

**ANALISIS KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMASI PERAWATAN
DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)* II**

(Studi Kasus Stasiun Ketel PT. PG Krebet Baru I Malang)

**SKRIPSI
KONSENTRASI SISTEM MANUFAKTUR DAN JASA**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**NUR HAYATI
NIM. 051 067 0042 - 62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**

**ANALISIS KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMASI PERAWATAN
DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*
(RCM) II**

(Studi Kasus Stasiun Ketel PT. PG Krebet Baru I Malang)

SKRIPSI

KONSENTRASI SISTEM MANUFAKTUR DAN JASA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik

Disusun oleh :

NUR HAYATI
NIM. 0510670042 - 62



Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Indrayadi., MT.
NIP. 19600905 198701 1 001

Dosen Pembimbing II

Hary Sudjono, S.Si.,MT.
NIP. 19740406 200604 1 001



LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMASI PERAWATAN
DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*
(RCM) II

(Studi Kasus Stasiun Ketel PT. PG Krebet Baru I Malang)

SKRIPSI

KONSENTRASI SISTEM MANUFAKTUR DAN JASA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik

Disusun oleh :

NUR HAYATI

NIM. 0510670042 - 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 27 Januari 2010

Skripsi I

Skripsi II

Ir. Purnomo Budi Santoso., M.Sc.,Ph.D.

NIP. 19530113 198303 1 003

Nasir Widha Setyanto, ST., MT.

NIP. 19700914 200501 1 001

Komprehensif

Dra. Murti Astuti., MSIE
NIP. 19610620 198603 2 001

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Industri

Nasir Widha Setyanto, ST., MT.

NIP. 19700914 200501 1 001

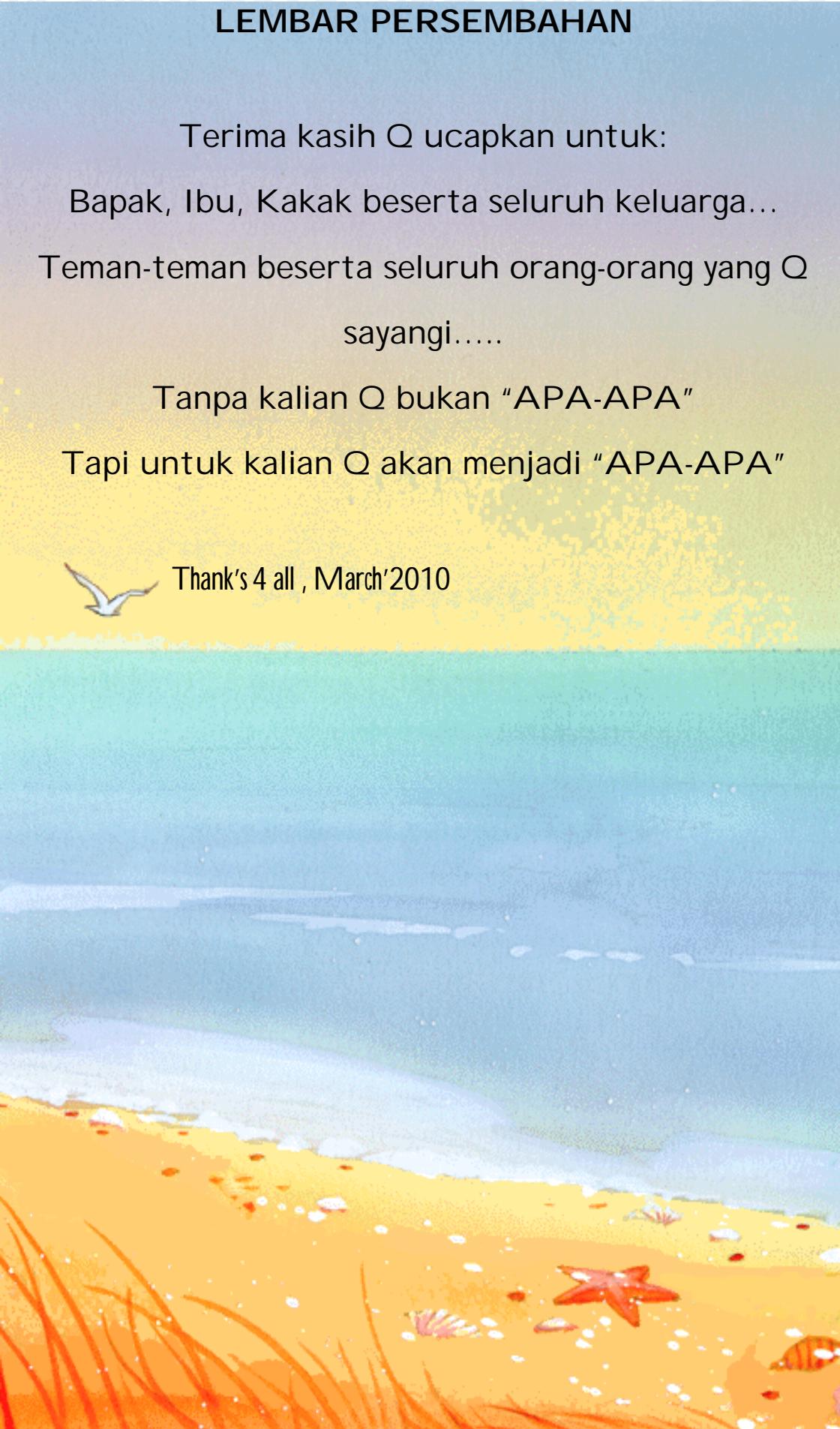


LEMBAR PERSEMBAHAN

Terima kasih Q ucapan untuk:
Bapak, Ibu, Kakak beserta seluruh keluarga...
Teman-teman beserta seluruh orang-orang yang Q
sayangi.....
Tanpa kalian Q bukan "APA-APA"
Tapi untuk kalian Q akan menjadi "APA-APA"



Thank's 4 all , March'2010



LEMBAR PERSEMBAHAN

Terima kasih Q ucapan untuk:

Bapak, Ibu, Kakak beserta seluruh keluarga...

Teman-teman beserta seluruh orang-orang yang Q sayangi.....

Tanpa kalian Q bukan "APA-APA"

Tapi untuk kalian Q akan menjadi "APA-APA"

Thank's 4 all , March'2010



PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan hasil penelitian dengan judul **“ANALISIS KEANDALAN SEBAGAI DASAR OPTIMASI PERAWATAN DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II Studi Kasus Stasiun Ketel PT. PG Krebet Baru I Malang”** dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan hasil penelitian ini, terutama kepada:

1. Bapak, ibu, kakak dan seluruh keluarga, terima kasih atas kasih sayang serta bantuan doa dan dukungannya selama ini.
2. Ir. Bambang Indrayadi, MT selaku pembimbing utama dan KKDK serta Hary Sudjono, S.Si., MT selaku pembimbing kedua atas arahan dan bimbingannya hingga terselesaikannya penulisan laporan hasil penelitian ini.
3. Nasir Widha Setyanto, ST., MT. selaku Kaprodi Teknik Industri.
4. Sahabat-sahabatku dan teman-teman Teknik Industri 2005 beserta adik-adik angkatan tercinta atas bantuan dan dukungannya.
5. Teman-teman kos di Kertoasri 96, kebersamaan kalian tak akan terlupakan.
6. Serta semua pihak yang tak dapat disebutkan namanya satu persatu, yang telah membantu dalam penyelesaian laporan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa laporan hasil penelitian ini masih kurang dari sempurna. Akhir kata penulis berharap agar laporan hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Januari 2010

