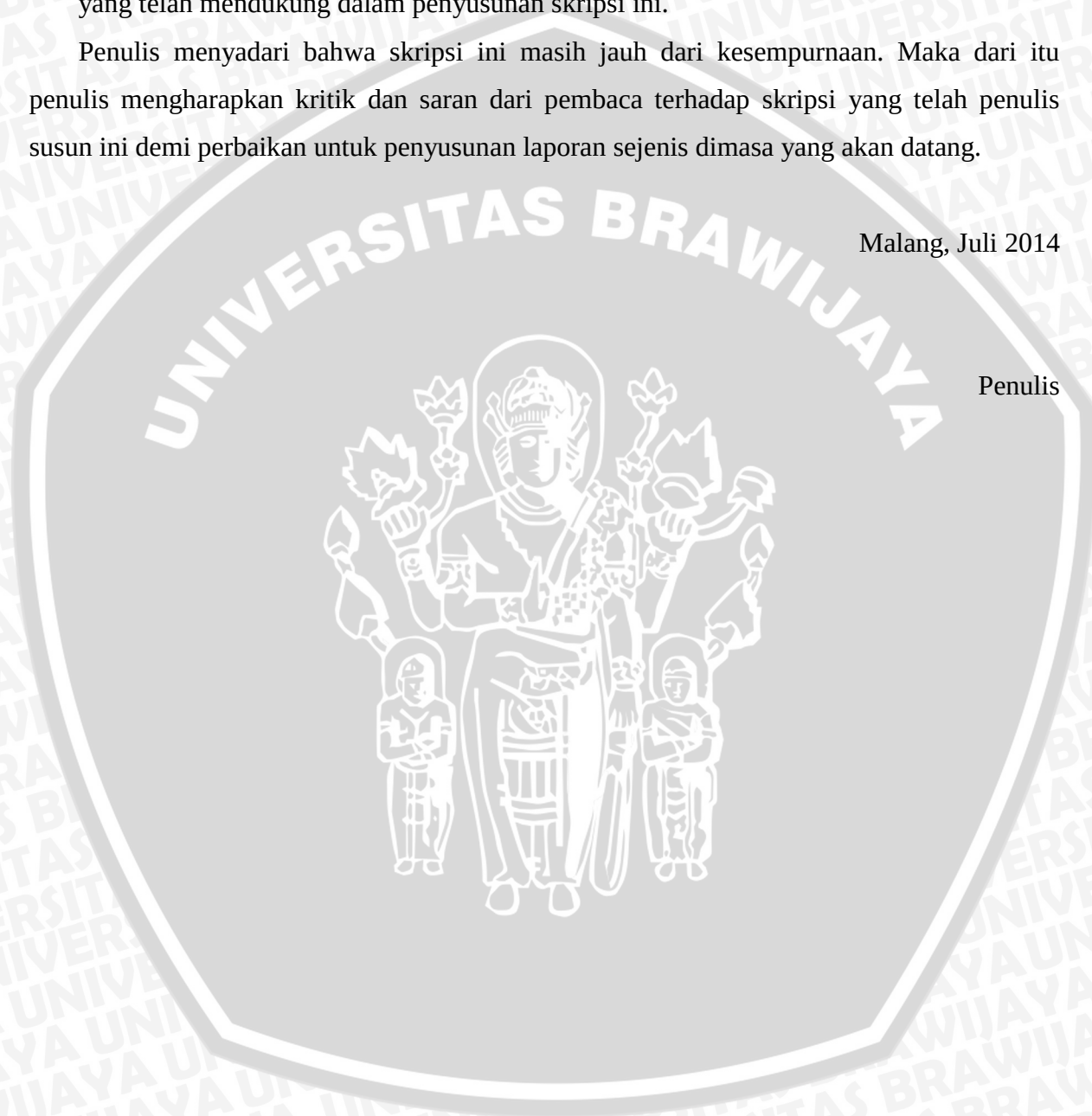
Astari Pramuwardhani, Faizal Randy, Adam Ardyana, dan Hilal Fahmi yang telah membantu dan mendukung penulis.

10. Seluruh teman-teman Teknik Industri 2010 (INSURGENT) atas motivasi, dukungan dan partisipasinya dalam menemani penulis selama 4 tahun.
11. Teman-teman kost KR 72 A, khususnya Ella, Wardah, Putri, Dewi, Annisa, dan Ninda yang telah mendukung dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca terhadap skripsi yang telah penulis susun ini demi perbaikan untuk penyusunan laporan sejenis dimasa yang akan datang.

Malang, Juli 2014

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PERSETUJUAN

KATA PENGANTAR..... i

DAFTAR ISIiii

DAFTAR TABELvii

DAFTAR GAMBARviii

DAFTAR LAMPIRAN..... ix

RINGKASAN x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang..... 1

1.2 Identifikasi Masalah..... 4

1.3 Rumusan Masalah..... 4

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian 4

1.6 Batasan Masalah 5

1.7 Asumsi 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu 6

2.2 Pemeliharaan (*Maintenance*) 9

2.2.1 Definisi Pemeliharaan (*Maintenance*) 9

2.2.2 Tujuan Pemeliharaan (*Maintenance*)..... 9

2.2.3 Klasifikasi Pemeliharaan (*Maintenance*) 10

2.3 Keandalan (*Reliability*)..... 12

2.3.1 Fungsi Keandalan (*Reliability*)..... 13

2.4 Konsep *Availability* 14

2.5 Laju Kerusakan 14

2.6 Model Distribusi	16
2.6.1 Distribusi Normal	16
2.6.2 Distribusi Eksponensial	16
2.6.3 Distribusi Weibull	17
2.6.4 Distribusi Lognormal.....	18
2.7 Penentuan Parameter	18
2.8 <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF)	19
2.9 <i>Mean Time to Repair</i> (MTTR)	20
2.10 <i>Downtime</i>	20
2.11 <i>Replacement</i>	21
2.12 Penghematan Biaya.....	23

BAB III METODOLOGI PRAKTIKUM

3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.3 Data dan Jenis Data	24
3.4 Langkah-Langkah Penelitian	25
3.4.1 Tahap Pendahuluan.....	25
3.4.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	26
3.4.3 Tahap Hasil dan Pembahasan.....	28
3.4.4 Kesimpulan dan Saran	28
3.5 Diagram Alir Penelitian	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum Perusahaan.....	30
4.1.1 Sejarah Perusahaan	30
4.1.2 Profil Perusahaan.....	32
4.1.3 Struktur Organisasi	33
4.1.4 Proses Produksi	33
4.2 Perhitungan Data Waktu Kerusakan Komponen <i>Cane Cutter</i>	36
4.2.1 Perhitungan <i>Time to Failure</i> (TTF) dan <i>Time to Repair</i> (TTR)	36
4.3 Penentuan Distribusi Komponen <i>Cane Cutter</i> Pada Mesin <i>Cane Cutter</i> I.....	38
4.4 Perhitungan Parameter Komponen <i>Cane Cutter</i> I.....	39
4.4.1 Perhitungan Parameter TTF Komponen <i>Cane Cutter</i> I.....	39

4.4.2	Perhitungan Parameter TTR Komponen <i>Cane Cutter</i> I	40
4.5	Pengujian Kesesuaian Distribusi Data Komponen <i>Cane Cutter</i> I.....	41
4.5.1	Perhitungan Kesesuaian Distribusi TTF Komponen <i>Cane Cutter</i> I	41
4.5.2	Perhitungan Kesesuaian Distribusi TTR Komponen <i>Cane Cutter</i> I.....	43
4.6	Perhitungan <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF) dan <i>Mean Time to Repair</i> (MTTR)	44
4.6.1	Perhitungan <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF) Komponen <i>Cane Cutter</i> I.....	44
4.6.2	Perhitungan <i>Mean Time to Repair</i> (MTTR) Komponen <i>Cane Cutter</i> I.....	45
4.7	Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen <i>Cane Cutter</i> I	45
4.8	Perhitungan <i>Downtime</i> Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan	48
4.9	Perhitungan <i>Availability</i> Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan	48
4.10	Perhitungan <i>Reliability</i> Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan.....	49
4.11	Perhitungan Estimasi Biaya Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan	50
4.12	Penghematan Biaya Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan	52
4.13	Analisis	53
4.13.1	Analisis Penentuan Parameter	53
4.13.2	Analisis Pengujian <i>Goodness of Fit</i>	53
4.13.3	Analisis Perhitungan MTTF dan MTTR	54
4.13.4	Analisis Penentuan Interval Waktu Penggantian.....	55
4.13.5	Analisis <i>Downtime</i> Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan	55
4.13.6	Analisis <i>Availability</i> Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan.....	56
4.13.7	Analisis <i>Reliability</i> Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan.....	56
4.13.8	Analisis Estimasi Biaya Kondisi Saat Ini dengan Kondisi Usulan	57

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Rekapitulasi <i>Downtime</i> Mesin <i>Cane Cutter</i> I Tahun 2009-2013	3
Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu	8
Tabel 4.1	Data TTF dan TTR Komponen <i>Cane Cutter</i> Tahun 2009-2013	37
Tabel 4.2	Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Data TTF Komponen <i>Cane Cutter</i>	42
Tabel 4.3	Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> Data TTR Komponen <i>Cane Cutter</i>	44
Tabel 4.4	Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen <i>Cane Cutter</i>	46
Tabel 4.5	Perhitungan Estimasi <i>Corrective Cost</i> dan <i>Preventive Cost</i>	51
Tabel 4.6	Parameter Data TTF dan TTR Komponen <i>Cane Cutter</i>	53
Tabel 4.7	Perbandingan Kondisi Saat Ini dengan Usulan <i>Preventive Maintenance</i>	55



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Kurva <i>bathub</i>	15
Gambar 2.2.	Model <i>age replacement</i>	22
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	29
Gambar 4.1.	Struktur Organisasi PG. Kebon Agung.....	33
Gambar 4.2.	Bagan proses pembuatan gula.....	35
Gambar 4.3.	Pola data <i>Time to Failure</i>	39
Gambar 4.4.	Pola data <i>Time to Repair</i>	39
Gambar 4.5.	Grafik Distribusi Lognormal.....	39
Gambar 4.6.	Grafik Estimasi <i>Corrective, Preventive, dan Total Cost</i>	58



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Daftar Kerusakan Komponen Mesin <i>Cane Cutter</i> I.....	63
Lampiran 2.	Gambar Komponen <i>Cane Cutter</i> I.....	66
Lampiran 3.	Perhitungan Parameter TTF dan TTR.....	67
Lampiran 3.	Penentuan Waktu Penggantian Optimal Pada Pisau <i>Cane Cutter</i>	69
Lampiran 4.	Penentuan Biaya Penggantian Optimal Pada Pisau <i>Cane Cutter</i>	72



RINGKASAN

Shabrina Dyah Mutiara, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2014, Perencanaan *Preventive Maintenance* Komponen *Cane Cutter* I dengan Pendekatan *Age Replacement* (Studi Kasus di PG Kebon Agung Malang), Dosen Pembimbing: Arif Rahman dan Ihwan Hamdala.

Sistem *maintenance* yang baik diperlukan PG Kebon Agung yang mengolah bahan baku tebu menjadi produk gula pasir. Dalam sistem *maintenance*-nya, PG Kebon Agung melaksanakan penggantian *spare part* di fasilitas produksinya dengan menerapkan *corrective maintenance*. Penggantian *spare part* dilakukan apabila telah terjadi kerusakan, tanpa didukung jadwal penggantian yang rutin secara periodik. Data historis kerusakan belum dipergunakan sebagai acuan untuk merencanakan *preventive maintenance*. Saat produksi sedang berjalan, kerusakan komponen yang tak terduga di fasilitas produksi menyebabkan terganggunya proses produksi. Salah satu fasilitas produksi yang sangat penting adalah mesin *cane cutter* I yang memegang fungsi utama dalam *size reduction* tebu. *Failure* pada komponen pisau di mesin *cane cutter* I mempunyai tingkat *severity* yang paling tinggi karena mengakibatkan *downtime* yang tinggi dan mengganggu kelancaran proses produksi. Dengan tujuan untuk mereduksi *downtime* yang mengganggu proses produksi, penelitian ini membuat perencanaan *preventive maintenance* komponen di mesin *cane cutter* I.

Penelitian ini menerapkan *preventive maintenance* dalam penggantian *spare part* menggunakan metode *age replacement*. Umur ekonomis *spare part* berkaitan erat dengan distribusi waktu kerusakan (*Time to Failure*) dari *spare part* tersebut. Penelitian dimulai dengan menguji kesesuaian distribusi dari data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov. Distribusi TTF diperlukan untuk mengetahui sebaran waktu kerusakan, sedangkan distribusi TTR diperlukan untuk mengetahui sebaran waktu perawatan atau penggantian *spare part*. Menggunakan fungsi probabilitas dan fungsi ekspektasi mengacu kedua distribusi tersebut, selanjutnya melakukan perhitungan penentuan interval waktu penggantian yang optimal dengan metode numerik. Setelah mendapatkan interval waktu penggantian optimal, lalu mengestimasi *downtime*, *availability*, *reliability* dan biaya *maintenance* dengan membandingkan antara kondisi saat ini yang hanya menggunakan *corrective maintenance* dengan usulan *preventive maintenance*.

Pengujian kesesuaian distribusi menunjukkan bahwa data TTF berdistribusi lognormal dengan rata-rata sebesar 500,98 jam (MTTF) dan data TTR berdistribusi lognormal dengan rata-rata sebesar 1,065 jam (MTTR). Hasil penelitian menunjukkan interval waktu penggantian komponen mesin *cane cutter* I yang optimal adalah 369 jam. *Preventive maintenance* akan mengurangi *downtime* sebesar 2,403 jam setiap musim giling, meningkatkan tingkat *availability* sebesar 0,055% dan meningkatkan tingkat *reliability* sebesar 66%. Namun biaya *maintenance* juga meningkat dari sebelumnya sebesar Rp. 90.587.729,00 menjadi Rp. 104.969.103,00. Penurunan *downtime* dan perawatan rutin akan menunjang kelancaran proses produksi sehingga akan meningkatkan kapasitas produksi dan keuntungan perusahaan. Keuntungan tersebut dapat digunakan untuk menutupi penambahan biaya *maintenance*.

Kata kunci: *preventive maintenance*, *age replacement*, *downtime*, *availability*, *reliability*.

SUMMARY

Shabrina Dyah Mutiara, Departement of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2014, Preventive Maintenance Implemetation of Cane Cutter I Component Using Age Replacement Method (Case Study at PG Kebon Agung Malang), Academic Supervisor: Arif Rahman and IhwanHamdala.

PG KebonAgung relies on appropriate maintenance system to sustain the cane sugar production. Managing maintenance system, PG KebonAgung controls the spare part replacement of production facilities based on corrective maintenance. It replaces spare part only when it has been failure, without a decent periodic replacement schedule. It has not arranged preventive maintenance using historical data of failure time. Unexpected failure of production facilities components will disrupt the production process. Cane cutter I machine becomes a crucial production facility, since it is main equipment for size reduction of cane. Components failure of cane cutter I machine get catastrophic severity because it raises long downtime and disrupt production process. This research carries out preventive maintenance of cane cutter I machine to reduce downtime that disrupt the production process,

This research applies age replacement method to schedule spare part replacement in preventive maintenance. Economic life of the spare part is equivalent to distribution of its Time to Failure (TTF). It conduct goodness of fit test for Time to Failure (TTF) distribution and Time to Repair (TTR) distribution using the Kolmogorov-Smirnov test. Distribution of TTF describes the dispersion of failure time, while distribution of TTR describes the dispersion of repair time or spare part replacement. Based on probability functions and expectations functions of both distribution, it searches the optimal replacement interval by numerical methods. After it obtains the solution, it estimates availability, reliability and maintenance costs by comparing the current condition with the proposed preventive maintenance.

Distribution fitting testing denotes that TTF has lognormal distribution with average about 500.98 hours (MTTF) and TTR has lognormal distribution with average about 1,065 hours (MTTR). The results denotes optimal replacement intervals cane cutter I machine it 369 hours. Preventive maintenance will reduce downtime for 2,403 hours each milling season, increase availability rate of 0,055% and increase reliability rate of 66%. However, maintenance costs also increased from Rp. 90.587.729,00 to Rp 104.969.103,00. Decrease of downtime and routine maintenance will support the production process so it will increase production capacity and profitability of the company. This benefit can be used to cover the additional cost of maintenance.

Keywords: preventive maintenance, age replacement, downtime, availability, reliability.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai gambaran umum permasalahan yang akan diteliti, meliputi latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan asumsi yang digunakan dalam penelitian.

1.1 Latar Belakang

Persaingan yang ketat antara perusahaan menyebabkan tiap perusahaan harus dapat menjaga dan meningkatkan proses produksi yang efektif dan efisien. Dalam usaha meningkatkan keefektifan dan keefisienan yang ada, perusahaan harus mampu memanfaatkan setiap sumber daya yang ada dengan semaksimal mungkin. Untuk mampu memanfaatkan setiap sumber daya yang ada dengan maksimal, perusahaan harus mampu menjaga setiap fasilitas yang dimilikinya agar dapat beroperasi dengan sebaik-baiknya (Abbas dkk, 2009). Usaha-usaha ini dilakukan dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan sesuai harapan konsumen agar perusahaan tetap mendapatkan kepercayaan dari konsumen dan dapat memaksimalkan keuntungan yang diperolehnya.

Proses produksi yang berjalan secara terus-menerus memerlukan keandalan dan ketersediaan (*availability*) mesin yang digunakan agar proses produksi dapat dilakukan dengan efektif dan efisien (Sodikin, 2008). Oleh karena itu, mesin-mesin produksi yang dimiliki oleh perusahaan memerlukan *maintenance* yang baik agar mesin tidak mudah mengalami kerusakan. Kerusakan pada mesin produksi akan menghambat jalannya proses produksi, mengganggu jadwal produksi yang ada, dan menyebabkan kerugian bagi perusahaan. Kerugian yang ditimbulkan dapat berupa kerugian waktu dan biaya (biaya tenaga kerja dan biaya kehilangan kesempatan untuk memproduksi). Kerusakan mesin akibat rusaknya komponen tidak dapat diketahui dengan pasti karena tiap komponen mesin memiliki keandalan dan laju kerusakan yang juga berbeda. Kondisi ini menyebabkan perlunya kebijakan *maintenance* yang baik pada saat dibutuhkan dan salah satu bentuk aktivitas *maintenance* adalah penggantian komponen yang mengalami kerusakan (Pawesti, 2005).

Maintenance mesin merupakan salah satu masalah penting dalam industri karena sistem *maintenance* salah satu faktor yang mempengaruhi kelangsungan hidup suatu sistem produksi. *Maintenance* terhadap komponen-komponen dan mesin yang digunakan dalam proses produksi dapat dilakukan, salah satunya dengan metode *preventive maintenance*. Menurut Ebeling (1997), *preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal dimana sejumlah kegiatan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan. *Preventive maintenance* merupakan pemeliharaan secara berkala terhadap mesin-mesin produksi sebelum mesin mengalami kerusakan. Apabila *preventive maintenance* diterapkan, maka perusahaan dapat membuat jadwal perawatan secara rutin terhadap mesin dan komponen penunjang proses produksi. Dengan adanya penjadwalan rutin *maintenance* komponen mesin, maka *availability* komponen mesin dapat diestimasikan. Ketika mengetahui hal tersebut, maka proses produksi dapat direncanakan sesuai dengan *availability* mesin.

PG Kebon Agung merupakan salah satu unit usaha dari PT. Kebon Agung yang bergerak di bidang usaha mengelola bahan baku tebu menjadi produksi utama gula pasir. PT. Kebon Agung memiliki 2 pabrik gula, yaitu PG Kebon Agung dan PG Tangkir. Masa giling pada PG Kebon Agung biasanya sekitar 6 bulan. PG Kebon Agung mempunyai 6 stasiun kerja, yaitu stasiun penggilingan, stasiun pemurnian, stasiun penguapan, stasiun masakan, stasiun putaran, dan stasiun pembungkusan. Kondisi sistem *maintenance* pada PG Kebon Agung yaitu suatu komponen diganti ketika komponen telah mengalami kerusakan karena belum ada jadwal penggantian komponen secara periodik dan data historis yang ada belum dijadikan acuan untuk melakukan *preventive maintenance*. PG Kebon Agung melakukan *corrective maintenance* untuk meminimalisasi *downtime*. Jika suatu komponen mengalami kerusakan saat proses produksi maka proses produksi akan terganggu karena rusaknya komponen itu mempengaruhi kinerja komponen lainnya. Mesin *cane cutter* adalah mesin yang terletak di stasiun gilingan dan berfungsi untuk untuk memotong tebu menjadi bagian-bagian yang pendek. Pemilihan komponen yang digunakan dilihat dari aspek *severity*/tingkat keparahan akibat dari kerusakan komponen ini. Tabel di bawah ini menyajikan data kerusakan komponen-komponen pada mesin *cane cutter* I.

Tabel 1.1 Rekapitulasi *Downtime* Mesin *Cane Cutter* I Tahun 2009-2013

Nomor	Nama Komponen	Akibat dari Kerusakan	Frekuensi <i>Downtime</i>	Σ Waktu <i>Downtime</i> (jam)
1.	Pisau <i>cane cutter</i>	Berhentinya proses produksi, mesin tidak dapat digunakan, patahan <i>cane cutter</i> menghantam casing mesin <i>cane cutter</i> I, dan patahan terbawa tebu masuk ke mesin <i>cane cutter</i> I dapat menyebabkan <i>cane cutter</i> bengkok atau patah (<i>high severity</i> /pengaruh buruk yang tinggi)	44	46,84
2.	<i>Turbin</i>	Berhentinya proses produksi dan mesin tidak dapat digunakan (<i>moderate severity</i> /pengaruh buruk yang moderat).	5	3,25
3.	<i>Gearbox</i>	Berhentinya proses produksi dan mesin tidak dapat digunakan (<i>moderate severity</i> /pengaruh buruk yang moderat).	6	1,75
4.	<i>Bearing</i>	Berhentinya proses produksi dan mesin tidak dapat digunakan (<i>moderate severity</i> /pengaruh buruk yang moderat).	6	3

Berdasarkan Tabel 1.1 dapat ditunjukkan bahwa komponen pisau *cane cutter* mempunyai tingkat keparahan/*severity* yang paling tinggi dibandingkan komponen lain di mesin *cane cutter* I.

