



**TUGAS AKHIR – TI 141501**

**PENERAPAN PREVENTIVE MAINTENANCE DENGAN  
MENGUNAKAN METODE MODULARITY DESIGN PADA  
MESIN GOSS DI PT. ABC**

VIVI TRI YANTI  
NRP 2511.100.190

DOSEN PEMBIMBING:  
Prof. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc, PhD

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT – TI 141501**

**THE IMPLEMENTATION OF PREVENTIVE MAINTENANCE  
USING MODULARITY DESIGN METHOD ON THE GOSS  
MACHINE IN PT. ABC**

VIVI TRI YANTI  
NRP 2511.100.190

Supervisor:  
Prof. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc, PhD

INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

# LEMBAR PENGESAHAN

## PENERAPAN PREVENTIVE MAINTENANCE DENGAN MENGUNAKAN METODE MODULARITY DESIGN PADA MESIN GOSS DI PT. ABC

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi-S1 Jurusan Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**VIVI TRI YANTI**

NRP. 2511 100 190



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc, PhD

NIP. 195908171987031002

**SURABAYA, JULI 2015**

**PENERAPAN PREVENTIVE MAINTENANCE DENGAN  
MENGUNAKAN METODE MODULARITY DESIGN  
PADA MESIN GOSS DI PT. ABC**

**Nama** : **Vivi Tri Yanti**  
**NRP** : **2511.100. 190**  
**Jurusan** : **Teknik Industri FTI - ITS**  
**Pembimbing** : **Prof. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., MregSc, Ph.D**

**ABSTRAK**

Mesin menjadi jantung perusahaan karena dengan mesinlah produk suatu perusahaan dapat dihasilkan. Maka dari itu, sangat penting sekali untuk memberikan perhatian secara khusus kepada mesin. Secara alamiah tidak ada barang yang dibuat oleh manusia yang tidak bisa rusak, tetapi usia kegunaannya dapat diperpanjang dengan melakukan perbaikan berkala melalui suatu aktivitas yang dikenal dengan pemeliharaan. Mesin cetak perusahaan amatan yang bertugas mencetak koran setiap harinya tercatat sebagai mesin yang memiliki *breakdown* tertinggi dibanding mesin cetak lain yang ada dilantai produksi perusahaan. Perusahaan amatan menggunakan metode gabungan antara *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* dalam melakukan pemeliharaan fasilitas produksi yang dimiliki oleh perusahaan. Dalam penerapannya, *preventive maintenance* yang dilakukan kurang efektif dikarenakan masih sering terjadi *breakdown*, sehingga mesin yang sedang beroperasi sering terhambat proses operasinya dan menyebabkan *production rate* turun. Peneliti memberikan usulan *preventive maintenance* dengan metode *modularity design*, metode ini mengusung model perawatan per modul. Setiap modul berisi beberapa komponen. Penggabungan komponen untuk membentuk modul didasari atas waktu antar kerusakan komponen dan hubungan sebab

akibat. Melalui metode ini pula diharapkan jika terjadi kerusakan pada komponen, dimana penggantian komponen hanya dilakukan pada satu komponen yang rusak saja, namun komponen rusak tersebut memiliki hubungan dengan komponen lain, maka penggantian komponen baru tersebut akan sia-sia. Metode ini juga mengacu pengurangan proses perbaikan komponen pada hari yang sama dengan waktu yang tidak terlalu berbeda jauh, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya. Hasil yang didapatkan dalam penelitian tugas akhir ini adalah metode pemeliharaan preventif *modularity design* berbasis waktu sebagai metode terpilih dengan biaya pemeliharaan terendah dibandingkan metode yang lain.

Kata Kunci : *Preventive Maintenance, Modularity Design, Age Replacement*

# **THE IMPLEMENTATION OF PREVENTIVE MAINTENANCE USING MODULARITY DESIGN METHOD ON THE GOSS MACHINE IN PT. ABC**

**Name** : **Vivi Tri Yanti**  
**NRP** : **2511.100. 190**  
**Department** : **Industrial Engineering FTI - ITS**  
**Supervisor** : **Prof. Ir. Moses L. Singgih, M.Sc., MregSc, Ph.D**

## **ABSTRACT**

Machines are the most vital parts in the manufacture company because the productions depend on them. Because of that, it is important to give special attention to them. Naturally, there are no things made by human, that can't be broken. However, their lifetime can be extended by doing periodic repairs through an activity known as maintenance. The observed company's printing machines which are in charge of printing newspaper on the daily basis are recorded as machines that have the highest number of breakdown compared to other printing machines in the company's production line. The observed company is currently using combination methods among preventive maintenance and corrective maintenance in doing their maintenance of production's facility. In its application, preventive maintenance is considered less effective because a lot number of breakdowns are still occurred, that they hold up the operation process and cause the decrease of the production rate. The researcher gives a recommendation for preventive maintenance using modularity design method, a method that carry maintenance model per module. Every module contains some components. The integration of components to form modules based on the time between failures of components and their causality. This method is expected to solve situation when there is a failure in a

particular component, where its component replacement is only done to the particular component, but it has a relationship with other components, that its replacement will be useless. This method also refers to the reduction of component repair process on the same day with not much different times, that it can save times and costs. The result from this research showed that time-based modularity design preventive maintenance method is the selected method with the lowest maintenance cost compare to other methods.

Keywords : Preventive Maintenance, Modularity Design, Age Replacement

## KATA PENGANTAR

Selesainya laporan ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberika masukan dan dukungan kepada penulis. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan bantuan dari segi apapun dalam proses penyelesaian penegrjaan skripsi ini.
2. Orangtua penulis, yakni Ayah tercinta, Doso Agus Tomo yang membantu doa, semangat dan finansial selama proses pengerjaan, Mama tersayang, Marya yang tiada henti berdoa dan memberi semangat. Saudara kandung penulis yakni Yuliani, Ade Dwi Kurniawan, dan Ismad Chairul Sodik yang membantu selama ini. Serta Kakak Ipar, Moch. Iroel dan Handini Hilda Putri yang banyak memberi semangat selama proses pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Prof. Moses L. Singgih selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ide, semangat, dan banyak quote untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Bayu selaku Manager HRD, Bapak Gieska serta seluruh karyawan dari PT. Antar Surya Jaya yang telah membantu dan membimbing penulis dalam proses pengambilan data tugas akhir.
5. Teman-teman terbaik dikampus yang selalu memberi semangat dan hiburan selama pengerjaan tugas akhir, yakni Soraya Hasna Fadhilah, Aisha Sakina Salsabiila, Cinthya Lutfiana Sari, Ophelia Audiary, Putri Wilmawardani, Widyasari Ambar Utami, Desak Made Yunita Dewi.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dari laporan ini, baik materi maupun penyajian mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang dapat membangun sangat diharapkan penulis untuk memperbaiki pada kesempatan lain.

Surabaya, 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK (INDONESIA) .....	i
ABSTRAK (ENGLISH).....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	7
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	7
1.5.1 Batasan Penelitian .....	7
1.5.2 Asumsi Penelitian .....	7
1.6 Sistematika Penelitian.....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Sistem Pemeliharaan.....	11
2.1.1 Metode Pemeliharaan.....	12
2.1.2 <i>Preventive Maintenance</i> .....	13
2.1.3 <i>Corrective Maintenance</i> .....	13
2.1.4 <i>Jadwal Maintenance</i> .....	14
2.1.5 Biaya Pemeliharaan .....	15
2.1.6 Kegiatan Pemeliharaan .....	16
2.1.7 Produktivitas dan Efisiensi Pemeliharaan.....	17
2.2 <i>Reliability</i> (Keandalan) .....	18

2.3 <i>Fault Tree Analysis</i> .....	19
2.4 <i>Modular Design</i> .....	21
2.5 Klasifikasi ABC.. .....	24
2.4 <i>Age Replacement</i> .....	25
2.5 <i>Critical Review</i> .....	28
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>33</b>
3.1 Identifikasi Permasalahan.....	34
3.2 Tinjauan Pustaka .....	34
3.2.1 Studi Literatur.....	34
3.2.2 Studi Lapangan.....	34
3.3 Pengumpulan Data .....	34
3.4 Pengolahan Data.....	35
3.5 Perhitungan MTTF ( <i>Mean Time To Failure</i> ) dan MTTR ( <i>Mean Time To Repair</i> ).....	35
3.6 Penjadwalan <i>Maintenance</i> .....	35
3.6.1 <i>Preventive Maintenance</i> Berdasarkan <i>Reliability</i> .....	35
3.6.2 <i>Preventive Maintenance Modularity Design</i> Berbasis Waktu .....	35
3.6.3 <i>Preventive Maintenance Modularity Design</i> Berbasis Sebab Akibat .....	36
3.7 Analisa Hasil Perhitungan .....	34
3.8 Penarikan Kesimpulan.....	35
<b>BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA</b> .....	<b>37</b>
4.1 Gambaran Umum Perusahaan .....	37
4.1.1 Gambaran Sistem Produksi Perusahaan .....	39
4.1.2 Gambaran Mesin Produksi Perusahaan .....	40
4.2 Penentuan Komponen Kritis Mesin Goss .....	43

4.3 Perhitungan MTTF ( <i>Mean Time To Failure</i> ) dan MTTR ( <i>Mean Time To Repair</i> ) .....	45
4.4 Perhitungan Penjadwalan <i>Preventive Maintenance</i> .....	48
4.4.1 Perhitungan <i>Preventive Maintenance</i> Berdasarkan <i>Reliability</i> .....	50
4.4.2 Perhitungan <i>Preventive Maintenance Modularity Design</i> .....	53
4.4.2.1 Perhitungan <i>Preventive Maintenance Modularity Design</i> Berbasis Waktu .....	53
4.4.2.1 Perhitungan <i>Preventive Maintenance Modularity Design</i> Berbasis Sebab Akibat.....	56
BAB 5 ANALISA DAN INTREPRETASI DATA.....	61
5.1 Analisa <i>Corrective</i> dan <i>Preventive Maintenance</i> Perusahaan .....	61
5.2 Analisa Perhitungan <i>Preventive Maintenance</i> Berdasarkan <i>Reliability</i> .....	62
5.3 Analisa Perhitungan <i>Preventive Maintenance</i> dengan <i>Modularity Design</i> Berbasis Waktu .....	63
5.4 Analisa Perhitungan <i>Preventive Maintenance</i> dengan <i>Modularity Design</i> Berbasis Sebab-Akibat.....	64
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....	67
6.1 Kesimpulan .....	67
6.2 Saran .....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN .....	71
BIODATA PENULIS .....	92

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Contoh Jadwal <i>Preventive Maintenance</i> Mesin Webb Nopember 2014 .....	4
Tabel 1. 2 Data Frekuensi Kerusakan Mesin PT. ABC periode Januari-Maret 2015.....	5
Tabel 2. 1 Contoh Klasifikasi ABC .....	25
Tabel 2. 2 Rumus Distribusi Keandalan .....	27
Tabel 4. 1 Komponen Penyusun Reelstand .....	40
Tabel 4. 2 Komponen Penyusun Goss Urbanite .....	41
Tabel 4. 3 Komponen Penyusun Folder.....	42
Tabel 4. 4 Komponen Penyusun Counter .....	43
Tabel 4. 5 Komponen Kritis Mesin Goss.....	43
Tabel 4. 6 Klasifikasi Komponen Mesin Goss .....	44
Tabel 4. 7 Distribusi Data Kerusakan Komponen Mesin Goss .....	46
Tabel 4. 8 Distribusi Data Waktu Perbaikan Komponen Mesin Goss.....	46
Tabel 4. 9 Nilai MTTR dan MTTF Komponen Mesin Goss .....	47
Tabel 4. 10 Contoh Perhitungan <i>Age Replacement</i> Komponen Gear Collect .....	48
Tabel 4. 11 Waktu Penggantian Pencegahan Komponen .....	49
Tabel 4. 12 Biaya <i>Preventive Maintenance</i> Komponen .....	50
Tabel 4. 13 Rekap Nilai Biaya <i>Preventive</i> Berbasis <i>Reliability</i> .....	52
Tabel 4. 14 Waktu Pencegahan Penggantian Terdekat $\leq 1$ Hari .....	53
Tabel 4. 15 Pengelompokan Komponen Berdasarkan Waktu <i>Age Replacement</i> Terdekat .....	54

Tabel 4. 16 Rekapitulasi Biaya <i>Preventive Maintenance Modularity Design</i> Berbasis Waktu.....	55
Tabel 4. 17 Pengelompokan Komponen Berdasarkan Hubungan Sebab Akibat .....	57
Tabel 4. 18 Rekapitulasi Biaya <i>Preventive Maintenance Modularity Design</i> Berbasis Sebab Akibat .....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi Metode Pemeliharaan .....	12
Gambar 2. 1 Contoh Aplikasi <i>Fault Tree Analysis</i> .....	20
Gambar 2. 2 Fungsi dan Tipe Modul pada <i>Modular System</i> dan <i>Mix System</i> .....	23
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	33
Gambar 4. 1 Stakeholder PT. ABC.....	38
Gambar 4. 2 <i>Fault Tree Analysis</i> Kerusakan Griper.....	56
Gambar 4. 3 <i>Fault Tree Analysis</i> Kerusakan Dampfeed .....	57

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, manfaat, ruang lingkup penelitian serta sistematis penulisan.

### **1.1 Latar Belakang**

PT. ABC adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang jasa layanan percetakan dan penerbitan. Perusahaan ini dulunya dikenal dengan nama PT. ABCD, perusahaan penerbit Harian ABC, sekaligus melayani jasa cetak komersil untuk kebutuhan instansi pemerintah dan swasta. Secara umum, proses produksi pada perusahaan amatan dibedakan menjadi tiga tahapan, yaitu tahap pracetak, tahap cetak, dan tahap *finishing*. Untuk mendukung aktivitas produksi yang dilakukan, perusahaan memiliki beberapa mesin yang diklasifikasikan ke dalam 4 kelompok berdasarkan aktivitasnya. Pertama adalah *Webb* atau cetak berupa kertas roll. Pada aktivitas ini perusahaan menggunakan mesin yaitu Magnum, Solna, dan Goss. Kedua adalah *Sheet* atau cetak berupa lembaran. Pada aktivitas ini perusahaan memiliki empat buah mesin yaitu KBA, Parve, SPM, dan Kors. Aktivitas yang ketiga adalah Jilid. Pada aktivitas ini perusahaan memiliki enam buah mesin yaitu Lem IPB, Lem Pony, Lem Korea, Jahit Bravo, Jahit Rosbeck 1, dan Jahit Rosbeck 2. Aktivitas yang keempat adalah Lipat dan Potong. Pada aktivitas ini perusahaan memiliki enam buah mesin yaitu Lipat Korea, Lipat MBO, Potong satu sisi Robocut, Potong satu sisi JMC, Potong tiga sisi, dan mesin Shrink yang biasa digunakan untuk membungkus buku, komik, atau majalah dengan plastik. Sehingga dapat diketahui bahwa produk yang dihasilkan perusahaan ini berupa koran, tabloid, majalah, dan buku.

Produk dihasilkan oleh mesin, jika tidak ada mesin maka produk tidak akan jadi, jika mesin rusak maka produk tidak akan jadi atau produksinya tertunda. Produksi yang tertunda akan berakibat fatal, menyebabkan biaya tambahan yang akan merugikan perusahaan. Mesin menjadi jantung perusahaan karena dengan mesinlah produk suatu perusahaan dapat dihasilkan. Maka dari itu, sangat penting sekali untuk memberikan perhatian secara khusus kepada mesin. Salah satunya

adalah dengan menentukan seberapa besar tingkat keandalan mesin atau sistem, dan juga melakukan kegiatan pemeliharaan terhadap mesin-mesin ataupun sistem yang dimiliki untuk tetap handal dalam kegiatan memproduksi berbagai produk yang dapat memenuhi ekspektasi dari pelanggan. Secara alamiah tidak ada barang yang dibuat oleh manusia yang tidak bisa rusak, tetapi usia kegunaannya dapat diperpanjang dengan melakukan perbaikan berkala melalui suatu aktivitas yang dikenal dengan pemeliharaan.

Pemeliharaan atau yang biasa disebut dengan *maintenance* merupakan suatu fungsi kegiatan dalam suatu perusahaan yang sama pentingnya dengan fungsi-fungsi kegiatan lain. Hal ini dikarenakan peralatan dan fasilitas yang ada di perusahaan dituntut dapat beroperasi secara efektif dalam menjalankan kegiatan produksi yang sesuai dengan rencana ataupun sebelum jangka waktu tertentu yang direncanakan tercapai. Oleh sebab itu, diharapkan proses produksi dapat berjalan lancar dan terjamin karena kemungkinan-kemungkinan hambatan yang disebabkan tidak baiknya beberapa peralatan dalam menunjang proses produksi dapat diminimalisir. Dalam usaha untuk terus dapat menggunakan peralatan atau fasilitas tersebut secara kontinyu serta kontinuitas produksi dapat terjamin, maka dibutuhkan kegiatan-kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang meliputi kegiatan pengecekan (*inspection*), pelumasan (*lubrication*), dan perbaikan atas kerusakan-kerusakan yang ada serta penyesuaian atau penggantian *sparepart* yang terdapat pada peralatan tersebut.

Secara teori, pemeliharaan dibagi menjadi dua yakni *unplanned maintenance* dan *planned maintenance*. *Unplanned maintenance* adalah *breakdown maintenance* yang sifatnya sangat darurat, misalnya perbaikan pada mesin yang secara tiba-tiba mengalami kerusakan. Sedangkan *planned maintenance* terbagi lagi menjadi 5 metode; *corrective maintenance*, *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, *improvement program* dan *non maintenance*. Dimana *preventive maintenance* adalah perbaikan yang dilaksanakan sebelum mesin mengalami kerusakan, *corrective maintenance* perbaikannya terjadwal dan dilakukan penelitian lebih lanjut dari terjadinya kerusakan mesin, *predictive maintenance* merupakan monitoring suatu gejala kerusakan agar dapat diprediksi kerusakan yang mungkin

timbul, dan *improvement program* adalah modifikasi yang dilakukan sehubungan dengan seringnya suatu mesin mengalami kerusakan.

Diagram CIMOSA (*Computer Integrated Manufacturing for Open System Architecture*) menunjukkan bahwa *maintenance* merupakan salah satu faktor pendukung dari sebuah proses bisnis. Untuk dapat mendukung sebuah proses bisnis, *maintenance* tersebut dikelola, sehingga terciptalah *maintenance management* yang tujuannya sebagai pengorganisasian operasi pemeliharaan untuk memberikan performansi mengenai peralatan produksi dan fasilitas industri. Pengorganisasian ini mencakup penerapan dari metode manajemen dan memerlukan perhatian yang sistematis. Hal ini merupakan pekerjaan yang harus dipertimbangkan dengan benar dalam mengatur peralatan, material, tenaga kerja, biaya, teknik serta waktu pelaksanaannya.

Pada penelitian tugas akhir, penulis memilih objek amatan PT. ABC. Perusahaan amatan menggunakan metode gabungan antara *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* dalam melakukan pemeliharaan terhadap fasilitas produksi yang dimiliki oleh perusahaan. *Preventive Maintenance* adalah pekerjaan perawatan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan, atau cara perawatan yang direncanakan untuk pencegahan (*preventive*). *Preventive maintenance* yang dilakukan oleh perusahaan dilakukan secara berkala untuk setiap mesin dan fasilitas produksi. *Corrective Maintenance* tidak hanya berarti memperbaiki tetapi juga mempelajari sebab-sebab terjadinya kerusakan serta cara-cara mengatasinya dengan cepat dan benar sehingga tercegah terulangnya kerusakan serupa. Sedangkan *corrective maintenance*-nya dilakukan apabila ada mesin-mesin yang mengalami *breakdown* yang tidak terduga. Perusahaan ini menerapkan *preventive maintenance* dengan dasar pemikiran bahwa *preventive maintenance* dapat mengantisipasi masalah-masalah yang dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen atau alat dan menjaga komponen atau alat tetap normal selama operasi, karena performansi mesin yang tidak optimal akan mengganggu jalannya proses operasional seperti *downtime* maupun kualitas cetakan yang jelek yang pada akhirnya dapat menimbulkan kerugian pada perusahaan. Contoh aktivitas *preventive maintenance* yang dilakukan oleh perusahaan adalah membersihkan kotoran yang menempel pada alat, pelumasan, dan lain-lain.

Penerapan *corrective maintenance* dilakukan sebagai bentuk pemeliharaan yang dilakukan apabila di luar aktivitas *preventive maintenance* terjadi *breakdown* seperti ada *part* yang rusak atau aus sehingga harus ditangani dengan segera sebelum kerusakan semakin parah dan semakin mengganggu aktivitas operasional perusahaan.

Proses *preventive maintenance* dilakukan secara tim dengan paket-paket yang telah ditentukan. Untuk setiap kali dilakukannya *maintenance*, aktivitas yang dilakukan tidak meliputi keseluruhan paket yang ada untuk mesin tersebut melainkan hanya satu atau beberapa paket sesuai dengan penjadwalan yang sudah diterapkan oleh perusahaan.

Tabel 1. 1 Contoh Jadwal *Preventive Maintenance* Mesin Webb Nopember 2014

Minggu 1					Minggu 2							Minggu 3						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Sbt	Mgg	Snn	Sls	Rb	Kms	Jmt	Sbt	Mgg	Snn	Sls	Rb	Kms	Jmt	Sbt	Mgg	Snn	Sls	Rb
			M		B					N		C					S	
Minggu 4					Minggu 5					KETERANGAN PAKET								
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	A	B	C	D	E	Libur		
Kms	Jmt	Sbt	Mgg	Snn	Sls	Rb	Kms	Jmt	Sbt	Mgg								
F					L		A											

Namun jika dilihat dari banyaknya *corrective maintenance* yang dilakukan, seharusnya dilakukan kembali penjadwalan *preventive maintenance* yang sesuai dengan kondisi mesin. Selain itu detail pengecekan pun belum ditentukan seperti proses pembersihan roll, pada proses tersebut tidak ada batasan minimum roll tersebut sudah bersih atau belum, sehingga jika proses tersebut dilakukan oleh operator yang berbeda hasilnya akan berbeda. Dalam penerapannya, metode *preventive maintenance* yang dilakukan kurang efektif dikarenakan sangat sering terjadi *breakdown*, sehingga mesin-mesin yang sedang beroperasi sering terhambat proses operasinya dan menyebabkan *production rate* turun. Penjadwalan pemeliharaan mesin yang dibuat oleh PT. ABC, belum sesuai dengan teori. Jadwal pemeliharaan mesin yang dibuat belum memperhatikan aspek *reliability* mesin,

sehingga kondisi mesin eksisting tidak menjadi perhatian utama. Akibat hal tersebut, sangat wajar bila masih sering terjadi *breakdown* pada mesin-mesin yang ada. Besarnya frekuensi *breakdown* mesin berdampak pada anggaran pemeliharaan mesin yang tinggi. Penentuan penjadwalan *preventive maintenance* dalam perusahaan ini sulit dilakukan secara teratur dan baik. Kesulitan tersebut diakibatkan oleh penyusunan paket-paket *preventive maintenance* yang masih belum dilakukan sesuai dengan teori *preventive maintenance*. Dengan kondisi ini, perusahaan pada umumnya melakukan perbaikan atau penggantian komponen apabila komponen telah aus atau tidak berfungsi dengan baik.