Penulis



DAFTAR ISI

halaman

PENGANTAR.....	i
-----------------------	---

DAFTAR ISI.....	ii
------------------------	----

DAFTAR TABEL.....	vi
--------------------------	----

DAFTAR GAMBAR.....	viii
---------------------------	------

DAFTAR LAMPIRAN.....	iv
-----------------------------	----

RINGKASAN.....	x
-----------------------	---

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Asumsi-Asumsi	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perawatan (Maintenance)	5
2.2 Klasifikasi Perawatan	5
2.3 <i>Reliability Centered Maintenance II</i>	7
2.3.1 <i>Sistem Function and Function Failure</i>	8
2.3.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	9
2.3.3 <i>RCM II Decision Woksheets</i>	9
2.3.3.1 <i>RCM II Worksheet</i>	9
2.3.4 <i>Failure Consequence</i>	11



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian	19
3.2 Pengumpulan Data	19
3.3 Pengolahan Data	20
3.3.1 Pengolahan Data Kualitatif	20
3.3.1.1 <i>System Function and Function Failure</i>	21
3.3.1.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	21
3.3.1.3 <i>RCM II Decision Worksheet</i>	21
3.3.2 Pengolahan data Kuantitatif	22
3.3.2.1 Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan/ Perbaikan	22
3.3.2.2 Penentuan Interval Perawatan	22

3.3.2.3 Penentuan Biaya Perawatan Berdasarkan.....	22
Interval Perawatan Optimal	
3.4 Analisis Data	22
3.5 Diagram Alir Penelitian	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil	25
4.1.1 Jenis dan Spesifikasi Mesin	25
4.1.1.1 <i>Conveyor</i> (Lampiran 1).....	25
4.1.1.2 <i>Boiler</i> (Lampiran 2)	25
4.1.2 Pemilihan Mesin Kritis	25
4.1.3 Pengumpulan Data	28
4.1.3.1 Data Kualitatif	28
4.1.3.1.1 Data Fungsi Mesin	28
4.1.3.1.2 Data Kegagalan Fungsi Mesin	29
4.1.3.2 Data Kuantitatif	30
4.1.4 Pengolahan Data	34
4.1.4.1 <i>Function and Function Failure</i>	34
4.1.4.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	35
4.1.4.3 <i>Failure Consequence</i>	44
4.1.4.4 Perhitungan Matematis Penentuan Initial Interval....	44
Perawatan	
4.1.4.5 <i>RCM Decision Worksheet</i>	51
4.2 Pembahasan	54

4.2.1 Analisis Pemilihan Mesin dan Komponen Kritis	55
4.2.2 Analisis <i>RCM Worksheet</i>	55
4.2.2.1 Analisis <i>System Function and Function Failure</i>	55
4.2.2.2 Analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	55
4.2.2.3 Analisis <i>Failure Consequence</i>	56
4.2.3 Analisis Biaya Total dengan Penjadwalan Perawatan	57
Optimal	
4.2.4 Analisis <i>Decission Worksheet Diagram and Propose Task</i>	59
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	64



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
	Tabel 2.1 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA)	9
	Tabel 2.2 RCM II Worksheet	9
	Tabel 2.3 <i>Failure Consequence</i>	10
	Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	19
	Tabel 4.1 Frekuensi Kerusakan Mesin Tahun 2005-2008	26
	Tabel 4.2 Total <i>Downtime</i> Akibat Kerusakan Mesin	27
	Tabel 4.3 Komponen Utama <i>Bagasse Conveyor III</i>	28
	Tabel 4.4 Komponen Utama <i>Boiler Yoshimine I</i>	29
	Tabel 4.5 <i>Function and Function Failure</i> Mesin <i>Bagasse Conveyor III</i>	30
	Tabel 4.6 <i>Function and Function Failure</i> Mesin <i>Yoshimine I</i>	30
	Tabel 4.7 Data Waktu Antar Kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr) <i>Bagasse Conveyor III</i>	31
	Tabel 4.8 Data Waktu Antar Kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr) <i>Yoshimine I</i>	32
	Tabel 4.9 Biaya Tenaga Kerja Perawatan	33
	Tabel 4.10 Harga Komponen Mesin	33
	Tabel 4.11 Biaya Perawatan Persiklus	34
	Tabel 4.12 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> <i>Bagasse Conveyor III</i>	37
	Tabel 4.13 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> <i>Yoshimine I</i>	39
	Tabel 4.14 <i>Failure Consequence</i>	44
	Tabel 4.15 Uji Distribusi Waktu Antar Kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr)	45



Tabel 4.16 Perhitungan MTTF dan MTTR	46
Tabel 4.17 Biaya Tenaga Kerja	46
Tabel 4.18 Biaya Perbaikan Komponen Mesin	47
Tabel 4.19 Interval Perawatan Optimal	48
Tabel 4.20 Total Biaya Perawatan dengan Interval Perawatan Optimum	49
Tabel 4.21 <i>Proactive and default action</i>	50
Tabel 4.22 <i>RCM Decission Worksheet Bagasse Conveyor III</i>	53
Tabel 4.23 <i>RCM Decission Worksheet Yoshimine I</i>	54
Tabel 4.24 Total Biaya Perawatan dengan Interval Perawatan Optimum	58
Tabel 4.25 Perbandingan Reliability Tm & To	60

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 Klasifikasi Kegiatan Perawatan	5
	Gambar 2.2 Kurva laju kegagalan bak mandi (Bathup-Shaped)	13
	Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	24
	Gambar 4.1 Frekuensi Kerusakan Mesin	26
	Gambar 4.2 Total <i>Downtime</i> Akibat Kerusakan Mesin	27
	Gambar 4.3 <i>Function Diagram Bagasse Conveyor III</i>	35
	Gambar 4.4 <i>Function Diagram Yoshimine I</i>	35



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
	Lampiran 1. Jenis Dan Spesifikasi Mesin	64
	Lampiran 2. Perhitungan MTTF Komponen <i>Bagasse Conveyor III</i>	79
	Lampiran 3. Perhitungan MTTF Komponen Mesin <i>Yoshimine I</i>	80
	Lampiran 4. Perhitungan MTTR Komponen Mesin <i>Bagasse Conveyor III</i>	82
	Lampiran 5. Perhitungan MTTR Komponen Mesin <i>Yoshimine I</i>	83
	Lampiran 6. Perhitungan Biaya Perawatan Komponen Mesin (Rupiah)	85
	Lampiran 7. Perhitungan TM Komponen Mesin	86
	Lampiran 8. Pengolahan Data dengan Software MINITAB 14	87
	Lampiran 9. Flow Sheet PG. Krebet Baru I	105



RINGKASAN

Nur Hayati, Jurusan Teknik Indutri, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2010, *Analisis Keandalan Sebagai Dasar Optimasi Perawatan Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II Di Stasiun Ketel PT. PG Krebet Baru I Malang*, Dosen Pembimbing : Ir. Bambang Indrayadi, MT dan Hary Sudjono, S.Si., MT.

PT. PG Krebet Baru I Malang, khususnya stasiun Ketel selama musim giling, mesin-mesinya bekerja secara terus menerus sehingga banyak mesin yang mengalami kerusakan pada saat beroperasi. Usia pabrik yang sudah tua dan alat-alat produksi yang aus merupakan salah satu penyebab utama tingginya *downtime* akibat kerusakan mesin di pabrik gula. Namun untuk menggantikan mesin dan peralatan yang mengalami kerusakan tentunya bukan sesuatu yang mudah apalagi dibutuhkan biaya yang sangat banyak sekali. Untuk mengurangi kerusakan-kerusakan tersebut dibutuhkan suatu kebijakan perawatan yang optimal agar mesin dapat beroperasi secara maksimal.

Pada penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* dimana sumber datanya menggunakan data kuantitatif dan data kualitatif. Pengumpulan data yang dilakukan melalui cara *survey* di lapangan dengan menggunakan hasil wawancara dan dokumentasi. Pada penelitian ini sampel yang diambil adalah mesin-mesin kritis beserta komponennya yang ada di stasiun Ketel. Kemudian dilakukan pengolahan data dengan cara pemilihan mesin kritis dan pemilihan kebijakan perawatan yang optimal dengan menggunakan *Reliability Centered Maintenance II*.