Secara umum terdapat dua model penggantian yaitu *block replacement* dan *age replacement* (Jardine,1997). *Block replacement* adalah model penggantian pencegahan ini dilakukan pada suatu interval yang tetap sedangkan *age replacement* adalah model penggantian pencegahan yang dilakukan tergantung pada umur pakai dari komponen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *age replacement* dimana apabila penggantian dilakukan akibat terjadi kerusakan maka penggantian pencegahan berikutnya ditentukan berdasarkan penggantian pencegahan terakhir yang dilakukan. Wang (2002) menyatakan bahwa *age replacement* lebih efisien dibandingkan dengan *block replacement* karena pada *block replacement* ada kemungkinan komponen diganti sebelum mencapai umur maksimal sehingga terjadi pemborosan. Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini dapat memberikan gambaran perencanaan *preventive maintenance* komponen *cane cutter* yang optimal dengan tujuan meminimasi *downtime*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diidentifikasi permasalahan yang terjadi adalah sering terjadinya kerusakan pada komponen *cane cutter* yang menyebabkan komponen harus diganti. Hal tersebut menyebabkan patahan *cane cutter* menghantam *casing* mesin *cane cutter* I dan patahan tersebut masuk ke mesin *cane cutter* II yang dapat membuat *cane cutter* bengkok atau patah.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pola kerusakan komponen *cane cutter*?
2. Berapa interval penjadwalan penggantian yang optimal pada komponen *cane cutter* untuk meminimalisasi *downtime*?
3. Berapa besarnya *availability* dan *realibility* pada kondisi saat ini dan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*?
4. Berapa besarnya biaya yang dikeluarkan saat terjadi *maintenance* pada kondisi saat ini dan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pola kerusakan komponen *cane cutter*.
2. Menentukan jadwal penggantian yang optimal pada komponen *cane cutter* untuk meminimalisasi *downtime*.
3. Mengetahui besarnya *availability* dan *realibility* pada kondisi saat ini dan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.
4. Mengetahui besarnya biaya *maintenance* pada kondisi saat ini dan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat memberikan rekomendasi penjadwalan *preventive maintenance* yang optimal kepada PG Kebon Agung.
2. Dapat memberikan masukan mengenai minimasi *downtime* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* di PG Kebon Agung.

1.6 Batasan Masalah

Untuk memperoleh hasil penelitian yang terarah diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilaksanakan di PG Kebon Agung pada bulan Desember 2013-Juni 2014.
2. Komponen yang diteliti adalah *cane cutter* pada mesin *cane cutter* I.
3. Hasil penelitian ini berupa rekomendasi jadwal *preventive maintenance* penggantian komponen *cane cutter*.
4. Perhitungan biaya hanya digunakan untuk perhitungan biaya penggantian komponen.

1.7 Asumsi

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tidak dilakukan penelitian mengenai kerusakan mesin yang disebabkan oleh *human error*.
2. Komponen pengganti telah tersedia pada saat dibutuhkan.
3. *Downtime* mesin menyebabkan proses berhenti secara keseluruhan.
4. Harga komponen tidak berubah selama periode penelitian.
5. Horison perencanaan dalam penelitian adalah 1 musim giling.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka yang diperlukan sebagai dasar argumentasi ilmiah yang berhubungan dengan konsep penelitian menggunakan berbagai studi literatur yang dapat membantu peneliti dalam menganalisis permasalahan yang dihadapi.

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam menentukan jadwal *preventive maintenance* dengan menggunakan beberapa pendekatan yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Iksan (2010), dalam penelitiannya yang berjudul “Menentukan Interval Perawatan Pencegahan Pada Mesin Stripping di PT Aditama Raya Famindo dengan Metode *Age Replacement*”. Tujuan penelitian ini adalah menentukan interval perawatan pencegahan pada mesin stripping khususnya pada *heater* untuk mengurangi kerusakan yang terjadi selama proses produksi dan meminimalisasi biaya yang disebabkan terhentinya proses produksi akibat kerusakan mesin stripping. Hasil penelitian ini adalah interval perawatan pencegahan yang efisien dengan menggunakan metode *age replacement* adalah setiap 11 hari sekali dengan total biaya minimum sebesar Rp. 343.864,00 dengan tingkat keandalan 57,77% dan biaya interval perawatan pencegahan hasil penelitian setiap 11 hari sekali didapatkan angka sebesar Rp. 69.150.000,00 lebih rendah apabila dibandingkan dengan kondisi awal perusahaan sebelumnya, yaitu 81.562.500,00, dengan demikian terjadi penghematan sebesar Rp. 12.412.500,00 atau sebesar 15%.
2. Lukmandani, dkk (2011), dalam penelitiannya yang berjudul “Penjadwalan Perawatan di PT *Steel Pipe Industry of Indonesia*”. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang perbaikan penjadwalan perawatan komponen. Hasil dari penelitian ini adalah diketahui hasil pemilihan komponen kritis dengan metode FMEA pada mesin ERW 3, rancangan jadwal pergantian komponen dilakukan melalui tahap-tahap perhitungan dan analisis kerusakan berdasarkan waktu kerusakan yang ditunjukkan MTTF, perhitungan dan analisis kerusakan berdasarkan waktu perbaikan yang ditunjukkan oleh MTTR, perhitungan *downtime*, dilakukan simulasi penjadwalan, dan perbandingan biaya yaitu penghematan biaya

pada mesin ERW 3 yang terbesar adalah komponen *bearing* dan *as* sebesar 94,62%.

3. Krisnadi, dkk (2013), dalam penelitiannya yang berjudul “Optimisasi Waktu Penggantian Komponen Pada Lokomotif DE CC 201 Seri 99 di PT Kereta Api Indonesia dengan Menggunakan Metode *Age Replacement*. Tujuan penelitian ini adalah menentukan jadwal penggantian komponen lokomotif DE CC 201 Seri 99 dengan model *age replacement* yang bertujuan meminimumkan total biaya perawatan dan penggantian. Hasil dari penelitian ini adalah berdasarkan 44 sub komponen yang sering mengalami kerusakan terdapat 2 sub komponen yang memiliki laju kerusakan yang selalu meningkat, yaitu radiator dan komponen roda 3-6. Berdasarkan perhitungan optimasi penggantian komponen didapatkan bahwa waktu penggantian pada komponen lebih pendek dibandingkan sebelum dilakukan perhitungan optimasi yaitu roda 3-6 sebesar 46 hari dan radiator sebesar 28 hari setelah dilakukan perhitungan. Penggantian komponen *preventive* menghasilkan biaya perawatan yang lebih rendah daripada *corrective maintenance*.

Sedangkan penelitian ini membahas tentang penjadwalan *preventive maintenance* komponen *cane cutter* menggunakan metode *age replacement* dengan tujuan merancang jadwal penggantian komponen yang optimal untuk meminimalisasi *downtime*. Untuk lebih jelasnya, perbedaan antara penelitian terdahulu dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul	Objek Penelitian	Metode/Tools			Measures			
			Diagram Pareto	FMEA	Age Replacement	MTTF	MTTR	Reliability	Availability
Iksan (2010)	Penentuan Interval Perawatan Pencegahan Pada Mesin Stripping PT Aditama Raya Farmino dengan Metode Age Replacement	Industri Farmasi (Mesin Stripping)			√	√	√	√	
Lukmandani, dkk (2011)	Penjadwalan Perawatan di PT Steel Pipe Industry Of Indonesia	Industri Pipa (Mesin ERW 3)		√	√	√	√	√	
Krisnadi, dkk (2013)	Optimisasi Waktu Penggantian Komponen Pada Lokomotif DE CC 201 seri 99 di PT Kereta Api Indonesia	Industri Kereta Api (Lokomotif DE CC 201 seri 99)	√		√	√	√	√	
Penelitian ini	Perencanaan Preventive Maintenance Komponen Cane Cutter I dengan Pendekatan Age Replacement (Studi Kasus di PG Kebon Agung)	Industri Gula (Cane Cutter I)			√	√	√	√	√

2.2 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Menurut Assauri (1999), *maintenance* merupakan kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Pengertian lain menurut Corder (1992), *maintenance* adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang atau memperbaikinya, sampai pada suatu kondisi yang bisa diterima. Menurut Nasution (2006), tujuan utama dari sistem perawatan adalah menjaga proses produksi agar berjalan dalam kondisi operasi yang optimum. Optimum disini berarti dapat memenuhi permintaan yang diterima dengan memperhatikan minimasi biaya yang diperlukan.

Secara garis besar tindakan *maintenance* diklasifikasikan menjadi dua hal yaitu:

1. *Planned maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan *maintenance* yang mana pelaksanaannya telah direncanakan terlebih dahulu.
2. *Unplanned maintenance*, suatu tindakan atau kegiatan *maintenance* yang mana pelaksanaannya tidak direncanakan.

2.2.1 Tujuan Pemeliharaan (*Maintenance*)

Tujuan utama pemeliharaan dapat didefinisikan sebagai berikut (Corder, 1992 dan Assauri, 2008).

1. Memperpanjang usia kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya)
2. Menjamin kesediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa dan mendapatkan laba investasi (*return of investment*) maksimum yang mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan penyelamat.
4. Membantu mengurangi pemakaian atau penyimpangan di luar batas serta menjaga modal yang ditanamkan selama waktu yang ditentukan.
5. Menekan tingkat biaya perawatan serendah mungkin dengan melaksanakan kegiatan perawatan secara efektif dan efisien.
6. Memenuhi kebutuhan produk dan rencana produksi tepat waktu.
7. Meningkatkan ketrampilan para supervisor dan operator melalui kegiatan pelatihan yang diadakan.

8. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

2.2.2 Klasifikasi Pemeliharaan (*Maintenance*)

Secara umum klasifikasi *maintenance* adalah sebagai berikut.

1. *Preventive maintenance*

Suatu inspeksi atau servis secara berkala pada suatu peralatan produksi yang telah direncanakan dan dijadwalkan agar peralatan dapat berfungsi sesuai dengan kemampuannya serta mencegah kerusakan dini. *Preventive maintenance* berguna mencegah *downtime* dan biaya *maintenance* tinggi. Menurut Ebeling (1997), *preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal. Umumnya secara periodik, dimana sejumlah kegiatan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan. Tujuan dari *preventive maintenance* antara lain.

- a. Meminimasi jumlah *breakdown* dari peralatan yang kritis
- b. Mengurangi kehilangan produksi akibat kegagalan dari peralatan
- c. Meningkatkan produktivitas peralatan produksi
- d. Memberikan perencanaan dan penjadwalan yang lebih baik untuk tindakan perawatan yang diperlukan
- e. Memberikan K3 yang lebih baik bagi pekerja.

Menurut Assauri (2008), dalam prakteknya *preventive maintenance* yang dilakukan oleh suatu perusahaan pabrik dapat dibedakan atas:

1) *Routine maintenance*

Routine maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari. Contohnya adalah pembersihan fasilitas atau peralatan, pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan oli, serta pengecekan bahan bakarnya dan mungkin termasuk pemanasan (*warming-up*) dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai berproduksi sepanjang hari.

2) *Periodic maintenance*.

Periodic maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara periodik atau dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, lalu meningkat setiap satu bulan sekali, dan akhirnya setiap satu tahun sekali. *Periodic maintenance* dapat pula dilakukan dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi tersebut sebagai jadwal

kegiatan, misalnya setiap seratus jam kerja mesin sekali, lalu meningkat setiap lima ratus jam kerja mesin sekali dan seterusnya, Jadi sifat kegiatan *maintenance* ini tetap secara periodik atau berkala. Kegiatan *periodic maintenance* ini jauh lebih berat daripada kegiatan *routine maintenance*.

2. *Corrective Maintenance*

Menurut Assauri (2008), *corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami kerusakan atau gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Dalam hal ini, kegiatan *corrective maintenance* sering disebut dengan kegiatan reparasi atau perbaikan. *Corrective maintenance* biasanya tidak dapat direncanakan dahulu karena kegiatan ini menunggu sampai kerusakan mesin terjadi terlebih dahulu, kemudian baru diperbaiki agar dapat beroperasi kembali. *Corrective maintenance* jauh lebih mahal biayanya, maka sebisa mungkin harus dicegah dengan mengintensifkan kegiatan *preventive maintenance*. Selain itu, diperlukan juga pertimbangan bahwa dalam jangka waktu yang panjang untuk mesin-mesin yang mahal dan termasuk dalam *critical unit* dari proses produksi, maka *preventive maintenance* jauh lebih menguntungkan dibandingkan dengan *corrective maintenance*.

Corrective maintenance terdiri dari 3 langkah sebagai berikut.

a. Diagnosis masalah

Teknisi *maintenance* harus mengambil waktu untuk menempatkan *part* yang gagal atau kalau tidak menilai penyebab kegagalan sistem.

b. Reparasi dan/atau mengganti komponen yang salah

Segera sesudah penyebab kegagalan sistem ditentukan, harus mengambil tindakan terhadap penyebab tersebut, biasanya dengan mengganti atau mereparasi komponen yang menyebabkan sistem menjadi gagal.

c. Pembuktian tindakan perbaikan

Segera sesudah komponen tersebut diperbaiki atau diganti, teknisi *maintenance* harus membuktikan bahwa sistem dapat beroperasi kembali dengan baik.

3. *Predictive Maintenance*

Predictive maintenance merupakan estimasi yang dilakukan melalui pengukuran dan alat diagnosis ketika komponen mendekati kegagalan dan harus diperbaiki atau diganti, mengeliminasi kegiatan perawatan tidak terjadwal yang lebih mahal. Pendekatan ini berusaha untuk mendeteksi terjadinya degradasi peralatan dan mengetahui masalah yang telah diidentifikasi. Hal ini mengarah pada kemampuan fungsional saat ini maupun masa depan. Pada dasarnya, pemeliharaan prediktif berbeda dengan pemeliharaan pencegahan, dengan mendasari kebutuhan pemeliharaan pada kondisi aktual peralatan daripada jadwal yang telah ditetapkan. Pemeliharaan pencegahan berbasis pada waktu.

Keuntungan pemeliharaan ini adalah memberikan peningkatan ketersediaan dan hidup operasional komponen, memungkinkan tindakan korektif untuk pencegahan, penurunan *downtime* peralatan, menurunkan biaya suku cadang dan tenaga kerja, memberikan kualitas produk yang lebih baik, meningkatkan keselamatan pekerja dan lingkungan, serta meningkatkan penghematan energi. Kekurangan yang ada seperti meningkatnya investasi dalam peralatan diagnostik dan pelatihan staf.

2.3 Keandalan (*Reliability*)

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

1. Peluang (*probability*), dimana nilai *reliability* adalah berada diantara 0 dan 1.
2. Kinerja (*performance*), performansi yang diharapkan atau tujuan yang diinginkan harus digambarkan secara jelas dan spesifik. Untuk setiap unit terdapat suatu standar untuk menentukan apa yang dimaksud dengan performansi atau tujuan yang diharapkan. Deskripsi kegagalan juga harus ditetapkan dengan jelas. Kegagalan harus didefinisikan tergantung pada fungsi yang dilakukan oleh sistem.
3. Waktu operasi (*time of operation*), waktu unit harus didefinisikan, konsep *reliability* dinyatakan dalam suatu periode waktu. Peluang suatu sistem untuk

digunakan selama setahun akan berbeda dengan peluang sistem tersebut untuk digunakan dalam sepuluh tahun.

4. Kondisi operasi (*operating condition*), kondisi lingkungan akan mempengaruhi umur sistem atau peralatan, seperti suhu, kelembaban dan kecepatan gerak. Hal ini menjelaskan bagaimana perlakuan yang diterima sistem dapat memberikan tingkat keandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya.

2.3.1 Fungsi Keandalan (*Reliability*)

Menurut Iksan (2010), kerusakan dapat dinyatakan dengan variable acak T dan memiliki hubungan dengan t rusak maka $x(t) = 1$ dan jika $T < t_{\text{rusak}}$ maka $x(t) = 0$ sehingga diperoleh beberapa kemungkinan sebagai berikut.

1. Probabilitas peralatan beroperasi sampai dengan t , dapat ditulis sebagai berikut.

$$P[x(t) = 1] = P[T > t]$$

2. Probabilitas peralatan rusak sampai dengan t , dapat ditulis sebagai berikut

$$P[x(t) = 0] = P[T < t] = F(t)$$

Karena keandalan merupakan ukuran probabilitas dari fungsi waktu, maka dapat dinotasikan sebagai $R(t)$, yang berarti keandalan sistem atau peralatan apabila dioperasikan selama selang tertentu (Ebeling. 1997).

$$R(t) = P(\text{peralatan beroperasi})$$

$$= P\{x(t) = 1\}$$

$$= P\{T > t\}$$

$$= 1 - P\{T < t\}$$

$$= 1 - F(t)$$

(2-1)

$F(t)$ merupakan fungsi distribusi kumulatif umur sistem atau fungsi distribusi kerusakan.

Jika fungsi kerapatan merupakan turunan dari $F(t)$, maka :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

$$f(t) = \frac{d[1 - R(t)]}{dt}$$

$$f(t) = -\frac{dR}{dt}$$

$$f(t) = 1 - \int_0^t F(t) dt$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt. \quad (2-2)$$

dimana:

$F(t)$ = fungsi distribusi kumulatif

$R(t)$ = keandalan

$f(t)$ = fungsi kepadatan probabilitas

2.4 Konsep Availability

Availability didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa sistem atau komponen melakukan fungsi atau operasi sesuai yang diperlukan pada saat tertentu dalam periode tertentu dan dipelihara dengan cara yang sudah ditentukan (Ebeling, 1997). *Availability* merupakan fungsi yang berkaitan dengan *downtime* mesin. *Availability* menyatakan probabilitas bahwa sebuah sistem beroperasi pada waktu t . *Availability* akan sama dengan *reliability* untuk sistem yang tidak dapat diperbarui. Sedangkan untuk sistem yang dapat diperbarui, fungsinya akan tergantung pada *up* dan *down*. Skala waktu untuk *reliability* adalah periode waktu *up continue*, sedangkan untuk *availability* diukur pada periode waktu yang potensial terjadi *down*. Semakin besar nilai *availability* menunjukkan semakin tinggi kemampuan komponen tersebut, atau dapat dikatakan semakin nilai *availability* mendekati satu, maka semakin baik keadaan komponen tersebut untuk dapat beroperasi sesuai fungsinya.

$$Availability = \frac{Up\ time}{Total\ time}$$

$$Availability = \frac{Up\ time}{Up\ time + Down\ time} \quad (2-3)$$

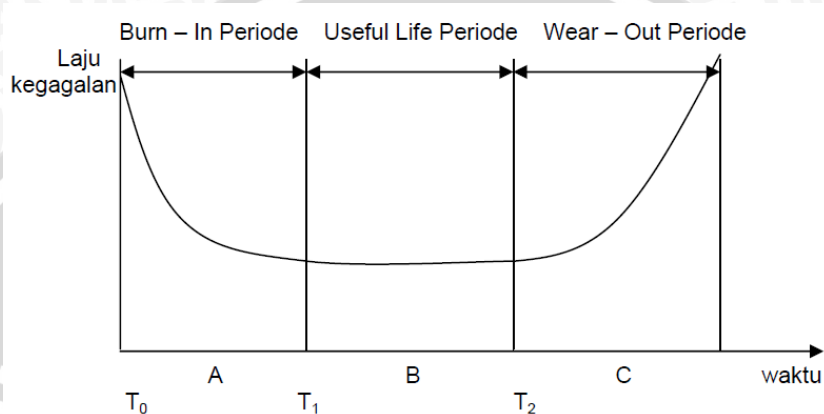
2.5 Laju Kerusakan

Laju kerusakan suatu sistem $r(t)$ akan berubah sepanjang waktu. Dari pengalaman maupun percobaan diketahui laju kerusakan suatu produk mengikuti suatu pola dasar yang disebut kurva *bathub* (Jardine, 2006). Dalam menganalisis kerusakan alat atau komponen, faktor yang perlu mendapat perhatian adalah laju kerusakan (*failure rate*) komponen setiap saat selama masa operasi.

Laju kerusakan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{F(t)}{R(t)} \quad (2-4)$$

Pola dasar dari fungsi laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk dijelaskan melalui kurva yang dikenal dengan nama *Bathtub Curve*. Sistem yang laju kerusakannya berbentuk *Bathtub Curve*, mengalami laju kerusakan yang selalu berubah sesuai dengan bertambahnya waktu. Menurut Ebeling (1997), kurva ini memiliki tiga area dengan karakteristik tertentu. Karakteristik dari kegagalan atau kerusakan pada produk, mesin ataupun fasilitas sehubungan dengan waktu dapat digambarkan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Kurva *bathtub*

Sumber: Ebeling, 1997

Pola kerusakan dapat dibedakan menjadi 3 kategori, yaitu:

- Kategori *Burn - In Period*, pada waktu $T_0 - T_1$
Kategori ini menggambarkan laju kerusakan yang menurun seiring dengan penambahan waktu operasi komponen atau sistem dan memiliki fungsi kepadatan probabilitas Weibull.
- Kategori *Useful Life Period*, pada waktu $T_1 - T_2$
Kategori ini menggambarkan laju kerusakan yang cenderung konstan seiring dengan penambahan waktu operasi komponen atau sistem. Dan memiliki fungsi kepadatan probabilitas Eksponensial. Pada pabrik-pabrik industri digunakan mesin-mesin yang berada pada periode *useful life* karena pada periode ini merupakan suatu periode masa pakai alat.
- Kategori *Wear - Out Period*, pada waktu $T_2 - T_\infty$
Kategori ini menggambarkan laju kerusakan yang meningkat seiring dengan penambahan waktu operasi komponen atau sistem. Dan memiliki fungsi kepadatan probabilitas normal.

2.6 Model Distribusi

Model distribusi suatu probabilitas kerusakan suatu mesin atau peralatan dapat diketahui dengan menggunakan distribusi statistik. Dalam analisis keandalan, penggunaan distribusi statistik tergantung dari karakteristik kerusakan yang terjadi, Terdapat 4 macam distribusi yang umum digunakan untuk mengidentifikasi pola data kerusakan yang terbentuk, antara lain distribusi eksponensial, distribusi weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal (Ebeling, 1997).

2.6.1 Distribusi Normal

Menurut Ebeling (1997), distribusi normal mempunyai laju kerusakan yang naik sejak bertambahnya umur alat, yang berarti probabilitas kerusakan alat atau komponen naik sesuai dengan bertambahnya umur komponen tersebut. Distribusi normal ini cocok digunakan dalam memodelkan keausan atau kondisi *wearout* dari suatu sistem. Bentuk distribusi normal menyerupai lonceng (*bell shaped curve*) sehingga memiliki nilai simetris terhadap nilai rata-rata dengan 2 parameter pembentuk yaitu μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi).