Peneliti mencoba mengevaluasi metode pemeliharaan yang dilakukan oleh PT. ABC. Objek amatan peneliti yakni berfokus kepada mesin Goss (kelompok mesin Webb), dimana mesin Goss bertugas untuk mencetak kertas *full color* bolak-balik dengan maksimal ukuran konfigurasi 4x dalam satu unit. Jenis produk yang dicetak pada mesin ini yakni majalah, tabloid, dan koran. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh departemen *maintenance* PT. ABC selama Januari 2015 – Maret 2015 seperti diberikan pada Tabel 1.2, mesin Goss merupakan mesin yang paling memiliki presentase kegagalan paling besar jika dibandingkan dengan mesin-mesin lainnya. Berdasarkan data perusahaan, tercatat sebanyak 355 kali mesin Goss mengalami *breakdown* dalam kurun waktu kurang lebih tiga bulan.

Tabel 1. 2 Data Frekuensi Kerusakan Mesin PT. ABC periode Januari-Maret 2015

Mesin Webpress	Total Downtime	Downtime	Kumulatif Downtime
<b>GOSS</b>	355	46%	46%
<b>SOLNA</b>	95	12%	59%
<b>MAGNUM</b>	316	41%	100%
	766	100%	

Peneliti mencoba untuk memberikan usulan *preventive maintenance* dengan metode *modularity design*, dimana metode ini mengusung model perawatan per modul. Setiap modul berisi beberapa komponen. Penggabungan komponen untuk membentuk sebuah modul didasari atas waktu antar kerusakan komponen dan hubungan sebab akibat. Sebelumnya telah dijelaskan bahwa *preventive maintenance* yang dilakukan PT. ABC dirasa kurang efektif dikarenakan masih

sering terjadi *breakdown*. Hal tersebut akan ditelusuri dengan menggunakan FTA (*Fault Tree Analysis*) untuk mengetahui apakah yang menjadi penyebab kegagalan mesin Goss beroperasi. Hubungan antar komponen satu dan lainnya bisa saja menjadi faktor penyebab *breakdown*nya mesin. Waktu optimal penggantian komponen dan total biaya pemeliharaan juga menjadi faktor pertimbangan penerapan metode pemeliharaan yang baru. Melalui metode ini pula diharapkan jika terjadi kerusakan pada komponen, dimana penggantian komponen hanya dilakukan pada satu komponen yang rusak saja, namun komponen rusak tersebut memiliki hubungan dengan komponen lain, maka penggantian komponen baru tersebut akan sia-sia karena umur komponen baru tersebut akan menjadi lebih pendek dari yang diharapkan. Melalui metode ini pula diharapkan dapat menjadi solusi penurunan biaya *maintenance* perusahaan yang sangat tinggi bila dilihat dari jumlah *breakdown* yang terjadi.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana mengurangi terjadinya kerusakan mesin dengan mengevaluasi pemeliharaan pada mesin PT. ABC, yakni dengan mengusulkan metode pemeliharaan baru untuk mendapatkan metode pemeliharaan dengan biaya terendah dan mendapatkan waktu penggantian komponen yang optimal.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berpijak pada permasalahan tersebut, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan usulan metode pemeliharaan yang baru untuk mesin Goss di PT. ABC.
2. Dapat mengidentifikasi komponen yang dapat dikelompokkan kedalam perawatan berbasis modul.
3. Dapat menentukan jadwal optimal untuk melakukan penggantian komponen sesuai dengan metode yang terpilih.

4. Dapat melakukan perbandingan biaya dari sistem perawatan yang ada sekarang ini (*corrective maintenance* dan *preventive maintenance*) dengan sistem perawatan *preventive* dengan perpaduan *modularity design*.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang bisa diperoleh dari penelitian ini dalam bidang keilmuan adalah sebagai berikut:

1. Memberikan rekomendasi bagi PT. ABC dalam hal pemeliharaan mesin yang biaya pemeliharaannya lebih rendah.
2. Mampu dalam pengusulan metode pemeliharaan yang tepat dengan biaya yang rendah.

#### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini berisi mengenai batasan dan asumsi yang digunakan peneliti pada Tugas Akhir ini.

##### **1.5.1 Batasan Penelitian**

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin yang diamati yakni mesin Goss yang terletak pada lantai produksi PT. ABC. Mesin ini berfungsi untuk mencetak koran, majalah dan tabloid setiap harinya.
2. Penelitian pada *preventive maintenance modularity* berbasis sebab akibat hanya menganalisis biaya yang dikeluarkan perusahaan tidak sampai kepada analisis mengenai dampak yang berkelanjutan dari *preventive* yang dilakukan.

##### **1.5.2 Asumsi Penelitian**

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai waktu *age replacement* dari komponen-komponen dinyatakan dekat jika tidak lebih dari satu hari.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan penelitian Tugas Akhir ini tersusun atas enam bab, yakni sebagai berikut:

### **Bab 1 Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dari penelitian, kemudian perumusan masalah, tempat pelaksanaan penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, serta batasan-batasan yang digunakan dan penggunaan asumsi yang diperlukan dan sistematika penulisan tugas akhir.

### **Bab 2 Tinjauan Pustaka**

Bab ini membahas tentang teori-teori yang digunakan sebagai dasar yang kuat bagi penelitian dalam melakukan kegiatan. Selain itu, pembahasan teori tersebut bertujuan sebagai sarana untuk mempermudah pembaca dalam memahami konsep yang digunakan dalam penelitian. Teori-teori yang digunakan pada penelitian tugas akhir bersumber dari berbagai literatur, penelitian-penelitian sebelumnya, jurnal dan artikel.

### **Bab 3 Metodologi Penelitian**

Bab ini memaparkan tentang metodologi yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir. Metodologi menggambarkan alur kegiatan dan kerangka berfikir yang digunakan oleh peneliti selama melakukan penelitian.

### **Bab 4 Pengumpulan dan Pengolahan Data**

Pada bab ini akan diberikan informasi dan ditampilkan data mengenai kerusakan mesin, waktu antar kerusakan mesin, komponen-komponen mesin, harga komponen mesin. Selain itu juga ditampilkan pengolahan data *reliability* mesin Goss dan perhitungan waktu optimal penggantian serta total biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan.

### **Bab 5 Intrepretasi dan Analisis**

Secara keseluruhan bab ini meliputi intrepretasi data tentang hasil pengolahan data yang dilakukan pada bab sebelumnya. Intrepretasi yang dilakukan sesuai dengan kebutuhan penelitian yang menjawab permasalahan yang ada. Selain

itu, pada bab ini juga dibahas mengenai perhitungan yang sudah dilakukan pada bab 4.

### **Bab 6 Kesimpulan dan Saran**

Pada bab ini dijelaskan mengenai kesimpulan yang dapat diambil oleh peneliti terhadap keseluruhan rangkaian penelitian.tugas akhir ini. Selain itu juga disertakan saran dan rekomendasi untuk perusahaan dan pengembangan penelitian yang selanjutnya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini.

#### **2.1 Sistem Pemeliharaan**

Pemeliharaan atau perawatan dalam suatu industri merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung proses produksi. Oleh karena itu proses produksi harus didukung oleh peralatan yang siap bekerja setiap saat dan handal. Untuk mencapai hal itu maka peralatan-peralatan penunjang proses produksi ini harus mendapatkan perawatan yang teratur dan terencana (Daryus, 2007). Sedangkan tujuan dilakukannya pemeliharaan menurut Corder (1996) antara lain adalah:

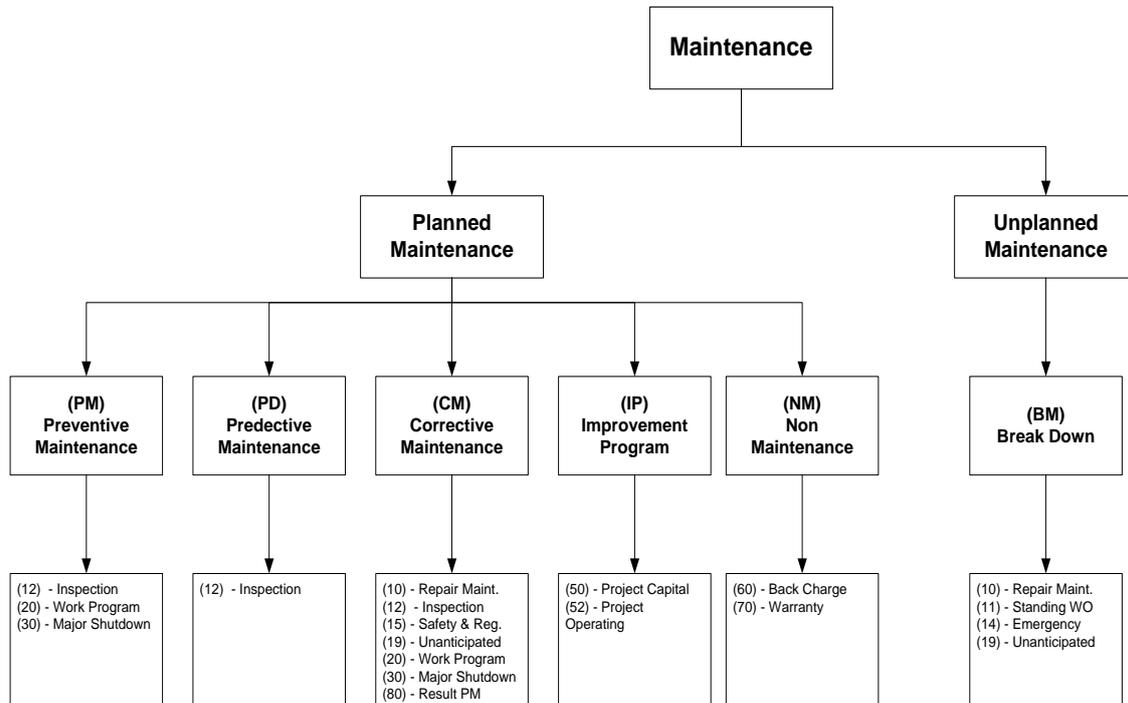
1. Memperpanjang kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan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

Parida and Kumar (2006) menyatakan bahwa tingkat efisiensi dan efektivitas sistem pemeliharaan memiliki peran yang penting dalam kesuksesan dan keberlangsungan sebuah perusahaan. Sehingga *performance* dari sistem tersebut perlu diukur menggunakan sebuah teknik pengukuran kinerja. Beberapa alasan yang mendukung pentingnya MPM menurut Parida dan Kumar (2006) yaitu :

1. Untuk mengukur nilai yang ditimbulkan oleh pemeliharaan.
2. Untuk menganalisis investasi yang dilakukan.
3. Untuk meninjau sumber daya yang dialokasikan.
4. Untuk menciptakan lingkungan kerja yang sehat dan aman.
5. Untuk berfokus pada *knowledge management*.
6. Untuk beradaptasi dengan tren baru pada strategi operasi dan pemeliharaan.
7. Untuk perubahan organisasi secara struktural.

### 2.1.1 Metode Pemeliharaan

Ditinjau dari saat pelaksanaan perawatan, dapat dibagi menjadi dua cara yakni perawatan yang direncanakan (*Planned Maintenance*) dan perawatan yang tidak direncanakan (Corder,1992). Menjaga atau memastikan agar semua fasilitas yang dimiliki oleh perusahaan dapat berfungsi dengan baik (*reliable*).



Gambar 2. 1 Klasifikasi Metode Pemeliharaan

*Breakdown Maintenance* : Perbaikan dilaksanakan setelah kerusakan atau tidak berfungsinya suatu peralatan.

*Preventive Maintenance* : Pemeliharaan dilaksanakan sebelum peralatan rusak atau tidak berfungsi.

*Predictive Maintenance* : Pemeriksaan atau monitoring suatu gejala kerusakan agar dapat diprediksi keruakan yang mungkin akan timbul.

*Corecrtive Maintenance* : Pemeliharaan dijadwalkan untuk dikerjakan serta dilakukan penelitian lebih lanjut dari terjadinya suatu kerusakan atau tidak berfungsinya suatu peralatan.

*Improvement Program* : Modifikasi yang dilakukan sehubungan dengan seringnya suatu peralatan rusak atau gagal beroperasi.

### **2.1.2 Preventive Maintenance**

*Preventive Maintenance* adalah pekerjaan perawatan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan, atau cara perawatan yang direncanakan untuk pencegahan (preventif). Ruang lingkup pekerjaan preventif termasuk: inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan, sehingga peralatan atau mesinmesin selama beroperasi terhindar dari kerusakan.

*Preventive maintenance* dibedakan atas dua kegiatan (Assauri, 1993), yaitu:

1. *Routine Maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin, sebagai contoh adalah kegiatan pembersihan fasilitas dan peralatan, pemberian minyak pelumas atau pengecekan oli, serta pengecekan bahan bakar dan sebagainya.
2. *Periodic Maintenance*, yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala. Perawatan berkala dilakukan berdasarkan lamanya jam kerja mesin produk tersebut sebagai jadwal kegiatan misalnya setiap seratus jam sekali.

Tujuan *Preventive Maintenance* yakni menekan *downtime* (mesin jarang rusak), meningkatkan *life expectancy* peralatan, menekan *overtime cost*, menekan jumlah “*large scale repair*”, memperkecil *repair cost*, memperkecil jumlah produk yang cacat, serta meningkatkan kondisi keselamatan kerja. Terdapat tiga keputusan dalam penerapan *Preventive Maintenance*, yakni penentuan jumlah *sparepart* yang harus tersedia, penentuan seberapa sering harus dilakukan *Preventive Maintenance* pada sekelompok mesin, serta perencanaan dan pengendalian *Preventive Maintenance project* dalam skala integrasi.

### **2.1.3 Corrective Maintenance**

*Corrective Maintenance* tidak hanya berarti memperbaiki tetapi juga mempelajari sebab-sebab terjadinya kerusakan serta cara-cara mengatasinya dengan cepat dan benar sehingga tercegah terulangnya kerusakan serupa.

*Corrective Maintenance* dibagi menjadi tiga, yakni:

1. *Remedial maintenance*, merupakan serangkaian aktivitas yang dilakukan untuk menghilangkan sumber kerusakan tanpa interupsi terhadap keberlangsungan proses produksi.

2. *Deferred maintenance*, merupakan serangkaian aktivitas yang tidak langsung diinisiasi setelah terjadinya kerusakan tetapi ditunda sedemikian rupa agar tidak mengganggu proses produksi.
3. *Shutdown corrective maintenance*, merupakan serangkaian aktivitas yang dilakukan pada saat lini produksi sedang berhenti total.

Untuk mencegah terjadinya kerusakan serupa perlu dipikirkan dengan mantap. Tindakan-tindakan berikut ini dapat dipakai sebagai pilihan atau alternatif antara lain:

1. Mengubah proses produksi sehingga semua proses produksi berubah.
2. Mengganti material, konstruksi dan desain dari komponen yang mengalami kerusakan.
3. Mengganti komponen yang rusak dengan material, konstruksi, desain yang lebih baik.
4. Seluruh peralatan produksi diganti baru.
5. Memperbaiki jadwal *maintenance*.
6. Mengurangi beban pada unit.
7. Melakukan pelatihan pada operator peralatan produksi.

Penerapan *Corrective Maintenance* mengakibatkan jumlah kerusakan semakin berkurang begitu juga waktu *downtime*, sehingga kapasitas produksi dapat ditingkatkan.

#### **2.1.4 Jadwal *Maintenance***

Jadwal pemeliharaan peralatan produksi terbagi menjadi tiga jenis yakni jangka pendek, jangka sedang dan jangka panjang. Berikut ulasan masing-masing waktu jadwal pemeliharaan :

1. *Maintenance* Jangka Pendek

Jadwal pemeliharaan peralatan produksi harian yang berupa pelumasan pada waktu peralatan yang akan dipakai atau setelah digunakan produksi. Pemeliharaan ini dapat dilakukan oleh operator dari peralatan produksi tersebut dengan memberikan petunjuk-petunjuk pemeliharaan terlebih dahulu kepada operator tersebut.

## 2. *Maintenance* Jangka Sedang

Pemeliharaan peralatan produksi bulanan yang disusun dari jadwal pemeliharaan tahunan yang dalam penyusunannya harus disesuaikan dengan jadwal produksi pada bulan yang bersangkutan sehingga tidak terjadi bentrokan.

## 3. *Maintenance* Jangka Panjang

Pemeliharaan yang mencakup pemeliharaan total atau sering dikenal dengan *overhaul*. Pemeliharaan jangka panjang ini memerlukan persiapan yang matang dalam satu tahun ke depan dengan melihat riwayat mesin pada tiap bulannya. Hal yang perlu diperhatikan adalah waktu pelaksanaan *overhaul* tersebut karena tentunya peralatan produksi tidak dapat berproduksi sama sekali pada saat itu sehingga diperlukan kecepatan dan ketepatan dalam pelaksanaan *overhaul*.

### 2.1.5 Biaya Pemeliharaan

Biaya *preventif maintenance* terdiri atas biaya-biaya yang timbul dari kegiatan pemeriksaan dan penyesuaian peralatan, penggantian atau perbaikan komponen-komponen, dan kehilangan waktu produksi yang diakibatkan oleh kegiatan-kegiatan tersebut. Biaya *corrective maintenance* adalah biaya-biaya yang timbul bila peralatan rusak atau tidak dapat beroperasi, yang meliputi kehilangan waktu produksi, biaya pelaksanaan pemeliharaan ataupun biaya penggantian peralatan (Handoko,1987).

Perawatan yang baik akan dilakukan dalam jangka waktu tertentu dan pada waktu proses produksi sedang tidak berjalan. Semakin sering perawatan suatu mesin dilakukan akan meningkatkan biaya perawatan. Disisi lain bila perawatan tidak dilakukan akan mengurangi performa kerja mesin tersebut. Ongkos perawatan dapat diringkas menjadi dua, yaitu :

1. Ongkos pemeliharaan akibat diadakannya perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin atau komponennya.
2. Ongkos perbaikan yang dilakukan akibat terjadinya kerusakan komponen kritis pada mesin atau peralatan tersebut disamping biaya untuk penggantian suku cadangnya.

Dengan demikian pola perawatan yang optimal perlu dicari supaya antara biaya perawatan dan biaya kerusakan bisa seimbang pada total cost yang paling minimal. *Preventive Cost* merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang memang sudah dijadwalkan Sedangkan menyebabkan mesin produksi terhenti pada waktu produksi sedang berjalan. Sehingga rumusnya menjadi :

$$C_p = [(A+B) \times C] + D + E \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

- C<sub>p</sub> = Biaya satu siklus preventif
- A = Biaya operator mengganggu/jam
- B = Biaya kehilangan produksi/jam
- C = Waktu perbaikan komponenen dalam jam
- D = Harga komponen/unit (Rp)
- E = Biaya *preventive maintenace*

Dari analisa biaya pemeliharaan dan waktu *preventive maintenance* maka dapat ditentukan total biaya *preventive maintenance* yang dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_C = \frac{C_p \times R(T)}{T} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- T<sub>c</sub>/jam = *Total cost*
- C<sub>p</sub> = *Biaya preventive replacement*
- R(T) = Nilai keandalan
- T = *Waktu preventive replacement*

### 2.1.6 Kegiatan Pemeliharaan

Semua tugas dan kegiatan pemeliharaan dapat digolongkan kedalam lima tugas pokok yakni; inspeksi, kegiatan teknik, kegiatan produksi, kegiatan administrasi, serta *house keeping* (Assauri, 2004).

1. Inspeksi.

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala pada bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta kegiatan pengecekan atau pemeriksaan terhadap peralatan yang mengalami kerusakan. Tujuan dari kegiatan inspeksi ini untuk mengetahui apakah pabrik selalu memiliki peralatan atau fasilitas produksi yang baik untuk menjamin kelancaran proses produksi.

2. Kegiatan Teknik

Kegiatan ini meliputi kegiatan pengujian peralatan yang baru dibeli, pengembangan peralatan atau komponen yang perlu diganti, serta melakukan penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut.

3. Kegiatan Produksi

Maksud dari kegiatan produksi ini yakni kegiatan pemeliharaan yang sebenarnya, yakni memperbaiki dan mereparasi mesin-mesin dan peralatan. Secara fisik, melaksanakan servis dan pelumasan. Kegiatan produksi ini tujuannya agar pabrik dapat berjalan lancar sesuai rencana.

4. Kegiatan Administrasi

Kegiatan yang berhubungan dengan administrasi kegiatan pemeliharaan yang menjamin adanya catatan-catatan mengenai kegiatan atau kejadian-kejadian yang terpenting dari bagian pemeliharaan.

5. *House Keeping*

Kegiatan pemeliharaan bangunan bertujuan untuk menjaga agar bangunan tetap terpelihara dan terjamin kebersihannya.

### **2.1.7 Produktivitas dan Efisiensi Pemeliharaan**

Dalam mencapai efektivitas pemeliharaan mesin dan seluruh fasilitas produksi secara optimum, maka kegiatan *maintenance* dibagi menjadi lima kelompok yakni pemeliharaan mesin, pemeliharaan jaringan listrik, pemeliharaan instrumen, perawatan pembangkit listrik, dan bengkel pemeliharaan (Prawirosentono,2000). Sedangkan menurut Siagian (2002) menyatakan bahwa prinsip efisiensi secara sederhana berarti menghindari segala bentuk

pemborosan. Efisiensi mesin merupakan rasio antara output aktual dengan kapasitas efektif.

Masalah efisiensi dalam manajemen pemeliharaan lebih ditekankan pada aspek ekonomi dengan memperhatikan besarnya biaya yang terjadi dan alternatif tindakan yang dipilih untuk dilaksanakan, sehingga perusahaan dapat memperoleh keuntungan. Di dalam persoalan ekonomis ini, perlu diadakan analisis perbandingan biaya antara masing-masing alternatif tindakan yang dapat diambil (Assauri, 2004)

## 2.2 Reliability (Keandalan)

*Reliability* adalah peluang sebuah komponen mesin atau produk akan bekerja secara baik untuk waktu tertentu di bawah kondisi tertentu. Taktik keandalan adalah meningkatkan komponen individual serta memberikan redundansi.

$$R = P(x=1) \dots \dots \dots (2.3)$$

Karena  $x$  adalah fungsi waktu, maka  $R$  juga fungsi waktu, sehingga didapatkan :

$$R(t) = P(x(t) = 1) = P(T > t) \dots \dots \dots (2.4)$$

Fungsi ini menyatakan hubungan antara keandalan dengan waktu (yaitu lamanya sistem melaksanakan tugas). Keandalan suatu peralatan tidak dapat ditentukan apabila lama pengoperasiannya tidak diketahui atau ditentukan.

$R(t)$  = keandalan sistem jika dipakai selama  $t$  satuan waktu.

= probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik (tanpa mengalami kerusakan ) selama pemakaian  $[0,t]$ .

Sehingga :

$$\begin{aligned} R(t) &= P(\text{peralatan beroperasi}) \\ &= P(x(t) = 1) \\ &= P(T > t) \\ &= 1 - P[T \leq t] \\ &= 1 - F(t) \dots \dots \dots (2.5) \end{aligned}$$

$R(t)$  memiliki sifat – sifat sebagai berikut :

1.  $0 \leq R(t) \leq 1$
2. monoton tidak naik
3.  $R(\infty)=0 ; R(0)=1$

Kriteria yang sangat berkaitan dengan *reliability* adalah *failure*. *Failure* adalah suatu titik waktu dimana sistem tidak lagi dapat berfungsi dengan baik (proper). Sedangkan variabel yang sangat penting yang berkaitan dengan *reliability* adalah waktu (*time*). Waktu digunakan untuk menyatakan *rate of failure* (ROF) dan sebagian besar fenomena *reliability* dapat dipahami melalui *rate of failure*nya. Sehingga *reliability* sebagai fungsi dari waktu (*failure rate*).