Hasil proses pengolahan data menunjukkan bahwa mesin kritis yang berdasarkan frekuensi kerusakan mesin dan total *downtime* akibat kerusakan mesin adalah mesin *Bagasse Conveyor III* dan *Yoshimine I*. Berdasarkan data kualitatif dilakukan analisis *RCM Worksheet* yang dijabarkan ke dalam *RCM Decision Diagram Worksheet* yang berisi *System Function and Function Failure* maupun *Failure Mode and Effect Analysis* sehingga dapat dilakukan analisis tindakan pencegahan yang dibutuhkan. Sedangkan berdasarkan data kuantitatif dilakukan pengolahan data berupa data waktu antar kerusakan (Tf) dan data waktu perbaikan (Tr) dari mesin-mesin kritis kemudian diolah dengan bantuan software MINITAB 14 untuk memperoleh nilai parameter bentuk (β) dan parameter skala (η) sehingga menghasilkan interval waktu perawatan yang optimal untuk menentukan kebijakan perawatan yang efektif. Dari hasil interval perawatan yang optimal tersebut diperoleh hasil sebagai berikut: *Gearbox BC III* 288,9 jam; rantai penggerak *BC III* 891,3 jam; *Scrapper BC III* 350,9 jam; *FWP Yoshimine I* 383,8 jam; *Air heater Yoshimine I* 569,3 jam; *Burner Yoshimine I* 590,4 jam; *Deaerator Yoshimine I* 461,3 jam; *IDF Yoshimine I* 9508,9 jam; *FDF Yoshimine I* 29581,7 jam. Berdasarkan hasil kesimpulan tersebut sebaiknya perusahaan lebih memperhatikan pengaturan jadwal pemeliharaan optimal yang disesuaikan dengan hasil interval perawatan optimum guna meminimumkan biaya pemeliharaan dan memperkecil kerugian akibat *downtime* mesin.

Kata kunci : *downtime*, *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*, *RCM Decision Diagram Worksheet*, *System Function and Function Failure*, *Failure Mode and Effect Analysis*.



SUMMARY

Nur Hayati, Industrial Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, January 2010, *Reliability Analysis as the Basic for Optimizing Maintenance using Reliability Centered Maintenance (RCM) II Method at Boiler Station of PT. PG Krebet Baru I Malang*, Supervisors: Ir. Bambang Indrayadi, MT and Hary Sudjono, S.Si., MT.

PT. PG Krebet Baru I Malang, especially Boiler station during the milling season, the machines work continuously so that many machines that were damaged during operation. Old age factory and worn production equipment is one of the main causes of downtime due to the damage of machine in the sugar mill. But to replace the damaged engine and equipment is not something easy that will cost much. To reduce these damages, it is needed an optimal maintenance policy for the machine to operate optimally.

This study used the method of *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*, where the data source is quantitative data and qualitative data. Data was collected using survey that was conducted in the field by using the results of interviews and documentation. In this study of samples taken is critical machines and the components in Boiler station. Then, the data is processed by the critical machine selection and selection of optimal treatment using *Reliability Centered Maintenance II*.

Data processing results show that the critical engine based on the frequency of mechanical failure and the total *downtime* due to mechanical failure is machine of *Bagasse Conveyor III* and *Yoshimine I*. Based on qualitative data, RCM Worksheet analysis is performed described in *RCM Decision Diagram Worksheet* that contains the *System Function and Function Failure and Failure Mode and Effects Analysis* so that the analysis is performed for required precautions. While based on quantitative data is processed in the form of data between damages time (Tf) and data of repair time (Tr) of critical machines and then processed by means of MINITAB 14 software to obtain the parameter values of (β) and scale parameter (η) to produce optimal treatment time interval to determine the effective maintenance policy. Based on the result of optimal maintenance interval, the result is as follows: Gearbox BC III 288.9 hours; mover chain BC III 891.3 hours; Scrapper BC III 350.9 hours; FWP Yoshimine I 383.8 hours; heater water Yoshimine I 569.3 hours; Burner Yoshimine I 590.4 hours; Deaerator Yoshimine I 461.3 hours; IDF Yoshimine I 9508.9 hours; FDF Yoshimine I 29,581.7 hours. Based on the conclusion, the company should pay more attention to the setting of the optimum maintenance schedule adjusted to the optimum treatment interval to minimize maintenance costs and minimize losses due to machine downtime.

Keywords: *Downtime, Reliability Centered Maintenance (RCM) II, RCM Decision Diagram Worksheet, System Function and Function Failure, Failure Mode and Effect Analysis.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu perusahaan akan berusaha agar peralatan dan mesin-mesin produksinya dapat berjalan dengan lancar. Dalam usaha untuk dapat terus menggunakan fasilitas tersebut agar jalannya produksi dapat terjamin, maka dibutuhkan kegiatan-kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) terhadap peralatan dan mesin-mesin produksi tersebut karena perawatan diartikan sebagai suatu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang sesuai dengan yang direncanakan (Assauri: 1993).

Usia pabrik yang tua dan alat-alat produksi yang aus adalah salah satu penyebab utama tingginya *downtime* akibat kerusakan mesin di pabrik gula. Hal ini merupakan masalah klasik yang terjadi pada mayoritas pabrik gula di Indonesia. Kondisi ini mengakibatkan *inefisiensi* di pabrik gula bukan hanya disebabkan oleh tingginya beban biaya perbaikan (*repair cost*), namun juga biaya konsekwensi operasional (*operational consequence cost*) yang harus ditanggung akibat tidak tercapainya target produksi.

Pada PT. PG Krebet Baru I, khususnya pada stasiun Ketel selama musim giling, mesin-mesinnya bekerja secara terus-menerus sehingga banyak mesin yang mengalami kerusakan pada saat beroperasi. Kegiatan perawatan yang selama ini telah diterapkan oleh PT. PG Krebet Baru I adalah *overhaul*, yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan paska musim giling. Tujuannya untuk melakukan perbaikan agar di musim giling berikutnya tidak terjadi kerusakan. Disamping kegiatan *overhaul* PT. PG Krebet Baru I juga melaksanakan tindakan *preventive maintenance*, yaitu tindakan perawatan mesin-mesin produksi yang dilakukan setiap 15 hari sekali selama musim giling. Tetapi meskipun telah dilakukan kebijakan perawatan *overhaul* dan *preventive maintenance* tetap saja masih terjadi kerusakan pada saat beroperasi.

Pada PT. PG Krebet Baru I di stasiun ketel terdapat beberapa sebab yang mengakibatkan mesin berhenti pada waktu produksi (giling) antara lain sebagai berikut:

1. *Filter oil burner* ketel *Cheng Chen* pecah
2. *Gearbox Bagasse Conveyor 3* rusak
3. Rantai penggerak *Bagasse Conveyor 1,2,3* putus
4. Penggerak *Bagasse Conveyor 3* trip
5. Kabel *supply motor IDF Yoshimine I* jebrot



6. *FDF Yoshimine II oil press low*
7. *Kopling IDF ketel Yoshimine I pecah*
8. *Scraper Bagasse Conveyor III putus*
9. *Van belt Bagasse Conveyor II putus*
10. Pipa ketel *Yoshimine* bocor
11. *Front wall tube* ketel *Cheng Chen* bocor
12. *Afluiter FWP* ketel *Yoshimine* bocor
13. Kebakaran elektro motor + *kontraktor FDF Yoshimine I*,dsb.