Adapun fungsi-fungsi distribusi normal dinyatakan sebagai berikut :

Fungsi kepadatan kerusakan/ *Probability Density Function* (PDF) :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[t-\mu]^2} \quad (2-5)$$

Fungsi keandalan:

$$R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty e^{-\frac{[t-\mu]^2}{2\sigma^2}} dt \quad (2-6)$$

Fungsi laju kerusakan:

$$h(t) = \frac{e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[t-\mu]^2}}{\int_t^\infty e^{-\frac{[t-\mu]^2}{2\sigma^2}} dt} \quad (2-7)$$

Fungsi distribusi kumulatif/*Cumulative Density Function* (CDF):

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[t-\mu]^2} dt \quad (2-8)$$

2.6.2 Distribusi Eksponensial

Menurut Ebeling (1997), distribusi eksponensial mempunyai laju kerusakan yang konstan, tidak tergantung pada waktu. Dengan demikian probabilitas terjadinya kerusakan pada suatu komponen atau alat tidak tergantung pada umur alat tersebut. Kerusakan yang terjadi secara acak biasanya akan mengikuti distribusi ini. Distribusi ini dikenal luas dan banyak dipakai dalam perhitungan keandalan (*reliability*) dan digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan.

Fungsi distribusi kumulatif/*Cumulative Density Function* (CDF):

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

$$F(t) = \beta e^{[-(\beta \times t)]}$$

$$F(t) = 1 - e^{[-(\beta \times t)]} \quad (2-9)$$

Fungsi kepadatan kerusakan/*Probability Density Function* (PDF):

$$F(t) = \beta e^{[-(\beta \times t)]} \quad (2-10)$$

Fungsi laju kerusakannya :

$$h(t) = \beta = \frac{1}{\theta} \quad (2-11)$$

dimana θ = rata-rata waktu antar kerusakan (MTTF)

Fungsi keandalannya yaitu:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = 1 - (1 - e^{[-(\beta \times t)]})$$

$$R(t) = e^{[-(\beta \times t)]} \quad (2-12)$$

2.6.3 Distribusi Weibull

Menurut Ebeling (1997), distribusi ini merupakan distribusi yang paling sering digunakan untuk menganalisis data kerusakan, karena distribusi weibull dapat memenuhi beberapa periode kerusakan yang terjadi, yaitu periode awal (*early failure*), periode normal, dan periode pengausan (*wear out*).

Periode tersebut tergantung dari nilai parameter bentuk fungsi distribusi weibull. Distribusi weibull mempunyai laju kerusakan menurun untuk $\beta < 1$, laju kerusakan konstan untuk $\beta = 1$, dan laju kerusakan naik untuk $\beta > 1$.

Fungsi-fungsi distribusinya adalah sebagai berikut.

Fungsi kepadatan kerusakan

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (2-13)$$

dimana untuk $t > 0$

Fungsi distribusi kumulatif:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (2-14)$$

Fungsi keandalannya:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (2-15)$$

Fungsi laju kerusakannya:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}} \quad (2-16)$$

2.6.4 Distribusi Lognormal

Menurut Ebeling (1997), distribusi lognormal menggunakan 2 parameter, yaitu σ yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan μ sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi weibull juga sesuai dengan distribusi lognormal.

Fungsi kepadatan kerusakan/ *Probability Density Function* (PDF) :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[\ln(t)-\mu]^2} \quad (2-17)$$

Fungsi keandalan:

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

Fungsi distribusi kumulatif/*Cumulative Density Function* (CDF):

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[\ln(t)-\mu]^2} dt \quad (2-19)$$

2.7 Penentuan Parameter

Setelah melakukan pendugaan jenis distribusi dari data-data kerusakan dan perbaikan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan parameter dari masing-masing jenis distribusi untuk dijadikan *variable* dalam menghitung uji kesesuaian distribusi, *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR).

1. Distribusi Weibull

$$\text{Parameter: } \mu = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-20)$$

$$\sigma^2 = \alpha^{-\frac{2}{\beta}} \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\} \quad (2-21)$$

2. Distribusi Eksponensial

$$\text{Parameter: } \mu = \beta \quad (2-22)$$

$$\sigma^2 = \beta^2 \quad (2-23)$$

3. Distribusi Normal

$$\text{Parameter: } \mu \text{ dan } \sigma^2$$

4. Distribusi Lognormal

$$\text{Parameter: } \mu = E(X)$$

$$E(X) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (2-24)$$

$$\sigma^2 = \text{Var}(X)$$

$$\text{Var}(X) = e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1) \quad (2-25)$$

2.8 Mean Time to Failure (MTTF)

Menurut Ebeling (1997), MTTF atau *Mean Time to Failure* adalah nilai rata-rata interval atau selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan yang didefinisikan oleh *probability density function* $f(t)$ sebagai berikut :

$E(T)$ = random variable dan positif

$$E(T) = \int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt$$

$$E(T) = - \int_0^{\infty} t dR. t(t)$$

$$E(T) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2-26)$$

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2-27)$$

Berikut adalah perhitungan MTTF untuk masing-masing distribusi.

1. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad (2-28)$$

2. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\tau} \quad (2-29)$$

3. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \quad (2-30)$$

4. Distribusi Lognormal

$$MTTF = \mu \quad (2-31)$$

2.9 Mean Time to Repair (MTTR)

Mean Time to Repair (MTTR) merupakan waktu rata-rata dari interval waktu untuk melakukan perbaikan yang dibutuhkan oleh suatu komponen atau sistem. Untuk dapat menentukan MTTR maka terlebih dahulu harus diketahui dulu jenis distribusi dari datanya. Menurut Ebeling (1997), MTTR diperoleh dengan rumus :

$$MTTR = \int_0^{\infty} t h(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t)) dt \quad (2-32)$$

$h(t)$ = fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan (TTR)

$H(t)$ = fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan (TTR)

Berikut ini adalah perhitungan nilai MTTR untuk masing-masing distribusi adalah sebagai berikut.

1. Distribusi Normal dan Lognormal

$$MTTR = \mu \quad (2-33)$$

2. Distribusi Ekspsonensial

$$MTTR = \frac{1}{\tau} \quad (2-34)$$

3. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \quad (2-35)$$

2.10 Downtime

Menurut Ebeling (1997), *downtime* terdiri dari beberapa unsur, yaitu:

1. *Supply delay*

Waktu yang dibutuhkan oleh *personal maintenance* untuk memperoleh komponen atau suku cadang yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses perbaikan.

2. *Maintenance delay*

Waktu yang dibutuhkan untuk menunggu ketersediaan sumber daya perawatan untuk melakukan proses perbaikan.

3. *Access time*

Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan akses ke komponen yang mengalami kerusakan.

4. *Diagnosis time*

Waktu yang dibutuhkan untuk menentukan penyebab kerusakan dan langkah perbaikan apa yang harus ditempuh untuk memperbaiki kerusakan.

5. *Repair of replacement time*

Waktu aktual yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pemulihan setelah permasalahan dapat diidentifikasi dan akses ke komponen yang rusak dapat dicapai.

6. *Verification and alignment time*

Waktu yang dibutuhkan untuk memastikan bahwa unit telah kembali pada kondisi operasi semula.

2.11 Replacement

Replacement (penggantian) adalah penggantian komponen yang rusak menjadi komponen yang baru lagi. Kegiatan ini dilakukan apabila:

1. Komponen/item tidak dapat diperbaiki.
2. Lebih menguntungkan mengganti komponen daripada memperbaiki.

Secara umum terdapat dua model penggantian (Jardine, 2006) yaitu model *block replacement* dan *age replacement*.

1. Model *block replacement*

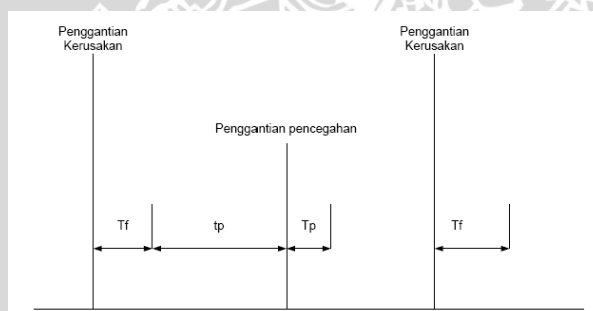
Penggantian komponen pada model ini dilakukan pada interval tetap (t_p), tanpa memperhatikan umur komponen. Fokus utama dalam model ini adalah pelaksanaan penggantian *preventive* setiap interval waktu t_p , tanpa memperhatikan frekuensi penggantian komponen akibat kerusakan selama selang waktu t_p . Jadi pada saat

waktu t_p semua komponen akan diganti tanpa memperhatikan kapan komponen tersebut terakhir kali diganti dalam interval waktu t_p .

2. Model *age replacement*

Model penentuan interval waktu pencegahan dengan kriteria minimasi ongkos total perawatan per unit waktu. Pada model ini penggantian pencegahan dilakukan pada interval waktu yang konstan dengan tetap melakukan penggantian apabila terjadi kerusakan. Apabila penggantian dilakukan akibat terjadi kerusakan maka penggantian pencegahan berikutnya ditentukan berdasarkan penggantian pencegahan terakhir yang dilakukan.

Komponen-komponen yang ada didalam suatu peralatan akan mengalami aus ketika komponen tersebut sering digunakan. Pada saat seperti itu maka diperlukan suatu penggantian (*replacement*). Interval yang tepat dalam melakukan penggantian sangat penting dalam menghemat biaya yang dikeluarkan. Semakin sering dilakukan *replacement* maka biaya yang dikeluarkan semakin besar. Begitu sebaliknya semakin jarang dilakukan *replacement* maka biaya akibat kerusakan yang terjadi akan lebih besar lagi.



Gambar 2.2 Model *age replacement*
Sumber: Jardine, 2006

Menurut Jardine (2006) penggantian dapat dilakukan seperti gambar diatas. Pada kebijakan penggantian ini terdapat dua kemungkinan yaitu penggantian dilakukan setelah mencapai umur penggantian yang telah ditetapkan (t_p) dan penggantian dilakukan saat terjadi kerusakan sebelum waktu penggantian yang telah dijadwalkan. Kedua kemungkinan ini bertujuan untuk menentukan umur *replacement* komponen yang optimal untuk meminimasi ekspektasi total biaya penggantian per satuan waktu. Nilai interval penggantian ini dipengaruhi oleh:

- Distribusi waktu antar kerusakan komponen
- Biaya *preventive maintenace*, diantaranya biaya tenaga kerja, harga komponen dan *loss production* akibat *preventive maintenance*.

- c. Biaya kerusakan, diantaranya biaya tenaga kerja, harga komponen, dan *loss production* akibat kerusakan.

Total *downtime* per unit waktu untuk penggantian pencegahan pada saat tp dinotasikan dengan $D(tp)$, yaitu :

$$D(tp) = \frac{\text{Total ekspektasi downtime per siklus}}{\text{Ekspektasi panjang siklus}} \quad (2-36)$$

Total ekspektasi *downtime* per siklus (EDS) adalah sebagai berikut.

$$EDS = Wc.E(TTRc) + Wp.E(TTRp) \quad (2-37)$$

dimana:

Wc = probabilitas terjadinya siklus kerusakan

$E(TTRc)$ = ekspektasi *downtime* yang terjadi pada siklus kerusakan (*failure cycle*)

Wp = probabilitas terjadinya siklus pencegahan

$E(TTRp)$ = *downtime* yang terjadi pada siklus pencegahan (*preventive cycle*)

Ekspektasi panjang siklus (EPS) adalah sebagai berikut.

$$EPS = Wc.(E(TTF) + E(TTRc)) + Wp.(tp + E(TTRp)) \quad (2-38)$$

dimana:

Wc = probabilitas terjadinya siklus kerusakan

$E(TTF)+E(TTRc)$ = ekspektasi panjang siklus kerusakan

Wp = probabilitas terjadinya siklus pencegahan

$tp+E(TTRp)$ = panjang siklus pencegahan

2.12 Penghematan Biaya

Penghematan biaya terjadi jika selisih antara *total failure cost* dengan *total preventive cost* bernilai positif. Prosentase penghematan biaya dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Penghematan biaya} = \frac{\text{Total failure cost} - \text{total preventive cost}}{\text{total failure cost}} \times 100\% \quad (2-39)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tahapan-tahapan atau urutan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian dan penjelasan data-data yang digunakan agar proses penelitian dapat dilakukan dengan sistematis.

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah penelitian deskriptif dan penelitian kuantitatif. Penelitian deskriptif adalah suatu bentuk penelitian yang ditujukan untuk mendeskripsikan fenomena-fenomena yang ada, baik fenomena alamiah maupun fenomena buatan manusia. Fenomena itu bisa berupa bentuk, aktivitas, karakteristik, perubahan, hubungan, kesamaan, dan perbedaan antara fenomena yang satu dengan fenomena lainnya (Sukmadinata, 2006). Penelitian deskriptif merupakan penelitian yang berusaha mendeskripsikan dan menginterpretasikan sesuatu, misalnya kondisi atau hubungan yang ada, pendapat yang berkembang, proses yang sedang berlangsung, akibat atau efek yang terjadi, atau tentang kecenderungan yang tengah berlangsung. Sedangkan penelitian kuantitatif adalah penelitian yang datanya berupa angka-angka (*score*, nilai) atau pernyataan-pernyataan yang di angkakan (*discore*, dinilai), dan dianalisis dengan analisis statistik.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di PG Kebon Agung, Malang pada bulan Desember 2013-Juni 2014.

3.3 Data dan Jenis Data

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang secara langsung diambil dari objek penelitian oleh peneliti perorangan maupun organisasi yang diantaranya adalah hasil pengamatan, hasil pengukuran, dan hasil wawancara terhadap pihak terkait. Adapun data primer yang dibutuhkan adalah pengamatan langsung mengenai proses produksi di PG Kebon Agung.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat tidak secara langsung dari objek penelitian. Data tersebut biasanya berupa data sekunder, *file*, arsip atau catatan-catatan perusahaan. Adapun data sekunder adalah sejarah perusahaan, struktur organisasi, total produksi, data detail komponen, jenis kerusakan pada komponen mesin, frekuensi kerusakan pada komponen mesin, data *downtime* pada komponen mesin, dan biaya yang berhubungan dengan perawatan mesin.

3.4 Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan dan pengolahan data, tahap analisis dan pembahasan, dan kesimpulan. Berikut ini akan dijelaskan mengenai masing-masing tahapan tersebut.

3.4.1 Tahap Pendahuluan

Pada tahap pendahuluan, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Studi Lapangan

Langkah awal yang perlu dilakukan adalah pengamatan awal di PG Kebon Agung. Dari hasil studi lapangan ini, peneliti dapat mengetahui permasalahan yang terjadi pada perusahaan PG Kebon Agung.

2. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti karena dapat memberikan gambaran yang jelas tentang permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut. Studi literatur digunakan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang terjadi. Sumber literatur berasal dari buku, jurnal, internet, dan studi terhadap penelitian terdahulu dalam penelitian ini yaitu perencanaan jadwal penggantian komponen *cane cutter*.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yaitu mengidentifikasi secara detail permasalahan pada sistem yang akan diteliti. Identifikasi masalah dilakukan dengan tujuan untuk mencari penyebab timbulnya masalah dan kemudian mencari permasalahan yang terjadi.

4. Perumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah, tahap selanjutnya adalah merumuskan masalah sesuai dengan kenyataan di lapangan. Perumusan masalah merupakan rincian dari permasalahan yang dikaji yang nantinya akan menunjukkan tujuan dari penelitian ini dan hal ini dilakukan agar memudahkan dalam menentukan metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah yang telah teridentifikasi.

5. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya. Hal ini ditujukan untuk menentukan batasan-batasan dalam pengolahan data dan memudahkan dalam penyelesaian masalah.

3.4.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Langkah-langkah pada tahap pengumpulan dan pengolahan data adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dapat diartikan sebagai proses atau kegiatan yang dilakukan dalam penelitian untuk mengungkap/menjaring informasi, atau kondisi lokasi penelitian sesuai dengan lingkup penelitian dan seluruh elemen populasi yang dapat mendukung kegiatan penelitian. Data ini akan menjadi input pada tahap pengolahan data. Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah observasi, wawancara, dan dokumentasi perusahaan. Data primer dan sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Data frekuensi waktu kerusakan.
- b. Data *downtime* komponen.
- c. Data biaya perawatan yang meliputi biaya tenaga kerja, dan biaya penggantian komponen, dll.

2. Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan kemudian dilakukan pengolahan data dengan metode yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi. Tahapan pengolahan data adalah sebagai berikut.

- a. Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Perhitungan TTF dilakukan dengan menghitung selisih waktu ketika kerusakan pertama selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan berikutnya dan perhitungan

TTR dilakukan dengan menghitung lamanya proses perbaikan, yaitu selisih waktu kerusakan selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan.

b. Pendugaan distribusi suatu kegagalan.

Pendugaan distribusi suatu probabilitas kerusakan mesin atau peralatan dapat diketahui dengan menggunakan distribusi statistik. Pendugaan distribusi statistik tergantung dari karakteristik data kerusakan dan perbaikan yang terjadi. Distribusi yang digunakan adalah distribusi normal, eksponensial, weibull, dan lognormal.

c. Perhitungan parameter

Setelah diketahui distribusi masing-masing komponen, maka ditentukan parameter berdasarkan distribusi yang digunakan. Parameter-parameter ini akan digunakan pada perhitungan dalam pengujian *goodness of fit*, perhitungan MTTF dan MTTR.

d. Pengujian *Goodness of Fit*.

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan apakah data sesuai dengan distribusi yang didapat. Pengujian *goodness of fit* dapat dilakukan secara manual maupun dengan bantuan *software*.

e. Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)

MTTF menunjukkan waktu rata-rata terjadinya kerusakan (komponen selesai diperbaiki sampai komponen rusak kembali) sedangkan MTTR menunjukkan waktu rata-rata yang diperlukan untuk melakukan perbaikan. Perhitungan MTTF dan MTTR dilakukan dengan menggunakan parameter yang ditentukan sebelumnya.

f. Perhitungan jadwal penggantian komponen.

Penentuan jadwal penggantian komponen bertujuan untuk mengetahui waktu yang optimal dilakukannya *preventive maintenance*. Penentuan jadwal penggantian komponen berdasarkan *downtime* minimal.

g. Perhitungan *downtime*

Perhitungan total *downtime* kondisi saat ini dan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance* bertujuan untuk mengetahui peningkatan atau penurunan total *downtime* yang terjadi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

h. Perhitungan *availability* dan *reliability*

Availability menunjukkan prosentase waktu suatu komponen dapat beroperasi pada interval waktu tertentu. *Reliability* mesin menunjukkan bagaimana ukuran suatu komponen untuk beroperasi dengan baik, semakin besar nilai keandalan berarti kondisi mesin semakin baik. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan atau penurunan *availability* dan *reliability* antara kondisi saat ini dengan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

- i. Perhitungan estimasi biaya pada kondisi saat ini dengan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya biaya *maintenance* yang selama ini dilakukan dengan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan atau penurunan biaya kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

3.4.3 Tahap Analisis dan Pembahasan

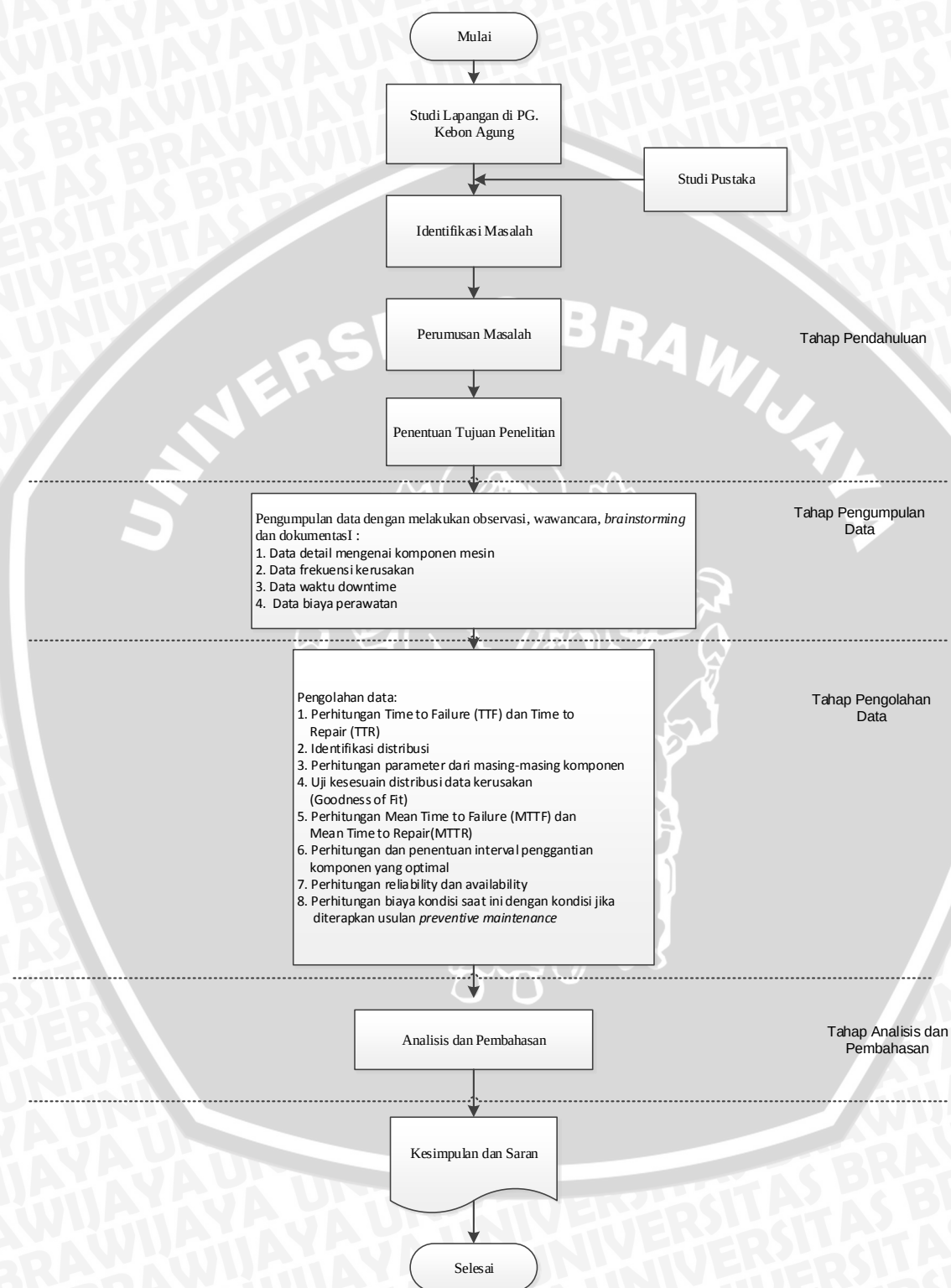
Pada tahapan ini akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai penentuan parameter, pengujian kesesuaian distribusi data (*goodness of fit*), penentuan jadwal penggantian komponen yang optimal, perhitungan *downtime*, *availability*, dan *reliability* pada kondisi saat ini dengan kondisi jika diterapkan *preventive maintenance*, dan estimasi biaya kondisi saat ini dengan kondisi jika diterapkan *preventive maintenance*.