Keandalan dari suatu sistem seringkali dinyatakan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakainya. Rata-rata waktu kerusakan disebut dengan *Mean Time To Failure* (MTTF). Hanya dipergunakan pada komponen atau peralatan yang sekali mengalami kerusakan harus diganti dengan komponen atau peralatan yang masih baru dan baik. Untuk komponen yang diperbaiki saja dan ada kemungkinan fail lagi maka waktu antar kerusakannya disebut MTBF (*Mean Time Between Failure*).

TTR (*Time To Repair*) = Waktu Selesai Kerusakan – Waktu Mulai Kerusakan... (2.6)

TTF (*Time To Failure*) = (Waktu Selesai Kerusakan – Jam Kerja Selesai) + (Jam Kerja) + (Jam Kerja Mulai – Waktu Mulai Rusak).. (2.7)

### 2.3 *Fault Tree Analysis*

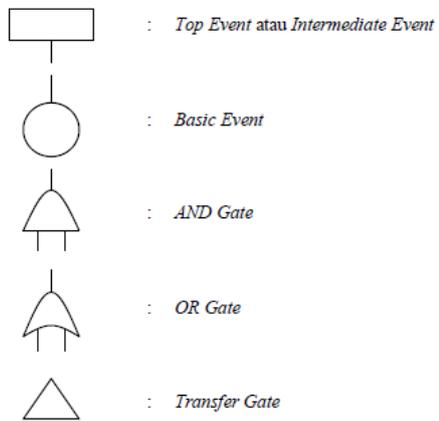
*Fault Tree Analysis* adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*Top Event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu *Top Event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*). Jadi secara umum metode *fault tree analysis* adalah sebuah metode menyelesaikan kasus apabila terjadi sesuatu kegagalan atau hal yang tidak diinginkan dengan mencari akar-akar permasalahan *Basic Events* yang muncul dan diuraikan dari setiap indikasi kejadian puncak (*Top Event*). Berikut ini adalah prosedur dalam pengembangan model FTA :

1. Identifikasi “ *top event* “
2. Identifikasi “ *the second level events* “
3. Bangun pohon logic ( *tree logic* ) yang mungkin terjadi ( gunakan *AND* dan *OR Gate* )
4. Identifikasi “ *the lower level events* “
5. Lanjutkan proses pengembangan *tree logic* sampai ke level lain yang lebih detail

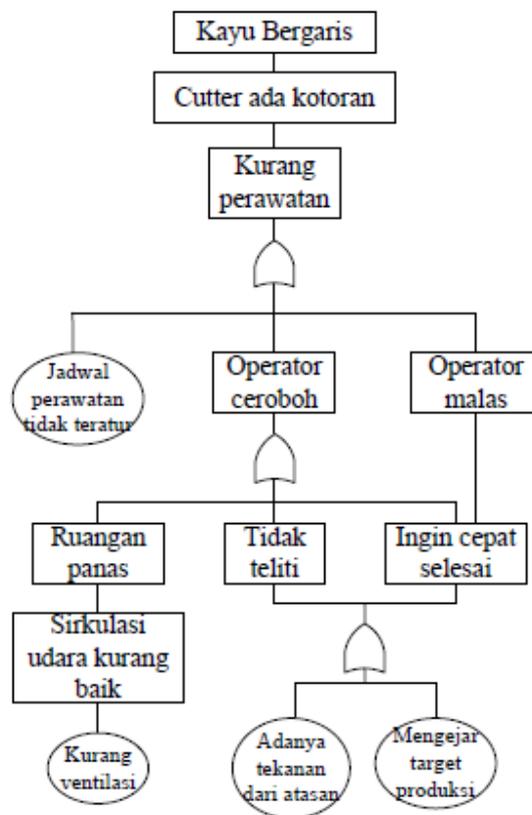
6. Perhitungkan nilai *tree logic* ( *quantify the tree logic* )

7. *Integrates with Design for Manufacturing & Assembly Techniques*

Beberapa simbol yang umum digunakan dalam model FTA ini :



Berikut ini merupakan contoh aplikasi FTA pada cacat kayu bergaris :



Gambar 2. 2 Contoh Aplikasi *Fault Tree Analysis*

## 2.4 Modular Design

*Modularity Design* adalah suatu konsep yang biasa digunakan pada proses medesain suatu produk dan konsep ini akan diadaptasikedalam sisrtem *maintenance*. Modularisasi adalah melakukan pengelompokan produk dalam bentuk suatu unit yang berbeda berdasarkan fungsinya untuk memudahkan pemindahan dan penggantian. Dengan sistem yang modular, sistem dapat menghasilkan teknik yang menguntungkan dan solusi dalam perekonomian pabrik. Pengembangan modular hanya dimulai ketika awalnya dipahami sebagai sebuah produk individu atau ukuran jarak dan pada pengembangan ini diharapkan akan menghasilkan sejumlah besar varian. *Modularity* mengijjinkan untuk diadakan pengurangan dari biaya servis dengan mengelompokkan komponen berdasarkan *similiary* dan *dependency*, sehingga memudahkan dalam melakukan perbaikan maupun pemeliharaan. Diharapkan setiap fungsi yang ada pada suatu produk bersifat *independent* terhadap fungsi yang lain. Ada dua karakteristik dari *modularity* :

- *Simillary* antara bentuk fisik dan fungsi arsitektur dari desain (perspektif baru dalam memisah bentuk dan proses).
- Minimasi dari interaksi-interaksi yang kurang penting dari komponen-komponen fisik.

Arsitektur produk disusun dari dua yaitu strukur fungsi dan struktur produk. Perbedaan antara fungsi modul (*function moduls*) dengan modul produksi (*production moduls*) yaitu fungsi modul membantu mengimplementasikan fungsi teknik yang independen atau dikombinasi dengan yang lain. Sedangkan modul produksi didesain secara independen berdasarkan fungsi dan mempertimbangkan faktor produksinya saja.

Pengertian dari fungsi dan tipe modul pada sistem modular dan *mixed* sistem (G. Pahl & W. Beitz, 1996) :

### a. *Basic Function*

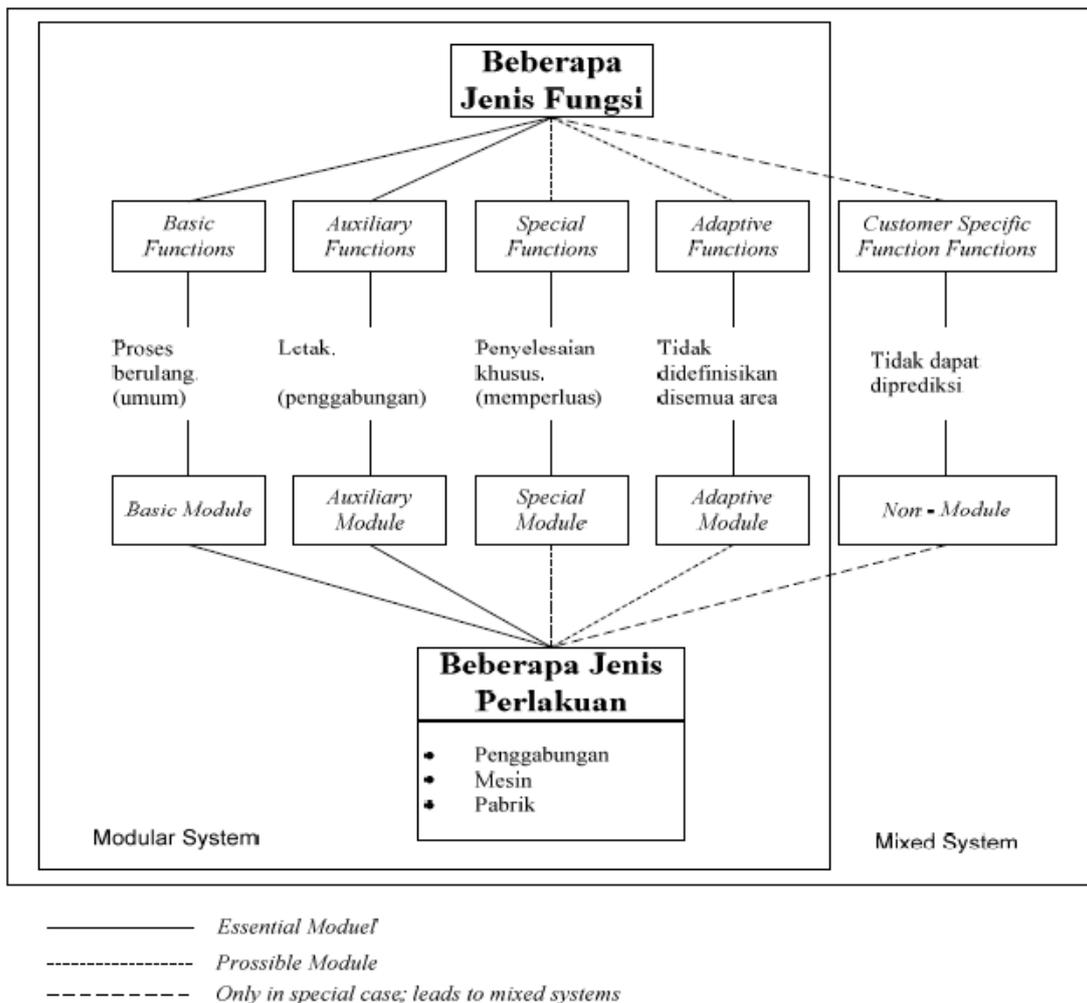
Dasar dari tiap sistem. *Basic function* tidak berupa variabel. Fungsi ini dapat memenuhi kebutuhan fungsi lainnya atau berkombinasi. Fungsi ini diterapkan pada *basic module* yang dapat berupa beberapa ukuran, tahapan dan tahapan akhir. Basic module bersifat “*penting*”

### b. *Auxiliary Function*

Dilakukan dengan menempatkan atau menyatukan beberapa *auxiliary module* yang tersimpan dalam langkah *basic module* dan kadang-kadang bersifat “penting”.

c. *Special Function*

Melengkapi dan menspesifikais tugas dari sub-function yang tidak muncul pada beberapa jenis functions. Fungsi ini dikerjakan pada *special modules* dan mempunyai tipe “kemungkinan”.



Gambar 2. 3 Fungsi dan Tipe Modul pada *Modular System* dan *Mix System*

d. *Adaptive Function*

Perlu dilakukan untuk adaptasi terhadap sistem lainnya dan kondisi yang marjinal. Fungsi ini dilakukan dengan *adaptive module* dengan dimensi yang

berubah-ubah dan dimungkinkan untuk keadaan yang tidak terduga. *Adaptive modules* termasuk tipe yang “penting” atau tipe “kemungkin”.

e. *Customer-specific Function*

Tidak disediakan dalam sistem modular karena akan terjadi perbaikan dan pengembangan yang berkali-kali. Sistem seperti ini dikerjakan oleh *non-modules* yang harus didesain secara individual untuk tugas yang spesifik. Dan pada saat sistem ini digunakan maka berupa gabungan dari beberapa modul dan non-modul. Terdapat 6 macam kemungkinan hubungan atau modular antara kesamaan dan ketergantungan antara komponen yaitu :

1. Komponen yang satu dengan komponen yang saling bergantung. Terjadi pada saat dua komponen yang saling bergantung karena desain fisik, spesifikasi dalam atributnya. Contoh : *Gear* yang berpasangan dengan *shaft*. *Gear* dan *shaft* adalah 2 komponen yang berbeda, akan tetapi ukuran diameter lubang dari *gear* dan diameter dari *shaft* saling berhubungan erat.
2. Komponen yang satu dengan komponen yang sama. Hubungan ini tidak digunakan karena tidak mengikat desain yang masih sama sehingga pada saat satu berubah yang lain berubah dengan bentuk yang sama.
3. Komponen dengan proses yang saling bergantung. Desain produk bergantung pada proses daur hidup. Apabila proses yang sama menghasilkan dua komponen yang berbeda, komponen tersebut harus dikelompokkan dalam modul yang sama sehingga dapat dilakukan pada proses yang sama dan meminimalisasi efek terhadap komponen yang lain. Contoh : *dial tuner* dan tombol *power* pada *stereo*, dua komponen yang sama sekali tidak terkait tetapi menjalani proses manufaktur yang sama.
4. Komponen dengan proses yang sama. Pengelompokkan komponen yang mengalami proses siklus kehidupan yang sama dalam satu modul untuk mengurangi dampak dari perubahan produk. Contoh : 2 komponen serat gelas dari sepeda motor yaitu *spatbor* depan dan belakang.
5. Proses dengan proses yang saling bergantung.
6. Proses dengan proses yang sama. Kedua proses ini tidak mempengaruhi desain produk secara langsung karena mengesampingkan interaksi antara komponen dan tidak termasuk kedalam ukuran modularitas dan metodologi desain.

Diketahui *modularity* dalam perawatan berarti modul-modul yang digunakan, diterapkan dengan tanpa adanya perubahan dalam konsep dasar dari peralatan. Modul (*modules*) adalah berupa unit yang dapat dideskripsikan secara fungsional dan secara esensial independen (tidak terkait). Operator juga mendapatkan keuntungan dengan sistem modular yaitu waktu pengiriman yang lebih pendek, memiliki beberapa kemungkinan dalam perubahan dan kemudahan dalam *maintenance*, memiliki komponen cadangan yang siap, memiliki jangkauan dan perubahan fungsi yang lebih luas, dapat menghilangkan faktor kegagalan pada produksi. Keuntungan modularisasi pada sistem *maintenance* adalah:

1. Rancangan peralatan yang baru lebih mudah.
2. Mengurangi biaya dan waktu pelatihan tenaga kerja perawatan.
3. Kemudahan dalam perawatan.
4. Penurunan waktu perawatan.
5. Kebutuhan kemampuan (*skill*) yang rendah untuk memindahkan unit yang modular.
6. Penurunan kegagalan peralatan.
7. Isolasi.
8. Pemindahan dari unit yang gagal menjadi lebih mudah.

## **2.5 Klasifikasi ABC**

Klasifikasi ABC, adalah metode pembuatan grup atau penggolongan berdasarkan peringkat nilai dari nilai tertinggi hingga terendah, dan dibagi menjadi 3 kelompok besar yang disebut kelompok A, B dan C. Kelompok A biasanya sejumlah 10-20% dari total elemen dan merepresentasikan 60-70% total nilai. Kelompok B berjumlah 20% dari total item dan merepresentasikan 20% total nilai. Kelompok C biasanya berjumlah 60-70% dari total elemen dan merepresentasikan 10-20% total nilai.

Pengelompokkan dengan menggunakan prinsip ini akan membantu seseorang untuk bekerja lebih fokus pada elemen-elemen yang bernilai tinggi (grup A) dan memberikan kontrol yg secukupnya untuk elemen-elemen yg bernilai rendah (grup C). Prinsip ABC ini bisa digunakan dalam pengelolaan pembelian, inventori, penjualan, dan lain-lain. Prinsip ini juga dikenal dengan nama Analisa ABC (*ABC*

*analysis*), dan dibuat berdasarkan sebuah konsep yang dikenal dengan nama Hukum Pareto (*Pareto's Law*), dari nama ekonom Itali, Vilfredo Pareto. Hukum Pareto menyatakan bahwa sebuah grup selalu memiliki persentase terkecil (20%) yang bernilai atau memiliki dampak terbesar (80%). Contoh klasifikasi ABC sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Contoh Klasifikasi ABC

Komponen	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 1 x Faktor 2	Kontibusi	Kumulatif	Grup
A	5.4	3	16.2	14.1%	14.1%	A
B	6	4	24	20.8%	34.9%	
C	4.3	5	21.5	18.7%	53.6%	
D	7	3	21	18.2%	71.8%	
E	8	2	16	13.9%	85.7%	B
F	3.5	3	10.5	9.1%	94.8%	
G	6	1	6	5.2%	100.0%	C
JUMLAH			115.2	100.0%		

Komponen yang termasuk dalam grup A adalah A, B, C, dan D, dimana nilai kumulatif dari 4 komponen tersebut  $\leq 80\%$ . Komponen E dan F masuk ke dalam grup B karena nilai kumulatifnya  $\leq 95\%$ , sedangkan komponen G masuk ke dalam grup C karena nilainya  $\leq 100\%$ . Maka grup A disebut sebagai kritis, grup b disebut sebagai mayor, sedangkan grup c disebut sebagai minor.

## 2.6 Age Replacement

Metode penentuan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime* yang digunakan adalah *Age Replacement* (Jardine, 1993). Pada model *Age Replacement* ini terdapat dua macam siklus penggantian, yaitu :

- Siklus pertama ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian ( $t_p$ ) sesuai dengan yang telah direncanakan.
- Siklus kedua ditentukan melalui komponen yang telah mencapai kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya.

Berikut adalah variabel-variabel yang terkait pada metode *age replacement* :

- Interval waktu penggantian pencegahan ( $t_p$ )

Variabel ini adalah variabel yang akan dicari titik optimalnya. Penertian optimal disini adalah nilai waktu pengganti pencegah dengan nilai *downtime* mesin terendah untuk mendapatkan nilai optimal tersebut akan diberi nilai dalam interval tertentu pada model penyelesaiannya.

- *Downtime* yang terjadi karena penggantian kerusakan ( $T_f$ )

Variabel ini dipergunakan dari rata-rata dari waktu perbaikan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian komponen.

- *Downtime* yang terjadi karena penggantian pencegahan ( $T_p$ )

Karena selama ini tidak pernah dilakukan penggantian pencegah, maka untuk mendapatkan nilai variabel ini akan dilakukan pendekatan dengan cara menanyakan pada bagian perawatan, berapa waktu yang dibutuhkan untuk membongkar model komponen kritis dan memasangnya kembali hingga mesin dapat beroperasi kembali dengan asumsi bahwa komponen pengganti telah tersedia.

- Fungsi kepadatan probabilitas dari waktu kerusakan pada peralatan  $f(t)$

Fungsi yang menggambarkan probabilitas kerusakan yang terjadi dalam suatu rentang waktu tertentu.

- Probabilitas terjadinya siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan pencegahan  $[R(t_p)]$

Nilai variabel ini besarnya adalah sama dengan nilai fungsi keandalan mesin, dimana nilainya dapat dicari setelah distribusi data diketahui. Rumus keandalan yang digunakan sesuai dengan distribusi dari mesin tersebut.

- Nilai total *downtime* per satuan waktu  $[D(t_p)]$

Variabel ini bertindak sebagai indikator apakah nilai variabel interval penggantian pencegahan telah menghasilkan *downtime* minimal.

$$D(t_p) = \frac{\text{Total Ekspektasi Downtime per Siklus}}{\text{Ekspektasi Panjang Siklus}} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Total ekspektasi downtime per siklus} = (T_p \times R(t_p)) + (T_f \times [1 - R(t_p)]) \dots(2.9)$$

$$\text{Ekspektasi panjang siklus} = ((t_p + T_p) \times R(t_p)) + ((M(t_p) + T_f) \times [1 - R(t_p)]) \dots(2.10)$$

- Nilai *maintenability*  $[M(t_p)]$

Merupakan waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan saat  $t_p$ . Sedangkan untuk mencari  $M(t_p)$  yakni dengan :

$$M(tp) = \frac{MTTF}{F(tp)} \dots\dots\dots(2.11)$$

### 2.7 Distribusi Keandalan

Untuk mencari nilai keandalan, dilakukan *fitting* distribusi pada *software* Weibull 6. Ada beberapa distribusi yang digunakan untuk menghitung nilai keandalan.

Tabel 2. 2 Rumus Distribusi Keandalan

Distribusi	Rumus
Eksponential	Reliability Function $\rightarrow R(t) = e^{-\lambda t}$ Cumulative Density Function (CDF) $\rightarrow F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ Probability Density Function (PDF) $\rightarrow f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ Failure Rate $\rightarrow h(t) = \lambda(t) = f(t) \div R(t)$ MTTF = $1/\lambda$
Weibull	Reliability Function $\rightarrow R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]$ CDF $\rightarrow F(t) = 1 - \left(\exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]\right)$ PDF $\rightarrow f(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]$ Failure Rate $\rightarrow h(t) = \lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}$ MTTF = $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\beta} \alpha \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right)$ dimana $\lambda = \frac{1}{\alpha^\beta}$
Normal	Reliability Function $\rightarrow R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)$ Cumulative Density Function (CDF) $\rightarrow F(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)$ Probability Density Function (PDF) $\rightarrow f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$ Failure Rate $\rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \left[1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)\right]^{-1}$

Tabel 2. 1 Rumus Distribusi Keandalan (lanjutan)

Distribusi	Rumus
Lognormal	<p>Reliability Function <math>\rightarrow R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t-t_0) - \mu}{\sigma}\right)</math></p> <p>CDF <math>\rightarrow F(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t-t_0) - \mu}{\sigma}\right)</math></p> <p>PDF <math>\rightarrow f(t) = \frac{1}{(t-t_0)\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(\ln(t-t_0) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]</math></p> <p>Failure Rate <math>\rightarrow \lambda(t) = \frac{\frac{1}{(t-t_0)\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(\ln(t-t_0) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]}{1 - \Phi\left(\frac{\ln(t-t_0) - \mu}{\sigma}\right)}</math></p> <p>MTTF = <math>\exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)</math></p>

## 2.7 Critical Review

Berikut ini merupakan hasil *review* penelitian terdahulu mengenai penerapan *maintenance*:

1. Purnomo (2008) dalam skripsinya yang berjudul “*Perencanaan Maintenance Untuk Mesin Boiler Dengan Menggunakan Metode Markov Chain*” yang membahas tentang Permasalahan yang ada di perusahaan adalah perawatan mesin yang sering kali tidak teratur menunggu sampai mesin mengalami kondisi kerusakan berat hingga tidak dapat beroperasi kembali sehingga menimbulkan biaya *down time* yang diakibatkan mesin tidak beroperasi atau rusak. Untuk mengatasi masalah tersebut diusulkan 81 perencanaan perawatan dengan menggunakan Metode Markov Chain, baik sistem perawatan yang preventif maupun korektif dengan menggunakan analisa biaya terendah.
2. Apriawan (2008) dalam skripsinya yang berjudul “*Penentuan Jadwal Penggantian Optimal Komponen Scrapper Plate pada Mesin Giling*” membahas tentang permasalahan yang terjadi di Stasiun Giling biasanya diakibatkan oleh kerusakan pada bagian mesin gilingan, yaitu komponen *Scrapper Plate*. Komponen tersebut berfungsi untuk membersihkan ampas

yang melekat pada alur rol gilingan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan interval penggantian komponen *Scraper Plate* yang optimal sehingga dapat meminimalkan biaya penggantian komponen *Scraper Plate*. Metode yang digunakan untuk mencari interval penggantian yang paling optimal adalah dengan menggunakan kurva *trade off*. Solusi optimal dari penjadwalan penggantian komponen *Scraper Plate* diperoleh pada interval penggantian 99 hari.