Berdasarkan faktor-faktor penyebab terjadinya mesin berhenti pada waktu produksi (giling) di atas, maka dapat diketahui bahwa waktu kerusakan masing-masing mesin yang terjadi di stasiun Ketel PT. PG Krebet baru I Malang mulai tahun 2005-2008 antara lain: *Bagasse Conveyor I* 103,15 jam; *Bagasse Conveyor II* 105,82 jam; *Bagasse Conveyor III (Double Deck)* 170,4 jam; *Bagasse Conveyor IV* 108,77 jam; *Bagasse Conveyor V (Feed Back)* 106,54 jam; *Belt Conveyor I* (atas) 80,6 jam; *Bagasse Reclaimer* 76,5 jam; *Belt Conveyor II* (bawah) 102,35 jam; Ketel *Yoshimine I* 102,35 jam; Ketel *Yoshimine II* 134,7 jam; Ketel *Chengchen* 150,37 jam. Menurut data-data waktu kerusakan mesin yang terjadi di stasiun Ketel tersebut selama 4 tahun mengakibatkan total waktu kerusakan untuk semua jenis mesin adalah 1295,55 jam sehingga tidak efisien pada proses produksi pabrik gula.

Salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi pada pabrik gula adalah dengan penerapan sistem kebijaksanaan perawatan yang tepat. *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* merupakan metode penggabungan analisa kualitatif dan kuantitatif dalam penentuan program pemeliharaan. Analisa kualitatif terdapat pada tindakan perawatan yang diusulkan (*proposed task*) atau diambil apakah itu *Scheduled Restoration Task*, *Scheduled Discard Task* dan *Scheduled On-condition Task*. Sedangkan analisa kuantitatif terdapat pada penentuan *initial interval* atau interval perawatan dengan mempertimbangkan biaya perawatan dan perbaikan komponen. Sehingga penentuan interval perawatan yang didapat akan memberikan nilai *total cost* yang minimum, semuanya dituangkan dalam *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Diagram* dan *RCM II Decision Diagram* yang tergabung dalam *RCM II Worksheet*.

Dari uraian di atas maka penelitian ini dilakukan untuk merencanakan kebijakan perawatan yang optimal untuk mempertahankan proses produksi pada kondisi yang optimal dengan menggunakan metode *RCM (Reliability Centered Maintenance) II*. Karena metode RCM II mempunyai kelebihan dalam penentuan program pemeliharaan

yang difokuskan pada komponen atau mesin-mesin kritis (*critical item list*) dan menghindari kegiatan perawatan yang tidak diperlukan dengan menentukan interval pemeliharaan yang tepat.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas , maka dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Salah satu penyebab utama tingginya *downtime* pada mayoritas pabrik gula di Indonesia akibat kerusakan mesin adalah usia pabrik yang sudah tua dan alat-alat produksi yang aus termasuk yang terjadi di PT. PG Krebet Baru I Malang.
2. Selama ini PT. PG Krebet Baru I Malang khususnya di stasiun Ketel sudah menerapkan kegiatan perawatan *overhaul* pasca musim giling dan *preventive maintenance* setiap 15 hari sekali, namun tetap saja terjadi kerusakan mesin pada saat beroperasi.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas maka rumusan permasalahan yang dapat diangkat adalah “Bagaimana menentukan kebijakan perawatan mesin yang optimal dengan menggunakan metode *RCM (Reliability Centered Maintenance) II* di Stasiun Ketel PT PG Krebet Baru I”.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memudahkan dalam menganalisa dan memecahkan permasalahan dalam penulisan tugas akhir ini perlu adanya batasan-batasan masalah agar pembahasan lebih terarah. Adapun batasan-batasan dari permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Data-data historis untuk penelitian diambil dari tahun 2005-2008.
2. Pembahasan hanya dilakukan pada pemeliharaan mesin kritis di stasiun Ketel PT PG Krebet Baru I Bululawang Malang.
3. Kerusakan mesin hanya disebabkan oleh proses produksi (giling) selama satu siklus musim giling.
4. Data waktu antar kerusakan dan perbaikan diambil hanya waktu musim giling.
5. Biaya yang dikaji adalah biaya tenaga kerja (CW), biaya konsekuensi operasional (CO), biaya perbaikan (CR), biaya perawatan (CM) dan biaya penggantian komponen (CF)

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan komponen kritis di Stasiun Ketel.
2. Menentukan interval perawatan mesin yang optimal di stasiun Ketel.
3. Menentukan penjadwalan pemeliharaan yang optimal dengan dasar pertimbangan biaya resiko kegagalan dan biaya pemeliharaan yang dikeluarkan perusahaan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas , maka manfaat penelitian yang dapat diambil adalah

1. Mengetahui komponen-komponen kritis di stasiun Ketel.
2. Mengetahui interval perawatan mesin yang optimal di stasiun Ketel.
3. Mengetahui penjadwalan penjadwalan pemeliharaan yang optimal dengan dasar pertimbangan biaya resiko kegagalan dan biaya pemeliharaan yang dikeluarkan perusahaan dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*.

1.7 Asumsi-Asumsi

Asumsi-asumsi yang dipakai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Selama penelitian tidak ada perubahan mesin.
2. Selama penelitian tidak ada perubahan kebijakan perawatan.
3. Data waktu perbaikan (*repair*) sudah termasuk waktu *setup* atau waktu persiapan perawatan.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perawatan (*Maintenance*)

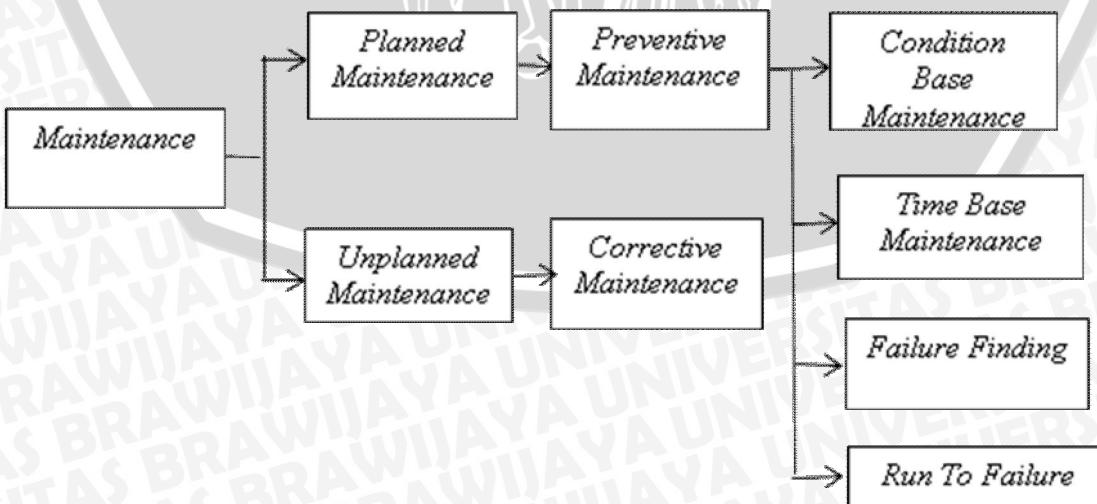
“*Maintenance*” merupakan suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam atau untuk memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima (Corder, 1996). Blancard, Dinesh, Elmer (1995) mendefinisikan pemeliharaan sebagai salah satu kegiatan pendukung yang bertujuan untuk menjamin kelangsungan fungsional suatu sistem produksi (peralatan, mesin dan fasilitas lainnya) sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Blancard menambahkan bahwa kondisi di atas dapat dicapai antara lain dengan melakukan perencanaan penjadwalan tindakan perawatan.