3.4.4 Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran merupakan tahap terakhir dari penelitian ini yang berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengumpulan, pengolahan, dan analisis data yang menjawab tujuan penelitian yang ditetapkan.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian digambarkan dengan Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang gambaran umum PG Kebon Agung, penjelasan mengenai data-data yang dikumpulkan, dan melakukan pengolahan data serta analisis dan pembahasan dari hasil pengolahan data untuk menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

4.1 Tinjauan Umum Perusahaan

Tinjauan umum perusahaan, yaitu PG Kebon Agung terdiri dari sejarah perusahaan, profil perusahaan, struktur organisasi, dan proses produksi. Sejarah perusahaan menjelaskan perkembangan perusahaan mulai berdiri sampai sekarang. Profil perusahaan menjelaskan jenis usaha yang dilakukan, letak geografis, dll. Struktur organisasi menjelaskan 4 bagian, yaitu TUK, fabrikasi, teknik, dan tanaman. Proses produksi menjelaskan alur produksi bahan baku sampai menjadi produk jadi.

4.1.1 Sejarah Perusahaan

Pabrik Gula Kebon Agung mulai didirikan pada tahun 1905 di Malang oleh seorang pengusaha bernama Tan Tjwan Bie. Kapasitas giling pada waktu itu 500 ton. Tan Tjwan Bie adalah pemilik pabrik Gula Kebon Agung yang terletak 5 km sebelah selatan kota Malang, tepatnya di desa Kebon Agung, Kecamatan Pakisaji Kabupaten Malang. Dalam mengembangkan perusahaannya, ia mencari kredit dengan menghipotikkan perusahaannya ke Javashe Bank Malang.

Sekitar tahun 1917 pengelolaan PG Kebon Agung diserahkan kepada NV. Handel & Landbouws Maatschapij Tideman van Kerchem sebagai Direksinya, kemudian dibentuk Perusahaan dengan nama NV. Suiker Fabriek Kebon Agoeng yang disebut PG Kebon Agung dan disahkan dengan akte Notaris Hendrik Willem Hazenberg pada tanggal 20 Maret 1918 dengan No. 155, dan disahkan dengan Surat Keputusan Sekretaris Gubernur Hindia Belanda tanggal 30 Mei 1918 No. 42, didaftar dalam register Kantor Pengadilan Negeri, Surabaya dengan No. 143.

Karena dia tidak mampu membayar hutangnya, maka pada tahun 1932 seluruh saham PG Kebon Agung tergadaikan kepada de Javasche Bank Malang dan pada tahun 1936 PG Kebon Agung dimiliki oleh de Javasche Bank. Dalam RUPS Perseroan tahun 1954 ditetapkan bahwa Pemegang Saham PG Kebon Agung adalah Spaarfonds voer

Beamten van de Bank Indonesia (yang kemudian bernama Yayasan Dana Tabungan Pegawai Bank Indonesia) dan Bank Indonesia (atas nama Yayasan Dana Pensiun dan Tunjangan Hari Tua Bank Indonesia).

Pada tahun 1957 PG Kebon Agung dikelola oleh Badan Pimpinan Umum Perusahaan Perkebunan Gula atau BPU-PPN Gula dan tahun 1962 perseroan ini membeli seluruh saham NV Cultuur Matschapij Trangkil di Pati yang didirikan tahun 1835 (semula dimiliki oleh Ny. A de Donariere EMSDA Janiers van Hamrut) dengan kapasitas giling 300 tth. Pada saat itu pula Pemegang Saham bergabung menjadi satu badan hukum sendiri bernama Yayasan Dana Pensiun dan Tunjangan Hari Tua Bank Indonesia (YDP THT BI) sebagai Pemegang Saham tunggal. Jangka waktu pendirian perseroan tetap selama 75 tahun terhitung tanggal 20 Maret 1918.

Setelah BPU-PPN Gula dilikuidasi pada tahun 1967, PG Kebon Agung dikembalikan kepada YDP THT BI, dan pada tanggal 17 Juli 1968 Direksi Bank Indonesia Unit I (sekarang bernama Bank Indonesia) yang merupakan Pemegang Saham tunggal PG Kebon Agung menunjuk PT Biro Usaha Manajemen Tri Gunabina atau PT Tri Gunabina sebagi pengelola PG Kebon Agung di Malang dan PG Trangkil di Pati.

Masa pengoperasian PG Kebon Agung yang berakhir pada tanggal 20 Maret 1993, diperpanjang hingga 75 tahun mendatang dengan Akte Notaris Achmad Bajumi, S.H. dengan No. 120 tanggal 27 Februari 1993, disahkan dengan Keputusan Menteri Kehakiman RI tanggal 18 Maret 1993 No. C2-1717 HT.01.04.Th.93, didaftar dalam register Kantor Pengadilan Negeri Jakarta Pusat No. 1099/1993 dan telah diumumkan dalam Berita Negara RI No. 2607 tanggal 8 Juni 1993, Tambahan Berita Negara RI No.46 tanggal 8 Juni 1993.

Dengan didirikannya Yayasan Kesejahteraan Karyawan Bank Indonesia (YKK-BI) oleh Direksi Bank Indonesia pada tanggal 25 Februari 1992 yang diresmikan dengan akte Notaris Abdul Latif dengan No. 29 tanggal 23 Februari 1992 dan adanya kebijakan dari Departemen Kehakiman yang mengatur bahwa Direksi suatu Perseroan tidak boleh berupa badan hukum tetapi harus orang perseorangan, maka dalam RUPS-LB tanggal 22 Maret 1993 diputuskan bahwa YKK-BI menjadi Pemegang Saham tunggal PG Kebon Agung. Dan pada tanggal 1 April 1993 bertempat di Kantor Bank Indonesia Cabang Surabaya dilakukan serah terima pengurusan dan pengelolaan PG Kebon Agung dari Direksi PT Tri Gunabina kepada Saudara Sukanto (alm.) selaku Direktur PG Kebon Agung.

Perubahan Anggaran Dasar terakhir dibuat berdasarkan akte Notaris Hartati Marsono, SH No. 58 tanggal 22 Juli 1996 Jo akte No. 32 tanggal 31 Januari 1997 dan akte No. 8 tanggal 15 Juli 1997, yang telah disetujui oleh Menteri Kehakiman RI dengan Surat Keputusan No.C2.11161 MT 01.04.Th.97 tanggal 28 Oktober 1997 dan telah diumumkan dalam Berita Negara RI No. 743/1998 tanggal 3 Februari 1998, Tambahan Berita Negara RI No. 10 Tanggal 3 Februari 1998.

Berdasarkan Undang-Undang No.1 tahun 1995 tentang Perseroan Terbatas, maka dalam RUPS-LB tanggal 26 Juli 1996 diputuskan bahwa Pemegang Saham PG Kebon Agung terdiri dari YKK-BI dengan kepemilikan saham sebanyak 2.490 lembar atau sebesar 99,6 % dan Koperasi Karyawan PG Kebon Agung “Rosan Agung” dengan kepemilikan saham sebanyak 10 lembar atau sebesar 0,4 %.

4.1.2 Profil Perusahaan

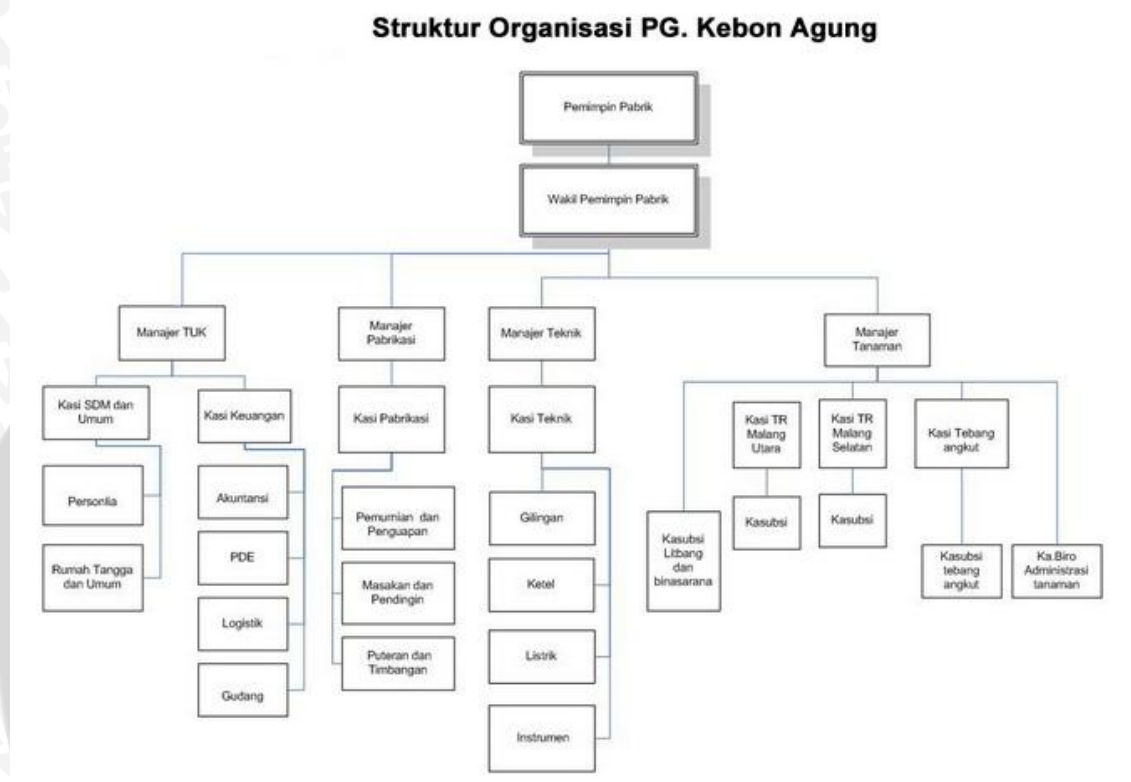
Pabrik Gula Kebon Agung merupakan salah satu pabrik gula berskala nasional di Jawa Timur yang memasok gula untuk memenuhi kebutuhan gula nasional. PG Kebon Agung merupakan salah satu unit usaha dari PT Kebon Agung yang bergerak di bidang usaha mengelola bahan baku tebu menjadi produksi utama gula pasir. PT Kebon Agung memiliki 2 pabrik gula, yaitu PG Kebon Agung dan PG Tangkir. Produk yang dihasilkan gula kristal putih dan tetes tebu.

Pabrik Kebon Agung terletak di daerah Malang ± 5 km sebelah selatan kota Malang, tepatnya di desa Kebon Agung kecamatan Pakisaji Kabupaten Malang pada ketinggian ± 480 dpl dan temperatur $26^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$, berjarak 5 km sebelah selatan kota Malang di jalan Raya Kebon Agung antara Malang dan Blitar. Wilayah kerja meliputi 17 kecamatan di kabupaten dan dua kecamatan di kota Malang dengan radius $\pm 4 - 60$ km.

Gula pasir hasil produksi PG Kebon Agung telah tersertifikasi ke dalam gula kelas satu, yang artinya gula tersebut memiliki kualitas yang baik. Kriteria gula kelas satu yang dimiliki oleh gula hasil produksi PG Kebon Agung ditunjukkan dengan terstandarisasinya ukuran butir gula, polarisasi, warna gula, serta kadar airnya. Untuk menjaga predikat sebagai gula kelas satu tentunya PG Kebon Agung selalu melakukan usaha-usaha untuk menjaga kualitasnya. Hal ini didukung dengan teknologi berupa mesin-mesin produksi yang kini digunakan oleh PG Kebon Agung. Sekitar 90% dari mesin-mesin produksi yang ada jumlahnya telah ditambah dan diperbaharui.

4.1.3 Struktur Organisasi

Direksi PG Kebon Agung terdiri atas 4 bagian. Setiap bagian dipimpin oleh seorang kepala bagian dan setiap urusan dipimpin oleh Kepala Urusan. Semua Kepala Bagian dan beberapa kepala urusan bertanggung jawab langsung kepada Direksi. Ada beberapa kepala urusan bertanggung jawab kepada kepala bagian.



Gambar 4.1 Struktur organisasi PG Kebon Agung
Sumber: PG Kebon Agung

4.1.4 Proses Produksi

Proses produksi gula yang pertama yaitu tebu masuk ke meja tebu yang berjumlah empat buah. Kemudian dengan *carrier* atau konveyor yang terbuat dari besi baja digeser ke atas dan tebu dimasukkan ke lubang besar yang terdapat *carrier* yang nantinya akan membawa tebu ke leveler. *Carrier* itu bernama *auxillary carrier*. *Leveller* berfungsi meratakan atau mencacah tebu agar permukaan tidak terlalu tebal dan rata sehingga kerja *cane carrier* nantinya tidak terlalu berat. Hasil keluaran dari *leveller* adalah tebu yang berukuran sama panjang diteruskan ke *cane cutter* yang berjumlah dua buah yaitu *cane cutter 1* dan *cane cutter 2*.

Cane cutter berfungsi memotong tebu menjadi potongan-potongan pendek, kemudian dilanjutkan dan dimasukkan ke HDS (*Heavy Duty Hammer Screadder*) untuk menggiling potongan-potongan tebu yang pendek dari *cane cutter* sehingga menjadi

serat-serat tebu yang siap diperas. Dari HDS (*Heavy Duty Hammer Screadder*), serat-serat tebu dibawa ke *roll* gilingan yang berjumlah 5 buah (*mill* ke 1 sampai *mill* ke 5) pada stasiun penggilingan secara perlahan oleh *main carrier*.

Pada stasiun penggilingan terdapat proses pemerahan dengan ditambahkan air imbibisi (air bertemperatur tinggi 50–100°C) agar kandungan gula yang masih ada dalam ampas akan larut sehingga ampas akhir diharapkan mengandung kadar gula serendah mungkin. Setelah itu, diperoleh nira mentah yang akan ditampung pada bak penampung nira, sedangkan *bagasse* atau ampas tebu hasil dari penggilingan ini dibawa ke penampungan *bagasse* guna persediaan setelah buka giling tahun berikutnya dan persediaan terdahulu bisa dijual ke pabrik kertas untuk bahan baku pembuatan kertas. Selain itu, *bagasse* merupakan bahan baku utama *pan supply* stasiun ketel yang akan digunakan sebagai bahan bakar ketel untuk memproduksi uap yang akan digunakan untuk proses produksi dalam pabrik gula Kebon Agung.

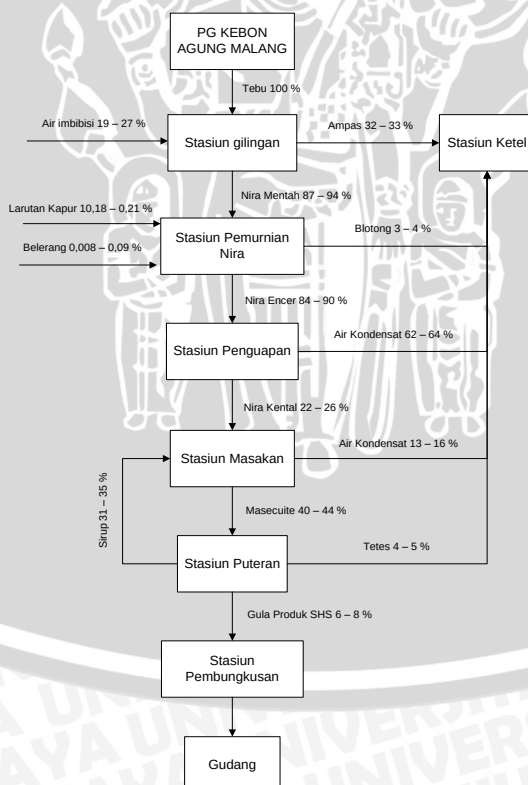
Nira mentah hasil gilingan langsung dibawa ke stasiun pemurnian. Sistem yang digunakan dalam stasiun ini adalah sistem sulfitasi. Nira mentah dicampur dengan larutan kapur dan gas SO₂ untuk mempercepat pengendapan dan mengikat kotoran yang berasal dari tanah yang masih menempel pada tebu sehingga didapatkan hasil nira encer atau nira bersih dan ampas berupa kotoran yang disebut blotong yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Kemudian nira encer tersebut, diuapkan di stasiun penguapan untuk diperoleh nira kental dengan kekentalan tertentu dan didapatkan air kondensat untuk mengisi ketel uap yang berada pada stasiun ketel.

Dari stasiun penguapan, nira kental dimasak di stasiun masakan agar terbentuk kristal-kristal gula (sukrosa). Hasil dari stasiun ini berupa cairan *maseuite* (larutan kristal gula) yang berwarna coklat pekat dan juga air kondensat untuk mengisi ketel uap. Selanjutnya *maseuite* diproses lanjut di stasiun putaran untuk memisahkan antara kristal gula dan cairan. Di stasiun putaran selain dihasilkan kristal gula D1 yang berwarna coklat dan juga dihasilkan cairan tetes. Kemudian gula D1 diproses lanjut di stasiun putaran 2 dan diperoleh kristal gula D2 yang berkrystal halus berwarna krem dan cairan sisa yang disebut *klare*. Selain itu, kristal gula D2 kembali diproses di stasiun putaran 3 dan dihasilkan gula C atau gula SHS yang memiliki ukuran kristal yang agak besar dengan warna putih keruh.

Gula SHS yang dihasilkan dari stasiun putaran dibawa menuju ke talang goyang dan masuk ke pengering dengan menggunakan hembusan uap kering bertemperatur sisa

dari stasiun penguapan gula kemudian masuk ke *elevator*. Setelah dari *elevator*, gula masuk ke saringan getar untuk diperoleh ketiga jenis kristal gula, yaitu kasar, sedang, dan halus. Kristal gula kasar dan halus dimasak kembali ke stasiun masakan dengan cara dicairkan kembali dan dikristalkan ulang. Sedangkan kristal gula yang berukuran sedang sebagai produk yang kemudian dikemas di stasiun pembungkusan yang sebelumnya terlebih dahulu diangkat oleh *belt conveyor* menuju *silo* yaitu bak penampung gula yang berukuran besar.

Setelah itu gula masuk di stasiun pembungkusan yang akan ditimbang secara otomatis menggunakan sistem penutup dan pembuka katup pneumatik setelah mencapai sensor berat 50 kg. Selain ditimbang menggunakan timbangan otomatis gula, selanjutnya ditimbang secara manual menggunakan alat ukur berat digital guna memperoleh berat yang ideal 50 kg, meskipun ada kompesasi kurang lebih 0,1% pada masing-masing saknya. Semua proses ini mulai dari penimbangan, penjahitan sak, dan proses pengangkutan kemasan gula tersebut menggunakan *belt conveyor* yang kemudian disimpan di gudang penyimpanan. Tahapan proses serta bagan dalam pengolahan tebu menjadi gula di PG Kebon Agung sebagai berikut.



Gambar 4.2 Bagan proses pembuatan gula
Sumber: PG Kebon Agung

4.2 Perhitungan Data Waktu Kerusakan Komponen *Cane Cutter*

Data waktu kerusakan komponen *cane cutter* yang digunakan adalah data *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR) pada tahun 2009-2013 atau 5 musim giling dimana waktu kerja selama 24 jam dengan pembagian shift kerja yaitu 3 shift setiap hari.

4.2.1 Perhitungan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repair* (TTR)

Berdasarkan data mesin *cane cutter* yang diperoleh dari PG Kebon Agung, maka dapat ditunjukkan frekuensi *downtime* terbesar pada mesin ini adalah pada komponen *cane cutter* sebesar 44 selama 5 musim giling. Mesin *cane cutter* I beroperasi selama 24 jam sehari dengan 7 hari kerja selama seminggu. Besarnya frekuensi *downtime* ini dapat menghambat jadwal produksi gula yang dilakukan oleh PG Kebon Agung karena suatu proses yang berhenti akan mengganggu proses yang lainnya.

Time to Failure (TTF) merupakan interval waktu antar kerusakan yang dihitung dari selisih antara waktu saat komponen/mesin yang telah selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan komponen/mesin berikutnya. Sedangkan *Time to Repair* (TTR) merupakan waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan agar mesin tersebut dapat beroperasi kembali dengan baik. Data *downtime* besarnya berbeda-beda karena tergantung dari tingkat keparahan kerusakan komponen dan besarnya waktu yang digunakan teknisi untuk menyelesaikan kerusakan pada komponen tersebut. Semakin lama *downtime* semakin mengganggu jadwal produksi yang ada dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Satuan yang digunakan dalam perhitungan TTR dan TTF adalah jam. Contoh perhitungan TTF dan TTR adalah sebagai berikut.