3. Juharsyah (2009) dalam tesisnya yang berjudul “*Penerapan Model Maintenance Quality Function Deployment (MQFD) Untuk Meningkatkan Kualitas Pemeliharaan pada Industri Pertambangan*” membahas tentang alat berat memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung aktifitas di industri pertambangan. Alat berat akan beroperasi dengan baik jika memperoleh pemeliharaan yang baik. *Maintenance Quality Function Deployment (MQFD)* merupakan sebuah model yang dikembangkan oleh Pramod et. al. Untuk meningkatkan kualitas pemeliharaan melalui strategi pemeliharaan yang dihasilkan. Keputusan strategis tersebut didasarkan atas suara pelanggan, delapan pilar Total Productive Maintenance (TPM) serta parameter pemeliharaan yang terdapat dalam TPM. Suara pelanggan diperoleh dari kuesioner untuk menentukan prioritas aspek kualitas pemeliharaan. Penentuan prioritas aspek kualitas pemeliharaan dan bahasa teknis yang akan diterapkan dilakukan dengan pembuatan *House of Quality (HOQ)* yang terdapat dalam *Quality Function Deployment (QFD)*. Parameter pemeliharaan TPM dijadikan indikator untuk mengukur tingkat keberhasilan penerapan strategi yang telah dijalankan. Adanya indikator ini dimungkinkan untuk melakukan perbaikan kualitas pemeliharaan secara berkesinambungan.
4. Putra (2010) dalam jurnalnya yang berjudul “*Evaluasi Manajemen Perawatan dengan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II) Pada Mesin Danner 1.3 di PT.X*” membahas tentang permasalahan yang dihadapi adalah kerusakan yang terjadi sewaktu-waktu sebelum interval perawatan menyebabkan adanya kegiatan *overhaul* dan *replacement* atau

*corrective maintenance* yang menimbulkan adanya *downtime* dan kemacetan atau berhentinya proses produksi serta biaya perawatan yang semakin besar sehingga menimbulkan kerugian yang cukup berarti bagi perusahaan. Obyek penelitian ini adalah pada Mesin Danner 1.3 yaitu mesin yang digunakan untuk memproduksi *glass tube*. Metode penelitian yang digunakan adalah *Reliability Centered Maintenance II* dengan memadukan analisis kualitatif yang meliputi FMEA dan RCM II Decision Worksheet. Metode *Reliability Centered Maintenance II* ini digunakan untuk menentukan kegiatan dan interval perawatan berdasarkan pada RCM II *Decision Worksheet* sesuai dengan fungsi dan sistem dari mesin Danner 1.3 dan FMEA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan serta efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut. Hasil penelitian diperoleh bahwa dari 24 komponen pada Mesin Danner 1.3 didapatkan 10 komponen kritis dan komponen kritis yang memiliki kegagalan potensial.

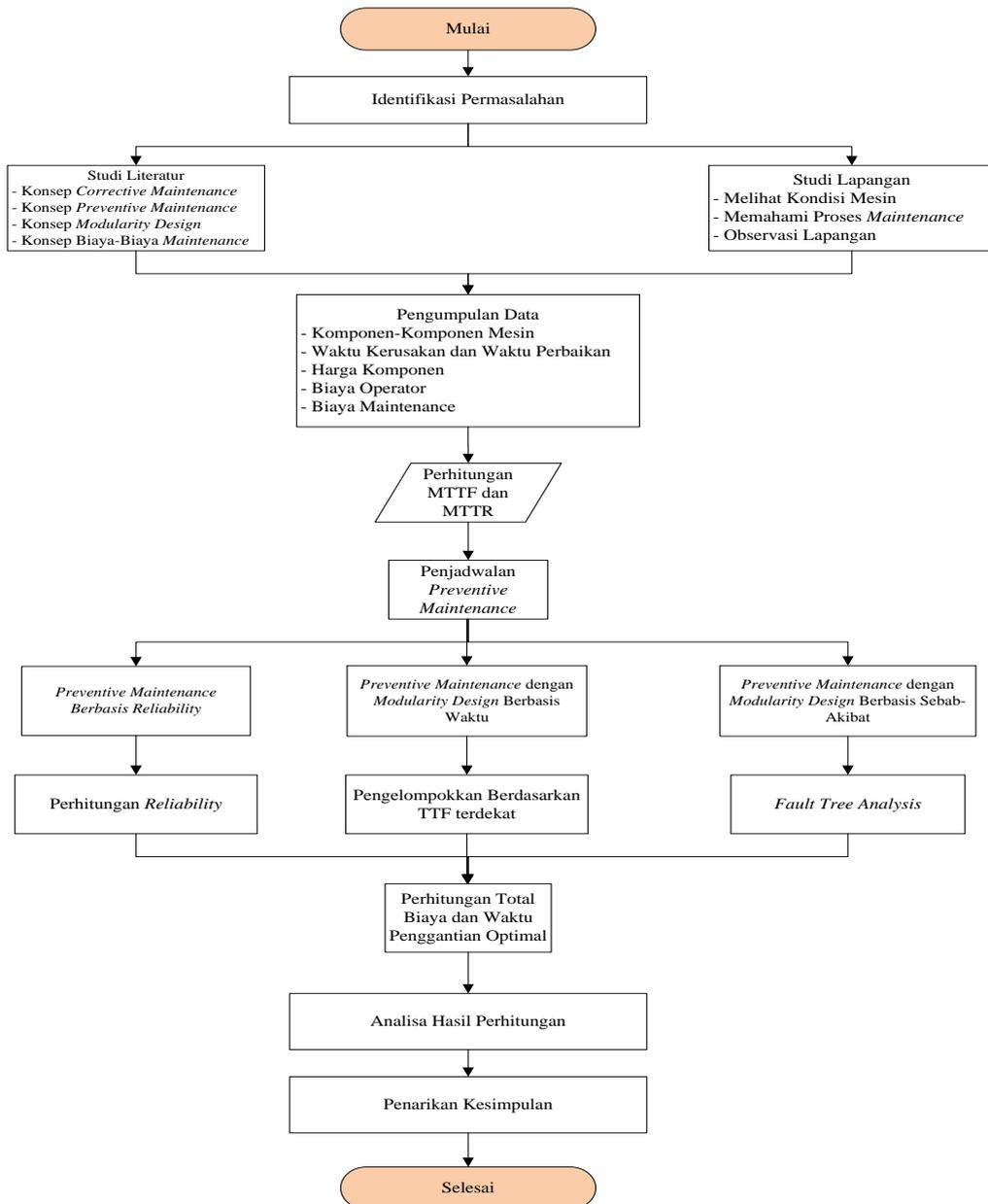
5. Syahputra (2012) dalam skripsinya yang berjudul “*Studi Sistem Preventive Maintenance Pada Turbin Uap dengan Kapasitas 700KW Putaran Turbin 1500 RPM DI PKS PT. Perkebunan Nusantara I*” membahas tentang Pabrik Kelapa Sawit PT.Perkebunan Nusantara I yang bergerak pada produksi minyak kelapa sawit (Crude Palm Oil) menggunakan turbin uap sebagai pembangkit tenaga. Dengan demikian perlu adanya suatu sistem pemeliharaan (*maintenance*) pada turbin uap tersebut, kegiatan ini berguna untuk menjaga agar proses produksi minyak kelapa sawit dapat berjalan dengan baik. Tujuannya untuk mengetahui sistem *preventif maintenance* pada turbin uap dengan kapasitas 700KW pada putaran turbin 1500 Rpm yang ditinjau dari segi biaya alternatif *preventive maintenance* yang paling murah, dan juga untuk membandingkan sistem *preventive maintenance* dengan *breakdown maintenance*. Metode penelitian adalah deskriptif dengan metode studi kasus berdasarkan survey di lapangan. Survey dilakukan untuk mengetahui bagaimana kegiatan pemeliharaan pada turbin uap yang dilakukan dan melakukan studi literatur agar penelitian yang dilakukan memiliki pedoman yang kuat.

6. Norman Atmaja (2013) dalam skripsinya yang berjudul “*Analisis Pemeliharaan Kendaraan Taktis dan Khusus di SATBRIMOBDA DIY dengan Metode Reliability Centered Maintenance*”. Proses *maintenance* yang dilakukan SATBRIMOBDA DIY untuk kendaraan bermotor saat ini hanya sebatas *corrective maintenance* yaitu penggantian komponen jika terjadi keausan atau kerusakan. Sehingga permasalahan yang timbul di SATBRIMOBDA DIY yaitu adanya *downtime* kendaraan pada waktu perbaikan yang tidak terjadwal serta tidak adanya pengelompokan komponen-komponen kritis sebagai acuan proses *maintenance* yang mana akibatnya di bagian sarana dan prasarana SATBRIMOBDA DIY tidak dapat memetakan perawatan yang optimum terhadap kerusakan mesin berdasarkan *failure mode*. *Downtime* mempunyai arti yaitu suatu periode dimana suatu komponen atau sistem yang tidak dapat memenuhi fungsi yang diharapkan. Supaya *Downtime* kendaraan pada waktu perbaikan dapat diprediksi sehingga perlu ditentukan interval serta tindakan *preventive maintenance* sesuai dengan metode failure mode maka *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan studi terhadap *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) perlu dilakukan. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan metode analisis pemeliharaan yang digunakan untuk memperbaiki sistem pemeliharaan yang berfokus untuk meningkatkan kehandalan mesin. FMEA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan serta efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Secara struktural, metode penelitian yang akan digunakan dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

Adapun penjelasan masing-masing langkah dari Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian sebagai berikut:

### **3.1 Identifikasi Permasalahan**

Berupa identifikasi terhadap permasalahan-permasalahan yang terjadi secara umum, untuk mendapatkan sebuah permasalahan yang relevan untuk dijadikan objek penelitian. Langkah ini dilakukan dengan cara mencari masalah-masalah yang relevan dalam industri yang membutuhkan penelitian lebih lanjut, baik masalah klasik maupun masalah yang aktual. Adapun pada akhirnya penelitian ini mengambil permasalahan evaluasi pemeliharaan mesin-mesin pada PT. ABC sebagai permasalahan yang akan dibahas.

### **3.2 Tinjauan Pustaka**

Permasalahan yang ditemukan pada objek amatan, dapat ditinjau dengan dua cara, yakni tinjauan pustaka secara studi literatur dan studi lapangan.

#### **3.2.1 Studi Literatur**

Berupa studi literatur terhadap buku-buku atau jurnal-jurnal yang relevan mengenai konsep pemeliharaan dan strategi pemeliharaan dengan tujuan untuk menunjang pelaksanaan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan meninjau informasi-informasi yang berkenaan dengan jalannya penelitian, baik yang terdapat di perpustakaan, maupun secara *online*.

#### **3.2.2 Studi Lapangan**

Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui keadaan riil mesin, proses pemeliharaan mesin, proses pemeliharaan mesin serta melakukan observasi kepada pihak PT. ABC.

### **3.3 Pengumpulan Data**

Berupa pencarian data yang akan digunakan sebagai input seperti data komponen-komponen mesin, waktu kerusakan, harga komponen, waktu proses per unit, biaya operator mesin dan biaya operator untuk perbaikan. Pengumpulan data pada PT. ABC merupakan data historis dari perusahaan untuk menentukan waktu penggantian optimal dan perhitungan total biaya.

### **3.4 Pengolahan Data**

Pada tahap ini, peneliti melakukan empat macam perhitungan dengan beberapa faktor yakni perhitungan *corrective maintenance* dan *preventive maintenance* eksisting, *preventive maintenance* berbasis *reliability*, *preventive maintenance* dengan *modularity design* berbasis waktu dan *preventive maintenance modularity design* berbasis sebab-akibat.

### **3.5 Perhitungan MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*)**

Pada tahap ini, peneliti melakukan perhitungan MTTR dan MTTF dengan mengolah data kerusakan dan data waktu perbaikan. Pertama, dilakukan *fitting* distribusi pada kedua data tersebut dengan menggunakan *software* Weibull 6. Distribusi yang digunakan adalah distribusi prioritas pertama hasil *running software* Weibull 6. Langkah selanjutnya adalah mengolah distribusi dan parameter yang dihasilkan oleh *software* Weibull ke dalam rumus perhitungan MTTF dan MTTR yang sesuai dengan distribusinya.

### **3.6 Penjadwalan *Maintenance***

Pada tahap ini, dilakukan penjadwalan penggantian pencegahan komponen dengan metode *age replacement*. Waktu *age replacement* ini menjadi dasar perhitungan total biaya *maintenance* yang dilakukan.

#### **3.6.1 *Preventive Maintenance* Berdasarkan *Reliability***

Dari hasil perhitungan MTTF dan MTTR, dicari *reliability* tiap komponen mesin. Kemudian melakukan penjadwalan pemeliharaan berdasarkan fungsi keandalan. Cara penjadwalan pemeliharaan, telah tertera pada bab dua. Langkah selanjutnya, menghitung total biaya pemeliharaan yang dikeluarkan pada metode ini.

#### **3.6.2 *Preventive Maintenance Modularity Design* Berbasis Waktu**

*Modularity Design* berbasis waktu ini maksudnya mengelompokkan komponen-komponen mesin menjadi beberapa modul berdasarkan homogenitas

data waktu *age replacement* terdekat ( $\leq 1$  hari). Kemudian dilakukan perhitungan total biaya menggunakan sistem modul.

### **3.6.3 Preventive Maintenance dengan Modularity Design Berbasis Sebab Akibat**

*Modularity Design* berbasis sebab akibat ini maksudnya dilakukan penggabungan-penggabungan komponen menjadi sebuah modul yang memiliki sifat hubungan dua arah dari satu komponen ke komponen lainnya. Namun sebelum melakukan penggabungan, dilakukan identifikasi resiko kegagalan mesin terlebih dahulu terhadap komponen-komponen mesin dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Tujuannya untuk mengetahui hubungan antar komponen satu dengan yang lainnya. Setelah itu barulah melakukan pengelompokkan komponen berdasarkan hubungan komponen yang sudah diidentifikasi. Kemudian dilakukan perhitungan total biaya menggunakan sistem modul.

### **3.7 Analisa Hasil Perhitungan**

Dilakukan analisa total biaya pada *corrective maintenance* dan *preventive maintenance* eksisting, *preventive maintenance* berbasis *reliability*, *preventive maintenance* berbasis waktu dan *preventive maintenance* berbasis sebab-akibat. Selain itu juga dilakukan analisa mengenai waktu penggantian optimal pada tiap-tiap metode. Dari hasil analisa tersebut, total biaya yang menunjukkan harga terendah dipilih sebagai solusi usulan *preventive maintenance* baru yang efisien dalam proses pemeliharaan.

### **3.8 Penarikan Kesimpulan**

Pengambilan kesimpulan dengan melihat total biaya terendah dan waktu penggantian yang optimal dari keempat metode pemeliharaan yang diusulkan. Hasil dari penelitian ini merupakan usulan pemeliharaan yang baru dengan menggunakan metode *modularity design*.

## **BAB 4**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai gambaran umum perusahaan dan dilakukan pengumpulan data yang kemudian dilakukan pengolahan data. Tahap pengolahan data dilakukan dengan pendekatan *Preventive Maintenance* dengan *Modular System*.

#### **4.1 Gambaran Umum Perusahaan**

PT. ABC adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang jasa layanan percetakan dan penerbitan. Perusahaan yang berdiri sejak 28 Juni 1989 ini, dulunya dikenal dengan nama PT. ABC, perusahaan penerbit Harian ABC, sekaligus melayani jasa cetak komersil untuk kebutuhan instansi pemerintah dan swasta. Dalam rangka memperbesar bisnisnya, PT. ABC mulai lebih aktif mencari order-order dari luar group. Dengan demikian harapannya sumber penghasilan PT. ABC tidak hanya tergantung dari order-order internal. Sebagai salah satu perusahaan besar yang bergerak sebagai penyedia jasa, PT. ABC Jaya memiliki Visi dan Misi yang dijadikan sebagai acuan dan pedoman dalam menjalankan segala aktivitas perusahaan. Adapun Visi dari PT. ABC Jaya, yaitu:

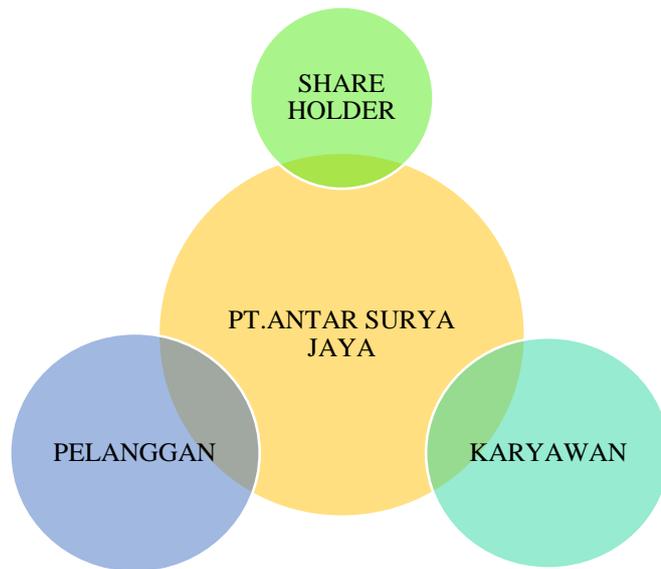
“Menjadi perusahaan percetakan terbesar dan terbaik di Jawa Timur dan Indonesia Timur”. Sedangkan Misi dari PT. ABC Jaya adalah:

“Menjalankan bisnis secara sehat yang menguntungkan bagi share holders, karyawan, dan masyarakat serta berorientasi kepada kepuasan pelanggan”

Berdasarkan Visi dan Misi tersebut, terdapat 3 nilai utama (*core values*) yang dibangun oleh PT. ABC Jaya, diantaranya:

- Dedikasi

Dedikasi maksudnya adalah pekerjaan yang dilakukan oleh PT. ABC Jaya ditujukan untuk memberikan keuntungan-keuntungan untuk *stake holder* perusahaan. Berikut Gambar 4.1 tentang *stake holder* perusahaan:



Gambar 4. 1 Stakeholder PT. ABC

- *Continous Improvement*

PT. Antar Surya Jaya berkomitmen untuk menjalankan proses bisnis secara sehat yang berarti semua bisnis proses berjalan dengan semestinya, dengan mengikuti perkembangan jaman sehingga mendorong adanya inovasi dan kreativitas dalam usaha *improvement* dalam lingkungan kerja.

- Kualitas

PT. ABC berorientasi untuk kepuasan pelanggan dan menjadi perusahaan percetakan terbesar dan terbaik Jawa Timur dan Indonesia Timur. Sehingga, untuk mencapai itu semua kualitas yang dimiliki perusahaan harus sesuai spesifikasi yang diinginkan pelanggan.

Percetakan PT. ABC berdiri sejak tahun 1986. PT. ABC bergerak di bidang layanan jasa cetak koran, tabloid, buku, majalah dan material promosi. Guna mendukung penyebaran kecepatan sirkulasi, sejak tahun 1997 PT. ABC telah menggunakan teknologi *network printing*, sehingga dengan *ABC network printing* ini, beberapa media besar dari dalam dan luar negeri mampu dicetak secara bersamaan di beberapa kota di seluruh Indonesia. Sertifikat ISO 9001 : 2000 dari SGS dan UKAS yang sudah diterima sejak tahun 2003 dan sejumlah penghargaan dari lembaga dalam dan luar negeri, merupakan komitmen kami untuk melayani

kepuasan pelanggan dan juga mampu berprestasi dalam pentas grafika nasional maupun internasional.

Pengalaman PT.ABC selama lebih dari 25 tahun dalam bidang jasa cetak dan dengan dukungan sumber daya manusia yang handal lulusan dalam dan luar negeri, serta mesin-mesin berkategori “*state of art technology*”, memastikan produk kami berkualitas tinggi namun tetap efisien.

#### **4.1.1 Gambaran Sistem Produksi Perusahaan**

Secara umum, proses produksi pada perusahaan amatan dibedakan menjadi tiga tahapan, yaitu tahap pracetak, tahap cetak, dan tahap *finishing*. Berikut ini merupakan deskripsi singkat proses pada setiap tahapan.

##### **1. Pracetak**

Pada tahapan ini order yang diterima oleh perusahaan diterima oleh bagian *composing* untuk dilakukan imposisi. Selanjutnya dilakukan proses *ripping* untuk menghasilkan komposisi warna dengan komputer dan menghasilkan plat cetak siap pakai (*computer to plate*).

##### **2. Cetak**

Dalam tahapan ini terdapat dua jenis proses cetak, yaitu cetak *webb* dan cetak *sheet*. Cetak *webb* merupakan proses cetak yang dilakukan pada kertas yang berupa gulungan, sedangkan cetak *sheet* merupakan proses cetak yang dilakukan pada kertas yang berupa lembaran. Setelah pencetakan selesai dilakukan, selanjutnya hasil cetak dilipat dan dipotong.

##### **3. *Finishing***

Setelah produk melewati tahap pelipatan dan pemotongan, ada produk yang telah menjadi barang jadi dan ada pula produk yang masih perlu penjilidan. Produk yang telah menjadi barang jadi seperti koran, langsung di *packing*. Sedangkan untuk produk yang masih perlu penjilidan dilakukan tahap jilid, dimana terdapat 2 jenis yaitu jilid kawat dan jilid lem. Kemudian dilakukan tahap potong untuk merapikan produk yang telah jadi, Terkadang setelah tahap potong dilakukan proses lanjutan, yaitu pemberian *shrink*. Setelah pemberian *shrink*, produk di *packing* sesuai dengan ketentuan *customer*.

Untuk mendukung aktivitas produksi yang dilakukan, perusahaan memiliki beberapa mesin yang diklasifikasikan ke dalam 4 kelompok berdasarkan aktivitasnya. Pertama adalah *Webb* atau cetak berupa kertas roll. Pada aktivitas ini perusahaan memiliki empat buah mesin yaitu Magnum, Solna, Goss 1, dan Goss 4. Kedua adalah *Sheet* atau cetak berupa lembaran. Pada aktivitas ini perusahaan memiliki empat buah mesin yaitu KBA, Parve, SPM, dan Kors. Aktivitas yang ketiga adalah Jilid. Pada aktivitas ini perusahaan memiliki enam buah mesin yaitu Lem IPB, Lem Pony, Lem Korea, Jahit Bravo, Jahit Rosbeck 1, dan Jahit Rosbeck 2. Aktivitas yang keempat adalah Lipat dan Potong. Pada aktivitas ini perusahaan memiliki enam buah mesin yaitu Lipat Korea, Lipat MBO, Potong satu sisi Robocut, Potong Satu Sisi JMC, Potong Tiga Sisi, dan mesin Shrink yang biasa digunakan untuk membungkus buku, komik, atau majalah dengan plastik.

#### 4.1.2 Gambaran Mesin Produksi Perusahaan

Terdapat empat kelompok mesin dalam rantai produksi PT. ABC, yakni kelompok mesin Webb, mesin Sheet, mesin Jilid dan mesin Lipat Potong. Dalam penelitian ini, pengamatan dibatasi pada proses percetakan yang menggunakan mesin Goss. Mesin Goss masuk ke dalam klasifikasi mesin Webb, dimana pada mesin Goss terdiri dari sub kelompok mesin lagi yakni mesin Folder, Goss Urbanite, Counter dan Reelstand (DFM). Berikut merupakan penjelasan masing-masing dari sub kelompok mesin Goss:

##### 1. Reelstand (DFM)

Mesin ini berfungsi sebagai pentransfer kertas webb (gulungan) menuju mesin pencetak. Reelstand terdiri dari beberapa komponen penyusun.

Tabel 4. 1 Komponen Penyusun Reelstand

No	Komponen	Keterangan
1	Roll Press	Fungsinya sebagai penghantar setelah kertas webb keluar dari Rol Cariet
2	Pompa	Fungsinya sebagai pemompa Aeroshaft
3	Rol Cariet	Rol panjang yang fungsinya sebagai penghantar kertas untuk dibawa menuju Goss Urbanite.