Sedang tujuan dilakukan perawatan menurut Corder (1996) antara lain:

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

2.2 Klasifikasi Perawatan

Menurut Corder (1996) klasifikasi perawatan dapat ditunjukkan melalui gambar 2.1:



Gambar 2.1 Klasifikasi Kegiatan Perawatan

Sumber : Corder (1996)

Secara garis besar tindakan perawatan dibedakan atas dua hal, yaitu:

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

Pemilihan kegiatan perawatan tersebut didasarkan atas sifat dari kerusakan atau kegagalan pada peralatan, apakah bersifat terprediksi atau tidak terprediksi. Selain itu pemilihan juga didasari atas biaya yang ditanggung apabila menerapkan salah satu jenis kegiatan perawatan. *Preventive maintenance* adalah tindakan perawatan untuk mencegah terjadinya kerusakan. *Corrective maintenance* adalah tindakan perawatan setelah terjadinya kerusakan. Terdapat kategori kegiatan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) antara lain:

1. *Condition directed* merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mendeteksi awal terjadinya kerusakan dan memperkirakan waktu-waktu yang menunjukkan suatu peralatan akan mengalami kegagalan dalam menjalankan operasinya.
2. *Time directed* merupakan kegiatan yang bertujuan secara langsung mencegah atau memperlambat terjadinya kerusakan dan dilakukan secara periodik sampai peralatan tidak dapat diperbaiki kembali.
3. *Failure finding* merupakan kegiatan yang bertujuan menemukan kerusakan yang tersebunyi dalam menjalankan operasinya. Pada sistem yang besar dan kompleks hampir seluruh peralatan pernah mengalami kerusakan tersebunyi.
4. *Run to Failure* merupakan suatu keputusan mengoperasikan peralatan sampai terjadi kerusakan karena ditinjau dari segi ekonomis tidak menguntungkan jika dilakukan perawatan.

Blanchard *et al* (1995) mengklasifikasi perawatan menjadi 6 bagian, yaitu:

1. *Corrective Maintenance* merupakan perawatan yang terjadwal ketika suatu sistem mengalami kegagalan untuk memperbaiki sistem pada kondisi tertentu.
2. *Preventive Maintenance* meliputi semua aktivitas yang terjadwal untuk menjaga sistem / produk dalam kondisi operasi tertentu. Jadwal perawatan meliputi periode inspeksi.

3. *Predictive Maintenance* sering berhubungan dengan memonitor kondisi program perawatan preventif dimana metode memonitor secara langsung digunakan untuk menentukan kondisi peralatan secara teliti.
 4. *Maintenance Prevention* merupakan usaha mengarahkan *maintenance free design* yang digunakan dalam konsep “*Total Predictive Maintenance (TPM)*”. Melalui desain dan pengembangan peralatan, keandalan dan pemeliharaan dengan meminimalkan *downtime* dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya siklus hidup.
 5. *Adaptive Maintenance* menggunakan *software* komputer untuk memproses data yang diperlukan untuk perawatan.
 6. *Perfective Maintenance* meningkatkan kinerja, pembungkusan/pengepakan/pemeliharaan dengan menggunakan *software* komputer.
- Preventive maintenance* dibedakan atas dua kegiatan (Assauri, 1993) yaitu:
1. *Routine Maintenance* yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin. Contohnya 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.

2.3 Reliability Centered Maintenance II

Reliability Centered Maintenance (RCM) didefinisikan sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin setiap item fisik atau suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan oleh penggunanya (Moubray, 1997). *Reliability Centered Maintenance* mengarahkan pada penanganan item agar tetap handal dalam menjalankan fungsinya dengan tetap mengacu pada efektifitas biaya perawatan. *Reliability Centered Maintenance* merupakan teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan dua jenis tindakan pencegahan yaitu *Preventive Maintenance* dan *Predictive Maintenance* dimana *preventive maintenance* telah dijelaskan sebelumnya. *Predictive Maintenance* (PdM) adalah pemeliharaan berdasarkan penilaian atau analisa kondisi (*condition base*) komponen-komponen mesin secara keseluruhan.

Keuntungan dari metode RCM II ini adalah:



1. Penentuan program pemeliharaan difokuskan pada komponen atau mesin-mesin kritis (*critical item list*) dan menghindari kegiatan perawatan yang tidak diperlukan dengan menentukan interval pemeliharaan yang tepat.
2. Menggabungkan analisa kualitatif dalam penentuan program pemeliharaan. Analisa kualitatif terdapat pada tindakan perawatan yang diusulkan (*proposed task*) atau diambil, apakah itu *Scheduled Restoration Task*, *Scheduled Discard Task* dan *Scheduled On-Condition Task*. Sedangkan analisa kuantitatif terdapat pada penentuan *initial interval* atau interval perawatan dengan mempertimbangkan biaya perawatan dan perbaikan komponen sehingga penentuan interval perawatan yang didapat akan memberikan nilai *total cost* yang minimum.

Penelitian tentang *Reliability Centered Maintenance* pada dasarnya menjawab 7 pertanyaan utama tentang item atau peralatan yang diteliti. Ketujuh pertanyaan mendasar tersebut antara lain:

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standart dari item dalam konteks operasional pada saat ini (*system standart*)?
2. Bagaimana item atau peralatan tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure modes*)?
4. Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi (*failure consequence*)?
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi dan mencegah masing-masing kegagalan tadi (*proactive task and task interval*)?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil ditemukan (*default action*)?

Reliability Centered Maintenance lebih menitikberatkan pada penggunaan analisa kualitatif untuk komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu sistem. Ketujuh pertanyaan diatas dituangkan dalam bentuk *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *RCM Decission Diagram* yang tergabung dalam *RCM worksheet*.

2.3.1 Sistem Function and Function Failure

Sistem *function* didefinisikan sebagai fungsi sebagai item yang diharapkan oleh *user* tetapi masih berada dalam level kemampuan dari *item* tersebut sejak saat dibuat. Sistem *maintenance* hanya mampu menjaga kondisi *item* tetap berada di bawah *initial*



capability dari desain *item*. *Function* merupakan fungsi utama dari mesin yang diharapkan oleh *user*, sedangkan *function failure* merupakan kegagalan mesin melaksanakan fungsi utama yang diharapkan *user*.

2.3.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure mode adalah segala sesuatu yang menyebabkan suatu aset atau sistem menjadi rusak. *Failure effect* menjelaskan dampak yang ditimbulkan ketika *failure mode* terjadi. Semua proses identifikasi tersebut dituangkan dalam *FMEA Diagram*. Dalam *FMEA Diagram* ada beberapa kolom yang harus diisi, kolom tersebut antara lain: *Function* (fungsi item/komponen mesin), *Function Failure* (kerusakan yang terjadi), *Failure Mode* (penyebab kerusakan) dan *Failure Effect* (dampak yang terjadi ketika terjadi kerusakan) (Moubray, 1997). Di bawah ini akan ditunjukkan tabel 2.1 tentang gambaran FMEA:

Tabel 2.1 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

RCM II INFORMATION WORKSHEET		System :	Facilitator		
		Sub System:	Auditor		
<i>Function</i>	<i>Function Failure</i>	<i>Failure Mode</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Information Reference</i>	
				<i>(Cause Of Failure)</i>	<i>(What Happen When It Failure)</i>
				<i>F</i>	<i>FF</i>
					<i>FM</i>

Sumber : Moubray (1997)

1.3.3 RCM II Decision Worksheet

Langkah selanjutnya adalah menuangkan ke dalam *RCM II worksheet* yang berisi kolom-kolom yang berasal dari *FMEA Diagram*.

2.3.3.1 RCM II Worksheet

Tabel 2.2 RCM II Worksheet

RCM II INFORMATION WORKSHEET			Sub System :			Facilitator :		
			System :			Auditor :		
<i>Information Reference</i>	<i>Consequence Evaluation</i>	H1	H2	H3	<i>Default Action</i>	<i>Proposed Task</i>	<i>Initial Interval</i>	<i>Can be done</i>
		S1	S2	S3				
		O1	O2	O3				



F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			by

Sumber : Moubray (1997)

Keterangan:

a. *Information Reference*

Berisi informasi tentang kegagalan yang tercantum dalam *FMEA Diagram*. Yang terdiri dari kolom F (*failure*), FF (*function failure*) dan FM (*failure mode*).

b. *Consequence Evaluation*

Kolom ini berisi tentang konsekuensi atau dampak dari kegagalan yang terjadi. Yang terdiri dari kolom :

- H : kolom ini menunjukkan dampak dari *Hidden Failure*.
- S : kolom ini menjelaskan dampak pada *Safety*.
- E : kolom ini menjelaskan dampak pada *Environmental*.
- O : kolom ini menunjukkan dampak pada *Operational*

Tabel 2.3 Failure Consequence

Failure Consequence	Keterangan	
	Yes	No
Kolom H (<i>Hidden Failure</i>)	<i>Failure Mode</i> diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	<i>Failure Mode</i> tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada keselamatan kerja operator	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada keselamatan kerja operator
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada keselamatan /kelestarian lingkungan	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan.
Kolom O (<i>Operational</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada output produksi	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada output produksi

Sumber : Moubray (1997)

c. *Proactive Task*

Kolom ini digunakan untuk mencatat kegiatan *proactive task* yang telah dipilih. Dalam kolom *proactive task* dibagi menjadi 3 kolom, yaitu:

H1/S1/O1/N1 : digunakan untuk mencata apakah *Scheduled On-condition Task* yang cocok bisa meminimalkan dampak dari kegagalan.