1. *Time to Failure* (TTF)

Time to Failure (TTF) pada tanggal 28 Juni 2009

Waktu selesai perbaikan sebelumnya:

3 Juni 2009 pukul 17.10-24.00 = 410 menit

Waktu kerusakan:

4-27 Juni 2009 (24 hari x 24 jam x 60 menit) = 34560 menit

Waktu kerusakan komponen:

28 Juni 2009 00.00-08.40 = 520 menit

Total *Time to Failure* (TTF) = 35490 menit

Total *Time to Failure* (TTF) = 591,50 jam

2. Time to Repair (TTR)

3 Juni 2009 pukul 16.10-17.10

= 1 jam

Dengan cara yang sama, maka dapat diperoleh besarnya TTF dan TTR seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data TTF dan TTR Komponen *Cane Cutter* Pada Tahun 2009-2013

No	Waktu	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Perbaikan	Time to Repair (jam)	Time to Failure (jam)
1.	3-Jun-09	16.10	17.10	1,00	-
2.	28-Jun-09	08.40	09.30	0,83	591,5
3.	19-Jul-09	15.25	16.35	1,17	509,92
4.	10-Aug-09	08.30	09.20	0,83	519,92
5.	7-Sep-09	11.30	12.45	1,25	698,17
6.	6-Oct-09	07.10	08.05	0,92	690,42
7.	2-Nov-09	05.30	06.20	0,83	645,42
8.	27-Nov-09	18.20	19.35	1,25	612
9.	20-Dec-09	13.30	14.42	1,2	521,92
10.	18-Jun-10	11.00	11.50	0,83	-
11.	13-Jul-10	03.15	04.20	1,08	591,42
12.	3-Aug-10	18.40	19.55	1,25	518,33
13.	28-Aug-10	09.20	10.10	0,83	589,42
14.	21-Sep-10	13.35	14.40	1,08	579,42
15.	13-Oct-10	07.15	08.20	1,08	520,58
16.	31-Oct-10	14.40	15.40	1,00	438,33
17.	22-Nov-10	08.50	09.40	0,83	521,17
18.	15-Dec-10	10.00	11.15	1,25	552,33
19.	10-Jun-11	13.45	14.45	1,00	-
20.	6-Jul-11	07.45	08.35	0,83	617
21.	3-Aug-11	18.45	19.40	0,92	682,17
22.	26-Aug-11	10.00	11.10	1,17	542,33
23.	13-Oct-11	13.35	15.00	1,42	1154,42
24.	9-Nov-11	06.00	07.25	1,42	639
25.	30-Nov-11	23.45	0.57	1,2	520,33
26.	28-May-12	17.20	18.10	0,83	-
27.	14-Jun-12	14.30	15.30	1,00	404,33
28.	10-Jul-12	08.15	09.25	1,17	616,75
29.	28-Jul-12	20.30	21.25	0,92	443,08
30.	14-Aug-12	16.10	17.25	1,25	402,75
31.	9-Sep-12	06.15	07.20	1,08	612,83
32.	29-Sep-12	11.20	12.30	1,17	484
33.	18-Oct-12	09.15	10.40	1,42	452,75
34.	13-Nov-12	15.10	16.05	0,92	628,5
35.	9-Dec-12	06.10	07.00	0,83	614,08

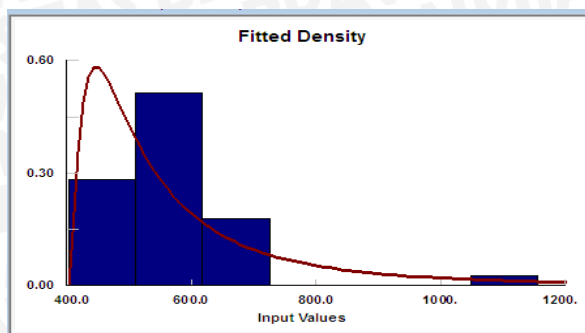
Tabel 4.1 Data TTF dan TTR Komponen *Cane Cutter* Pada Tahun 2009-2013 (Lanjutan)

No.	Waktu	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair</i> (jam)	<i>Time to Failure</i> (jam)
36.	4-Jun-13	05.30	6.40	1,17	-
37.	26-Jun-13	15.55	17.15	1,33	537,25
38.	18-Jul-13	09.10	10.30	1,33	519,92
39.	15-Aug-13	05.20	06.10	0,83	666,83
40.	9-Sep-13	13.40	14.35	0,92	583,5
41.	27-Sep-13	06.55	08.00	1,08	424,33
42.	16-Oct-13	09.53	10.53	1,00	457,88
43.	4-Nov-13	07.00	07.55	0,92	428,12
44.	25-Nov-13	11.00	12.12	1,2	507,08
Total				46,840	22.039,5
Rata-Rata				1,065	500,898
Variansi				0,035	47096,367

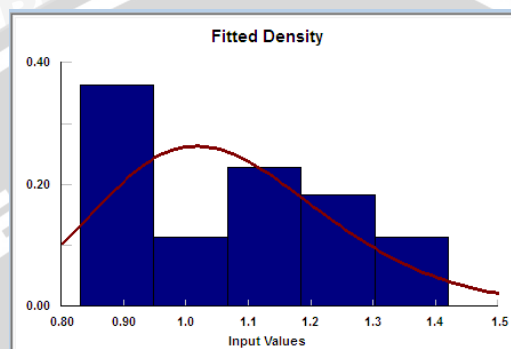
4.3 Penentuan Distribusi Komponen *Cane Cutter* Pada Mesin *Cane Cutter I*

Penentuan jenis distribusi dari data *Time to Failure* (TTF) dan data *Time to Repair* (TTR) dapat dilakukan dengan cara melakukan pendugaan suatu pola distribusi dari data *Time to Failure* (TTF) dan data *Time to Repair* (TTR) berdasarkan karakteristik dari masing-masing jenis distribusi kerusakan. Penentuan jenis distribusi ini dilakukan dengan tujuan untuk memudahkan penentuan parameter sesuai dengan distribusi data TTF dan TTR. Empat macam distribusi yang sering digunakan untuk mengidentifikasi pola data kerusakan yang terbentuk adalah distribusi eksponensial, distribusi weibull, distribusi normal, dan distribusi lognormal.

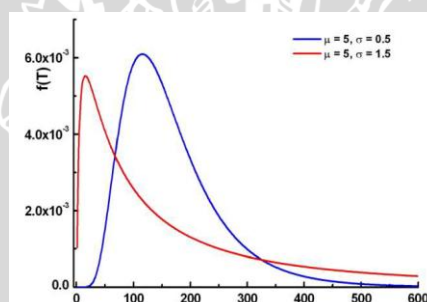
Pendugaan data *Time to Failure* (TTF) dan data *Time to Repair* (TTR) pada komponen *cane cutter* berdistribusi lognormal karena pola data *Time to Failure* (TTF) dan data *Time to Repair* (TTR) mirip dengan pola data distribusi Lognormal dan distribusi ini dapat memenuhi beberapa periode kerusakan yang terjadi, yaitu periode awal (*early failure*), periode normal, dan periode pengausan (*wear out*). Pola data *Time to Failure* (TTF) ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan pola data *Time to Repair* (TTR) ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Pola data *Time to Failure*



Gambar 4.4 Pola data *Time to Repair*



Gambar 4.5 Grafik distribusi lognormal
Sumber: Ebeling, 1997

4.4 Perhitungan Parameter Komponen *Cane Cutter*

Perhitungan parameter komponen *cane cutter* terdiri dari perhitungan parameter untuk *Time to Failure* (TTF) dan perhitungan parameter untuk *Time to Repair* (TTR). Parameter dari *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Failure* (TTR) digunakan untuk input uji kesesuaian distribusi (*goodness of fit*).

4.4.1 Perhitungan Parameter *Time to Failure* (TTF) Komponen *Cane Cutter*

Setelah diketahui jenis distribusi untuk data *Time to Failure* (TTF), maka akan dihitung parameter untuk *Time to Failure* (TTF) komponen *cane cutter* yang berdistribusi lognormal dimana mempunyai 2 parameter yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter bentuk (σ^2). Perhitungan parameter dilakukan pada saat pengujian kesesuaian distribusi. Diketahui rata-rata data ($E(x)$) adalah 500,898 jam, variansi data ($Var(x)$)

adalah 47.096,367 jam, dan $e = 2,718$. Perhitungan parameter TTF berdasarkan persamaan (2-24) dan (2-25) adalah sebagai berikut.

$$\mu = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$500,989 = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$\mu = 6,216 - \frac{\sigma^2}{2} \quad (4-1)$$

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$47.097,367 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1) \quad (4-2)$$

Substitusi persamaan (4-1) ke persamaan (4-2), maka diperoleh parameter lokasi (μ) = 6,13 dan parameter bentuk (σ^2) = 0,172 dimana perhitungan parameter TTF secara detail terdapat pada Lampiran 3.

4.4.2 Perhitungan Parameter *Time to Repair* (TTR) Komponen *Cane Cutter*

Setelah diketahui jenis distribusi untuk data *Time to Repair* (TTR), maka akan dihitung parameter untuk *Time to Repair* (TTR) komponen *cane cutter* yang berdistribusi lognormal dimana mempunyai 2 parameter yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter bentuk (σ^2). Perhitungan parameter dilakukan pada saat pengujian kesesuaian distribusi. Diketahui rata-rata data ($E(x)$) adalah 1,065 jam, variansi data ($Var(x)$) adalah 0,035 jam, dan $e = 2,718$. Perhitungan parameter TTR berdasarkan persamaan (2-24) dan (2-25) adalah sebagai berikut.

$$\mu = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$1,065 = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$\mu = 0,063 - \frac{\sigma^2}{2} \quad (4-3)$$

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$0,035 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1) \quad (4-4)$$

Substitusi persamaan (4-3) ke persamaan (4-4), maka diperoleh parameter lokasi (μ) = 0,048 dan parameter bentuk (σ^2) = 0,031 dimana perhitungan parameter TTR secara detail terdapat pada Lampiran 3.

4.5 Pengujian Kesesuaian Distribusi (*Goodness of Fit Test*) Data Komponen *Cane*

Cutter

Pengujian kesesuaian distribusi (*goodness of fit test*) data komponen *cane cutter* terdiri dari pengujian kesesuaian distribusi (*goodness of fit test*) data *Time to Failure* (TTF) dan pengujian kesesuaian distribusi (*goodness of fit test*) data *Time to Repair* (TTR).

4.5.1 Pengujian Kesesuaian Distribusi (*Goodness of Fit Test*) Data *Time to Failure*

(TTF) Komponen *Cane Cutter*

Setelah dilakukan pendugaan distribusi dan perhitungan parameter untuk data *Time to Failure* (TTF), maka akan pengujian kesesuaian distribusi (*goodness of fit*). Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah data TTF benar-benar berdistribusi lognormal. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji statistik, yaitu uji distribusi non-parametrik (Uji *Kolmogorov-Smirnov*). Dibawah ini merupakan formulasi hipotesis.

H_0 : Data TTF komponen *cane cutter* berdistribusi lognormal.

H_1 : Data TTF komponen *cane cutter* tidak berdistribusi lognormal.

H_0 diterima jika hasil perhitungan D maksimum $< D_{critical}$.

Contoh perhitungan *Kolmogorov Smirnov Test* untuk $i = 404,33$ adalah sebagai berikut.

$$f_a = \frac{n}{k}$$

$$f_a = \frac{1}{39}$$

$$= 0,026$$

F_a = kumulatif f_a

$$= 0,026$$

$$F_e = \text{CDF distribusi lognormal} = \int_0^{t_p} f(t) dt = \text{LOGNORMDIST}(x, \mu, \sigma)$$

$$= \text{NORMDIST}\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$F_e = (\text{LOGNORMDIST}, xi, \text{mean}, \text{standar deviasi})$$

$$F_e = (\text{LOGNORMDIST}, 404,33, 6,23, 0,415)$$

$$F_e = 0,292$$

$$D_{hitung} = | \text{kumulatif aktual} - \text{kumulatif expected} |$$

$$D_{hitung} = |0,051 - 0,292|$$

$$D_{hitung} = 0,240$$

Data *Time to Failure* (TTF) diurutkan dari data yang terkecil sampai dengan data yang terbesar. Hasil perhitungan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk data TTF terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Uji *Kolmogorov-Smirnov* TTF Komponen *Cane Cutter*

I	Xi	fa (Aktual)	Fa (Kumulatif Aktual)	fe (Expected)	Fe (Kumulatif Expected)	D hitung
1	402.75	0.026	0.026	0.278	0.278	0.252
2	404.33	0.026	0.051	0.014	0.292	0.240
3	424.33	0.026	0.077	0.041	0.333	0.256
4	428.12	0.026	0.103	0.008	0.341	0.238
5	438.33	0.026	0.128	0.021	0.362	0.233
6	443.08	0.026	0.154	0.010	0.371	0.217
7	452.75	0.026	0.179	0.020	0.391	0.212
8	457.88	0.026	0.205	0.010	0.402	0.196
9	484	0.026	0.231	0.052	0.454	0.223
10	507.08	0.026	0.256	0.045	0.499	0.242
11	509.92	0.026	0.282	0.005	0.504	0.222
12	518.33	0.026	0.308	0.016	0.520	0.212
13	519.92	0.051	0.359	0.003	0.523	0.164
14	520.33	0.026	0.385	0.001	0.524	0.139
15	520.58	0.026	0.410	0.000	0.524	0.114
16	521.17	0.026	0.436	0.001	0.525	0.089
17	521.92	0.026	0.462	0.001	0.526	0.065
18	537.25	0.026	0.487	0.028	0.554	0.067
19	542.33	0.026	0.513	0.009	0.563	0.050
20	552.33	0.026	0.538	0.017	0.580	0.042
21	579.42	0.026	0.564	0.044	0.625	0.061
22	583.5	0.026	0.590	0.006	0.631	0.041
24	589.42	0.026	0.615	0.009	0.640	0.025
25	591.42	0.026	0.641	0.003	0.643	0.002
26	591.5	0.026	0.667	0.000	0.644	0.023
27	612	0.026	0.692	0.030	0.674	0.019
28	612.83	0.026	0.718	0.001	0.675	0.043
29	614.08	0.026	0.744	0.002	0.677	0.067
30	616.75	0.026	0.769	0.004	0.680	0.089
31	617	0.026	0.795	0.000	0.681	0.114
32	628.5	0.026	0.821	0.016	0.696	0.124
33	639	0.026	0.846	0.014	0.710	0.136
34	645.42	0.026	0.872	0.008	0.718	0.153
35	666.83	0.026	0.897	0.026	0.744	0.153
36	682.17	0.026	0.923	0.017	0.762	0.161

Tabel 4.2 Uji Kolmogorov-Smirnov TTF Komponen Cane Cutter (Lanjutan)

37	698.17	0.026	0.974	0.008	0.779	0.196
38	1154.42	0.026	1.000	0.779	0.976	0.024
D hitung maksimum						0,256
D critical ($\alpha=0,01$)						0,26068

Berdasarkan Tabel 4.3, nilai $D_{\max}=0,256 < D_{\text{crit}(\alpha=0,01)}=0,26068$ maka disimpulkan bahwa H_0 diterima yang berarti bahwa data *Time to Failure* (TTF) berdistribusi lognormal.

4.5.2 Pengujian Kesesuaian Distribusi (*Goodness of Fit Test*) Data *Time to Repair* (TTR) Komponen *Cane Cutter*

Setelah dilakukan pendugaan distribusi dan perhitungan parameter untuk data *Time to Repair* (TTR), maka setelah itu dilakukan pengujian kesesuaian distribusi (*goodness of fit*). Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah data TTF benar-benar berdistribusi lognormal. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji statistik, yaitu uji distribusi non-parametrik (Uji Kolmogorov-Smirnov). Dibawah ini merupakan formulasi hipotesisnya.

Hipotesis:

H_0 : Data TTR komponen *cane cutter* berdistribusi lognormal.

H_1 : Data TTR komponen *cane cutter* tidak berdistribusi lognormal.

H_0 diterima jika hasil perhitungan D maksimum $< D_{\text{critical}}$.

Contoh perhitungan Kolmogorov Smirnov Test TTR untuk $i = 0.83$.

$$f_a = \frac{n}{k}$$

$$f_a = \frac{10}{44}$$

$$= 0,227$$

Fa = kumulatif dari fa

$$= 0,068$$

$$F_e = \text{CDF distribusi lognormal} = \int_0^x f(t) dt = \text{LOGNORMDIST}(x, \mu, \sigma)$$

$$= \text{NORMDIST}\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)$$

$$F_e = (\text{LOGNORMDIST}, xi, \text{mean}, \text{standar deviasi})$$

$$F_e = (\text{LOGNORMDIST}, 0,75, 0,048, 0,176)$$

$$F_e = 0,092$$

$$D_{\text{hitung}} = | \text{kumulatif aktual} - \text{kumulatif expected} |$$

$$D_{\text{hitung}} = | 0,227 - 0,092 |$$

$$D_{\text{hitung}} = 0,136$$

Data *Time to Repair* (TTR) diurutkan dari data yang terkecil sampai dengan data yang terbesar. Hasil perhitungan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk data TTR terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Uji *Kolmogorov-Smirnov* Data TTR Komponen *Cane Cutter*

I	Xi	fa (Aktual)	Fa (Kumulatif Aktual)	fe (Expected)	Fe (Kumulatif Expected)	D hitung
1	0.830	0.227	0.227	0.092	0.092	0.136
2	0.920	0.136	0.364	0.136	0.228	0.136
3	1.000	0.114	0.477	0.165	0.393	0.085
4	1.080	0.114	0.591	0.173	0.565	0.026
5	1.170	0.114	0.705	0.167	0.732	0.028
6	1.200	0.068	0.773	0.045	0.777	0.005
7	1.250	0.114	0.886	0.063	0.840	0.046
8	1.330	0.045	0.932	0.071	0.911	0.021
9	1.420	0.068	1.000	0.046	0.957	0.043
D hitung max						0,136
D critical ($\alpha=0,01$)						0,513

Berdasarkan Tabel 4.3, nilai $D_{\max}=0,136 < D_{\text{crit}(\alpha=0,01)}=0,513$ maka disimpulkan H_0 diterima yang berarti bahwa data *Time to Repair* (TTR) berdistribusi lognormal.

4.6 Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) Komponen *Cane Cutter*

Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dilakukan untuk mengetahui waktu rata-rata antar kerusakan yaitu komponen selesai diperbaiki sampai komponen rusak kembali. Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) dilakukan untuk mengetahui waktu rata-rata yang diperlukan dalam kegiatan penggantian komponen.

4.6.1 Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) Komponen *Cane Cutter*

Setelah diketahui besarnya parameter-parameter dari distribusi lognormal, maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui *Mean Time to Failure* (MTTF) komponen *cane cutter* dengan diketahui data *Time to Failure* (TTF) berdistribusi lognormal.

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} t \times f(t) dt$$

$$MTTF = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$MTTF = e^{6,13 + \frac{0,172}{2}}$$

$$MTTF = 500,898 \text{ jam}$$

4.6.2 Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) Komponen *Cane Cutter*

Setelah diketahui besarnya parameter-parameter dari distribusi lognormal, maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui *Mean Time to Repair* (MTTR) komponen *cane cutter* dengan diketahui data *Time to Repair* (TTR) berdistribusi lognormal.

$$MTTR = E(T) = \int_0^{\infty} t \times f(t) dt$$

$$MTTR = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$MTTR = e^{0,048 + \frac{0,081}{2}}$$

$$MTTR = 1,065 \text{ jam}$$

4.7 Perhitungan Interval Waktu Penggantian Komponen *Cane Cutter*

Setelah diketahui nilai parameter berdasarkan distribusi yang telah diuji kesesuaiannya, maka dilakukan perhitungan interval waktu penggantian yang optimal untuk komponen *cane cutter*. Pendekatan penggantian pencegahan yang digunakan yaitu *age replacement* dimana komponen diganti saat telah mencapai umur penggantian optimal yang telah ditentukan dengan tujuan meminimalisasi *downtime*. Perhitungan interval waktu penggantian yang optimal dilakukan dengan mencoba satu persatu interval waktu 1-1.000 jam. Contoh perhitungan untuk waktu penggantian (t_p) = 146 jam adalah sebagai berikut.

$$W_c = \int_0^{t_p} f(t) dt$$

$$W_c = \int_0^{t_p} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma t} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}[\ln(t)-\mu]^2} dt$$

$$W_c = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 0,415}} \int_0^{146} \frac{1}{146} \exp\left(-\frac{[\ln(146)-6,13]^2}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 0,172}}\right) dt$$

$$W_c = 1,328 \times 10^{-15}$$

$$E(TTF) = \frac{\int_0^{\infty} t \times f(t) dt}{\int_0^{t_p} f(t) dt}$$

$$E(TTF) = \frac{\int_0^{\infty} 146 \times \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 0,415}} e^{-\frac{1}{2 \times 0,172} [\ln(146)-6,13]^2} dt}{\frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 0,415}} \int_0^{146} \frac{1}{146} \exp\left(-\frac{[\ln(146)-6,13]^2}{\sqrt{2 \times 3,14 \times 0,172}}\right) dt}$$

$$E(TTF) = \frac{0,0000000000001904}{0,00000000000001328}$$

$$E(TTF) = 143,373$$

$$E(TTRc) = \int_0^{\infty} t \times f(t) dt$$

$$E(TTRc) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$E(TTRc) = e^{0,048 + \frac{0,081}{2}}$$

$$E(TTRc) = 1,065$$

$$Wc = \int_{tp}^{\infty} f(t) dt$$

$$Wp = 1 - Wc$$

$$Wp = 1 - 1,328 \times 10^{-15}$$

$$Wp = 1$$

$$E(TTRp) = \int_0^{\infty} t \times f(t) dt$$

$$E(TTRp) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$E(TTRp) = e^{1,5 + \frac{1}{2}}$$

$$E(TTRp) = 0,5$$

$$D(tp) = \frac{Wc \times E(TTRc) + Wp \times E(TTRp)}{Wc \times (E(TTF) + E(TTRc)) + Wp \times (tp + E(TTRp))}$$

$$D(tp) = \frac{(0,00000000000000001328 \times 1,065) + (1 \times 0,5)}{(0,00000000000000001328 \times (143,373 + 1,065)) + (1 \times (146 + 0,5))}$$

$$D(tp) = 0,003412969$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh interval waktu penggantian pada Tabel 4.4. Pada tabel 4.4 menyajikan sebagian interval waktu penggantian komponen. Interval waktu penggantian komponen secara detail pada Lampiran 4.