Tabel 4.1 Komponen Penyusun Reelstand (lanjutan)

No	Komponen	Keterangan
4	Griper	Fungsinya sebagai penahan kertas webb agar tetap kencang . Griper akan muncul bila Aeroshaft dipompa.
5	Aeroshaft	Rol panjang yang fungsinya sebagai tempat menempelnya griper-griper.

## 2. Goss Urbanite

Mesin ini berfungsi untuk mencetak, khususnya produk koran. Goss Urbanite menghasilkan cetakan dengan 4 warna yakni *cyan*, *magenta*, *yellow* dan *black*. Warna *cyan* dan *magenta* berada pada side 10 sedangkan warna *yellow* dan *black* berada pada sisi 13.

Tabel 4. 2 Komponen Penyusun Goss Urbanite

No	Komponen	Keterangan
1	Water Pail	Fungsinya sebagai tempat Roll Damp Feed mengambil air pembasuh Plate
2	Blanket	Fungsinya untuk mengalirkan gambar yang telah diberi tita dan air oleh Plate. Setelah itu dikirim ke kertas webb.
3	Plate	Fungsinya sebagai pengalir tinta dan air pembasuh menuju blanket
4	Roll Ink Form	Fungsinya sebagai pemberi tinta pada plate.
5	Roll Mikrometik	Fungsinya untuk mengambil tinta dari tempat tinta untuk dialirkan menuju Roll Ink Form
6	Roll Dampfeed	Fungsinya untuk mengalirkan air dari Water Pail, kemudian dibawa menuju Roll Brush
7	Gear Dampfeed	Fungsinya untuk memutar Dampfeed agar dapat memberikan air pembasuh kepada plate, dengan sempurna.
8	Belt Steake	Fungsinya sebagai penghubung unit Goss satu dengan uni Goss lainnya
9	Dampfeed	Fungsinya sebagai pembasah. Dampfeed harus dalam keadaan baik, kerena komponen ini mempengaruhi hasil sistem pembasahan kertas.

Tabel 4. 2 Komponen Penyusun Goss Urbanite (lanjutan)

No	Komponen	Keterangan
10	Gear Collect	Fungsinya untuk memindahkan sistem kertas yang akan dicetak <i>straight</i> menjadi <i>collect</i> . <i>Straight</i> adalah sistem cetakan untuk satu plate menghasilkan satu gambar yang sama. <i>Collect</i> adalah sistem cetakan untuk satu plate menghasilkan dua gambar yang berbeda.
11	Selang Air	Fungsinya untuk mengalirkan air dari Baldwin menuju Water Pail
12	Roll Brush	Fungsinya untuk mengalirkan air dari Roll Dampfeed menuju Plate
13	Baldwin	Berfungsi untuk tempat air yang dicampur dengan fountain, kemudian dialirkan ke Water Pail . Baldwin memiliki sensor yang berguna untuk pendeteksi keadaan air pada Water Pail penuh atau tidak.
14	Ink Drum	Fungsinya sebagai tempat tinta yang kemudian dialirkan oleh Roll Ink Form.
15	Roll Dampform	Fungsinya untuk mengalirkan cetakan di Plate
16	Belt Spiral Brush	Fungsinya sebagai pengikat untuk menggabungkan antar Roll Brush dengan Motor DC

### 3. Folder

Mesin ini berfungsi untuk melipat dan memotong kertas hasil cetakan dari mesin Goss Urbanite.

Tabel 4. 3 Komponen Penyusun Folder

No	Komponen	Keterangan
1	Cutting Rubber	Fungsinya memotong kertas webb menjadi ukuran kertas koran
2	Jaw Folder	Sebagai penjepit koran agar hasil pemotongan koran terlihat rapi
3	Belt Folder	Fungsinya untuk menghubungkan kertas yang telah dipotong dan dilipat, dibawa ke mesin Counter
4	Nipping	Fungsinya sebagai pembatas kertas saat akan dilipat pada proses lipatan kedua di Blade Folder
5	Blade Folder	Fungsinya untuk melipat kertas yang telah dilipat dan dipotong

Tabel 4. 3 Komponen Penyusun Folder (lanjutan)

No	Komponen	Keterangan
6	Baut Nipping	Fungsinya sebagai pengikat Nipping dan As Nipping

#### 4. Mesin Counter

Mesin ini berfungsi sebagai penghitung jumlah koran hasil cetakan mesin Goss Urbanite.

Tabel 4. 4 Komponen Penyusun Counter

No.	Komponen	Keterangan
1	Sensor Counter	Fungsinya untuk menghitung koran hasil cetakan. Sensor bekerja ketika koran berada di atas konveyor
2	Pengait Counter	Fungsinya sebagai pengait yang menyentuh koran.
3	Pengatur Pengait Counter	Fungsinya untuk <i>setting</i> Pengait Counter. Ketika pengait menyentuh koran, maka Sensor Counter akan bekerja.
4	Jogger	Fungsinya untuk meratakan hasil cetakan yang telah dilipat dan dipotong pada mesin Folder.

## 4.2 Penentuan Komponen Kritis Mesin Goss

Pada tahap ini diidentifikasi komponen mana saja yang termasuk ke dalam kategori kritis, mayor dan minor. Berikut merupakan hasil klasifikasi komponen mesin Goss. Pengklasifikasian komponen didasarkan atas kuantitas komponen dan harga dari masing-masing komponen. Harga komponen yang tertera bukan harga komponen sebenarnya. Besarnya persentase menunjukkan klasifikasi dari komponen.

Tabel 4. 5 Komponen Kritis Mesin Goss

Subpart	Qty	Price*	Contribution
Pompa	65	40	12.908%
Ink Drum	18	5	0.447%
Gear Collect	17	30	2.532%
Baldwin	17	44	3.713%
Blanket	14	155	10.773%
Carried Baut	13	30	1.936%

Tabel 4. 5 Komponen Kritis Mesin Goss (lanjutan)

<b>Subpart</b>	<b>Qty</b>	<b>Price*</b>	<b>Contribution</b>
Plate	11	20	1.092%
Griper	11	83	4.533%
Blade Folder	10	95	4.716%
Jaw Folder	8	132	5.243%
Air Pembasuh	8	50	1.986%
Roll Damfeed	7	300	10.425%
Roll Micromatic	7	40	1.390%
Waterpail	6	86	2.562%
Roll Press	6	90	2.681%
Baut Gear Dampfeed	6	88	2.621%
Belt Folder	5	120	2.979%
Belt	5	400	9.929%
Roll Brush	4	94	1.867%
Cutting Rubber	4	100	1.986%
Aero Shaft	4	125	2.482%
Selang Air	3	150	2.234%
Roll Cariet	2	200	1.986%
Jogger	2	500	4.965%
Dampfeed	2	120	1.191%
Belt Spiral Brush	1	51	0.253%
Roll Ink Form	1	50	0.248%
Baut Nipping	1	65	0.323%

\* Keterangan 1: *Price* sudah dikalian dengan faktor tertentu

Berdasarkan tabel 4.5 diketahui bahwa komponen yang masuk dalam kategori kritis sebanyak 14 buah, kategori mayor sebanyak 7 buah, dan kategori minor sebanyak 7 buah. Pada penelitian ini, hanya berfokus kepada komponen kritis dan mayor.

Tabel 4. 6 Klasifikasi Komponen Mesin Goss

<b>Subpart</b>	<b>Komponen Kritis</b>	<b>Komponen Mayor</b>	<b>Komponen Minor</b>
Pompa	12.908%		
Ink Drum			0.447%
Gear Collect	2.532%		
Baldwin	3.713%		
Blanket	10.773%		
Carried Baut		1.936%	

Tabel 4. 6 Klasifikasi Komponen Mesin Goss (lanjutan)

Subpart	Komponen Kritis	Komponen Mayor	Komponen Minor
Plate			1.092%
Griper	4.533%		
Blade Folder	4.716%		
Jaw Folder	5.243%		
Air Pembasuh		1.986%	
Roll Damfeed	10.425%		
Roll Micromatic			1.390%
Waterpail	2.562%		
Roll Press	2.681%		
Baut Gear Dampfeed	2.621%		
Belt Folder	2.979%		
Belt	9.929%		
Roll Brush		1.867%	
Cutting Rubber		1.986%	
Aero Shaft		2.482%	
Selang Air		2.234%	
Roll Cariet		1.986%	
Jogger	4.965%		
Dampfeed			1.191%
Belt Spiral Brush			0.253%
Roll Ink Form			0.248%
Baut Nipping			0.323%
	14	7	7

Dasar penentuan komponen kritis yakni, jika nilai kumulatif kontribusi dari komponen yang telah diurutkan (berdasarkan nilai tertinggi) nilainya  $\leq 80\%$ , maka komponen tersebut masuk kedalam kategori kritis. Sedangkan komponen akan masuk dalam kategori mayor, apabila nilai kumulatif komponen tersebut  $\leq 95\%$ , sedangkan sisanya masuk ke dalam kategori komponen minor. Hal ini sesuai dengan teori klasifikasi ABC.

#### 4.3 Perhitungan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*), MTTR (*Mean Time To Repair*)

Perhitungan nilai MTTF dan MTTR dilakukan dengan melakukan *fitting* distribusi pada data kerusakan dan data waktu perbaikan. Peneliti menggunakan

*software* Weibull 6 untuk menentukan distribusi data. Distribusi yang digunakan adalah prioritas pertama pada hasil *running software* Weibull 6. Data yang digunakan adalah data periode Januari 2012 - Desember 2014. Data tidak dapat dilampirkan dalam laporan, karena bersifat rahasia. Dari hasil *running* data kerusakan didapatkan masing-masing distribusi prioritas 1 *software* Weibull.

Tabel 4. 7 Distribusi Data Kerusakan Komponen Mesin Goss

No	Komponen	Distribusi	$\mu$	Stdev	B	$\eta$	$\gamma$
1	Pompa	Weibull (2)			0.9959	32.58919	
2	Gear Collect	Weibull (2)			1.4318	133.8824	
3	Baldwin	Weibull (2)			1.3726	141.0711	
4	Blanket	Weibull (3)			1.9217	205.2469	-40.68
5	Carried Baut	Weibull (3)			0.8081	147.0211	
6	Griper	Weibull (3)			1.0165	196.7238	
7	Blade Folder	Weibull (3)			0.8647	221.1153	-39.979
8	Jaw Folder	Weibull (2)			0.7224	198.4332	
9	Air Pembasuh	weibull (2)			1.389	273.069	
10	Roll Damfeed	Weibull (2)			1.1805	286.7238	
11	Waterpail	Weibull (3)			0.7395	269.5024	-12.9666
12	Roll Press	Weibull (2)			0.7291	179.7393	
13	Baut Gear Dampfeed	Weibull (2)			0.6841	245.919	
14	Belt Folder	Weibull (2)			1.1714	394.0678	
15	Belt	Weibull (2)			1.2903	426.0675	
16	Roll Brush	Weibull (3)			0.6834	344.3107	50.046
17	Cutting Rubber	Lognormal	5.4606	1.2782			
18	Aero Shaft	Weibull (2)			0.8311	489.3432	
19	Selang Air	Weibull (3)			0.9548	578.4995	2.4485
20	Roll Cariet	Lognormal	5.6167	1.621			
21	Jogger	Weibull (2)			0.50304	747.1995	

Data pada tabel 4.5 akan digunakan untuk menghitung MTTF. Penggunaan rumus MTTF disesuaikan dengan distribusi pada tabel 4.7. Selain data kerusakan, data waktu perbaikan komponen juga dilakukan *fitting*. Distribusi yang digunakan adalah prioritas satu hasil *running software* Weibull 6.

Tabel 4. 8 Distribusi Data Waktu Perbaikan Komponen Mesin Goss

No	Komponen	Distribusi	$\mu$	stdev	B	$\eta$	$\Gamma$
1	Pompa	Weibull (3)			0.701	0.0758	0.146
2	Gear Collect	Weibull (3)			0.496	0.115	0.113

Tabel 4. 8 Distribusi Data Waktu Perbaikan Komponen Mesin Goss (lanjutan)

No	Komponen	Distribusi	$\mu$	stdev	B	$\eta$	$\Gamma$
3	Baldwin	Weibull (3)			0.767	0.408	0.025
4	Blanket	Weibull (3)			0.889	0.227	0.108
5	Carried Baut	Lognormal	-1.657	0.5004			
6	Griper	Weibull (3)			0.6954	0.1059	0.02
7	Blade Folder	Weibull (3)			0.529	1.157	0.158
8	Jaw Folder	Lognormal	-0.286	1.4881			
9	Air Pembasah	Weibull (3)			1.365	0.167	0.017
10	Roll Damfeed	Weibull (3)			1.0855	0.2096	0.182
11	Waterpail	Weibull (3)			1.384	0.2	0.103
12	Roll Press	Weibull (3)			6.1569	0.2939	-0.128
13	Baut Gear Dampfeed	Weibull (3)			7.8613	1.7405	-1.261
14	Belt Folder	Weibull (3)			0.345	0.098	0.247
15	Belt	Weibull (3)			0.766	0.407	0.052
16	Roll Brush	Weibull (2)			1.396	0.573	
17	Cutting Rubber	Weibull (3)			0.442	0.2867	0.1779
18	Aero Shaft	Weibull (2)			1.7815	0.2492	
19	Selang Air	Weibull (3)			4.938	0.99	-0.585
20	Roll Cariet	Weibull (3)			0.5277	0.0786	0.147
21	Jogger	Weibull (2)			1.971	0.5368	

Dari nilai parameter distribusi tersebut dilakukan perhitungan nilai MTTF (*Mean Time To Failure*) serta perhitungan MTTR (*Mean Time To Repair*). Perhitungan ini dilakukan dengan tools *Quick Calculation Pad* pada software Weibull 6. Sehingga di dapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Nilai MTTR dan MTTF Komponen Mesin Goss

Komponen	MTTF	MTTR	Komponen	MTTF	MTTR
Blanket	141	0.35	Blade Folder	198	2.25
Cutting Rubber	532	0.92	Roll Cariet	1023	0.29
Jogger	1476	0.48	Gear Collect	122	0.35
Jaw Folder	244	2.27	Baldwin	129	0.5
Baut Gear Dampfeed	318	0.38	Blanket	141	0.35
Roll Brush	496	0.52	Air Pembasuh	249	0.17
Griper	190	0.16	Roll Damfeed	271	0.39
Belt	394	0.53	Jaw Folder	244	2.27
Aero Shaft	540	0.22	Belt Folder	373	0.76
Pompa	33	0.24	Selang Air	593	0.32

Tabel 4. 9 Nilai MTTR dan MTTF Komponen Mesin Goss (lanjutan)

Komponen	MTTF	MTTR	Komponen	MTTF	MTTR
Roll Press	313	0.14	Waterpail	312	0.29
Carried Baut	150	0.21			

#### 4.4 Perhitungan Penjadwalan *Preventive Maintenance*

Setelah mendapatkan nilai MTTF dan MTTR, maka hal selanjutnya adalah membuat penjadwalan pemeliharaan. Penjadwalan yang dibuat adalah penjadwalan penggantian komponen yang optimal. Hal ini dilakukan dengan metode *Age Replacement*, dimana metode ini bertujuan untuk meminimasi *downtime* yang terjadi. Pada kondisi eksisting mesin sering kali mengalami *downtime*, sehingga menyebabkan biaya pemeliharaan tinggi. Banyak sekali biaya yang terjadi ketika mesin mengalami *downtime*, seperti tidak dapat berproduksi, sehingga menyebabkan biaya kehilangan produksi per jam. Selain itu biaya operator yang menganggur akibat mesin *downtime*, biaya penggantian komponen akibat komponen mesin rusak, dan biaya kegiatan *preventive maintenance* pada mesin. Diharapkan dengan metode *Age Replacement* ini dapat menjadi solusi penurunan *downtime* yang terjadi serta menjadi solusi penurunan biaya pemeliharaan bagi perusahaan. Biaya ini nantinya dibandingkan sebagai bahan pertimbangan penetapan metode pemeliharaan yang akan digunakan PT. ABC.

Hal pertama yang dilakukan adalah mencari nilai *downtime* yang terkecil pada saat tp. Diketahui pada Tabel 4.9 nilai MTTF dan MTTR pada komponen Gear Collect sebesar 122 dan 0.35. Berdasarkan Tabel 4.7 Komponen Gear Collect berdistribusi Weibull (2) dengan parameter  $\beta = 1.4318$  dan  $\alpha = 133.882$ . Berikut adalah contoh perhitungan *Age Replacement* pada komponen Gear Collect.

Tabel 4. 10 Contoh Perhitungan *Age Replacement* Komponen Gear Collect

Gear collect				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.9759	0.0241	5068.514	0.002649321
20	0.9364	0.0636	1917.702	0.002480903
30	0.8892	0.1108	1100.818	0.002348596
40	0.8375	0.1625	750.7746	0.002245748
50	0.7834	0.2166	563.3011	0.002166901

Tabel 4. 10 Perhitungan Age Replacement Komponen Gear Collect (lanjutan)

Gear Collect				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
60	0.7284	0.2716	449.2013	0.002107743
70	0.6736	0.3264	373.7445	0.002064895
80	0.6198	0.3802	320.855	0.002035697
90	0.5676	0.4324	282.1618	0.002018034
100	0.5176	0.4824	252.915	0.002010195
108	0.4794	0.5206	234.3457	0.002010046
110	0.4701	0.5299	230.2365	0.002010777
120	0.4253	0.5747	212.2894	0.002018600
130	0.3834	0.6166	197.8508	0.002032655
140	0.3444	0.6556	186.0776	0.002052060
150	0.3083	0.6917	176.3712	0.002076023

- $R(108) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] = \exp\left[-\left(\frac{108}{133.882}\right)^{1.4318}\right] = 0.4794$
- $F(108) = 1 - R(tp) = 1 - 0.4794 = 0.5206$
- $M(108) = \left(\frac{MTTF}{F(tp)}\right) = \left(\frac{122}{0.5206}\right) = 234.3457$
- $D(t_p) = \frac{(T_p \times R(tp)) + (T_f \times [1 - R(tp)])}{((tp + T_p) \times R(tp)) + ((M(tp) + T_f) \times [1 - R(tp)])}$
- $D(108) = \frac{(0.35 \times 0.4794) + (0.35 \times 0.5206)}{((108 + 0.35) \times 0.4794) + ((234.3457 + 0.35) \times 0.5206)} = 0.002010046$

Nilai *downtime* paling rendah terjadi pada saat  $tp = 108$ , oleh karena itu *age replacement* dari komponen Gear Collect adalah 108. Berikut adalah rekap hasil perhitungan *age replacement* masing-masing komponen.

Tabel 4. 11 Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

Komponen	T	Komponen	T
Pompa	33	Belt	351
Gear collect	108	Roll press	396
Baldwin	113	Waterpail	410
Blanket	128	Baut Gear Damfeed	428
Carrier baut	193	Cutting Rubber	566
Griper	194	Roll Brush	578
Air Pembasuh	214	Selang Air	608
Roll damfeed	249	Aeroshaft	1081
Blade folder	267	Roll carrier	1687

Tabel 4.11 Waktu Penggantian Pencegahan Komponen (lanjutan)

Komponen	T	Komponen	T
Jaw folder	311	Jogger	2929
Belt Folder	344		

#### 4.4.1 Perhitungan *Preventive Maintenance* Berdasarkan *Reliability*

Setelah mengetahui waktu penggantian pencegahan untuk masing-masing komponen, maka dilakukan perhitungan biaya pemeliharaan yang diakibatkan dari penjadwalan penggantian pencegahan komponen tersebut. Berikut adalah perincian perhitungan biaya pemeliharaannya.

Untuk mencari biaya kehilangan produksi dilakukan dengan perkalian antara biaya kehilangan produksi per jam dengan waktu perbaikan komponen. Dalam satu jam mesin Goss menghasilkan 20.000 lembar koran, harga jual koran tersebut adalah Rp. 1000, dalam satu koran terdapat 6 lembar. Maka dapat diketahui bahwa biaya kehilangan produksi sebesar (20000 lembar / 6 lembar = 3333 lembar) dikalikan dengan Rp. 1000, maka hasilnya Rp.3.333. Kemudian nilai tersebut dikalikan dengan waktu perbaikan, maka di dapatkan hasil biaya kehilangan produksi.

Sedangkan untuk mencari biaya operator menganggur yaitu dengan cara mengalikan biaya tenaga kerja per jam dengan waktu perbaikan. Dalam kasus ini, biaya tenaga kerja yang digunakan adalah Rp. 2.500.000 per bulan. Maka biaya tenaga kerja per jam adalah Rp.2.500.000 / 196 jam = Rp.12,755. Jumlah jam kerja di PT. ABC adalah 196 jam, di dapatkan dari (7 jam kerja \* 7 hari \* 4 minggu).

Tabel 4. 12 Biaya *Preventive Maintenance* Komponen

Komponen	Biaya*	Komponen	Biaya*
Pompa	Rp 20,000.00	Roll Press	Rp 45,000.00
Gear Collect	Rp 15,000.00	Baut Gear Dampfeed	Rp 44,000.00
Baldwin	Rp 22,000.00	Belt Folder	Rp 60,000.00
Blanket	Rp 77,500.00	Belt	Rp 200,000.00
Carried Baut	Rp 15,000.00	Roll Brush	Rp 47,000.00
Griper	Rp 41,500.00	Cutting Rubber	Rp 50,000.00
Blade Folder	Rp 47,500.00	Aero Shaft	Rp 62,500.00
Jaw Folder	Rp 66,000.00	Selang Air	Rp 75,000.00
Air Pembasuh	Rp 25,000.00	Roll Cariet	Rp 100,000.00

Tabel 4. 12 Biaya *Preventive Maintenance* Komponen (lanjutan)

Komponen	Biaya*	Komponen	Biaya*
Roll Damfeed	Rp 150,000.00	Jogger	Rp 250,000.00
Waterpail	Rp 43,000.00		

\* Keterangan 2: Biaya sudah dikalikan dengan faktor tertentu

Sedangkan rumus untuk mencari biaya pemeliharaan adalah sebagai berikut :

$$C_p = [(A+B) \times C] + D + E \dots \dots \dots (4.1)$$

Keterangan :

$C_p$  = Biaya satu siklus preventif

A = Biaya operator menganggur/jam

B = Biaya kehilangan produksi/jam

C = Waktu penggantian komponen

D = Harga komponen/unit (Rp)

E = Biaya *preventive maintenance*

Dari analisa biaya pemeliharaan dan waktu *preventive maintenance* maka dapat ditentukan total biaya *preventive maintenance* yang dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_c = \frac{C_p \times R(T)}{T} \dots \dots \dots (4.2)$$

Dimana :

$T_c$ /siklus = *Total cost* (jam)

$C_p$  = *Biaya preventive replacement*

$R(tp)$  = Nilai keandalan

T = Waktu penggantian pencegahan

Contoh untuk komponen Aeroshaft memiliki harga komponen seperti yang tertera pada Tabel 4.5 yakni Rp. 1,250,000 dan biaya *preventive maintenance* untuk komponen Aeroshaft sebesar Rp. 62,500 seperti pada Tabel 4.12. Sedangkan waktu perbaikan dari komponen Aeroshaft adalah 0.22 jam. Waktu kerusakan yang digunakan adalah hasil MTTR yang terdapat pada Tabel 4.9. Maka nilai  $C_p$  dan  $T_c$  di dapatkan dari:

$$\begin{aligned}
C_p &= (( \text{Biaya Kehilangan Produksi} + \text{Biaya Operator Mengganggu} ) * \\
&\text{Waktu Perbaikan} ) + \text{Biaya Penggantian Komponen} + \text{Biaya} \\
&\text{Preventive Maintenance Komponen} \\
&= (( \text{Rp. 3,333} + \text{Rp. 12,755} ) * 0.22) + (\text{Rp. 1,250,000}) + (\text{Rp.} \\
&\quad \text{62,500}) \\
&= \text{Rp. 2,048,639.46}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_c \text{ per siklus} &= (( C_p * R(T) ) / T \\
&= (\text{Rp. 2,048,639.46} * 1) / 1081 \\
&= \text{Rp. 1,895.13}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_c \text{ per tahun} &= ( 8760 \text{ jam} / t_p ) * T_c \text{ per siklus} \\
&= ( 8760 \text{ jam} / 1081 ) * \text{Rp. 1,895.13} \\
&= \text{Rp. 15,357.42}
\end{aligned}$$

Nilai R(T) pada saat terjadi penggantian komponen adalah 1. Sedangkan T adalah waktu dimana komponen mengalami penggantian.