H2/S2/O2/N2 : digunakan untuk mencatat apakah *Scheduled Restoration Task* yang cocok bisa mengurangi kegagalan.

H3/S3/O3/N3 : digunakan untuk mencatat apakah *Scheduled Discard Task* bisa mengurangi kegagalan.

d. *Default Action*

Dalam kolom ini terdapat tiga kolom yang digunakan untuk mencatat ketiga pertanyaan dari *default action*.

- H4 : mencatat apakah *failure finding task* secara teknis mungkin dan bias digunakan?
- H5 : mencatat apakah kegagalan bias mempengaruhi keselamatan atau lingkungan?
- S4 : mencatat apakah *combination task* mungkin dilakukan?

e. *Proposed Task*

Apabila *proactive task* telah dipilih, maka deskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom *proposed task*.

f. *Initial Interval*

Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan atau bulanan.

g. *Can Be Done By*

Kolom terakhir dalam *RCM II Worksheet* ini digunakan untuk mencatat siapa yang bisa melakukan tindakan perawatan tersebut. Bisa dilakukan oleh operator maupun mekanik.

1.3.4 *Failure Consequence*

Failure Consequence merupakan konsekuensi yang ditimbulkan karena terjadinya kegagalan fungsi. Dalam RCM *failure consequence* dibedakan atas 4 jenis yaitu

- *Hidden Failure Consequence* adalah konsekuensi kegagalan yang terjadi tersebut tidak bisa dibuktikan secara langsung tetapi akan menyebabkan kegagalan yang serius.
- *Safety and Environment Consequence* adalah konsekuensi kegagalan yang dapat menyebabkan seseorang terluka atau terbunuh.

- *Operational Consequence* adalah konsekuensi kegagalan yang dapat berakibat pada produksi (output, kualitas produk, dan biaya operasional).
- *Non-operational Consequence* adalah konsekuensi kegagalan yang berdampak langsung pada biaya perbaikan.

2.3.5 Proactive Task and Initial Interval

Tindakan ini dilakukan sebelum terjadi kegagalan dalam rangka untuk menghindarkan item dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failed state*). Kegagalan ini biasa dikenal dengan *Predictive Maintenance* dan *Preventive Maintenance*. Dalam RCM *Predictive Maintenance* dimasukkan dalam aktivitas *Scheduled on Condition Task*, sedangkan *Preventive Maintenance* dimasukkan ke dalam *Schedule Restoration Task* atau pun *Scheduled Discard Task*. (Mourbray, 1997).

1. *Schedulled Restoration Task* adalah tindakan pemulihan kemampuan item pada saat atau sebelum batas umur yang ditetapkan tanpa memperhatikan kondisi saat itu. Ciri-cirinya antara lain:

- a. Dapat didefinisikan umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan.
- b. Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua umur item jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan).
- c. Memperbarui dengan sub item yang tahan terhadap kegagalan tersebut.

Karakteristik kegagalan item dapat dibagi menjadi tiga tahap yang biasa disebut *bathub-shaped*, hal ini seperti yang ditunjukkan pada gambar. Tiga tahap tersebut antara lain:

- a. Kegagalan awal (*infort mortality failure*)

Kegagalan awal pada umumnya terjadi pada awal pengoperasian suatu item. Kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kerusakan yang menurun.

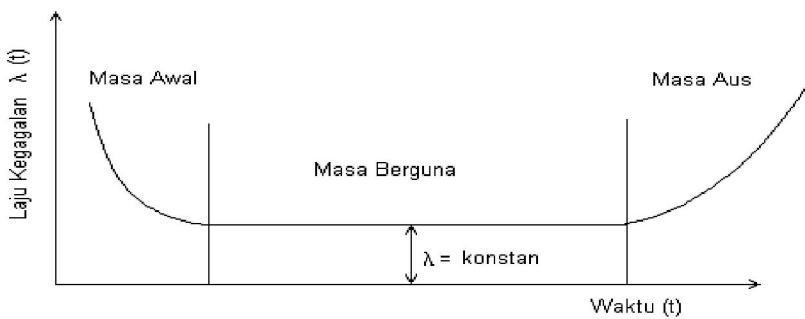
- b. Kegagalan acak (*random failure*)

Kegagalan acak umumnya terjadi pada item yang berjalan normal. Laju kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kegagalan yang konstan.

- c. Kegagalan Usang (*user-out failure*)

Pada usia kegunaan tertentu suatu item mengalami keusangan yang ditandai dengan laju kegagalan yang semakin meningkat. Untuk mengurangi pengaruh keusangan ini

biasanya dilakukan penggantian (*replacement*) beberapa bagian alat atau bahkan seluruhnya dengan yang baru.



Gambar 2.2 Kurva laju kegagalan bak mandi (*Bathup-Shaped*)
Sumber: Moubray (1997)

2. *Schedulled Discard Task* adalah tindakan mengganti item pada saat atau batas umur yang ditetapkan tanpa memperhatikan kondisi item saat itu. Tindakan ini secara teknik mungkin dilakukan dalam kondisi berikut:
 - a. Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan.
 - b. Mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua item jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan).
 3. *Schedulled on Condition Task* adalah kegiatan pemeriksaan terhadap *potensial failure* sehingga tindakan dapat diambil untuk mencegah terjadinya *functional failure*. Dimana *potensial failure* didefinisikan dengan sebuah kondisi yang dapat mengidentifikasi sedang terjadi kegagalan fungsi (*functional failure*).
- Dalam teknik *on condition* (Moubray, 1997) terdapat 4 kategori utama:
- a. *Condition monitoring techniques* yang melibatkan penggunaan peralatan khusus untuk melakukan monitor terhadap kondisi peralatan lain.
 - b. *Statistical proses control* yakni proses pencegahan yang didasarkan atas variasi kualitas produk yang dihasilkan.
 - c. *Primary effect monitoring techniques* yang melibatkan peralatan seperti guege yang ada dan peralatan untuk proses monitory.
 - d. Teknik inspeksi berdasarkan *human sense* dan *predictive*.

2.3.6. Default Action



Tindakan ini dilakukan ketika *predictive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan. *Default Action* meliputi:

1. *Schedulled failed finding* meliputi tindakan pemeriksaan secara periodik terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah item tersebut telah rusak.
2. *Redesign* membuat suatu perubahan untuk membangun kembali kemampuan suatu system. Hal ini mencakup modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur.
3. *Combination task* khusus untuk menangani apabila kegagalan terjadi dan mengancam keselamatan kerja manusia di dalamnya.

1.4 Konsep Keandalan

Suatu karakteristik yang harus diperhatikan sebagai badan dari program jaminan mutu adalah keandalan dari *sub system* peralatan. Keandalan adalah sebutan yang diberikan pada ukuran dari kemampuan suatu item untuk memenuhi suatu performansi dan bukan dari karakteristik sebagai efisiensi, penampilan atau bentuk dan dimensi. Keandalan mungkin bisa lebih ditetapkan secara formal sebagai probabilitas bahwa suatu item akan menampilkan fungsinya dengan baik pada suatu periode waktu yang dibutuhkan dalam situasi pengaruh lingkungan kerja.