Tabel 4.4 Interval Waktu Penggantian Komponen *Cane Cutter*

Tp	Wc	E(TTF)	E(TTRc)	Wp	E(TTRp)	E(TTR)	E (Satu Siklus)	D(tp)
146	0,000	143,373	1,065	1,000	0,5	0,500	146,500	0,003412969
150	0,000	147,315	1,065	1,000	0,5	0,500	150,500	0,003322259
200	0,000	195,305	1,065	1,000	0,5	0,500	200,500	0,002493766
250	0,000	242,319	1,065	1,000	0,5	0,500	250,500	0,001996039
300	0,002	288,321	1,065	0,998	0,5	0,501	300,482	0,001667086
350	0,030	334,733	1,065	0,970	0,5	0,517	350,059	0,001476751
369*	0,065	348,554	1,065	0,935	0,5	0,537	368,208	0,001457669
400	0,170	370,365	1,065	0,830	0,5	0,596	395,558	0,001506858
450	0,443	405,312	1,065	0,557	0,5	0,750	430,953	0,001741012
500	0,720	431,829	1,065	0,280	0,5	0,907	451,824	0,002006977
500,898**	0,725	431,716	1,065	0,275	0,5	0,910	451,651	0,002014002
550	0,893	449,026	1,065	0,107	0,5	1,005	460,835	0,002179839

Tabel 4.4 Interval Waktu Penggantian Komponen *Cane Cutter* (Lanjutan)

Tp	Wc	E(TTF)	E(TTRc)	Wp	E(TTRp)	E(TTR)	E (Satu Siklus)	D(tp)
600	0,967	458,669	1,065	0,033	0,5	1,046	464,379	0,002253233
650	0,992	462,400	1,065	0,008	0,5	1,060	464,961	0,002280791
700	0,998	463,991	1,065	0,002	0,5	1,064	465,527	0,002285303
750	1,000	464,127	1,065	0,000	0,5	1,065	465,192	0,002289377
800	1,000	464,355	1,065	0,000	0,5	1,065	465,420	0,002288256
850	1,000	464,400	1,065	0,000	0,5	1,065	465,465	0,002288035
900	1,000	464,408	1,065	0,000	0,5	1,065	465,473	0,002287995
924***	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	1,065	465,474	0,002287990
950	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	1,065	465,474	0,002287990
1000	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	1,065	465,474	0,002287990

Keterangan:

tp = waktu penggantian

Wc = probabilitas terjadinya *corrective maintenance*

E(TTF) = ekspektasi terjadinya kerusakan sebelum waktu penggantian (tp)

E(TTRc) = ekspektasi waktu perbaikan secara *corrective*

Wp = probabilitas terjadinya *preventive maintenance*

E(TTRp) = ekspektasi waktu perbaikan secara *preventive*

E(TTR) = total ekspektasi *downtime* per siklus

E(satu siklus) = total ekspektasi panjang satu siklus

D(tp) = probabilitas *downtime*

* = interval waktu penggantian yang optimal dengan D(tp) terkecil

** = rata-rata waktu penggantian saat ini

*** = interval mulai terjadinya *steady state*

Berdasarkan persamaan (2-36), *downtime* (D tp) diperoleh dari hasil pembagian antara total ekspektasi *downtime* per siklus (E(TTR)) dengan ekspektasi satu siklus (E(satu siklus)). Berdasarkan persamaan (2-37), total ekspektasi *downtime* per siklus (E(TTR)) diperoleh dari probabilitas (Wc/Wp) dan ekspektasi *downtime* (*corrective/preventive*). Perhitungan Wc dan E(TTF) dilakukan dengan bantuan *software Mathcad* dan *Maple*. Perhitungan interval waktu penggantian yang optimal dilakukan dengan interval waktu 1-1.000 jam tetapi pada interval waktu 1-145 jam menghasilkan D(tp) sebesar tak hingga. Berdasarkan Tabel 4.5, maka diperoleh probabilitas *downtime* (D(tp)) minimal dengan interval waktu antara 1 jam hingga 1.000 jam adalah 0,001457669 pada waktu penggantian 369 jam.

4.8 Perhitungan Downtime Kondisi Saat Ini dengan Usulan Preventive Maintenance

Downtime menunjukkan waktu ketika sistem tidak tersedia atau gagal untuk melakukan fungsi utamanya. Perhitungan *downtime* bertujuan untuk mengetahui adanya peningkatan atau penurunan *downtime* antara kondisi saat ini dengan kondisi jika diterapkan usulan *preventive maintenance*. *Downtime* rata-rata untuk kondisi saat ini per musim giling dimana 1 musim giling= 4.320 jam didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$Downtime = D(tp) \times \text{durasi satu musim giling}$$

$$Downtime = 0,002014002 \times (12 \text{ periode} \times 15 \text{ hari} \times 24 \text{ jam})$$

$$Downtime = 0,002014002 \times 4.320 \text{ jam}$$

$$Downtime = 8,70 \text{ jam}$$

Estimasi *downtime* rata-rata dengan usulan penerapan *preventive maintenance* per musim giling dimana 1 musim giling= 4.320 jam didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$Downtime = D(tp) \times \text{durasi satu musim giling}$$

$$Downtime = 0,001457669 \times (12 \text{ periode} \times 15 \text{ hari} \times 24 \text{ jam})$$

$$Downtime = 0,001457669 \times 4.320 \text{ jam}$$

$$Downtime = 6,297 \text{ jam}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka terjadi pengurangan *downtime* sebesar 2,403 jam dalam sekali musim giling jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

4.9 Perhitungan Tingkat Availability Kondisi Saat Ini dengan Usulan Preventive Maintenance

Availability menunjukkan prosentase waktu suatu komponen dapat beroperasi pada interval waktu tertentu. Perhitungan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai tingkat ketersediaan mesin saat diperlukan kondisi saat ini dengan jika diterapkan usulan *preventive maintenance*. Tingkat *availability* kondisi saat ini didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$A = 1 - D(tp)$$

$$A = \frac{E(downtime)}{E(uptime + downtime)}$$

$$A = 1 - \frac{E(TTR)}{E(waktu siklus)}$$

$$A = 1 - \frac{Wc \times E(TTRc) + Wp \times E(TTRp)}{Wc \times (E(TTF) + E(TTRc)) + Wp \times (tp + E(TTRp))}$$

$$A = 1 - \frac{0,725 \times 1,065 + 0,275 \times 0,5}{0,725 \times (431,716 + 0,5) + 0,275 \times (500,898 + 0,5)}$$

$$A = 99,799 \%$$

Estimasi tingkat *availability* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* dengan waktu penggantian 369 jam didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$A = 1 - D(tp)$$

$$A = \frac{E(downtime)}{E(uptime + downtime)}$$

$$A = 1 - \frac{E(TTR)}{E(waktu siklus)}$$

$$A = 1 - \frac{Wc \times E(TTRc) + Wp \times E(TTRp)}{Wc \times (E(TTF) + E(TTRc)) + Wp \times (tp + E(TTRp))}$$

$$A = 1 - \frac{0,065 \times 1,065 + 0,935 \times 0,5}{0,065 \times 348,554 + 1,065 + 0,935 \times (369 + 0,5)}$$

$$A = 99,854 \%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka terjadi peningkatan tingkat *availability* sebesar 0,055% jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

4.10 Perhitungan Tingkat *Reliability* Kondisi Saat Ini dengan Usulan *Preventive Maintenance*

Reliability mesin menunjukkan bagaimana ukuran suatu komponen untuk beroperasi dengan baik sehingga perhitungan dibawah ini bertujuan untuk mengetahui terjadinya peningkatan atau penurunan tingkat *reliability* kondisi saat ini dengan kondisi jika diterapkan *preventive maintenance*. Tingkat *reliability* pada interval waktu penggantian sebesar 500,898 jam diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut.

$$R = \int_{tp}^{\infty} f(t) dt$$

$$R = 1 - \int_0^{tp} f(t) dt$$

$$R = 1 - \int_0^{tp} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma \cdot t} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} [\ln(t) - \mu]^2} dt$$

$$R = 1 - \int_0^{500,898} \frac{1}{\sqrt{2,3,14} \cdot 0,415 \cdot 500,898} e^{-\frac{1}{2,0,172} [\ln(500,898) - 6,13]^2} dt$$

$$R = 1 - 0,725$$

$$R = 27,5\%$$

Jika diterapkan usulan *preventive maintenance*, maka interval waktu penggantian berubah menjadi 369 jam dan *reliability* diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

$$R = \int_{tp}^{\infty} f(t) dt$$

$$R = 1 - \int_0^{tp} f(t) dt$$

$$R = 1 - \int_0^{tp} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma \cdot t} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} [\ln(t) - \mu]^2} dt$$

$$R = 1 - \int_0^{369} \frac{1}{\sqrt{2.3,14} \cdot 0,415.369} e^{-\frac{1}{2.0,172} [\ln(369) - 6,13]^2} dt$$

$$R = 1 - 0,065$$

$$R = 93,5\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka terjadi peningkatan *reliability* sebesar 66 % jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

4.11 Perhitungan Estimasi Biaya Kondisi Saat Ini dengan Usulan *Preventive*

Maintenance

Untuk membandingkan biaya kerusakan sebelum diterapkannya *preventive maintenance* dengan biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance*, maka perlu dilakukan perhitungan total *failure/corrective cost* dan total *preventive cost*. Total *failure/corrective cost* adalah total biaya pada kondisi saat ini, sedangkan total biaya *preventive cost* adalah total biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance* yang diterapkan pada satu musim giling. Total biaya keseluruhan terdiri dari total biaya *corrective cost* dan *preventive cost*.

Berikut ini adalah contoh perhitungan total biaya yang harus dikeluarkan jika dilakukan penggantian komponen pada interval waktu 369 jam.

1. *Corrective cost* terdiri dari:

a. *Oportunity cost* = keuntungan/musim giling

$$= \text{Rp } 6.655.241.890$$

b. Biaya komponen = jumlah komponen $\times$ harga/komponen

$$= 56 \times \text{Rp } 145.000$$

$$= \text{Rp } 8.120.000$$

c. $T \text{ siklus} = W_c \times (E(TTF) + E(TTRc)) + W_p \times (tp + E(TTRp))$

$$T \text{ siklus} = 0,065 \times (348,554 + 1,065) + 0,935 \times (369 + 0,5)$$

$$T \text{ siklus} = 368,208 \text{ jam}$$

Total *corrective cost*

$$\begin{aligned}
 &= \text{prob}(\text{corrective}) \times ((\text{biaya komponen} \times \text{Nsiklus}) + (\text{opportunity cost} \times \frac{E(TTRc)}{E(\text{satu siklus})})) \\
 &= 0,065 \times ((8.120.000 \times \frac{4320}{368,208}) + 6.655.241.890 \times \frac{1,065}{368,208}) \\
 &= \text{Rp } 7.443.638,00
 \end{aligned}$$

2. *Preventive cost* terdiri dari:

a. *Oportunity cost* = keuntungan/musim giling

$$= \text{Rp } 6.655.241.890$$

b. Biaya komponen = jumlah komponen $\times$ harga/komponen

$$= 56 \times \text{Rp } 145.000$$

$$= \text{Rp } 8.120.000$$

c. $T \text{ siklus} = Wc \times (E(TTF) + E(TTRc)) + Wp \times (tp + E(TTRp))$

$$T \text{ siklus} = 0,065 \times (348,554 + 1,065) + 0,935 \times (369 + 0,5)$$

$$T \text{ siklus} = 368,208 \text{ jam}$$

Total *preventive cost*

$$\begin{aligned}
 &= \text{prob}(\text{preventive}) \times ((\text{biaya komponen} \times N \text{ siklus}) + (\text{opportunity cost} \times \frac{E(TTRc)}{T \text{ siklus}})) \\
 &= 0,935 \times ((8.120.000 \times \frac{4320}{368,208}) + 6.655.241.890 \times \frac{0,5}{368,208}) \\
 &= \text{Rp } 90.525.465,00
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka selanjutnya diperoleh estimasi total biaya yang terdapat pada Tabel 4.5. Pada Tabel 4.5 menyajikan sebagian perhitungan estimasi *corrective cost* dan *preventive cost*. Perhitungan estimasi *corrective cost* dan *preventive cost* dilakukan dengan interval waktu 1-1.000 jam tetapi pada interval waktu 1-145 jam menghasilkan $D(tp)$ sebesar tak hingga. Perhitungan estimasi *corrective cost* dan *preventive cost* secara detail pada Lampiran 5.

Tabel 4.5 Perhitungan Estimasi *Corrective Cost* dan *Preventive Cost*

Tp	Wc	Wp	E(Satu Siklus)	N siklus	Corrective Cost (Rp)	Preventive Cost (Rp)	Total Cost (Rp)
146	0,000	1,000	146,500	29,488	0	262.157.140	262.157.140
150	0,000	1,000	150,500	28,704	0	255.189.508	255.189.508
200	0,000	1,000	200,500	21,546	1	191.551.226	191.551.227
250	0,000	1,000	250,500	17,246	2.279	153.315.432	153.317.711
300	0,002	0,998	300,482	14,377	230.701	127.604.702	127.835.402
350	0,030	0,970	350,059	12,341	3.613.640	106.421.619	110.035.259

Tabel 4.5 Perhitungan Estimasi *Corrective Cost* dan *Preventive Cost* (Lanjutan)

369	0,065	0,935	368,208	11,733	7.443.638	97.525.465	104.969.103
400	0,170	0,830	395,558	10,921	18.121.890	80.587.407	98.709.297
450	0,443	0,557	430,953	10,024	43.344.931	49.639.146	92.984.078
500	0,720	0,280	451,824	9,561	67.193.644	23.800.618	90.994.262
500,898	0,725	0,275	451,651	9,565	67.686.153	23.384.551	91.070.704
550	0,893	0,107	460,835	9,374	81.709.251	8.917.396	90.626.648
600	0,967	0,033	464,379	9,303	87.804.823	2.729.231	90.534.054
650	0,992	0,008	464,961	9,291	89.962.082	660.803	90.622.885
700	0,998	0,002	465,527	9,280	90.396.286	165.000	90.561.286
750	1,000	0,000	465,192	9,286	90.642.643	0	90.642.643
800	1,000	0,000	465,420	9,282	90.598.239	0	90.598.239
850	1,000	0,000	465,465	9,281	90.589.481	0	90.589.481
900	1,000	0,000	465,473	9,281	90.587.924	0	90.587.924
924	1,000	0,000	465,474	9,281	90.587.729	0	90.587.729
950	1,000	0,000	465,474	9,281	90.587.729	0	90.587.729
1000	1,000	0,000	465,474	9,281	90.587.729	0	90.587.729

Keterangan:

t_p = waktu penggantian

W_c = probabilitas terjadinya *corrective maintenance*

W_p = probabilitas terjadinya *preventive maintenance*

$E(\text{satu siklus})$ = ekspektasi panjang satu siklus

N siklus = banyaknya siklus penggantian

Berdasarkan Tabel 4.5, maka total *corrective cost* sebesar Rp 90.587.729,00 didapatkan pada saat probabilitas terjadinya *corrective maintenance* sebesar 1 dan total biaya tidak mengalami kenaikan lagi (konstan) sedangkan total biaya jika dilakukan *preventive maintenance* dengan interval waktu penggantian setiap 369 jam adalah Rp 104.969.103,00.

4.12 Penghematan Total Biaya *Corrective Maintenance* dengan Usulan *Preventive*

Maintenance

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat diketahui perbandingan antara biaya kerusakan pada kondisi saat ini (*corrective cost*) dengan biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance* (*preventive cost*), maka dapat dihitung besarnya penghematan jika diterapkan *preventive maintenance*.

$$Tc(tp) = \frac{\text{Total corrective cost} - (\text{total corrective cost tp} + \text{total preventive cost tp})}{\text{total corrective cost}} \times 100\%$$

$$Tc(tp) = \frac{90.587.729 - (7.443.638 + 90.587.729)}{90.587.729} \times 100\%$$

$$Tc(tp) = -15,876 \%$$

4.13 Analisis

4.13.1 Analisis Penentuan Parameter

Setelah mengetahui jenis distribusi untuk data TTF dan TTR, maka selanjutnya dilakukan penentuan parameter yang sesuai dengan distribusi yang digunakan. Parameter yang digunakan dalam distribusi lognormal adalah parameter lokasi (μ) dan parameter bentuk (σ^2).

Tabel 4.6 Parameter Data TTF dan TTR Komponen *Cane Cutter*

Komponen	Data	Distribusi	Parameter
<i>Cane cutter</i>	TTF	Lognormal	$\alpha = 6,13$
			$\sigma^2 = 0,172$
	TTR	Lognormal	$\alpha = 0,048$
			$\sigma^2 = 0,176$

Pada data TTF dan TTR mempunyai nilai parameter $\sigma^2 < 1$, yaitu sebesar 0,172 dan 0,176 yang menunjukkan bahwa tingkat kerusakan yang dialami komponen ini akan semakin meningkat. Semakin kecil nilai σ^2 , maka semakin besar laju kerusakan yang dihasilkan sehingga kurva laju kerusakan memiliki bentuk kurva yang semakin memuncak. Hal tersebut dikarenakan pada awal umur komponen, kerusakan sudah terjadi kemudian laju kerusakan mulai menurun dan meningkat kembali pada akhir umur komponen, Semakin lama umur komponen kerusakan semakin meningkat karena kegiatan pemeriksaan tidak sering dilakukan sehingga usulan kegiatan *preventive maintenance* dapat diterapkan.

4.13.2 Analisis Pengujian *Goodness of Fit*

Setelah dilakukan pendugaan jenis distribusi berdasarkan data TTF dan TTR, maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji kesesuaian distribusi (*Goodness of Fit*) yang bertujuan untuk menunjukkan apakah distribusi tersebut dapat mewakili data TTF dan TTR dengan benar. Terdapat beberapa jenis pengujian berdasarkan jenis distribusi yang dipilih, yaitu Uji Mann digunakan untuk distribusi weibull, uji Bartlett untuk

distribusi eksponensial, dan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk distribusi normal dan lognormal.

Uji *Kolmogorov-Smirnov* dilakukan secara manual. Data TTF dan TTR pada penelitian ini diuji menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* karena diduga sesuai dengan karakteristik distribusi lognormal. Hasil pengujian ini adalah terima H_0 atau tolak H_0 . Jika H_0 diterima maka data-data tersebut mewakili distribusi yang digunakan, tetapi jika H_0 ditolak maka data-data tersebut belum mewakili distribusi yang digunakan sehingga harus menggunakan distribusi lain yang mewakili karakteristik data. Hasil pengujian *Kolmogorov-Smirnov* untuk data TTF menunjukkan bahwa H_0 diterima berarti data TTF yang ada sesuai dengan distribusi lognormal dengan nilai $D_{\max}=0,256 < D_{\text{crit}(\alpha=0,01)}=0,26068$ maka H_0 diterima yang berarti bahwa berdistribusi lognormal. Sedangkan data TTR menunjukkan bahwa H_0 diterima dengan nilai $D_{\max}=0,136 < D_{\text{crit}(\alpha=0,01)}=0,513$ maka H_0 diterima yang berarti bahwa berdistribusi lognormal.

4.13.3 Analisis Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR)

MTTF atau *Mean Time to Failure* adalah nilai rata-rata waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan. Komponen *cane cutter* mempunyai MTTF sebesar 500,898 jam. Komponen kadang-kadang mengalami *downtime* sebelum umur optimal pengantiannya yang disebabkan oleh mesin beroperasi melebihi kapasitas mesin dan target produksi. Komponen juga dapat beroperasi dengan baik saat telah melewati umur penggantian optimalnya sehingga operator yang bertugas pada mesin ini harus secara teratur dan teliti pada saat pengecekan mesin agar jika telah ada tanda-tanda pada komponen mengalami kerusakan dan harus diganti, maka harus segera diganti untuk meminimasi *downtime*.

Mean Time to Repair (MTTR) adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan dari waktu perbaikan. Nilai MTTR komponen *cane cutter* sebesar 1,065 jam. Waktu perbaikan dihitung saat mesin mulai berhenti beroperasi sampai mesin dapat beroperasi kembali, termasuk kegiatan penggantian. Semakin kecil MTTR, maka semakin cepat komponen dapat beroperasi kembali untuk menjalankan fungsinya. Berdasarkan data TTR ditunjukkan bahwa *downtime* komponen *cane cutter* tidak selalu sama karena disebabkan oleh tingkat kerusakan yang berbeda-beda, kemampuan operator dalam berbeda-beda, dan kerumitan mencari penyebab kerusakan komponen *cane cutter*.

4.13.4 Analisis Penentuan Interval Waktu Penggantian Komponen *Cane Cutter*

Tabel 4.7 Perbandingan Antara Kondisi Saat Ini dengan Usulan *Preventive Maintenance*

	Kondisi Saat Ini	Usulan <i>Preventive Maintenance</i>
Waktu Penggantian	500,898 jam	369 jam
<i>Downtime</i>	8,70 jam/musim giling	6,297 jam/musim giling
<i>Availability</i>	99,799%	99,854%
<i>Reliability</i>	27,5%	93,5%

Interval waktu penggantian pencegahan komponen diperoleh dari hasil perhitungan dengan pendekatan *age replacement* sebagai model penggantian komponen untuk menghitung umur optimal. Penentuan interval waktu penggantian dengan *preventive maintenance* bertujuan agar tidak mengalami kerusakan secara tiba-tiba sehingga menyebabkan terganggunya proses produksi dan meminimalisasi *downtime*. Saat komponen mengalami kerusakan sebelum umur optimal dan dilakukan penggantian, maka penggantian yang berikutnya tetap berdasarkan interval umur optimal komponen yang dihitung dari waktu penggantian komponen yang optimal.

Penentuan penggantian komponen dilakukan berdasarkan umur optimal saat terjadinya probabilitas *downtime* paling kecil. Berdasarkan Tabel 4.8, maka dilakukan penggantian komponen *cane cutter* setelah pemakaian selama 369 jam yang menunjukkan *downtime* yang terkecil yaitu 0,001457669. Komponen bisa juga rusak sebelum umur optimal pengantiannya yang disebabkan oleh mesin beroperasi melebihi kapasitas mesin dan target produksi tetapi komponen juga dapat beroperasi dengan baik saat telah melewati umur penggantian optimalnya. Jumlah penggantian secara *preventive* lebih banyak dilakukan daripada jumlah penggantian secara *corrective* karena waktu penggantian secara *preventive* lebih cepat dilakukan daripada waktu penggantian secara *corrective* dan untuk menghindari komponen *cane cutter* yang rusak secara tiba-tiba yang menyebabkan terganggunya proses produksi secara keseluruhan.

4.13.5 Analisis *Downtime* Kondisi Saat Ini dengan Usulan Penerapan *Preventive Maintenance*

Downtime menunjukkan waktu ketika sistem tidak tersedia atau gagal untuk melakukan fungsi utamanya. *Downtime* termasuk waktu yang dihabiskan oleh operator untuk mengambil alat, memeriksa, dan melakukan penggantian komponen. *Downtime* komponen pada kondisi saat ini adalah sebesar 8,70 jam/musim giling dan estimasi *downtime* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* sebesar 6,297 jam/musim

giling sehingga terjadi pengurangan *downtime* sebesar 2,403 jam dalam satu musim giling jika diterapkan usulan *preventive maintenance*. Estimasi *downtime* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* semakin kecil jika dibandingkan dengan *downtime* pada kondisi saat ini karena waktu penggantian komponen selama ini lebih lama. Hal tersebut disebabkan oleh tenaga kerja harus memeriksa dahulu apa yang menyebabkan komponen ini mengalami *downtime*. Waktu penggantian komponen jika diterapkan *preventive maintenance* lebih singkat karena tenaga kerja langsung mengganti komponen sebelum komponen tersebut mengalami kerusakan. Dengan semakin kecilnya nilai *downtime*, maka output produksi yang dihasilkan oleh perusahaan semakin besar sehingga keuntungan yang diperoleh perusahaan juga semakin besar.

4.13.6 Analisis Tingkat Availability

Tingkat *availability* (ketersediaan) merupakan suatu nilai yang menunjukkan besar probabilitas komponen agar dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya pada kondisi operasi normal apabila tindakan pemeliharaan dilakukan. Perhitungan tingkat *availability* selama ini sebesar 99,799 % dan tingkat *availability* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* sebesar 99,854 % sehingga terjadi peningkatan sebesar 0,055% dikarenakan perubahan *downtime* yang kecil antara kondisi saat ini dengan jika diterapkan usulan *preventive maintenance*.