Tabel 4. 13 Rekap Nilai Biaya *Preventive* Berbasis *Reliability*

Komponen	Cp	R(T)	T	Tc per siklus	Tc per tahun
Aeroshaft	Rp 2,048,639.46	1	1081	Rp 1,895.13	Rp 15,357.42
Pompa	Rp 1,223,061.22	1	33	Rp 37,062.46	Rp 9,838,398.83
Carrier baut	Rp 1,017,678.57	1	193	Rp 5,272.95	Rp 239,331.64
Griper	Rp 1,406,874.15	1	194	Rp 7,251.93	Rp 327,458.22
Roll press	Rp 1,413,452.38	1	396	Rp 3,569.32	Rp 78,957.78
Roll carrier	Rp 3,070,365.65	1	1687	Rp 1,820.02	Rp 9,450.70
Gear collect	Rp 1,486,130.95	1	108	Rp 13,760.47	Rp 1,116,127.16
Baldwin	Rp 2,135,044.22	1	113	Rp 18,894.20	Rp 1,464,718.25
Blanket	Rp 2,798,630.95	1	128	Rp 21,864.30	Rp 1,496,338.33
Air Pembasuh	Rp 1,093,835.03	1	214	Rp 5,111.38	Rp 209,232.14
Roll damfeed	Rp 4,454,974.49	1	249	Rp 17,891.46	Rp 629,434.63
Belt	Rp 5,973,426.87	1	351	Rp 17,018.31	Rp 424,730.48
Waterpail	Rp 1,873,365.65	1	410	Rp 4,569.18	Rp 97,624.53
Baut Gear Damfeed	Rp 2,195,513.60	1	428	Rp 5,129.70	Rp 104,991.15
Roll brush	Rp 2,726,965.99	1	578	Rp 4,717.93	Rp 71,503.64
Selang Air	Rp 2,645,748.30	1	608	Rp 4,351.56	Rp 62,696.81
Blade folder	Rp 2,670,544.22	1	267	Rp 10,002.04	Rp 328,156.76
Jaw folder	Rp 2,557,130.95	1	311	Rp 8,222.29	Rp 231,598.80

Tabel 4. 13 Rekap Nilai Biaya *Preventive* Berbasis *Reliability* (lanjutan)

Komponen	Cp	R(T)	T	Tc per siklus	Tc per tahun
Belt Folder	Rp 1,828,835.03	1	344	Rp 5,316.38	Rp 135,382.26
Cutting rubber	Rp 2,354,974.49	1	566	Rp 4,160.73	Rp 64,395.79
Jogger	Rp 6,856,122.45	1	2929	Rp 2,340.77	Rp 7,000.74
				JUMLAH	Rp 16,952,886.03

Dari hasil penjadwalan, maka dapat dilihat bahwa untuk melakukan pemeliharaan dengan berbasis *reliability*, maka biaya pemeliharaannya sebesar Rp. 16,952,886.03 untuk satu tahun.

#### 4.4.2 Perhitungan *Preventive Maintenance Modular Design*

Metode *maintenance modular design* yang akan diterapkan pada PT. ABC adalah *preventive maintenance* berbasis waktu dengan waktu *age replacement* terdekat ( $\leq 1$  hari) dan *preventive maintenance* berbasis sebab-akibat. Masing-masing perhitungan biaya pemeliharaan akan dibahas dalam sub bab ini.

##### 4.4.2.1 Perhitungan *Preventive Maintenance Modular Design* Berbasis Waktu

*Modular Design* menjadi pilihan metode yang sekiranya dapat membantu mengurangi biaya *maintenance* dengan mengelompokkan komponen mesin Goss ke dalam bentuk beberapa modul. Pengelompokan pertama didasarkan pada waktu *age replacement* yang terdekat antar komponen. Kategori dekat yang dimaksud yakni  $\leq 1$  hari. Maka dengan melihat waktu penggantian pencegahan komponen dapat dilihat bahwa komponen yang memiliki waktu *age replacement* terdekat dapat dikelompokkan sebagai berikut.

Tabel 4. 14 Waktu Pencegahan Penggantian Terdekat  $\leq 1$  Hari

Komponen	T
Gear collect	108
Baldwin	113
Carrier baut	193
Griper	194
Air Pembasuh	214
Belt Folder	344
Belt	351

Tabel 4. 14 Waktu Pencegahan Penggantian Terdekat <= 1 Hari (lanjutan)

Komponen	T
Waterpail	410
Baut Gear Damfeed	428
Cutting Rubber	566
Roll Brush	578

Dari Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa waktu *age replacement* dari komponen Waterpail dan Baut Gear Damfeed dekat yakni <=1 hari. Begitu pula komponen lain yang waktu *age replacement* <=1 hari, seperti Carrier Baut, Griper dan Air Pembasah, maka ketiga komponen tersebut dijadikan satu modul.

Tabel 4. 15 Pengelompokan Komponen Berdasarkan Waktu *Age Replacement* Terdekat

Modul	Komponen
Modul 1	Gear Collect + Baldwin
Modul 2	Carrier Baut + Griper + Air Pembasah
Modul 3	Belt Folder + Belt
Modul 4	Waterpail + Baut Gear Dampfeed
Modul 5	Cutting Rubber + Roll Brush

Contoh untuk komponen Gear Collect memiliki harga komponen seperti yang tertera pada Tabel 4.5 yakni Rp. 300,000 dan Baldwin memiliki harga komponen Rp. 440,000 dan biaya *preventive maintenancenya* adalah Rp. 15,000 dan Rp. 22,000. Sedangkan waktu perbaikan dari komponen Gear Collect dan Baldwin adalah 0.35 jam dan 0.5. Waktu kerusakan yang di gunakan adalah hasil MTTR yang terdapat pada Tabel 4.9. Maka nilai Cp dan Tc di dapatkan dari :

$$\begin{aligned}
 C_p &= (( \text{Biaya Kehilangan Produksi} + \text{Biaya Operator Mengganggu} ) * \\
 &\quad \text{Waktu Perbaikan} ) + \text{Biaya Penggantian Komponen} + \text{Biaya} \\
 &\quad \text{Preventive Maintenance Komponen} \\
 &= (( \text{Rp. 3,333} + \text{Rp. 12,755} ) * (0.35+ 0.5)) + ((\text{Rp. 300,000} + \text{Rp.} \\
 &\quad \text{440,000}) \\
 &= \text{Rp. 3,181,175.17} \\
 T_c \text{ per siklus} &= (( C_p * R(T) ) / T \\
 &= (\text{Rp. 3,181,175.17} * 1) / ((108+113) / 2) \\
 &= \text{Rp. 28,788.92}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Tc \text{ per tahun} &= ( 8760 \text{ jam} / T ) * Tc \text{ per siklus} \\
&= ( 8760 / 110.5 ) * \text{Rp. } 28,788.92 \\
&= \text{Rp. } 2,282,270.59
\end{aligned}$$

Nilai R(T) pada saat terjadi penggantian komponen adalah 1. Sedangkan T adalah waktu dimana komponen mengalami penggantian. Nilai T yang digunakan adalah nilai rata-rata tp pada komponen yang ada dalam satu modul.

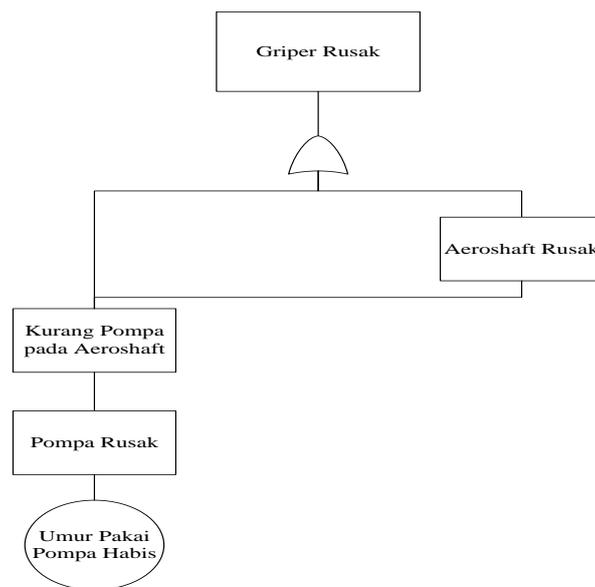
Tabel 4. 16 Rekapitulasi Biaya *Preventive Maintenance Modularity Design* Berbasis Waktu

Komponen	Cp	R(T)	T	Tc per siklus	Tc per tahun	
Gear collect	Rp	3,181,175.17	1	108	Rp 28,788.92	Rp 2,282,270.59
Baldwin			1	113		
Carrier baut			1	193		
Griper	Rp	3,518,387.75	1	190	Rp 17,680.34	Rp 778,290.36
Air Pembasuh			1	214		
Belt	Rp	7,802,261.90	1	351	Rp 22,452.55	Rp 565,998.15
Belt Folder			1	344		
Waterpail			1	410		
Baut Gear Damfeed	Rp	4,068,879.25	1	428	Rp 9,710.93	Rp 203,025.63
Roll brush	Rp	5,081,940.47	1	578	Rp 8,884.51	Rp 136,063.50
Cutting rubber			1	566		
Aeroshaft	Rp	2,048,639.46	1	1081	Rp 1,895.13	Rp 15,357.42
Blade folder	Rp	2,670,544.22	1	267	Rp 10,002.04	Rp 328,156.76
Blanket	Rp	2,798,630.95	1	128	Rp 21,864.30	Rp 1,496,338.33
Roll press	Rp	1,413,452.38	1	396	Rp 3,569.32	Rp 78,957.78
Jaw folder	Rp	2,557,130.95	1	311	Rp 8,222.29	Rp 231,598.80
Pompa	Rp	1,223,061.22	1	33	Rp 37,062.46	Rp 9,838,398.83
Roll carrier	Rp	3,070,365.65	1	1687	Rp 1,820.02	Rp 9,450.70
Roll damfeed	Rp	4,454,974.49	1	249	Rp 17,891.46	Rp 629,434.63
Selang Air	Rp	2,645,748.30	1	608	Rp 4,351.56	Rp 62,696.81
Jogger	Rp	6,856,122.45	1	2929	Rp 2,340.77	Rp 7,000.74
JUMLAH					Rp	16,663,039.02

Dari hasil penjadwalan, maka dapat dilihat bahwa untuk melakukan pemeliharaan *preventive maintenance* dengan *modularity design* berbasis waktu, maka biaya pemeliharaannya sebesar Rp. 16,663,039.02 per tahun.

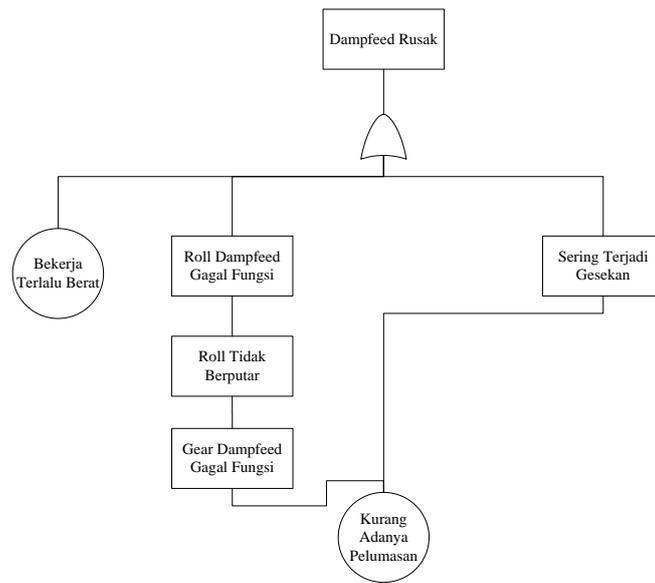
#### 4.4.2.2 Perhitungan *Preventive Maintenance Modular Design* Berbasis Sebab-Akibat

Selain berbasis waktu, pemeliharaan dengan modularity design dapat juga dilakukan dengan basis sebab-akibat. Penggabungan komponen didasarkan pada hubungan yang bersifat dua arah pada komponen. Jika penggabungan komponen dilakukan tanpa memperhatikan hubungan dua arah, akan menyebabkan terjadinya kenaikan biaya pemeliharaan. Untuk menunjukkan adanya hubungan dua antara komponen, dilakukan analisis menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA), dimana FTA berfungsi sebagai untuk mengidentifikasi terjadinya suatu kegagalan dari berbagai cara, baik dari faktor fisik maupun manusia, yang dapat mengarah pada penyebab dari terjadinya kegagalan atau kesalahan tersebut. Contoh hubungan dua arah dari komponen mesin Goss yakni sebagai berikut:



Gambar 4. 2 *Fault Tree Analysis* Kerusakan Griper

Dari FTA kerusakan Griper dapat dilihat bahwa hal mendasar yang memperngaruhi kerusakan dari griper adalah umur pakai pompa yang habis. Hal itu menyebabkan terjadinya *breakdown*. Jika griper rusak, maka pompa juga rusak, begitu juga sebaliknya.



Gambar 4. 3 *Fault Tree Analysis* Kerusakan Dampfeed

Dari FTA kerusakan Dampfeed dapat dilihat bahwa hal mendasar yang mempengaruhi kerusakan dari dampfeed adalah kurang adanya pelumasan pada gear dampfeed. Hal itu menyebabkan terjadinya *breakdown*. Jika dampfeed rusak, maka gear dampfeed juga rusak, begitu juga sebaliknya. Berikut adalah modul yang terbentuk dari hubungan sebab akibat antar komponen mesin Goss.

Tabel 4. 17 Pengelompokan Komponen Berdasarkan Hubungan Sebab Akibat

Modul	Komponen
<b>Modul 1</b>	Griper + Aeroshaft + Pompa
<b>Modul 2</b>	Roll Dampfeed + Gear Dampfeed

Contoh untuk komponen Aeroshaft memiliki harga komponen seperti yang tertera pada Tabel 4.5 yakni Rp. 1.250.000, Pompa memiliki harga komponen Rp. 400.000, dan Griper memiliki harga Rp. 830.000. Sedangkan waktu perbaikan dari komponen Aeroshaft dan Cutting Rubber adalah 0.22, 0.24 dan 0.16. Waktu kerusakan yang di gunakan adalah hasil MTTR yang terdapat pada Tabel 4.9. Maka nilai Cp dan Tc di dapatkan dari :

$$C_p = (( \text{Biaya Kehilangan Produksi} + \text{Biaya Operator Menganggur} ) * \text{Waktu Perbaikan} ) + \text{Biaya Penggantian Komponen} + \text{Biaya Preventive Maintenance Komponen}$$

$$\begin{aligned}
&= (( \text{Rp. } 3,333 + \text{Rp. } 12,755) * (0.22+ 0.24 + 0.16)) + (\text{Rp. } 1.250.000 \\
&+ \text{Rp.}400.000 + \text{Rp. } 830.000) + (\text{Rp. } 62,500 + \text{Rp. } 20,000 + \text{Rp. } 41,500) \\
&= \text{Rp. } 4,678,574.83
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tc per siklus} &= (( \text{Cp} * \text{R(T)} ) / \text{T}) \\
&= (\text{Rp. } 4,678,574.83 * 1) / 33 \\
&= \text{Rp. } 133,673.57
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tc per tahun} &= ( 8760 \text{ jam} / \text{T} ) * \text{Tc per siklus} \\
&= ( 8760 \text{ jam} / 33 ) * \text{Rp. } 133,673.57 \\
&= \text{Rp. } 33,456,584.08
\end{aligned}$$

Nilai R(T) pada saat terjadi penggantian komponen adalah 1. Sedangkan T adalah waktu dimana komponen mengalami penggantian. Nilai T yang digunakan adalah nilai T pada komponen yang waktu pengantiannya paling cepat. Waktu penggantian paling cepat diantara tiga komponen tersebut adalah pompa, dimana T = 33.

Tabel 4. 18 Rekapitulasi Biaya *Preventive Maintenance Modularity Design* Berbasis Sebab Akibat

Komponen	Cp	R(T)	T	Tc per siklus	Tc per tahun
Aeroshaft		1	1081		
Pompa	Rp 4,678,574.83	1	33	Rp 141,774.99	Rp 37,634,816.80
Griper		1	194		
Baut Gear Damfeed		1	428		
Roll Damfeed	Rp 6,650,488.09	1	249	Rp 26,708.79	Rp 939,634.45
Cutting Rubber	Rp 2,354,974.49	1	566	Rp 4,160.73	Rp 64,395.79
Blade folder	Rp 2,670,544.22	1	267	Rp 10,002.04	Rp 328,156.76
Gear collect	Rp 1,486,130.95	1	108	Rp 13,760.47	Rp 1,116,127.16
Baldwin	Rp 2,135,044.22	1	113	Rp 18,894.20	Rp 1,464,718.25
Blanket	Rp 2,798,630.95	1	128	Rp 21,864.30	Rp 1,496,338.33
Waterpail	Rp 1,873,365.65	1	410	Rp 4,569.18	Rp 97,624.53
Jaw folder	Rp 2,557,130.95	1	311	Rp 8,222.29	Rp 231,598.80
Air Pembasuh	Rp 1,093,835.03	1	214	Rp 5,111.38	Rp 209,232.14
Belt Folder	Rp 1,828,835.03	1	344	Rp 5,316.38	Rp 135,382.26
Belt	Rp 5,973,426.87	1	351	Rp 17,018.31	Rp 424,730.48
Carrier baut	Rp 1,017,678.57	1	193	Rp 5,272.95	Rp 239,331.64
Roll press	Rp 1,413,452.38	1	396	Rp 3,569.32	Rp 78,957.78
Roll carrier	Rp 3,070,365.65	1	1687	Rp 1,820.02	Rp 9,450.70

Tabel 4. 18 Rekapitulasi Biaya *Preventive Maintenance Modularity Design* Berbasis Sebab Akibat

Komponen	Cp	R(T)	T	Tc per siklus	Tc per tahun
Roll brush	Rp 2,726,965.99	1	578	Rp 4,717.93	Rp 71,503.64
Selang Air	Rp 2,645,748.30	1	608	Rp 4,351.56	Rp 62,696.81
Jogger	Rp 6,856,122.45	1	2929	Rp 2,340.77	Rp 7,000.74
JUMLAH					Rp 44,611,697.04

Dari hasil penjadwalan, maka dapat dilihat bahwa untuk melakukan pemeliharaan *preventive maintenance modular design* dengan berbasis sebab akibat, maka biaya pemeliharannya sebesar Rp. 44,611,697.04 per tahun.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 5**

### **ANALISA DAN INTREPRETASI HASIL**

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai analisa terhadap pengolahan data yang dilakukan yaitu dengan metode pendekatan *Modularity Design*.

#### **5.1 Analisa *Corrective* dan *Preventive Maintenance* Perusahaan**

Apabila melihat keadaan lapangan secara langsung, *Preventive Maintenance* yang dilakukan oleh PT. ABC ini dilakukan dalam bentuk paket-paket. Paket yang dibuat untuk setiap mesin ada 5 macam paket, mulai dari paket harian, paket 3 harian, paket mingguan, dan paket bulanan. *Preventive Maintenance* ada yang dibuat harian karena kebutuhan dari mesin Goss tersebut akibat dari produksi yang dilakukan setiap hari. Sebenarnya, *Preventive Maintenance* yang dilakukan oleh PT. ABC sudah baik, namun masih belum bisa dikatakan dalam kategori sangat baik. Jadwal *Preventive Maintenance* yang dibuat perusahaan hanya dapat mengakomodir *reliability* dari mesin, belum dapat mengakomodir *reliability* dari komponen mesin. Sehingga walaupun *Preventive Maintenance* sudah dilakukan sesering mungkin berdasarkan paket, kemungkinan frekuensi terjadinya *breakdown* masih tinggi. Akibatnya, biaya pemeliharaan semakin tinggi karena *breakdown* yang terjadi tinggi. Selain itu, penjadwalan yang dilakukan perusahaan juga tidak sesuai dengan teori, hal ini pula yang menjadi faktor seringnya terjadi *breakdown*.

Secara teori, mesin yang dipelihara dengan metode *Preventive Maintenance* dilakukan pemeliharaan berdasarkan jadwal yang terkait dengan data historis kemungkinan *breakdown* dari mesin tersebut. Namun PT. ABC menjadwalkan *Preventive Maintenance* berdasarkan kemungkinan kebutuhan *maintenance* dari mesin Goss tersebut. Padahal, untuk mendapatkan mesin yang memiliki *reliability* yang tinggi, komponen-komponen yang ada dalam mesin tersebut juga harus memiliki *reliability* yang tinggi pula.

*Corrective maintenance* yang masih dilakukan oleh PT. ABC mendukung naiknya frekuensi kerusakan mesin Goss. Karena secara teori, kerusakan-kerusakan yang

terjadi pada mesin memiliki dua sifat, yakni kerusakan yang dapat terdeteksi dan kerusakan yang tidak dapat terdeteksi. Keduanya akan memberikan gangguan terhadap mesin saat melakukan proses produksi. Selain itu, dampak dari penerapan *corrective maintenance* yang lain adalah kerusakan yang terjadi kadang kala juga mempengaruhi kinerja dari komponen yang bersangkutan atau bahkan lebih parahnya lagi memiliki potensi merusak komponen tersebut. Akibatnya, hal-hal tersebut mempengaruhi biaya yang harus dikeluarkan oleh PT. ABC. Beban biaya yang dikeluarkan perusahaan meliputi biaya untuk penggantian komponen yang ikut menjadi rusak, biaya akibat dari *lost production* selama proses perbaikan.

## **5.2 Analisa Perhitungan *Preventive Maintenance* Berdasarkan Nilai Keandalan.**

Alasan mengapa mesin Goss di PT. ABC ini masih sering mengalami *breakdown*, membawa peneliti untuk membuat jadwal *Preventive Maintenance* berdasarkan teori keandalan. Nilai keandalan merupakan nilai yang muncul akibat komponen tidak diberikan pemeliharaan. Secara teori, semakin lama waktu yang terjadi, maka keandalan suatu komponen akan melemah dan mesin Goss akan berhenti karena komponen mesin rusak. Nilai keandalan akan kembali menjadi 1, jika sebelum komponen rusak telah lebih dahulu dilakukan penggantian komponen. Nilai keandalan mesin menunjukkan *reliabilitas* kondisi komponen mesin saat ini akibat dari penggantian. Keandalan mesin pada suatu titik akan menurun akan tetapi tidak terlalu signifikan karena tertolong kegiatan penggantian komponen.