2.4.1 Definisi Keandalan

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas suatu item (*system*) memiliki performansi sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam interval waktu dan operasi tertentu.

Berdasarkan definisi di atas maka dapat ditarik pokok pikiran bahwa variabel penting yang berkaitan dengan keandalan adalah waktu. Dalam hal ini waktu yang berkaitan dengan laju kerusakan (*failure rate*). Karena waktu kerusakan merupakan kejadian yang bersifat *random* maka fenomena kerusakan dapat digambarkan dalam bentuk probabilitas kerusakan yang mengikuti distribusi tertentu.

2.4.2 Fungsi Keandalan

Variabel utama dalam fungsi keandalan adalah waktu terjadinya kerusakan (*time failure*). Fungsi tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = P(x > t) \quad (2-1)$$

$R(t) = P$ (peralatan beroperasi hingga waktu t)

$$R(t) = 1 - P(T-t)$$

Dimana: $R(t)$ merupakan probabilitas peralatan dapat beroperasi hingga waktu t , sedangkan probabilitas suatu peralatan mengalami kerusakan sebelum jangka waktu disebut t disebut sebagai CDF (*Cumulative Distribution Failure*) dengan rumusan:

$$F(t) = P(T-t) \quad (2-2)$$

sehingga dari kedua persamaan di atas dapat dirumuskan bahwa probabilitas keandalan peralatan hingga waktu t dirumuskan sebagai (Blanchard et al, 1995):

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2-3)$$

2.4.3 Laju Kerusakan ($\lambda(t)$)

Laju kerusakan didefinisikan sebagai probabilitas banyaknya komponen yang mengalami kerusakan setiap satuan waktu bila komponen sejenis dalam jumlah banyak dioperasikan bersama. Laju kerusakan $\lambda(t)$ dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda(t) = P\{x < t + \Delta t / x > 1\} \\ = \frac{P\{(x > t) \cap (x < t + \Delta t)\}}{P(x > t)} \quad (2-4)$$

Dimana:

$$P\{(x > t) \cap (x < t + \Delta t)\} \equiv P\{x < t + \Delta t\} = f(t)\Delta t$$

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

$$\text{Sedangkan : } \lambda(t) = -\frac{f(t)}{R(t)} \\ = -\frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt} R(t)$$

dari rumusan di atas dapat dihubungkan antar laju kerusakan terhadap tingkat keandalan sebagai berikut (Ebelinge, 1997):

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln[R(t)] \text{ sehingga } R(t) = \exp[-\int_0^t \lambda(t) dt] \quad (2-5)$$

2.4.4 Mean Time to Failure (MTTF)

Mean time to failure merupakan harapan masa pakai suatu peralatan. Nilai harapan tersebut dirumuskan sebagai berikut (Ebelinge, 1997):

$$MTTF = \int_t^\infty t f(t) dt$$

$$\begin{aligned}
 &= - \int_0^{\infty} t \frac{dR}{dt} dt = -tR(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \\
 &= \int_0^{\infty} R(t) dt
 \end{aligned} \tag{2-6}$$

2.4.5 Model-Model Distribusi Probabilitas Keandalan

Menurut waktu terjadinya kerusakan tiap peralatan merupakan variabel random. Sebelum menghitung nilai probabilitas keandalan suatu mesin atau peralatan maka perlu diketahui secara statistik distribusi kerusakan peralatan tersebut. Distribusi yang umumnya digunakan dalam menghitung tingkat keandalan suatu peralatan, antara lain:

a. Distribusi Eksponensial

Banyak digunakan dimana kerusakan suatu peralatan disebabkan kerusakan komponen penyusun peralatan tersebut. Dalam distribusi eksponensial, beberapa persamaan yang digunakan antara lain (Ebelinge, 1997):

- Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi eksponensial adalah:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{2-7}$$

- Fungsi keandalan distribusi Eksponensial adalah:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \tag{2-8}$$

- Nilai laju kerusakan $h(t) = \lambda$

- MTTF distribusi Eksponensial adalah

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \tag{2-10}$$

b. Distribusi Weibull

Distribusi ini paling banyak dipakai dalam teknik penghitungan keandalan. Dalam distribusi Weibull dikenal adanya dua parameter yaitu parameter bentuk (β) dan parameter skala (η). Beberapa persamaan yang digunakan antara lain (Ebelinge, 1997):

- Nilai laju kerusakan ditribusi Weibull:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \tag{2-11}$$

- Fungsi keandalan distribusi Weibull adalah:

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} dt' = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \right] \tag{2-12}$$

- Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi Weibull adalah:



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

- MTTF distribusi Weibull adalah:

$$\text{MTTF} = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-14)$$

c. Distribusi Log Normal

Time to Failure (t) dari suatu komponen dirumuskan memiliki distribusi lognormal bila $y = \ln(t)$, mengikuti distribusi normal dengan rata-rata t_0 dan variasinya adalah s . Beberapa persamaan yang digunakan antara lain (Ebeling, 1997):

- Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi Log Normal adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s^2 t}} \exp \left\{ -\frac{1}{2s^2} \left[\frac{t}{t_0} \right]^2 \right\} \quad (2-15)$$

- Fungsi keandalan distribusi Log Normal adalah:

$$R(t) = \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t}{t_0} \right) \right] \quad (2-16)$$

- Laju Kegagalan distribusi Log Normal adalah:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2-17)$$

- MTTF distribusi Log Normal adalah:

$$\text{MTTF} = \exp(t_0 + (s^2/2)) \quad (2-18)$$

d. Model Matematis Perawatan

Salah satu kelemahan dalam RCM ini adalah kurangnya unsur optimasi model untuk menentukan interval perawatan yang optimal, Thevik (2000) dalam jurnalnya mengatakan bahwa model matematis kan sangat mendukung sekali dalam kalkulasi usia pakai peralatan dan penentuan waktu optimal peralatan. Dirumuskan bahwa total biaya perawatan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan , maka dapat dihitung:

$$\begin{aligned} \text{TC} &= C_F f_F + C_M f_M \\ &= C_F \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + C_M \left[\frac{1}{TM} \right] \\ &= \frac{1}{TM} \left[C_F \int_0^{TM} \lambda(t) dt + C_M \right] \end{aligned} \quad (2-19)$$

Jika data berdistribusi Weibull, maka biaya total perjamnya adalah:



$$TC = \frac{CF}{\eta^{\beta}} TM^{\beta-1} + \frac{CM}{TM} \quad (2-20)$$

Untuk memperoleh TC minimum maka $\frac{dTC}{dTm} = 0$ sehingga diperoleh (Ebelinge, 1997):

$$TM = \eta \times \left[\frac{CM}{CF(\beta-1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2-21)$$

Dimana:

C_F = Biaya perbaikan atau penggantian karena rusaknya komponen untuk setiap siklus

C_M = Biaya yang dikeluarkan untuk perawatan persiklus

TM = Interval waktu perawatan optimal (*preventive maintenance*) dalam satu jam

f_F = Frekuensi kegagalan ; f_M = Frekuensi perawatan

T_C = Biaya total perawatan

1.5 Alat Pengolah Data Statistik

Dalam hal pengolahan data statistik dalam penelitian dengan menggunakan RCM ini, digunakan beberapa alat yang saling berkaitan, antara lain:

2.5.1 Perangkat Keras

Perangkat keras bagi suatu alat pengolah data statistik menggunakan komputer yang terdiri dari (pusat pengolah, unit *input* atau *output*, unit *file storage* dsb), peralatan penyimpan data, dan terminal *input* atau *output*.