Ketika komponen mengalami kerusakan dan kemudian komponen itu langsung diganti, maka komponen tersebut dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya dengan baik dan memiliki tingkat *availability* yang cukup baik. Dengan adanya jadwal penggantian komponen yang optimal, maka akan meningkatkan nilai *availability*. Dengan meningkatnya nilai *availability*, maka proses produksi dapat direncanakan sesuai dengan *availability* mesin sehingga target produksi dapat dicapai dan keuntungan yang diperoleh perusahaan semakin besar.

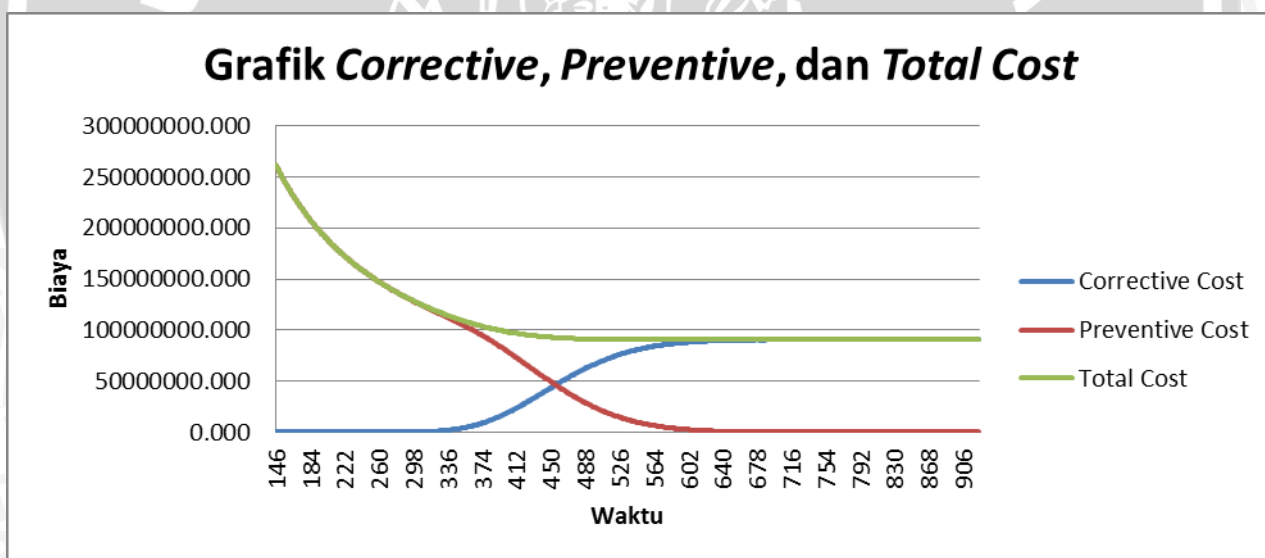
4.13.7 Analisis Tingkat Reliability

Reliability mesin menunjukkan bagaimana ukuran suatu komponen untuk beroperasi dengan baik. Semakin besar nilai keandalan berarti kondisi mesin semakin baik sehingga komponen dapat berfungsi secara optimal pada periode waktu yang telah diinginkan. *Reliability* pada kondisi saat ini sebesar 27,5% dan *reliability* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* sebesar 93,5% sehingga terjadi peningkatan

sebesar 66% karena diterapkannya penggantian komponen pada umur yang optimal. Adanya peningkatan tingkat *reliability*, maka dapat mempengaruhi umur komponen, meningkatnya output produksi mengurangi produk cacat sehingga meningkatnya kualitas produk.

4.13.8 Analisis Estimasi Biaya Kondisi Saat ini dengan Usulan *Preventive Maintenance*

Penggantian yang dilakukan saat ini karena dilakukan pada saat komponen rusak, sedangkan penggantian jika diterapkan usulan *preventive maintenance* saat penggantian waktu pencegahan optimal. *Corrective cost* dan *preventive cost* terdiri dari *opportunity cost* dan biaya komponen yang diganti. Total *corrective cost* dan *preventive cost* dipengaruhi oleh besarnya probabilitas terjadinya *corrective maintenance* atau *preventive maintenance* dan banyaknya siklus. Berdasarkan Tabel 4.6, maka perubahan *corrective cost*, *preventive cost*, dan *total cost* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Estimasi *Corrective*, *Preventive*, dan *Total Cost*

Berdasarkan Gambar 4.6, grafik ini terdiri dari 3 grafik biaya, yaitu *corrective cost*, *preventive cost*, dan *total cost*. Grafik *corrective cost* ditunjukkan dengan warna biru, *preventive cost* ditunjukkan dengan warna kuning, dan *total cost* ditunjukkan dengan warna biru. Grafik *corrective cost* semakin lama semakin besar karena probabilitas terjadinya *corrective maintenance* semakin besar sedangkan grafik *preventive cost* semakin lama semakin kecil karena probabilitas terjadinya *preventive maintenance* semakin kecil. Total biaya pada *corrective cost* sebesar Rp 90.587.729,00 sedangkan total biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance* (*preventive cost*) sebesar Rp

104.969.103,00. *Preventive cost* lebih besar dari *corrective cost* karena frekuensi penggantian komponen *cane cutter* lebih banyak dilakukan walaupun *opportunity cost* lebih kecil karena prosentase *downtime* yang lebih kecil. Jika usulan *preventive maintenance* diterapkan, maka besarnya *downtime* akan semakin kecil yang menyebabkan meningkatnya keuntungan yang diperoleh perusahaan karena jumlah output yang dihasilkan semakin besar. Tetapi jumlah keuntungan digunakan untuk menutupi biaya *preventive maintenance* yang semakin besar karena frekuensi penggantian komponen *cane cutter* lebih banyak dilakukan.



BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan dijelaskan tentang kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

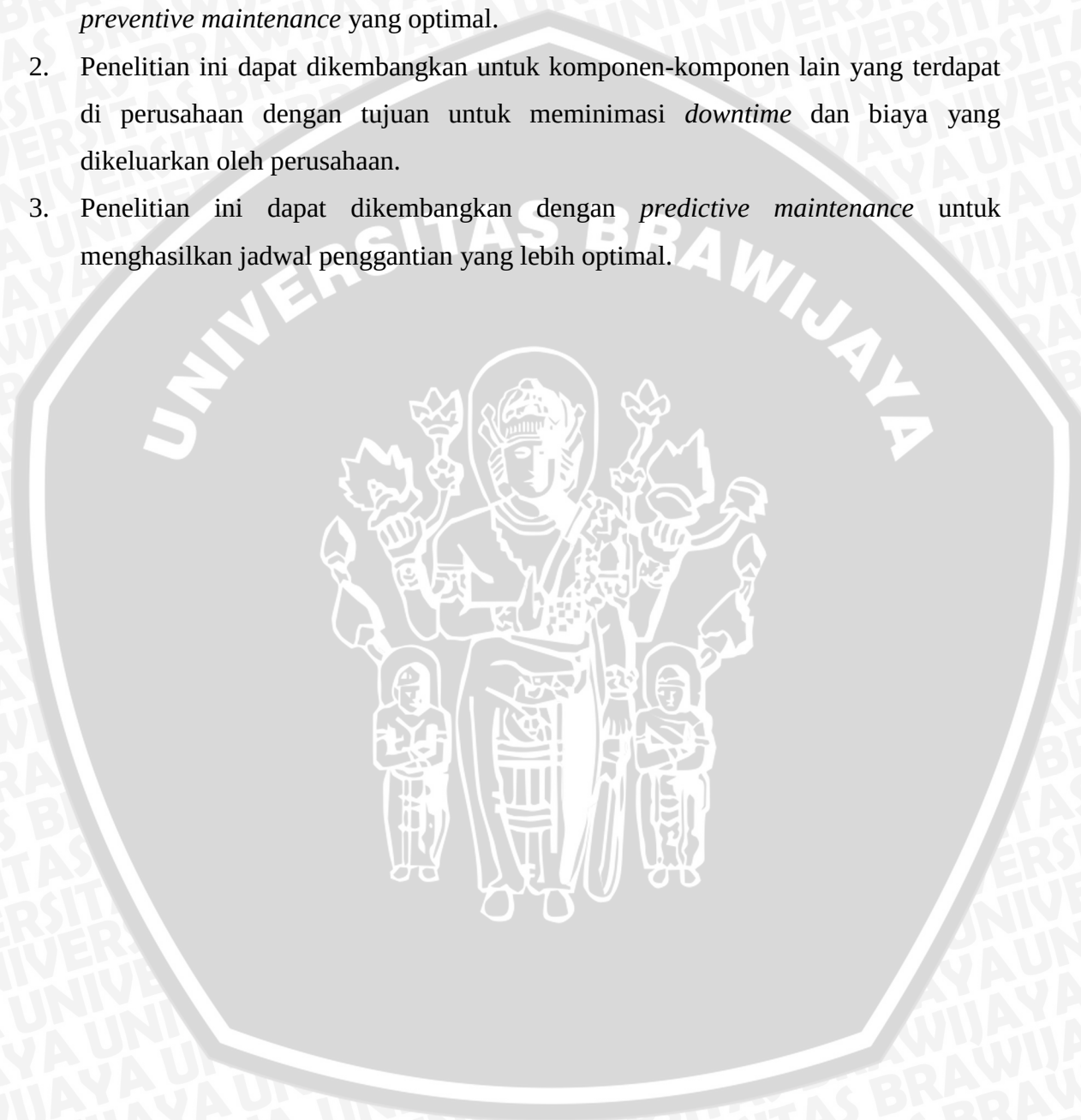
Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pola kerusakan komponen *cane cutter* adalah berdistribusi lognormal berdasarkan pengujian *Kolmogorov-Smirnov* dengan parameter lokasi (μ) sebesar 6,13 dan parameter bentuk (σ^2) sebesar 0,172.
2. Berdasarkan pendekatan *age replacement* dengan mencoba beberapa interval waktu (1-1.000 jam), maka diperoleh probabilitas *downtime* yang terkecil yaitu 0,001457669 untuk penggantian komponen *cane cutter* setelah pemakaian selama 369 jam.
3. Tingkat *availability* pada kondisi saat ini sebesar 97,799% dan estimasi tingkat *availability* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* sebesar 99,854% sehingga terjadi peningkatan *availability* sebesar 0,055%. Tingkat *reliability* pada kondisi saat ini sebesar 27,5% dan estimasi tingkat *reliability* jika diterapkan usulan *preventive maintenance* sebesar 93,5% sehingga terjadi peningkatan *reliability* sebesar 66%.
4. Total biaya pada kondisi saat ini (*corrective cost*) adalah Rp 90.587.729,00 sedangkan estimasi total biaya jika diterapkan usulan *preventive maintenance* (*preventive cost*) adalah Rp 104.969.103,00. Jika usulan *preventive maintenance* diterapkan, maka besarnya *downtime* akan semakin kecil yang menyebabkan meningkatnya keuntungan yang diperoleh perusahaan karena jumlah output yang dihasilkan semakin besar. Tetapi peningkatan keuntungan tersebut digunakan untuk menutupi biaya *preventive maintenance* yang semakin besar karena frekuensi penggantian komponen *cane cutter* lebih banyak dilakukan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak perusahaan dan pihak lain adalah sebagai berikut.

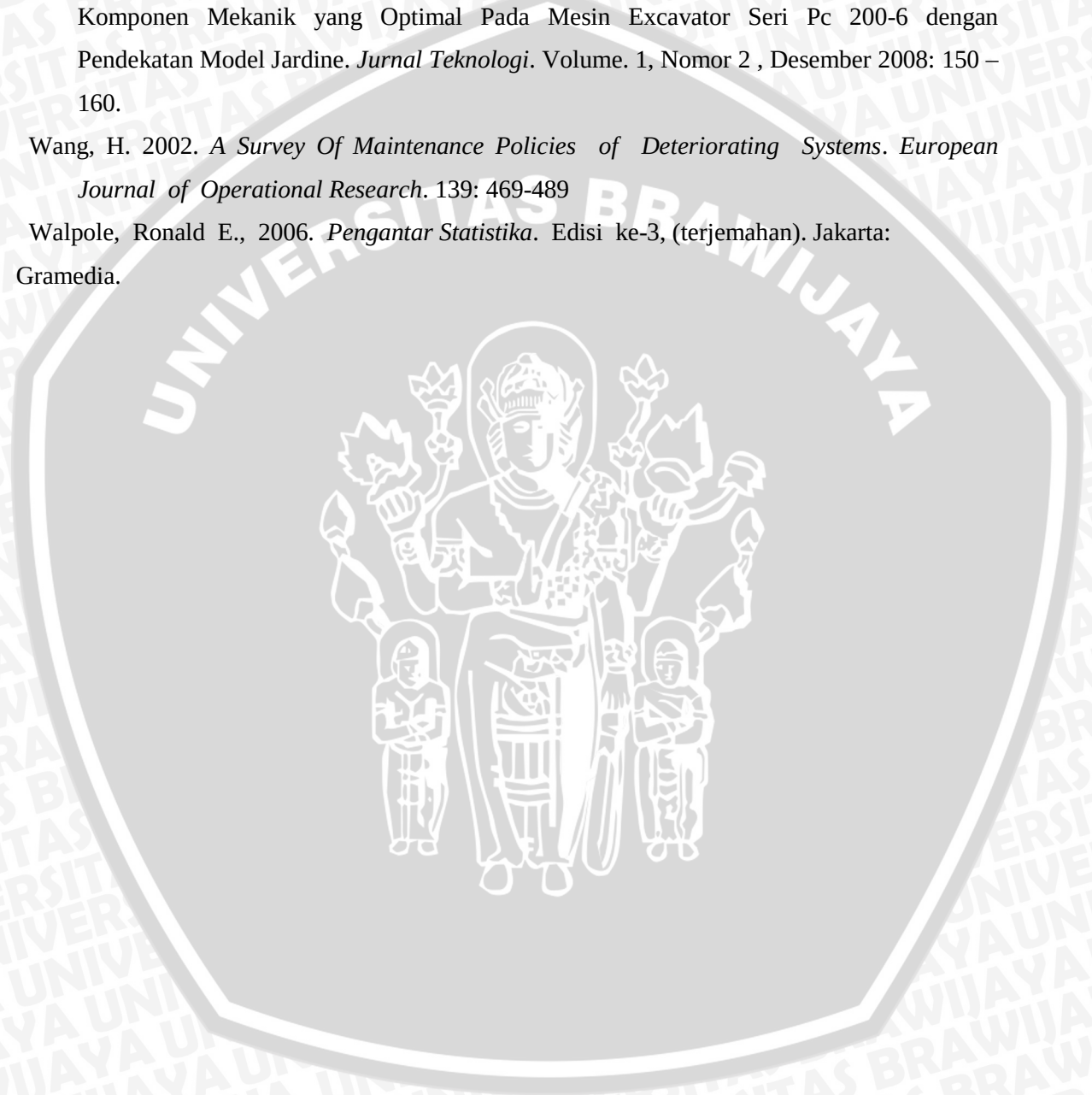
1. PG Kebon Agung dapat melakukan pencatatan data historis *downtime* komponen/mesin dengan lebih baik lagi untuk *pengupdatean* jadwal penggantian *preventive maintenance* yang optimal.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk komponen-komponen lain yang terdapat di perusahaan dengan tujuan untuk meminimasi *downtime* dan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan.
3. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan *predictive maintenance* untuk menghasilkan jadwal penggantian yang lebih optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Bahtiar S.; Edi Steven; Harry Christian dan Tedy Sumanto. 2009. Penjadwalan *Preventive Maintenance* Mesin *B.Flute* Pada PT AMW. *INASEA*. Vol. 10, No.2, Oktober 2009: 97-104
- Assauri, S. 1999. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Edisi Revisi. Jakarta: Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia.
- Corder. 1992. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, Jakarta: Erlangga.
- Dania,Wike Agustin Prima; Isti Purwaningsih dan Fajar Andy Aristiono. 2011. Aplikasi *Optimal Preventive Replacement Age Model* untuk Menentukan Jadwal Penggantian Komponen *Dumping Grate* Pada Mesin Ketel Uap (Studi Kasus di PG Rejo Agung Baru Madiun). *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 12, No. 1, April 2011: 49-57
- Dhillon, B.S. 1997. *Reliability Engineering in System Design and Operation*. Van Nostrand Reinhold Company, Inc., Singapore.
- Djunaidi, Much; Mila Faila Sufa. 2007. Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Pencetak Botol (*Mould Gear*) Berdasarkan Kriteria Minimasi *Downtime*. *Jurnal Teknik Gelagar*. Vol. 18, No. 01, April 2007 : 33 - 41
- Ebeling, C.E. 1997. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw-Hill Company.
- Giatman, M. 2008. Penentuan Interval Waktu Penggantian Optimal Komponen Berdasarkan *Model Opportunity Based-Age Replacement*. *SAINSTEK*. Vol. XI, Nomor 1, September 2008
- Iksan. 2010. Menentukan Interval Perawatan Pencegahan Pada Mesin Stripping di PT. Aditama Raya Farmindo dengan Metode *Age Replacement*. *Agritek*. Volume 11, Nomor 1, Maret 2010
- Jardine, A.K.S. (2006). *Maintenance, Replacement, and Reliability*. Canada: Pittman Publishing Company.
- Krisnadi,Juliandi Wirawan; Kusmaningrum Soemadi dan Fifi Herni Mustofa. 2013. Optimisasi Waktu Penggantian Komponen Pada Lokomotif De CC 201 Seri 99 Menggunakan Metode *Age Replacement* di PT Kereta Api Indonesia. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*. Vol. 01, No. 04, Maret 2013.
- Lukmandani, Antonius; Hadi Santosa dan Anastasia Lidya Maukar. 2011. Penjadwalan Perawatan di PT *Steel Pipe Industry Of Indonesia*. *WIDYA TEKNIK*. Vol. 10, No. 1, 2011: 103-116.
- Nasution, A, H., 2006, *Manajemen Industri, Edisi Pertama*, Andi Offset, Yogyakarta.

- Pawesti, G. H., 2005, Analisis Kerusakan Mesin untuk Menentukan Penjadwalan Perawatan Komponen Kritis Berdasarkan MTTF (*Mean Time To Failure*) dengan Pendekatan Reability, Teknik Manajemen Industri, IST AKPRIND, Yogyakarta.
- Sodikin. Imam. 2011, Analisis Penentuan Waktu Perawatan dan Jumlah Persediaan Suku Cadang Rantai Garu yang Optimal. *Jurnal Teknologi*, Volume 3, Nomor 1, 2010: 44-52.
- Sodikin. Imam, 2008, Penentuan Interval Perawatan Preventif Komponen Elektrik dan Komponen Mekanik yang Optimal Pada Mesin Excavator Seri Pc 200-6 dengan Pendekatan Model Jardine. *Jurnal Teknologi*. Volume. 1, Nomor 2 , Desember 2008: 150 – 160.
- Wang, H. 2002. *A Survey Of Maintenance Policies of Deteriorating Systems*. *European Journal of Operational Research*. 139: 469-489
- Walpole, Ronald E., 2006. *Pengantar Statistika*. Edisi ke-3, (terjemahan). Jakarta: Gramedia.