Pemeliharaan metode ini dibuat dengan cara mengumpulkan data historis kerusakan komponen selama 3 tahun (2012-2014). Dipilih 23 komponen yang akan dijadwalkan pada *Preventive Maintenance*. Pemilihan komponen berdasarkan klasifikasi ABC mengenai komponen yang dianggap banyak menimbulkan kendala. Data kerusakan dari 21 komponen tersebut di *running* pada *software Weibull 6* untuk diketahui nilai  $\beta$  dan  $m$  pada masing-masing komponen. Setelah itu, mencari *reliability* masing-masing dari komponen dengan rumus. Kemudian membuat jadwal *maintenance* dengan pertimbangan biaya-biaya lain seperti biaya operator

mengganggu, harga komponen, dan biaya kehilangan produksi. Berdasarkan hasil penjadwalan *preventive maintenance* berdasarkan teori keandalan, maka didapatkan biaya sebesar Rp. 16,952,886.03 per tahun. Biaya ini didapat dari hasil penjadwalan penggantian pencegahan dengan menggunakan metode *age replacement*. Penjadwalan ini menjadi acuan untuk metode pemeliharaan yang lain.

### **5.3 Analisa Perhitungan *Preventive Maintenance* dengan *Modularity Design***

#### **Berbasis Waktu**

*Modularity Design* adalah suatu konsep yang biasa digunakan pada proses medesain suatu produk dan konsep ini akan diadaptasi kedalam sistem *maintenance*. Modularisasi adalah melakukan pengelompokan produk dalam bentuk suatu unit yang berbeda berdasarkan fungsinya untuk memudahkan pemindahan dan penggantian. Dengan sistem yang modular, sistem dapat menghasilkan teknik yang menguntungkan dan solusi dalam perekonomian pabrik. Pengelompokkan komponen yang dilakukan pada metode ini berdasarkan kepada waktu *age replacement* komponen yang terdekat. Kategori waktu *age replacement* komponen dinyatakan dekat adalah  $< 1$  hari. Kedekatan komponen berdasarkan komponen akan dijadikan satu modul. Acuan dari metode ini lebih kepada efisiensi waktu dan biaya pemeliharaan, maksudnya mengurangi proses perbaikan pada hari yang sama dengan waktu yang tidak terlalu jauh sehingga tidak terjadi pengulangan terhadap waktu setup mesin sebanyak perbaikan yang dilakukan.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa kerusakan yang terjadi kadang kala juga mempengaruhi kinerja dari komponen yang bersangkutan atau bahkan lebih parahnya lagi memiliki potensi merusak komponen tersebut. Jika penggantian komponen mesin Goss hanya dilakukan pada satu komponen yang rusak saja, dimana komponen tersebut berhubungan juga dengan komponen lain yang berada dalam kondisi yang sudah cukup rusak, maka penggantian komponen atas komponen yang rusak tersebut akan sia-sia. Komponen tersebut tidak akan bekerja secara maksimal,

sehingga umur dari komponen baru tersebut menjadi lebih pendek dari yang diinginkan.

Pada pengolahan data, peneliti mengelompokkan komponen menjadi 5 modul yakni modul 1 (Gear Collect + Baldwin), modul 2 (Griper + Air Pembasah + Carrier Baut), modul 3 (Belt + Belt Folder), modul 4 (Waterpail + Baut Gear Dampfeed), modul 5 (Cutting Rubber + Roll Brush). Modul-modul tersebut tiap komponennya memiliki kedekatan waktu *age replacement*. Pada metode ini, nilai T yang digunakan adalah nilai T rata-rata dari komponen dalam satu modul. Karena komponen yang diganti dalam satu modul, nilai T-nya berbeda, sehingga dipakai nilai T rata-rata.

Pendekatan dengan metode ini mengacu pada alasan bahwa daripada melakukan proses perbaikan pada hari yang sama dan dengan waktu tidak terlalu berbeda jauh. Hal ini akan berdampak pada tidak terjadinya pengulangan terhadap waktu *set-up* mesin sebanyak perbaikan yang dilakukan. Dari hasil pengolahan data dapat dilihat bahwa total biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan perusahaan dengan menerapkan metode pemeliharaan *preventive maintenance* dengan *modularity design* berbasis waktu adalah Rp. 16,663,039.02 per tahun.

#### **5.4 Analisa Perhitungan *Preventive Maintenance* dengan *Modularity Design***

##### **Berbasis Sebab-Akibat**

Selain berbasis waktu, pemeliharaan dengan *modularity design* dapat juga dilakukan dengan basis sebab-akibat. Penggabungan komponen didasarkan pada hubungan yang bersifat dua arah pada komponen. Jika penggabungan komponen dilakukan tanpa memperhatikan hubungan dua arah, akan menyebabkan terjadinya kenaikan biaya pemeliharaan.

Pada kasus ini, dapat diketahui bahwa jika komponen Griper mengalami kerusakan, maka akan menghambat kinerja dari Aeroshaft dan pompa, serta hal ini akan memungkinkan terjadinya kerusakan pada Aeroshaft dan pompa. Griper bertugas untuk menekan kertas gulungan. Griper akan muncul jika aeroshaft di pompa. Secara logika, jika griper rusak, maka griper tidak muncul. Jika griper tidak muncul,

kemungkinan aeroshaft kekurangan angin dari pompa. Pompa kurang memberi angin untuk aeroshaft, ada kemungkinan pompa mengalami kerusakan.

Kasus lainnya yakni, kerusakan yang terjadi pada Roll Dampfeed berpengaruh kepada Gear Dampfeed atau sebaliknya. Secara logika, Roll Dampfeed yang rusak atau tidak dapat berputar disebabkan oleh Gear Dampfeed yang sudah aus. Sebaliknya, jika Gear Dampfeed rusak, maka roll tidak akan dapat berputar. Kondisi ini merupakan hubungan dua arah. Dari hasil pengolahan data dapat dilihat bahwa total biaya pemeliharaan yang harus dikeluarkan perusahaan dengan menerapkan metode pemeliharaan *preventive maintenance* dengan *modularity design* berbasis sebab akibat adalah Rp. 44,611,697.04 per tahun. Jika dilihat dari proses penggabungan komponen, hasilnya tidak memberikan biaya yang lebih efisien jika dibandingkan dengan biaya dari metode lain. Hal ini terjadi kemungkinan karena waktu *age replacement* dari komponen yang saling jauh, dipaksa didekatkan. Sehingga komponen yang waktu waktu *age replacement* lama, mengikuti pergantian dari komponen yang waktu waktu *age replacement* dekat, akibatnya biaya yang terjadi semakin besar. Nilai T yang digunakan pada metode ini adalah nilai T yang paling kecil dalam modul tersebut. Hal inilah yang menyebabkan biaya yang sangat besar pada metode ini. Namun, jika metode ini diterapkan, maka secara teori nilai keandalan dari komponen yang digabungkan dalam satu modul, nilainya menjadi sama.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai kesimpulan dan saran yang didapatkan dari hasil penelitian.

#### **6.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan metode pemeliharaan mesin, baiknya mempertimbangkan beberapa hal seperti data historis kerusakan mesin, karakteristik mesin, keandalan mesin serta biaya yang akan dikeluarkan untuk pemeliharaan mesin. Kesalahan penerapan metode pemeliharaan, akan berdampak pada produksi dari perusahaan. Ada beberapa alternatif metode pemeliharaan dengan biaya lebih rendah dari eksisting, yang dapat diterapkan PT. ABC yakni *preventive* dengan *reliability* serta *preventive* dengan *modular design*.
2. Dari hasil perhitungan, di dapatkan hasil bahwa total biaya pemeliharaan *preventive* dengan *reliability* adalah Rp. 16,952,886.03, biaya pemeliharaan *preventive modular design* basis waktu adalah Rp. 16,663,039.02 dan biaya pemeliharaan *preventive modular design* basis sebab akibat adalah Rp. 44,611,697.04.
3. Metode pemeliharaan yang memiliki biaya *maintenance* paling rendah yakni, metode *preventive maintenance modularity design* berbasis waktu. Modul perawatan yang dihasilkan yakni sebagai berikut: modul 1 (Gear Collect + Baldwin), modul 2 (Griper + Air Pembasah + Carrier Baut), modul 3 (Belt + Belt Folder), modul 4 (Waterpail + Baut Gear Dampfeed), modul 5 (Cutting Rubber + Roll Brush). Biaya yang akan dikeluarkan oleh perusahaan jika menerapkan metode ini adalah sebesar Rp. 16,663,039.02 per tahun.
4. Hasil penentuan komponen kritis dengan menggunakan klasifikasi ABC, terdapat 14 komponen kritis, 7 komponen mayor dan 7 komponen minor.

#### **6.2 Saran**

Saran-saran yang dapat direkomendasikan antara lain:

1. Perusahaan dapat menerapkan pemeliharaan mesin Goss atau pun mesin yang lain dengan menggunakan konsep *modularity design* berbasis waktu sebagai upaya minimasi biaya pemeliharaan mesin. Namun perlu diteliti lebih lanjut terhadap penentuan besarnya *age replacement* per modul. Jika terdapat kedekatan waktu terhadap modul lain, sebaiknya dilakukan penggabungan kembali. Oleh karena itu, informasi mengenai nilai waktu *age replacement* harus tepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, S. 1993. *Manajemen Produksi dan Operasi Edisi Empat*. Jakarta: Lembaga Penerbit FEUI.
- Assauri, s . 2004. *Manajemen Produksi dan Operasi* . Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia. Jakarta.
- Corder, A. 1976. *Maintenance Management Techniques*, McGraw-Hill.
- Corder, A. 1992. *Teknik Manajemen Pemeliharaan Mesin-Mesin Produksi di Industri Pengolahan Kayu PT. Inhutani Administratur Industri Bekasi, Jawa Barat*. Bogor. Skripsi Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Corder, Anthony. 1992. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Erlangga. Jakarta
- Daryus, Asyari. 2007. *Manajemen Pemeliharaan Mesin*. Fakultas Teknik Universitas Darma Persada. Jakarta.
- Ebeling, C. E., 1996. *An Introduction to : Reliability and Maintainability Engineering*, McGraw-Hill, Singapore.
- Gershenson, J.K., S. Allamnemi, G.J. Prasad, (1997). *Product Modularity and Its Effect on Service and Modularity*. Jurnal Maintenance and Reliability Conference. Knoxville, Tennessee.
- Handoko, T.H. 1989. *Manajemen*. Edisi Kedua. BPFE – Yogyakarta. Yogyakarta.
- Jardine. 1973. “*Maintenance, Replacement and Reliability*,” Canada: Pittman Publishing Corporation.
- Kapur, K.C., L.,C. Lamberson, 1989, *Reliability In Engineering Design*, Jhon Wiley & Sons, Inc., New York.
- Leo J. Susilo dan Victor Riwu Kaho, 2010. *Manajemen Risiko berbasis ISO 31000 untuk industri non perbankan*, Penerbit PPM, Jakarta.
- Montgomery, Douglas, C. 2005. *Introduction to Statistical Quality Control Fifth Edition*. Jhon Wiley & Sons, Inc., New York.

- Pahl G., Beitz, W. 1996. *Engineering Design: A Systematic Approach*, 2<sup>nd</sup>. Edition. Springer. London.
- Parida dan Kumar. 2006. Maintenance Performance Measurement (MPM) Issues and Challenge. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol 12 no.3 hlm.239-251.
- Patton, J.D. 1983. *Preventive Maintenance*. Instrument Society America. Publisher Creative Services Inc. New York.
- Prawirosentono. 2000. *Manajemen Operasi : Analisis dan Studi Kasus*, Edisi 2 Cetakan Pertama. PT. Bumi Aksara. Jakarta.
- Setiawan, A., 1998. *Manajemen Perawatan*, Bandung.
- Siagian, S.P.1998. *Manajemen Abad 21*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Suharto. 1991. *Manajemen Perawatan Mesin*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Sodikin, I., 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*. Vol.1 No.2, Desember 2008, ISSN: 1978-3405.
- Tobias, A.P., C.D. Trindode, 1995. *Applied Reliability*, Chapman & Hall
- Walpole R, E., Myers Raymond H, 1986, *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan*, ITB-Press, Bandung.

## LAMPIRAN

### Perhitungan Age Replacement Komponen Jogger

Jogger				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
200	0.5973	0.4027	3665.48	0.000300762282
400	0.4818	0.5182	2848.19	0.000287564533
600	0.4084	0.5916	2494.94	0.000278823199
800	0.3552	0.6448	2289.25	0.000272622388
1000	0.3141	0.6859	2152.07	0.000268062205
1100	0.2968	0.7032	2098.93	0.000266231649
1200	0.2811	0.7189	2053.09	0.000264640754
1300	0.2668	0.7332	2013.10	0.000263255646
1400	0.2537	0.7463	1977.87	0.000262048735
1500	0.2417	0.7583	1946.58	0.000260997266
1600	0.2307	0.7693	1918.58	0.000260082268
1700	0.2204	0.7796	1893.37	0.000259287768
1800	0.2109	0.7891	1870.55	0.000258600201
1900	0.2021	0.7979	1849.78	0.000258007962
2000	0.1938	0.8062	1830.80	0.000257501048
2100	0.1861	0.8139	1813.38	0.000257070788
2200	0.1788	0.8212	1797.35	0.000256709619
2300	0.1720	0.8280	1782.53	0.000256410910
2400	0.1655	0.8345	1768.80	0.000256168822
2500	0.1595	0.8405	1756.04	0.000255978187
2600	0.1537	0.8463	1744.15	0.000255834414
2700	0.1483	0.8517	1733.05	0.000255733408
2800	0.1432	0.8568	1722.67	0.000255671504
2900	0.1383	0.8617	1712.93	0.000255645413
2910	0.1378	0.8622	1711.99	0.000255644657
2915	0.1376	0.8624	1711.52	0.000255644401
2920	0.1374	0.8626	1711.05	0.000255644226
2925	0.1371	0.8629	1710.59	0.000255644132
2926	0.1371	0.8629	1710.49	0.000255644123
2927	0.1370	0.8630	1710.40	0.000255644117
2928	0.1370	0.8630	1710.31	0.000255644114
2929	0.1370	0.8630	1710.22	0.000255644114
2930	0.1369	0.8631	1710.12	0.000255644118

### Perhitungan Age Replacement Komponen Blade Folder

Blade folder				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.7585	0.2415	819.8879	0.010825894
20	0.7235	0.2765	716.1463	0.010478743
30	0.6909	0.3091	640.5303	0.010182081
40	0.6603	0.3397	582.8672	0.009926675
50	0.6316	0.3684	537.3911	0.009705485
60	0.6045	0.3955	500.5819	0.009513033
70	0.5789	0.4211	470.1651	0.009344979
80	0.5547	0.4453	444.6035	0.009197836
90	0.5317	0.4683	422.8195	0.009068765
100	0.5099	0.4901	404.0348	0.008955426
110	0.4893	0.5107	387.6725	0.008855877
120	0.4696	0.5304	373.296	0.008768485
130	0.4509	0.5491	360.5681	0.008691868
140	0.4330	0.5670	349.2247	0.008624848
150	0.4160	0.5840	339.0552	0.008566415
160	0.3998	0.6002	329.8902	0.008515693
170	0.3843	0.6157	321.5916	0.008471925
180	0.3695	0.6305	314.0454	0.008434446
190	0.3554	0.6446	307.1571	0.008402672
200	0.3419	0.6581	300.8473	0.008376090
210	0.3289	0.6711	295.0489	0.008354243
220	0.3165	0.6835	289.7051	0.008336724
230	0.3047	0.6953	284.7668	0.008323171
240	0.2933	0.7067	280.1921	0.008313257
250	0.2825	0.7175	275.9444	0.008306689
260	0.2720	0.7280	271.9921	0.008303202
261	0.2710	0.7290	271.612	0.008303013
262	0.2700	0.7300	271.2346	0.008302852
263	0.2690	0.7310	270.8598	0.008302720
264	0.2680	0.7320	270.4876	0.008302615
265	0.2670	0.7330	270.1179	0.008302537
266	0.2660	0.7340	269.7508	0.008302487
267	0.2650	0.7350	269.3862	0.008302464
268	0.2640	0.7360	269.0242	0.008302467
269	0.2630	0.7370	268.6646	0.008302498

**Perhitungan Age Replacement Komponen Jaw Folder**

Jaw folder				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
30	0.7746	0.2254	1082.43	0.008422773
60	0.6561	0.3439	709.51	0.007947180
90	0.5684	0.4316	565.38	0.007632071
120	0.4989	0.5011	486.93	0.007414958
150	0.4418	0.5582	437.09	0.007263198
180	0.3938	0.6062	402.49	0.007157534
210	0.3528	0.6472	377.02	0.007085696
240	0.3175	0.6825	357.51	0.007039413
270	0.2867	0.7133	342.09	0.007012867
300	0.2598	0.7402	329.63	0.007001825
301	0.2589	0.7411	329.25	0.007001685
302	0.2581	0.7419	328.88	0.007001558
303	0.2573	0.7427	328.51	0.007001444
304	0.2564	0.7436	328.14	0.007001344
305	0.2556	0.7444	327.78	0.007001258
306	0.2548	0.7452	327.42	0.007001184
307	0.2540	0.7460	327.06	0.007001123
308	0.2531	0.7469	326.70	0.007001075
309	0.2523	0.7477	326.34	0.007001041
310	0.2515	0.7485	325.99	0.007001019
311	0.2507	0.7493	325.64	0.007001009
312	0.2499	0.7501	325.29	0.007001012
313	0.2491	0.7509	324.94	0.007001028
314	0.2483	0.7517	324.60	0.007001056
315	0.2475	0.7525	324.26	0.007001096

**Perhitungan Age Replacement Komponen Belt Folder**

Belt Folder				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
30	0.9522	0.0478	7806.37	0.001889013
60	0.8956	0.1044	3572.40	0.001777797
90	0.8375	0.1625	2295.60	0.001692136
120	0.7801	0.2199	1696.00	0.001626126
150	0.7243	0.2757	1352.85	0.001575446
180	0.6707	0.3293	1132.85	0.001536925
210	0.6198	0.3802	980.99	0.001508200
240	0.5715	0.4285	870.58	0.001487479
270	0.5262	0.4738	787.17	0.001473380
300	0.4836	0.5164	722.29	0.001464816
310	0.4700	0.5300	703.81	0.001463036
320	0.4568	0.5432	686.63	0.001461745
330	0.4438	0.5562	670.65	0.001460918
340	0.4312	0.5688	655.74	0.001460530
341	0.4299	0.5701	654.30	0.001460515
342	0.4287	0.5713	652.87	0.001460503
343	0.4274	0.5726	651.46	0.001460496
344	0.4262	0.5738	650.05	0.001460493
345	0.4250	0.5750	648.65	0.001460494
346	0.4237	0.5763	647.26	0.001460499
347	0.4225	0.5775	645.89	0.001460508
348	0.4213	0.5787	644.52	0.001460521
349	0.4200	0.5800	643.16	0.001460538
350	0.4188	0.5812	641.80	0.001460558

**Perhitungan Age Replacement Komponen Cutting Rubber**

Cutting Rubber				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
30	0.9464	0.0536	9930.76	0.001639015
60	0.8574	0.1426	3731.77	0.001574355
90	0.7739	0.2261	2352.70	0.001526796
120	0.7008	0.2992	1777.88	0.001491057
150	0.6376	0.3624	1467.96	0.001463666
180	0.5829	0.4171	1275.56	0.001442352
210	0.5354	0.4646	1145.01	0.001425585
240	0.4937	0.5063	1050.86	0.001412301
270	0.4571	0.5429	979.86	0.001401738
300	0.4246	0.5754	924.50	0.001393334
330	0.3956	0.6044	880.17	0.001386671
360	0.3696	0.6304	843.92	0.001381426
390	0.3462	0.6538	813.74	0.001377348
420	0.3251	0.6749	788.26	0.001374240
450	0.3059	0.6941	766.47	0.001371945
480	0.2884	0.7116	747.65	0.001370334
510	0.2725	0.7275	731.23	0.001369304
540	0.2578	0.7422	716.80	0.001368767
550	0.2532	0.7468	712.37	0.001368685
560	0.2487	0.7513	708.11	0.001368647
561	0.2483	0.7517	707.70	0.001368646
562	0.2478	0.7522	707.28	0.001368645
563	0.2474	0.7526	706.87	0.001368645
564	0.2469	0.7531	706.46	0.001368644
565	0.2465	0.7535	706.05	0.001368645
566	0.2461	0.7539	705.64	0.001368645
567	0.2456	0.7544	705.23	0.001368647
568	0.2452	0.7548	704.83	0.001368648
569	0.2448	0.7552	704.42	0.001368650
570	0.2443	0.7557	704.02	0.001368652

### Perhitungan Age Replacement Komponen Aeroshaft

Aeroshaft				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
100	0.8467	0.1533	3522.17	0.0003520628
200	0.7437	0.2563	2107.14	0.0003193192
300	0.6605	0.3395	1590.69	0.0002979507
400	0.5905	0.4095	1318.78	0.0002833475
500	0.5304	0.4696	1149.99	0.0002731443
600	0.4782	0.5218	1034.80	0.0002659841
700	0.4323	0.5677	951.19	0.0002610269
800	0.3918	0.6082	887.82	0.0002577215
900	0.3558	0.6442	838.22	0.0002556897
1000	0.3237	0.6763	798.43	0.0002546620
1010	0.3207	0.6793	794.88	0.0002546064
1020	0.3177	0.6823	791.40	0.0002545586
1030	0.3147	0.6853	787.99	0.0002545185
1040	0.3118	0.6882	784.65	0.0002544859
1050	0.3089	0.6911	781.37	0.0002544607
1060	0.3061	0.6939	778.16	0.0002544428
1070	0.3032	0.6968	775.00	0.0002544319
1080	0.3004	0.6996	771.90	0.0002544280
1081	0.3002	0.6998	771.60	0.0002544280
1082	0.2999	0.7001	771.29	0.0002544280
1083	0.2996	0.7004	770.99	0.0002544282
1084	0.2993	0.7007	770.68	0.0002544283
1085	0.2990	0.7010	770.38	0.0002544286
1086	0.2988	0.7012	770.07	0.0002544289
1087	0.2985	0.7015	769.77	0.0002544293
1088	0.2982	0.7018	769.47	0.0002544298
1089	0.2979	0.7021	769.17	0.0002544303
1090	0.2977	0.7023	768.86	0.0002544309

### Perhitungan Age Replacement Komponen Pompa

Pompa				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
0	1.0000	0.0000	#DIV/0!	#DIV/0!
1	0.9693	0.0307	1076.56	0.007015627
2	0.9398	0.0602	548.17	0.006833791
3	0.9112	0.0888	371.68	0.006671552
4	0.8835	0.1165	283.34	0.006526326
5	0.8567	0.1433	230.32	0.006395972
6	0.8307	0.1693	194.97	0.006278698
7	0.8056	0.1944	169.73	0.006172994
8	0.7812	0.2188	150.81	0.006077573
9	0.7575	0.2425	136.10	0.005991337
10	0.7346	0.2654	124.35	0.005913341
11	0.7124	0.2876	114.74	0.005842766
12	0.6909	0.3091	106.75	0.005778898
13	0.6700	0.3300	100.00	0.005721115
14	0.6497	0.3503	94.22	0.005668869
15	0.6301	0.3699	89.22	0.005621678
16	0.6111	0.3889	84.85	0.005579112
17	0.5927	0.4073	81.01	0.005540793
18	0.5748	0.4252	77.60	0.005506378
19	0.5574	0.4426	74.56	0.005475566
20	0.5406	0.4594	71.83	0.005448080
21	0.5243	0.4757	69.37	0.005423676
22	0.5085	0.4915	67.14	0.005402130
23	0.4932	0.5068	65.11	0.005383239
24	0.4783	0.5217	63.25	0.005366820
25	0.4639	0.5361	61.55	0.005352705
26	0.4499	0.5501	59.99	0.005340739
27	0.4364	0.5636	58.55	0.005330784
28	0.4232	0.5768	57.21	0.005322708
29	0.4105	0.5895	55.98	0.005316394
30	0.3981	0.6019	54.83	0.005311731
31	0.3861	0.6139	53.76	0.005308618
32	0.3745	0.6255	52.76	0.005306961
33	0.3632	0.6368	51.82	0.005306671
34	0.3523	0.6477	50.95	0.005307668