Lampiran 1. Daftar Kerusakan Komponen Mesin *Cane Cutter* I

1. Pisau *Cane Cutter*

No.	Waktu	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair (jam)</i>	<i>Time to Failure (jam)</i>
1.	3-Jun-09	16.10	17.10	1,00	-
2.	28-Jun-09	08.40	09.30	0,83	591,5
3.	19-Jul-09	15.25	16.35	1,17	509,92
4.	10-Aug-09	08.30	09.20	0,83	519,92
5.	7-Sep-09	11.30	12.45	1,25	698,17
6.	6-Oct-09	07.10	08.05	0,92	690,42
7.	2-Nov-09	05.30	06.20	0,83	645,42
8.	27-Nov-09	18.20	19.35	1,25	612
9.	20-Dec-09	13.30	14.42	1,2	521,92
10.	18-Jun-10	11.00	11.50	0,83	-
11.	13-Jul-10	03.15	04.20	1,08	591,42
12.	3-Aug-10	18.40	19.55	1,25	518,33
13.	28-Aug-10	09.20	10.10	0,83	589,42
14.	21-Sep-10	13.35	14.40	1,08	579,42
15.	13-Oct-10	07.15	08.20	1,08	520,58
16.	31-Oct-10	14.40	15.40	1,00	438,33
17.	22-Nov-10	08.50	09.40	0,83	521,17
18.	15-Dec-10	10.00	11.15	1,25	552,33
19.	10-Jun-11	13.45	14.45	1,00	-
20.	6-Jul-11	07.45	08.35	0,83	617
21.	3-Aug-11	18.45	19.40	0,92	682,17
22.	26-Aug-11	10.00	11.10	1,17	542,33
23.	13-Oct-11	13.35	15.00	1,42	1154,42
24.	9-Nov-11	06.00	07.25	1,42	639
25.	30-Nov-11	23.45	0.57	1,2	520,33
26.	28-May-12	17.20	18.10	0,83	-
27.	14-Jun-12	14.30	15.30	1,00	404,33
28.	10-Jul-12	08.15	09.25	1,17	616,75
29.	28-Jul-12	20.30	21.25	0,92	443,08
30.	14-Aug-12	16.10	17.25	1,25	402,75
31.	9-Sep-12	06.15	07.20	1,08	612,83
32.	29-Sep-12	11.20	12.30	1,17	484
33.	18-Oct-12	09.15	10.40	1,42	452,75
34.	13-Nov-12	15.10	16.05	0,92	628,5

No	Waktu	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair (jam)</i>	<i>Time to Failure (jam)</i>
35.	9-Dec-12	06.10	07.00	0,83	614,08
36.	4-Jun-13	05.30	6.40	1,17	-
37.	26-Jun-13	15.55	17.15	1,33	537,25
38.	18-Jul-13	09.10	10.30	1,33	519,92
39.	15-Aug-13	05.20	06.10	0,83	666,83
40.	9-Sep-13	13.40	14.35	0,92	583,5
41.	27-Sep-13	06.55	08.00	1,08	424,33
42.	16-Oct-13	09.53	10.53	1,00	457,88
43.	4-Nov-13	07.00	07.55	0,92	428,12
44.	25-Nov-13	11.00	12.12	1,2	507,08

2. Turbin

No.	Tanggal Kerusakan	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair (menit)</i>
1	26-Aug-10	11.30	13.30	150
2	18-Sep-10	06.45	08.45	120
3	9-Jul-11	14.20	15.50	90
4	9-Nov-12	10.15	11.45	90
5	28-Oct-13	17.13	19.43	150

3. Bearing

No.	Tanggal Kerusakan	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Perbaikan	<i>Time to Repair (menit)</i>
1	5-Oct-09	14.23	15.23	60
2	12-Nov-10	08.05	08.55	50
3	16-Oct-11	11.25	12.25	60
4	2-Jul-12	21.18	22.03	45
5	21-Sep-12	16.36	17.34	58
6	9-Aug-13	10.10	11.10	60

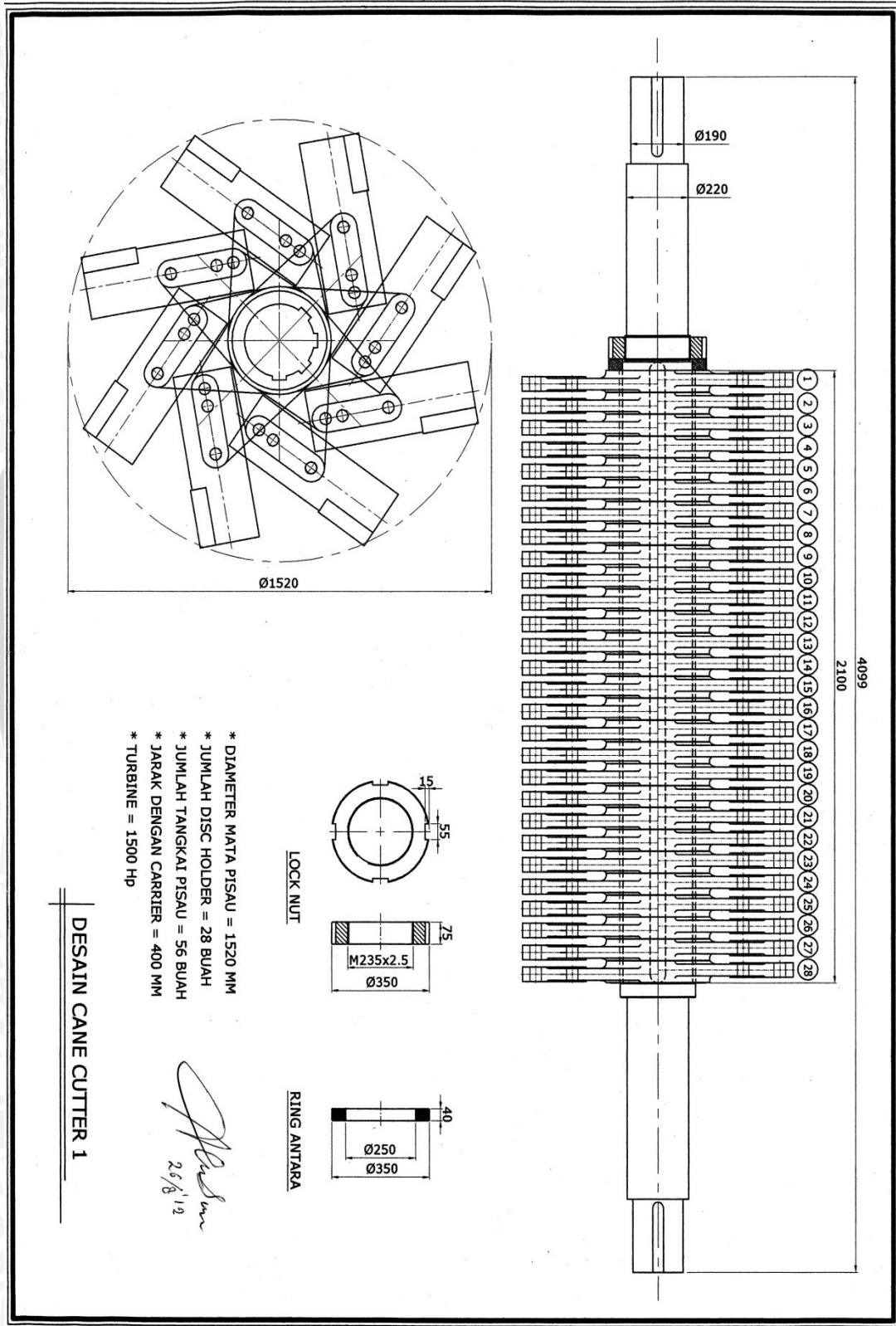
4. Gearbox

No.	Tanggal Kerusakan	Waktu Mulai Kerusakan	Waktu Selesai Perbaikan	Time to Repair (menit)
1	21-Jun-12	14.23	15.28	55
2	30-Jul-12	08.05	08.55	45
3	15-Oct-12	11.25	12.25	60
4	2-Oct-13	21.18	22.08	50
5	28-Jul-2013	16.36	17.36	60
6	20-Sep-2013	10.10	10.55	45

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 2. Gambar Komponen Cane Cutter I



Lampiran 3. Perhitungan Parameter TTF dan TTR

Perhitungan parameter TTF adalah sebagai berikut.

$$\mu = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$500,989 = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$\ln 500,989 = \mu + \frac{\sigma^2}{2}$$

$$6,216 = \mu + \frac{\sigma^2}{2}$$

$$\mu = 6,216 - \frac{\sigma^2}{2}$$

(Pers. 1)

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$$

(Pers. 2)

Pers.1 dimasukkan ke Pers.2

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$47.097,367 = e^{2(6,216 - \frac{\sigma^2}{2}) + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$47.097,367 = e^{12,432} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$47.097,367 = 250.696,92 \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$0,188 = e^{\sigma^2} - 1$$

$$1,188 = e^{\sigma^2}$$

$$\ln 1,188 = \sigma^2$$

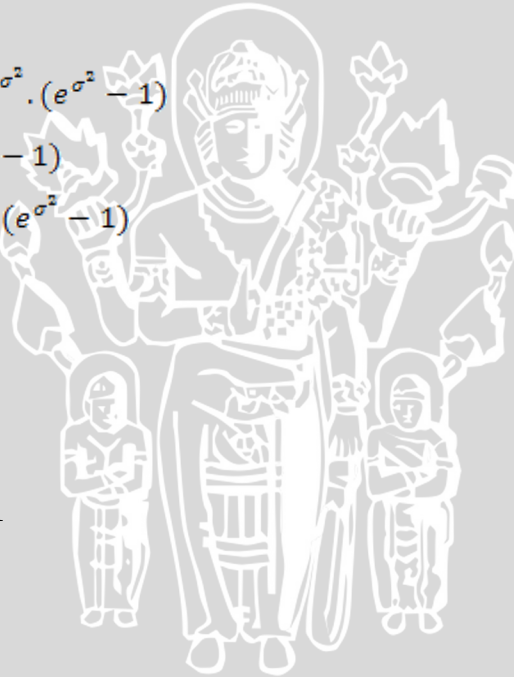
$$\sigma^2 = 0,172$$

$\sigma^2 = 0,172$ masuk ke Pers.1

$$\mu = 6,216 - \frac{0,172}{2}$$

$$\mu = 6,216 - 0,086$$

$$\mu = 6,13$$



Perhitungan parameter TTR adalah sebagai berikut.

$$\mu = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$1,065 = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

$$\ln 1,065 = \mu + \frac{\sigma^2}{2}$$

$$0,063 = \mu + \frac{\sigma^2}{2}$$

$$\mu = 0,063 - \frac{\sigma^2}{2}$$

(Pers. 1)

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

(Pers. 2)

Pers.1 dimasukkan ke Pers.2

$$\sigma^2 = e^{2\mu + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$0,035 = e^{2(0,063 - \frac{\sigma^2}{2}) + \sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$0,035 = e^{0,126} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$0,035 = 1,134 \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

$$0,031 = e^{\sigma^2} - 1$$

$$1,031 = e^{\sigma^2}$$

$$\ln 1,031 = \sigma^2$$

$$\sigma^2 = 0,031$$

$$\sigma^2 = 0,031 \text{ masuk ke Pers.1}$$

$$\mu = 0,063 - \frac{0,031}{2}$$

$$\mu = 0,063 - 0,0155$$

$$\mu = 0,048$$



Lampiran 4. Interval Waktu Penggantian Optimal Pada Pisau *Cane Cutter* I

Tp	Wc	E(TTF)	E(TTRc)	Wp	E(TTRp)	E(TTRp) +Tp	E(TTR)	E (Satu Siklus)	D(tp)
146	0,000	143,373	1,065	1,000	0,5	146,5	0,500	146,500	0,003412969
150	0,000	147,315	1,065	1,000	0,5	150,5	0,500	150,500	0,003322259
160	0,000	156,995	1,065	1,000	0,5	160,5	0,500	160,500	0,003115265
170	0,000	166,610	1,065	1,000	0,5	170,5	0,500	170,500	0,002932551
180	0,000	176,217	1,065	1,000	0,5	180,5	0,500	180,500	0,002770083
190	0,000	185,702	1,065	1,000	0,5	190,5	0,500	190,500	0,002624672
200	0,000	195,305	1,065	1,000	0,5	200,5	0,500	200,500	0,002493766
210	0,000	204,810	1,065	1,000	0,5	210,5	0,500	210,500	0,002375297
220	0,000	214,293	1,065	1,000	0,5	220,5	0,500	220,500	0,002267574
230	0,000	223,683	1,065	1,000	0,5	230,5	0,500	230,500	0,002169200
240	0,000	233,068	1,065	1,000	0,5	240,5	0,500	240,500	0,002079011
250	0,000	242,319	1,065	1,000	0,5	250,5	0,500	250,500	0,001996039
260	0,000	254,984	1,065	1,000	0,5	260,5	0,500	260,500	0,001919481
270	0,000	259,740	1,065	1,000	0,5	270,5	0,500	270,499	0,001848694
280	0,000	269,846	1,065	1,000	0,5	280,5	0,500	280,497	0,001783193
290	0,001	278,552	1,065	0,999	0,5	290,5	0,500	290,492	0,001722685
300	0,002	288,321	1,065	0,998	0,5	300,5	0,501	300,482	0,001667086
310	0,003	296,819	1,065	0,997	0,5	310,5	0,502	310,458	0,001616588
320	0,006	305,657	1,065	0,994	0,5	320,5	0,504	320,413	0,001571614
330	0,011	321,273	1,065	0,989	0,5	330,5	0,506	330,410	0,001532080
340	0,019	321,842	1,065	0,981	0,5	340,5	0,511	340,166	0,001501430
350	0,030	334,733	1,065	0,970	0,5	350,5	0,517	350,059	0,001476751
360	0,046	343,261	1,065	0,954	0,5	360,5	0,526	359,756	0,001462074
370	0,068	346,279	1,065	0,932	0,5	370,5	0,538	368,925	0,001459428
380	0,095	356,621	1,065	0,905	0,5	380,5	0,554	378,333	0,001463461
390	0,129	364,147	1,065	0,871	0,5	390,5	0,573	387,238	0,001479414
400	0,170	370,365	1,065	0,830	0,5	400,5	0,596	395,558	0,001506858
420	0,268	385,481	1,065	0,732	0,5	420,5	0,651	411,400	0,001583421
430	0,324	392,315	1,065	0,676	0,5	430,5	0,683	418,473	0,001632268
440	0,383	398,744	1,065	0,617	0,5	440,5	0,716	424,915	0,001685971
450	0,443	405,312	1,065	0,557	0,5	450,5	0,750	430,953	0,001741012
460	0,504	410,687	1,065	0,496	0,5	460,5	0,785	435,931	0,001800194
470	0,562	417,059	1,065	0,438	0,5	470,5	0,818	441,065	0,001853538
480	0,619	421,919	1,065	0,381	0,5	480,5	0,850	444,898	0,001909956
490	0,672	426,813	1,065	0,328	0,5	490,5	0,880	448,418	0,001961742
500	0,720	431,829	1,065	0,280	0,5	500,5	0,907	451,824	0,002006977

Tp	Wc	E(TTF)	E(TTRc)	Wp	E(TTRp)	E(TTRp) +Tp	E(TTR)	E (Satu Siklus)	D(tp)
510	0,764	436,071	1,065	0,236	0,5	510,5	0,932	454,450	0,002050084
530	0,838	443,154	1,065	0,162	0,5	530,5	0,973	458,196	0,002124569
540	0,868	446,108	1,065	0,132	0,5	540,5	0,990	459,492	0,002155465
550	0,893	449,026	1,065	0,107	0,5	550,5	1,005	460,835	0,002179839
560	0,914	451,596	1,065	0,086	0,5	560,5	1,016	461,935	0,002200329
570	0,932	453,559	1,065	0,068	0,5	570,5	1,027	462,504	0,002219615
590	0,958	457,111	1,065	0,042	0,5	590,5	1,041	463,733	0,002245407
600	0,967	458,669	1,065	0,033	0,5	600,5	1,046	464,379	0,002253233
610	0,975	459,571	1,065	0,025	0,5	610,5	1,051	464,383	0,002262950
620	0,981	460,479	1,065	0,019	0,5	620,5	1,054	464,564	0,002269363
630	0,986	461,085	1,065	0,014	0,5	630,5	1,057	464,507	0,002275724
640	0,989	461,997	1,065	0,011	0,5	640,5	1,059	465,014	0,002276889
650	0,992	462,400	1,065	0,008	0,5	650,5	1,060	464,961	0,002280791
660	0,994	462,864	1,065	0,006	0,5	660,5	1,062	465,109	0,002282499
670	0,996	463,007	1,065	0,004	0,5	670,5	1,063	464,898	0,002285965
680	0,997	463,362	1,065	0,003	0,5	680,5	1,063	465,075	0,002286307
690	0,998	463,520	1,065	0,002	0,5	690,5	1,064	465,037	0,002287711
700	0,998	463,991	1,065	0,002	0,5	700,5	1,064	465,527	0,002285303
710	0,990	468,097	1,065	0,010	0,5	710,5	1,059	471,575	0,002246407
720	0,990	468,354	1,065	0,010	0,5	720,5	1,059	471,929	0,002244722
730	1,000	463,875	1,065	0,000	0,5	730,5	1,065	464,940	0,002290618
740	1,000	464,020	1,065	0,000	0,5	740,5	1,065	465,085	0,002289904
750	1,000	464,127	1,065	0,000	0,5	750,5	1,065	465,192	0,002289377
760	1,000	464,205	1,065	0,000	0,5	760,5	1,065	465,270	0,002288993
770	1,000	464,262	1,065	0,000	0,5	770,5	1,065	465,327	0,002288713
780	1,000	464,303	1,065	0,000	0,5	780,5	1,065	465,368	0,002288511
790	1,000	464,333	1,065	0,000	0,5	790,5	1,065	465,398	0,002288364
800	1,000	464,355	1,065	0,000	0,5	800,5	1,065	465,420	0,002288256
810	1,000	464,371	1,065	0,000	0,5	810,5	1,065	465,436	0,002288177
820	1,000	464,382	1,065	0,000	0,5	820,5	1,065	465,447	0,002288123
830	1,000	464,390	1,065	0,000	0,5	830,5	1,065	465,455	0,002288084
840	1,000	464,395	1,065	0,000	0,5	840,5	1,065	465,460	0,002288059
850	1,000	464,400	1,065	0,000	0,5	850,5	1,065	465,465	0,002288035
860	1,000	464,402	1,065	0,000	0,5	860,5	1,065	465,467	0,002288025
870	1,000	464,404	1,065	0,000	0,5	870,5	1,065	465,469	0,002288015
880	1,000	464,406	1,065	0,000	0,5	880,5	1,065	465,471	0,002288005
890	1,000	464,407	1,065	0,000	0,5	890,5	1,065	465,472	0,002288000

Tp	Wc	E(TTF)	E(TTRc)	Wp	E(TTRp)	E(TTRp) +Tp	E(TTR)	E (Satu Siklus)	D(tp)
900	1,000	464,408	1,065	0,000	0,5	900,5	1,065	465,473	0,002287995
910	1,000	464,408	1,065	0,000	0,5	910,5	1,065	465,473	0,002287995
920	1,000	464,408	1,065	0,000	0,5	920,5	1,065	465,473	0,002287995
930	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	924,5	1,065	465,474	0,002287990
940	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	924,5	1,065	465,474	0,002287990
950	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	924,5	1,065	465,474	0,002287990
960	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	924,5	1,065	465,474	0,002287990
970	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	924,5	1,065	465,474	0,002287990
980	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	924,5	1,065	465,474	0,002287990
990	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	924,5	1,065	465,474	0,002287990
1000	1,000	464,409	1,065	0,000	0,5	924,5	1,065	465,474	0,002287990



Lampiran 5. Biaya Penggantian Optimal Pada Pisau Cane Cutter

tp	Wc	Wp	E(satusiklus)	D/E(satusiklus)	Corrective Cost	Preventive Cost	Total Cost
146	0,000	1,000	146,500	29,488	0	262157140	262157140
150	0,000	1,000	150,500	28,704	0	255189508	255189508
160	0,000	1,000	160,500	26,916	0	239289850	239289850
170	0,000	1,000	170,500	25,337	0	225255255	225255255
180	0,000	1,000	180,500	23,934	0	212775739	212775739
190	0,000	1,000	190,500	22,677	0	201606409	201606409
200	0,000	1,000	200,500	21,546	1	191551226	191551227
210	0,000	1,000	210,500	20,523	7	182451400	182451407
220	0,000	1,000	220,500	19,592	36	174176933	174176970
230	0,000	1,000	230,500	18,742	167	166620333	166620500
240	0,000	1,000	240,500	17,963	660	159691810	159692470
250	0,000	1,000	250,500	17,246	2279	153315432	153317711
260	0,000	1,000	260,500	16,584	6983	147425691	147432674
270	0,000	1,000	270,499	15,970	19205	141964728	141983933
280	0,000	1,000	280,497	15,401	47909	136877716	136925625
290	0,001	0,999	290,492	14,871	109432	132110673	132220105
300	0,002	0,998	300,482	14,377	230701	127604702	127835402
310	0,003	0,997	310,458	13,915	452550	123295443	123747994
320	0,006	0,994	320,413	13,483	830525	119107636	119938162
330	0,011	0,989	330,410	13,075	1403796	114958778	116362575
340	0,019	0,981	340,166	12,700	2355200	110758676	113113877
350	0,030	0,970	350,059	12,341	3613640	106421619	110035259
360	0,046	0,954	359,756	12,008	5391562	101844987	107236549
370	0,068	0,932	368,925	11,710	7772042	97023435	104795477
380	0,095	0,905	378,333	11,419	10588015	91870069	102458084
390	0,129	0,871	387,238	11,156	14046776	86385257	100432034
400	0,170	0,830	395,558	10,921	18121890	80587407	98709297
410	0,216	0,784	403,869	10,697	22551633	74554664	97106296
420	0,268	0,732	411,400	10,501	27468495	68335388	95803883
430	0,324	0,676	418,473	10,323	32646927	62040959	94687886
440	0,383	0,617	424,915	10,167	38006783	55767607	93774390
450	0,443	0,557	430,953	10,024	43344931	49639146	92984078
460	0,504	0,496	435,931	9,910	48750359	43698193	92448552
470	0,562	0,438	441,065	9,794	53727791	38139175	91866965
480	0,619	0,381	444,898	9,710	58667186	32890017	91557202
490	0,672	0,328	448,418	9,634	63190435	28092503	91282938

tp	Wc	Wp	E(satusiklus)	D/E(satusiklus)	Corrective Cost	Preventive Cost	Total Cost
500	0,720	0,280	451,824	9,561	67193644	23800618	90994262
510	0,764	0,236	454,450	9,506	70887943	19944609	90832553
520	0,804	0,196	456,213	9,469	74310973	16500134	90811107
530	0,838	0,162	458,196	9,428	77118235	13578837	90697072
540	0,868	0,132	459,492	9,402	79653740	11033032	90686773
550	0,893	0,107	460,835	9,374	81709251	8917396	90626648
560	0,914	0,086	461,935	9,352	83431440	7150172	90581613
570	0,932	0,068	462,504	9,340	84969999	5646679	90616679
580	0,946	0,054	463,392	9,323	86080929	4475526	90556455
590	0,958	0,042	463,733	9,316	87108805	3478407	90587211
600	0,967	0,033	464,379	9,303	87804823	2729231	90534054
610	0,975	0,025	464,383	9,303	88530562	2067584	90598146
620	0,981	0,019	464,564	9,299	89040586	1570750	90611336
630	0,986	0,014	464,507	9,300	89505427	1157537	90662964
640	0,989	0,011	465,014	9,290	89679931	908503	90588433
650	0,992	0,008	464,961	9,291	89962082	660803	90622885
660	0,994	0,006	465,109	9,288	90114942	495446	90610387
670	0,996	0,004	464,898	9,292	90337216	330447	90667663
680	0,997	0,003	465,075	9,289	90393391	247741	90641132
690	0,998	0,002	465,037	9,290	90491535	165174	90656709
700	0,998	0,002	465,527	9,280	90396286	165000	90561286
710	0,999	0,001	465,190	9,287	90552305	82560	90634865
720	0,999	0,001	465,463	9,281	90499195	82511	90581707
730	1,000	0,000	464,940	9,292	90691772	0	90691772
740	1,000	0,000	465,085	9,289	90663497	0	90663497
750	1,000	0,000	465,192	9,286	90642643	0	90642643
760	1,000	0,000	465,270	9,285	90627448	0	90627448
770	1,000	0,000	465,327	9,284	90616346	0	90616346
780	1,000	0,000	465,368	9,283	90608363	0	90608363
790	1,000	0,000	465,398	9,282	90602522	0	90602522
800	1,000	0,000	465,420	9,282	90598239	0	90598239
810	1,000	0,000	465,436	9,282	90595125	0	90595125
820	1,000	0,000	465,447	9,281	90592984	0	90592984
830	1,000	0,000	465,455	9,281	90591427	0	90591427
840	1,000	0,000	465,460	9,281	90590454	0	90590454
850	1,000	0,000	465,465	9,281	90589481	0	90589481
860	1,000	0,000	465,467	9,281	90589091	0	90589091

tp	Wc	Wp	E(satusiklus)	D/E(satusiklus)	Corrective Cost	Preventive Cost	Total Cost
870	1,000	0,000	465,469	9,281	90588702	0	90588702
880	1,000	0,000	465,471	9,281	90588313	0	90588313
890	1,000	0,000	465,472	9,281	90588118	0	90588118
900	1,000	0,000	465,473	9,281	90587924	0	90587924
910	1,000	0,000	465,473	9,281	90587924	0	90587924
920	1,000	0,000	465,473	9,281	90587924	0	90587924
930	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90587729
940	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90587729
950	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90587729
960	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90587729
970	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90587729
980	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90587729
990	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90587729
1000	1,000	0,000	465,474	9,281	90587729	0	90587729