### Perhitungan Age Replacement Komponen Carrier Baut

Carrier Baut				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.8261	0.1739	862.80	0.001325160
20	0.7642	0.2358	636.03	0.001268934
30	0.7105	0.2895	518.05	0.001224321
40	0.6629	0.3371	444.93	0.001188289
50	0.6201	0.3799	394.87	0.001158836
60	0.5814	0.4186	358.33	0.001134562
70	0.5460	0.4540	330.43	0.001114454
80	0.5136	0.4864	308.40	0.001097754
90	0.4838	0.5162	290.56	0.001083881
100	0.4562	0.5438	275.81	0.001072383
110	0.4306	0.5694	263.42	0.001062900
120	0.4068	0.5932	252.86	0.001055141
130	0.3847	0.6153	243.77	0.001048870
140	0.3640	0.6360	235.85	0.001043891
150	0.3447	0.6553	228.90	0.001040041
160	0.3266	0.6734	222.76	0.001037181
170	0.3097	0.6903	217.30	0.001035195
180	0.2938	0.7062	212.41	0.001033984
190	0.2789	0.7211	208.02	0.001033459
191	0.2775	0.7225	207.60	0.001033442
192	0.2760	0.7240	207.19	0.001033430
193	0.2746	0.7254	206.78	0.001033424
194	0.2732	0.7268	206.38	0.001033425
195	0.2718	0.7282	205.98	0.001033431
196	0.2704	0.7296	205.59	0.001033443
197	0.2690	0.7310	205.20	0.001033461
198	0.2676	0.7324	204.81	0.001033484
199	0.2662	0.7338	204.42	0.001033513
200	0.2649	0.7351	204.05	0.001033547

**Perhitungan Age Replacement Komponen Griper**

Griper				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.9287	0.0713	2664.30	0.000802219
20	0.8836	0.1164	1632.44	0.000769852
30	0.8404	0.1596	1190.76	0.000742897
40	0.7992	0.2008	946.14	0.000720307
50	0.7598	0.2402	791.06	0.000701291
60	0.7223	0.2777	684.13	0.000685235
70	0.6865	0.3135	606.07	0.000671662
80	0.6524	0.3476	546.65	0.000660191
90	0.6200	0.3800	499.98	0.000650516
100	0.5891	0.4109	462.40	0.000642390
110	0.5597	0.4403	431.53	0.000635607
120	0.5317	0.4683	405.76	0.000629997
130	0.5051	0.4949	383.95	0.000625418
140	0.4798	0.5202	365.28	0.000621749
150	0.4558	0.5442	349.13	0.000618888
160	0.4329	0.5671	335.04	0.000616747
170	0.4112	0.5888	322.67	0.000615249
180	0.3905	0.6095	311.72	0.000614327
190	0.3708	0.6292	301.99	0.000613925
191	0.3689	0.6311	301.07	0.000613911
192	0.3670	0.6330	300.17	0.000613902
193	0.3651	0.6349	299.27	0.000613897
194	0.3632	0.6368	298.39	0.000613897
195	0.3614	0.6386	297.51	0.000613902
196	0.3595	0.6405	296.65	0.000613911
197	0.3577	0.6423	295.79	0.000613924
198	0.3558	0.6442	294.95	0.000613942
199	0.3540	0.6460	294.11	0.000613964
200	0.3522	0.6478	293.28	0.000613990

**Perhitungan Age Replacement Komponen Roll Press**

Roll Press				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
30	0.8112	0.1888	1658.13	0.000414843
60	0.7070	0.2930	1068.14	0.000393747
90	0.6275	0.3725	840.22	0.000378775
120	0.5628	0.4372	715.94	0.000367765
150	0.5085	0.4915	636.78	0.000359519
180	0.4618	0.5382	581.62	0.000353292
210	0.4213	0.5787	540.87	0.000348595
240	0.3857	0.6143	509.49	0.000345084
270	0.3541	0.6459	484.58	0.000342515
300	0.3259	0.6741	464.33	0.000340705
310	0.3172	0.6828	458.40	0.000340245
320	0.3088	0.6912	452.82	0.000339850
330	0.3006	0.6994	447.56	0.000339515
340	0.2928	0.7072	442.59	0.000339236
350	0.2852	0.7148	437.90	0.000339011
360	0.2779	0.7221	433.45	0.000338835
370	0.2708	0.7292	429.24	0.000338707
380	0.2639	0.7361	425.24	0.000338624
390	0.2573	0.7427	421.44	0.000338582
391	0.2567	0.7433	421.07	0.000338580
392	0.2560	0.7440	420.70	0.000338578
393	0.2554	0.7446	420.34	0.000338577
394	0.2547	0.7453	419.97	0.000338576
395	0.2541	0.7459	419.61	0.000338576
396	0.2534	0.7466	419.25	0.000338576
397	0.2528	0.7472	418.89	0.000338576
398	0.2521	0.7479	418.53	0.000338577
399	0.2515	0.7485	418.18	0.000338578
400	0.2509	0.7491	417.82	0.000338580

**Perhitungan Age Replacement Komponen Roll Carrier**

Roll Carrier				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
200	0.5779	0.4221	2423.34	0.00025464034
400	0.4086	0.5914	1729.74	0.00024437044
600	0.3151	0.6849	1493.74	0.00023919983
800	0.2550	0.7450	1373.18	0.00023629101
1000	0.2129	0.7871	1299.68	0.00023459490
1200	0.1817	0.8183	1250.14	0.00023362190
1400	0.1577	0.8423	1214.51	0.00023311036
1600	0.1387	0.8613	1187.67	0.00023290728
1610	0.1378	0.8622	1186.50	0.00023290335
1620	0.1370	0.8630	1185.35	0.00023289993
1630	0.1361	0.8639	1184.21	0.00023289702
1640	0.1353	0.8647	1183.08	0.00023289460
1650	0.1345	0.8655	1181.97	0.00023289268
1660	0.1337	0.8663	1180.87	0.00023289124
1670	0.1329	0.8671	1179.79	0.00023289027
1680	0.1321	0.8679	1178.71	0.00023288977
1681	0.1320	0.8680	1178.61	0.00023288975
1682	0.1319	0.8681	1178.50	0.00023288973
1683	0.1319	0.8681	1178.39	0.00023288971
1684	0.1318	0.8682	1178.29	0.00023288970
1685	0.1317	0.8683	1178.18	0.00023288969
1686	0.1316	0.8684	1178.07	0.00023288969
1687	0.1316	0.8684	1177.97	0.00023288969
1688	0.1315	0.8685	1177.86	0.00023288970
1689	0.1314	0.8686	1177.76	0.00023288971
1690	0.1313	0.8687	1177.65	0.00023288973

### Perhitungan Age Replacement Komponen Gear Collect

Gear Collect				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.9759	0.0241	5068.514	0.002649321
20	0.9364	0.0636	1917.702	0.002480903
30	0.8892	0.1108	1100.818	0.002348596
40	0.8375	0.1625	750.7746	0.002245748
50	0.7834	0.2166	563.3011	0.002166901
60	0.7284	0.2716	449.2013	0.002107743
70	0.6736	0.3264	373.7445	0.002064895
80	0.6198	0.3802	320.855	0.002035697
90	0.5676	0.4324	282.1618	0.002018034
100	0.5176	0.4824	252.915	0.002010195
101	0.5128	0.4872	250.3882	0.002009895
102	0.5079	0.4921	247.9241	0.002009678
103	0.5031	0.4969	245.5206	0.002009543
104	0.4983	0.5017	243.1758	0.002009488
105	0.4935	0.5065	240.8877	0.002009511
106	0.4888	0.5112	238.6544	0.002009613
107	0.4841	0.5159	236.4743	0.002009792
108	0.4794	0.5206	234.3457	0.002010046
109	0.4747	0.5253	232.267	0.002010375
110	0.4701	0.5299	230.2365	0.002010777
111	0.4655	0.5345	228.2529	0.002011251
112	0.4609	0.5391	226.3147	0.002011796
113	0.4564	0.5436	224.4205	0.002012412
114	0.4519	0.5481	222.569	0.002013097
115	0.4474	0.5526	220.7589	0.002013849

**Perhitungan Age Replacement Komponen Baldwin**

Baldwin				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.9739	0.0261	4943.527	0.003590947
20	0.9338	0.0662	1949.38	0.003374354
30	0.8874	0.1126	1145.753	0.003202617
40	0.8375	0.1625	794.0513	0.003067453
50	0.7860	0.2140	602.7617	0.002962098
60	0.7340	0.2660	484.8979	0.002881215
70	0.6824	0.3176	406.1393	0.002820616
80	0.6319	0.3681	350.4307	0.002776998
90	0.5830	0.4170	309.3371	0.002747734
100	0.5360	0.4640	278.0353	0.002730703
101	0.5315	0.4685	275.3194	0.002729604
102	0.5269	0.4731	272.669	0.002728607
103	0.5224	0.4776	270.0819	0.002727712
104	0.5179	0.4821	267.556	0.002726917
105	0.5134	0.4866	265.0895	0.002726221
106	0.5089	0.4911	262.6804	0.002725622
107	0.5045	0.4955	260.3269	0.002725119
108	0.5001	0.4999	258.0273	0.002724711
109	0.4957	0.5043	255.7799	0.002724395
110	0.4913	0.5087	253.5832	0.002724171
111	0.4869	0.5131	251.4356	0.002724038
112	0.4826	0.5174	249.3357	0.002723994
113	0.4783	0.5217	247.282	0.002724037
114	0.4741	0.5259	245.2731	0.002724167
115	0.4698	0.5302	243.3078	0.002724382

### Perhitungan Age Replacement Komponen Blanket

Blanket				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.9342	0.0658	2143.923	0.002322613
20	0.9083	0.0917	1537.951	0.002194132
30	0.8790	0.1210	1165.76	0.002086793
40	0.8468	0.1532	920.615	0.001997447
50	0.8121	0.1879	750.5262	0.001923536
60	0.7754	0.2246	627.6744	0.001862974
70	0.7370	0.2630	536.0639	0.001814054
80	0.6974	0.3026	465.959	0.001775371
90	0.6571	0.3429	411.1548	0.001745760
100	0.6164	0.3836	367.5423	0.001724248
110	0.5757	0.4243	332.3115	0.001710012
120	0.5354	0.4646	303.4871	0.001702351
121	0.5314	0.4686	300.8985	0.001701922
122	0.5274	0.4726	298.3583	0.001701553
123	0.5234	0.4766	295.8653	0.001701241
124	0.5195	0.4805	293.4184	0.001700988
125	0.5155	0.4845	291.0166	0.001700792
126	0.5115	0.4885	288.6587	0.001700653
127	0.5076	0.4924	286.3437	0.001700571
128	0.5036	0.4964	284.0708	0.001700544
129	0.4997	0.5003	281.8388	0.001700572
130	0.4958	0.5042	279.6469	0.001700655

**Perhitungan Age Replacement Komponen Air Pembasuh**

Air Pembasuh				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.9899	0.0101	24738.68	0.000656195
20	0.9739	0.0261	9523.387	0.000632800
30	0.9545	0.0455	5476.778	0.000611938
40	0.9330	0.0670	3714.501	0.000593392
50	0.9097	0.0903	2758.623	0.000576942
60	0.8853	0.1147	2170.316	0.000562381
70	0.8599	0.1401	1777.086	0.000549518
80	0.8338	0.1662	1498.487	0.000538185
90	0.8073	0.1927	1292.364	0.000528230
100	0.7806	0.2194	1134.672	0.000519520
110	0.7537	0.2463	1010.775	0.000511937
120	0.7268	0.2732	911.2987	0.000505378
130	0.7000	0.3000	829.9804	0.000499751
140	0.6734	0.3266	762.4928	0.000494975
150	0.6472	0.3528	705.7572	0.000490977
160	0.6213	0.3787	657.5279	0.000487694
170	0.5959	0.4041	616.1324	0.000485067
180	0.5709	0.4291	580.3007	0.000483045
190	0.5465	0.4535	549.0531	0.000481582
200	0.5226	0.4774	521.6226	0.000480635
210	0.4994	0.5006	497.4006	0.000480167
211	0.4971	0.5029	495.1353	0.000480145
212	0.4948	0.5052	492.8966	0.000480128
213	0.4925	0.5075	490.6841	0.000480115
214	0.4903	0.5097	488.4976	0.000480106
215	0.4880	0.5120	486.3364	0.000480101
216	0.4858	0.5142	484.2004	0.000480101
217	0.4835	0.5165	482.089	0.000480105
218	0.4813	0.5187	480.0019	0.000480114
219	0.4790	0.5210	477.9387	0.000480126
220	0.4768	0.5232	475.899	0.000480143

**Perhitungan Age Replacement Komponen Roll Dampfeed**

Roll Damfeed				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
10	0.9811	0.0189	14375.79	0.001386906
20	0.9578	0.0422	6419.078	0.001342302
30	0.9328	0.0672	4029.889	0.001302725
40	0.9069	0.0931	2909.583	0.001267615
50	0.8805	0.1195	2268.333	0.001236461
60	0.8540	0.1460	1856.567	0.001208808
70	0.8276	0.1724	1571.523	0.001184262
80	0.8012	0.1988	1363.448	0.001162482
90	0.7752	0.2248	1205.442	0.001143169
100	0.7495	0.2505	1081.739	0.001126068
110	0.7242	0.2758	982.5091	0.001110955
120	0.6993	0.3007	901.3202	0.001097634
130	0.6750	0.3250	833.7925	0.001085936
140	0.6512	0.3488	776.8452	0.001075709
150	0.6279	0.3721	728.2502	0.001066823
160	0.6052	0.3948	686.358	0.001059161
170	0.5830	0.4170	649.9226	0.001052618
180	0.5615	0.4385	617.9854	0.001047103
190	0.5405	0.4595	589.7978	0.001042533
200	0.5202	0.4798	564.7669	0.001038833
210	0.5004	0.4996	542.4171	0.001035937
220	0.4812	0.5188	522.3627	0.001033784
230	0.4626	0.5374	504.2879	0.001032320
240	0.4446	0.5554	487.9315	0.001031493
241	0.4428	0.5572	486.3817	0.001031444
242	0.4411	0.5589	484.8466	0.001031401
243	0.4393	0.5607	483.3261	0.001031363
244	0.4375	0.5625	481.8201	0.001031331
245	0.4358	0.5642	480.3282	0.001031305
246	0.4341	0.5659	478.8504	0.001031285
247	0.4323	0.5677	477.3864	0.001031270
248	0.4306	0.5694	475.9361	0.001031261
249	0.4289	0.5711	474.4993	0.001031258
250	0.4272	0.5728	473.0758	0.001031260

### Perhitungan Age Replacement Komponen Waterpail

Waterpail				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
50	0.7109	0.2891	1079.202	0.000833729
100	0.5911	0.4089	763.0745	0.000780823
150	0.5019	0.4981	626.3757	0.000748243
200	0.4316	0.5684	548.9296	0.000727520
250	0.3746	0.6254	498.8465	0.000714410
300	0.3273	0.6727	463.794	0.000706496
350	0.2876	0.7124	437.9365	0.000702283
400	0.2538	0.7462	418.1341	0.000700786
401	0.2532	0.7468	417.7857	0.000700779
402	0.2526	0.7474	417.4389	0.000700772
403	0.2520	0.7480	417.0938	0.000700766
404	0.2514	0.7486	416.7503	0.000700761
405	0.2507	0.7493	416.4085	0.000700757
406	0.2501	0.7499	416.0682	0.000700754
407	0.2495	0.7505	415.7296	0.000700752
408	0.2489	0.7511	415.3925	0.000700750
409	0.2483	0.7517	415.057	0.000700749
410	0.2477	0.7523	414.723	0.000700749
411	0.2471	0.7529	414.3906	0.000700749
412	0.2465	0.7535	414.0598	0.000700750
413	0.2459	0.7541	413.7305	0.000700752
414	0.2453	0.7547	413.4027	0.000700755
415	0.2447	0.7553	413.0764	0.000700759
416	0.2441	0.7559	412.7516	0.000700763
417	0.2435	0.7565	412.4284	0.000700768
418	0.2429	0.7571	412.1066	0.000700774
419	0.2423	0.7577	411.7863	0.000700780
420	0.2417	0.7583	411.4674	0.000700788

**Perhitungan Age Replacement Komponen Baut Gear Dampfeed**

Baut Gear Damfeed				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
50	0.7144	0.2856	1113.485	0.001073142
100	0.5826	0.4174	761.7787	0.001008933
150	0.4901	0.5099	623.706	0.000969631
200	0.4197	0.5803	548.019	0.000944509
250	0.3637	0.6363	499.7937	0.000928382
300	0.3180	0.6820	466.284	0.000918354
350	0.2800	0.7200	441.6468	0.000912653
400	0.2479	0.7521	422.799	0.000910119
410	0.2420	0.7580	419.5522	0.000909918
420	0.2364	0.7636	416.4529	0.000909806
421	0.2359	0.7641	416.1507	0.000909799
422	0.2353	0.7647	415.8499	0.000909794
423	0.2347	0.7653	415.5505	0.000909789
424	0.2342	0.7658	415.2524	0.000909785
425	0.2337	0.7663	414.9556	0.000909782
426	0.2331	0.7669	414.6602	0.000909780
427	0.2326	0.7674	414.3661	0.000909778
428	0.2320	0.7680	414.0733	0.000909777
429	0.2315	0.7685	413.7819	0.000909778
430	0.2309	0.7691	413.4917	0.000909778
431	0.2304	0.7696	413.2028	0.000909780
432	0.2299	0.7701	412.9152	0.000909783
433	0.2293	0.7707	412.6289	0.000909786
434	0.2288	0.7712	412.3439	0.000909790
435	0.2283	0.7717	412.0601	0.000909795

**Perhitungan Age Replacement Komponen Roll Brush**

Roll Brush				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
50	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
100	0.7654	0.2346	2114.405	0.000907406
150	0.6509	0.3491	1420.663	0.000875200
200	0.5674	0.4326	1146.649	0.000852449
250	0.5017	0.4983	995.3673	0.000836090
300	0.4478	0.5522	898.2122	0.000824275
350	0.4025	0.5975	830.1283	0.000815820
400	0.3638	0.6362	779.619	0.000809923
450	0.3303	0.6697	740.6125	0.000806017
500	0.3010	0.6990	709.5774	0.000803689
510	0.2956	0.7044	704.1174	0.000803384
520	0.2903	0.7097	698.8725	0.000803128
530	0.2851	0.7149	693.8305	0.000802918
540	0.2801	0.7199	688.9799	0.000802752
550	0.2752	0.7248	684.3104	0.000802630
560	0.2704	0.7296	679.8121	0.000802548
570	0.2657	0.7343	675.4761	0.000802505
571	0.2652	0.7348	675.0511	0.000802503
572	0.2648	0.7352	674.6276	0.000802501
573	0.2643	0.7357	674.2056	0.000802500
574	0.2639	0.7361	673.7852	0.000802499
575	0.2634	0.7366	673.3662	0.000802498
576	0.2629	0.7371	672.9488	0.000802498
577	0.2625	0.7375	672.5328	0.000802498
578	0.2620	0.7380	672.1184	0.000802499
579	0.2616	0.7384	671.7054	0.000802500
580	0.2611	0.7389	671.2938	0.000802501

**Perhitungan Age Replacement Komponen Selang Air**

Selang Air				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
50	0.9121	0.0879	6744.899	0.000500842
100	0.8330	0.1670	3550.277	0.000472941
150	0.7624	0.2376	2495.611	0.000452183
200	0.6987	0.3013	1968.371	0.000436522
250	0.6410	0.3590	1652.015	0.000424639
300	0.5886	0.4114	1441.351	0.000415642
350	0.5408	0.4592	1291.267	0.000408901
400	0.4971	0.5029	1179.163	0.000403959
450	0.4572	0.5428	1092.452	0.000400474
500	0.4207	0.5793	1023.563	0.000398186
550	0.3872	0.6128	967.6628	0.000396889
600	0.3565	0.6435	921.523	0.000396422
601	0.3559	0.6441	920.6831	0.000396420
602	0.3553	0.6447	919.8462	0.000396419
603	0.3547	0.6453	919.0122	0.000396418
604	0.3542	0.6458	918.1812	0.000396417
605	0.3536	0.6464	917.3531	0.000396416
606	0.3530	0.6470	916.528	0.000396416
607	0.3524	0.6476	915.7057	0.000396415
608	0.3518	0.6482	914.8863	0.000396415
609	0.3513	0.6487	914.0698	0.000396416
610	0.3507	0.6493	913.2561	0.000396417
611	0.3501	0.6499	912.4453	0.000396417
612	0.3495	0.6505	911.6373	0.000396419
613	0.3489	0.6511	910.8322	0.000396420
614	0.3484	0.6516	910.0298	0.000396422
615	0.3478	0.6522	909.2302	0.000396424

### Perhitungan Age Replacement Komponen Belt

Belt				
tp	R(tp)	F(tp)	M(tp)	D(tp)
30	0.9679	0.0321	12286.87	0.001251275
60	0.9234	0.0766	5142.318	0.001177954
90	0.8741	0.1259	3130.647	0.001120026
120	0.8229	0.1771	2224.299	0.001074454
150	0.7710	0.2290	1720.84	0.001038836
180	0.7197	0.2803	1405.445	0.001011317
210	0.6694	0.3306	1191.785	0.000990460
240	0.6207	0.3793	1038.875	0.000975146
270	0.5740	0.4260	924.9136	0.000964489
300	0.5294	0.4706	837.3004	0.000957782
330	0.4872	0.5128	768.2771	0.000954449
340	0.4736	0.5264	748.4779	0.000954004
350	0.4603	0.5397	730.0335	0.000953864
351	0.4590	0.5410	728.2587	0.000953867
352	0.4577	0.5423	726.4961	0.000953872
353	0.4564	0.5436	724.7455	0.000953880
354	0.4551	0.5449	723.007	0.000953891
355	0.4537	0.5463	721.2803	0.000953905
356	0.4524	0.5476	719.5653	0.000953922
357	0.4511	0.5489	717.862	0.000953941
358	0.4499	0.5501	716.1702	0.000953963
359	0.4486	0.5514	714.4899	0.000953989
360	0.4473	0.5527	712.8208	0.000954017

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Jakarta pada tanggal 4 Juli 1993 dari ayah yang bernama Doso Agus Tomo dan ibu bernama Marya. Penulis diberi nama Vivi Tri Yanti. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 025 Pulogebang pada tahun 2000 dan lulus pada tahun 2006. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 236 Jakarta dan lulus pada tahun 2008. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMA Negeri 103 Jakarta dan lulus pada tahun 2011. Setelah lulus SMA, penulis hijrah ke Surabaya dan diterima di Jurusan

Teknik Industri Program Studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama masa perkuliahan penulis pernah terlibat dalam pembuatan *software* “*Travel Social*” untuk aplikasi android dan didanai oleh ITS melalui PMW (Program Mahasiswa Wirausaha). Penulis juga aktif dalam kegiatan sosial seperti HMTI Mengajar dan Perlindungan Hewan Langka. Penulis sangat menyukai bidang seni terutama musik. Penulis pernah menjuarai perlombaan Vocal Group tingkat propinsi.