2.5.2 Perangkat Lunak

Nama : Minitab

Versi : 14

Nama Pembuat : Minitab Inc

Kemampuan : MINITAB dibuat oleh Minitab Inc. yang didirikan 1980an. MINITAB menyediakan *tool-tool* untuk menganalisis data dalam berbagai bidang dan digunakan di bidang scientists, business and

industri. Kemampuan MINITAB meliputi *basic statistics, quality control, designed experiments*, dll.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Rancangan Penelitian

Rancangan Penelitian diartikan sebagai strategi mengatur latar penelitian agar peneliti memperoleh data yang valid sesuai dengan karakteristik variabel dan tujuan penelitian.

Pada penelitian yang dilakukan pada PT. PG Krebet Baru I Malang ini mempunyai bentuk rancangan penelitian seperti pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Sumber Data	Data Kualitatif dan Data Kuantitatif
Pendekatan Penelitian	Survey
Rencana Pengambilan Sampel	Unit Sampel (mesin kritis) di stasiun Ketel
Pengolahan Data	<ul style="list-style-type: none">• Pemilihan komponen kritis• Pemilihan kebijakan perawatan dengan <i>Reliability Centered Maintenance</i>
Analisa Data	Analisis hasil pengolahan data dengan <i>RCM II Worksheet</i> dengan diikuti analisis terhadap tindakan pencegahan yang dibutuhkan

1.2 Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data dan untuk penyusunan skripsi ini digunakan dua metode pendekatan untuk memperoleh data yang sesuai dengan permasalahan yang diteliti.

Adapun metode pengumpulan data yang digunakan yaitu:

a. Wawancara

Yaitu teknik pengumpulan data dengan cara mengadakan *interview* secara langsung dengan karyawan PT. PG Krebet Baru I Malang. Metode ini dilakukan untuk mendapatkan data tentang permasalahan yang terjadi di perusahaan, kebijakan pemeliharaan yang dilakukan dan penggolongan kondisi mesin.

b. Observasi

Merupakan teknik pengumpulan data dengan mengadakan pengamatan secara langsung terhadap keadaan sebenarnya yang terjadi di dalam perusahaan yang berhubungan erat dengan permasalahan yang diteliti. Dalam penelitian ini observasi



dilakukan terhadap proses pemeliharaan yang dilakukan pada mesin dan peralatan di stasiun Ketel.

c. Dokumentasi

Merupakan teknik pengumpulan data dengan mengumpulkan data yang berupa catatan, arsip, buku yang telah ada. Dalam penelitian ini dokumentasi yang diperlukan adalah semua data kerusakan mesin yang ada di dalam pabrik PG Krebet Baru I Malang. Untuk mendukung penelitian ini maka digunakan beberapa data kualitatif dan kuantitatif.

1. Data Kualitatif

Data kualitatif merupakan data yang tidak dapat dihitung, meliputi:

- a. Data fungsi mesin
- b. Data kegagalan mesin
- c. Data penyebab kegagalan mesin
- d. Data efek yang ditimbulkan apabila kegagalan mesin tersebut terjadi

2. Data Kuantitatif

Data kuantitatif merupakan data yang dapat dihitung meliputi:

- a. Data waktu antar kerusakan mesin (*Time Failure*) dan data waktu perbaikan (*Time to repair*)
- b. Data biaya kegagalan mesin yang meliputi data biaya operasional, biaya tenaga kerja, biaya penggantian komponen serta biaya perawatan mesin.

1.3 Pengolahan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengolahan data baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis ini meliputi *RCM worksheet* dengan diikuti analisis terhadap tindakan pencegahan yang dibutuhkan. Pengolahan data meliputi:

1.3.1 Pengolahan Data Kualitatif

Data kualitatif ini merupakan data yang tidak berbentuk bilangan. Dalam data kualitatif informasi yang diperlukan dapat diperoleh melalui wawancara kepada pihak-pihak yang bersangkutan yang ada di perusahaan. Data tersebut terdiri dari data fungsi mesin, data kegagalan, data penyebab kegagalan dan data efek yang ditimbulkan apabila kegagalan terjadi.

1.3.1.1 System function dan Function failure

Sistem function merupakan fungsi utama dari mesin yang diharapkan oleh user, *system function* tidak menjelaskan fungsi tiap komponen akan tetapi menjelaskan fungsi mesin yang diamati. Sedangkan *Function failure* merupakan jenis-jenis kegagalan yang menyebabkan mesin tidak mampu melaksanakan *system function* yang diharapkan user. (Moubray, 1995)

1.3.1.2 Failure Mode and Effect Analysis

Failure Mode and Effect Analysis berusaha untuk mampu menganalisis sebab-sebab terjadinya kegagalan pada system amatan serta efek yang ditimbulkan apabila kegagalan tersebut terjadi. (Moubray, 1995)

1.3.1.3 RCM II Decision Worksheet

Setelah dilakukan FMEA pada tahap selanjutnya akan dilakukan analisis pada *failure mode* (penyebab kegagalan) dari *sub system* yang terdapat pada tabel FMEA yang tergabung dalam *RCM Decision Worksheet*, yang meliputi:

1. Failure Consequence

Failure Consequence berusaha untuk menganalisis dampak yang ditimbulkan apabila kegagalan terhadap sistem amatan terjadi. Dampak kegagalan tersebut meliputi *hidden failure*, *safety and environment*, *operational consequence*, dan *non operational consequence*. (Moubray, 1995).

2. Proactive Task and Default Action

Proactive Task merupakan kondisi yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Dalam RCM terdapat beberapa tindakan *proactive* yaitu *Scheduled on Condition Task*, *Scheduled Restoration Task*, *Scheduled Discard Task*. (Moubray, 1995).

3. Proposed Task

Proposed Task berusaha mendeskripsikan tindakan pencegahan sebagai tindakan nyata untuk menterjemahkan hasil dari *proactive task* dan *default action*. Initial interval merupakan jarak perawatan yang optimal terhadap *proactive task* yang ditentukan. *Can be done* yang diisi tentang siapa yang diberikan tanggung jawab dalam melaksanakan aktivitas perawatan tersebut. Meliputi pihak-pihak yang berkaitan langsung dengan proses operasi dari peralatan tersebut (Moubray, 1995).

1.3.2 Pengolahan Data Kuantitatif



Pengolahan data kuantitatif ini terdiri dari penentuan distribusi antar waktu kerusakan dan lama perbaikan, penentuan interval perawatan dan meminimasi biaya perawatan berdasarkan interval perawatan optimal.

1.3.2.1 Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan/Perbaikan

Penentuan distribusi waktu antar kerusakan tersebut berfungsi untuk mendapatkan nilai kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu (fungsi keandalan) dan menghitung tingkat harapan panjang siklus perawatan. Sedangkan distribusi waktu perbaikan untuk menghitung tingkat harapan siklus perbaikan yang ditetapkan dalam rangka untuk mendapatkan nilai dari biaya akibat adanya kerusakan.

1.3.2.2 Penentuan Interval Perawatan

Setelah dilakukan uji distribusi terhadap waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan maka selanjutnya adalah menentukan interval perawatan. Langkah-langkah perhitungannya meliputi:

1. *Mean Time to Failure* (waktu rata-rata kegagalan) dan *Mean to Repair* (waktu rata-rata perbaikan).
2. *Cost of Failure* (biaya kegagalan) dan *Cost of Maintenance* (biaya perawatan).
3. *Maintenance Interval* (TM) atau interval perawatan yang optimal yang bergantung dari parameter distribusi waktu antar kerusakan.

1.3.2.3 Penentuan Biaya Perawatan Berdasarkan Interval Perawatan Optimal

Perhitungan biaya perawatan ini merupakan hasil perhitungan setelah penerapan *Maintenance Interval* (TM) pada sistem yang diteliti untuk memperoleh total biaya perawatan dan perbaikan (TC).

1.4 Analisis Data

Dalam tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil-hasil yang diperoleh pada data kualitatif dan data kuantitatif, kemudian dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan. Kesimpulan tersebut akan menjawab tujuan awal dari penelitian dan selanjutnya memberikan saran-saran kepada pihak yang bersangkutan. Analisis data meliputi:

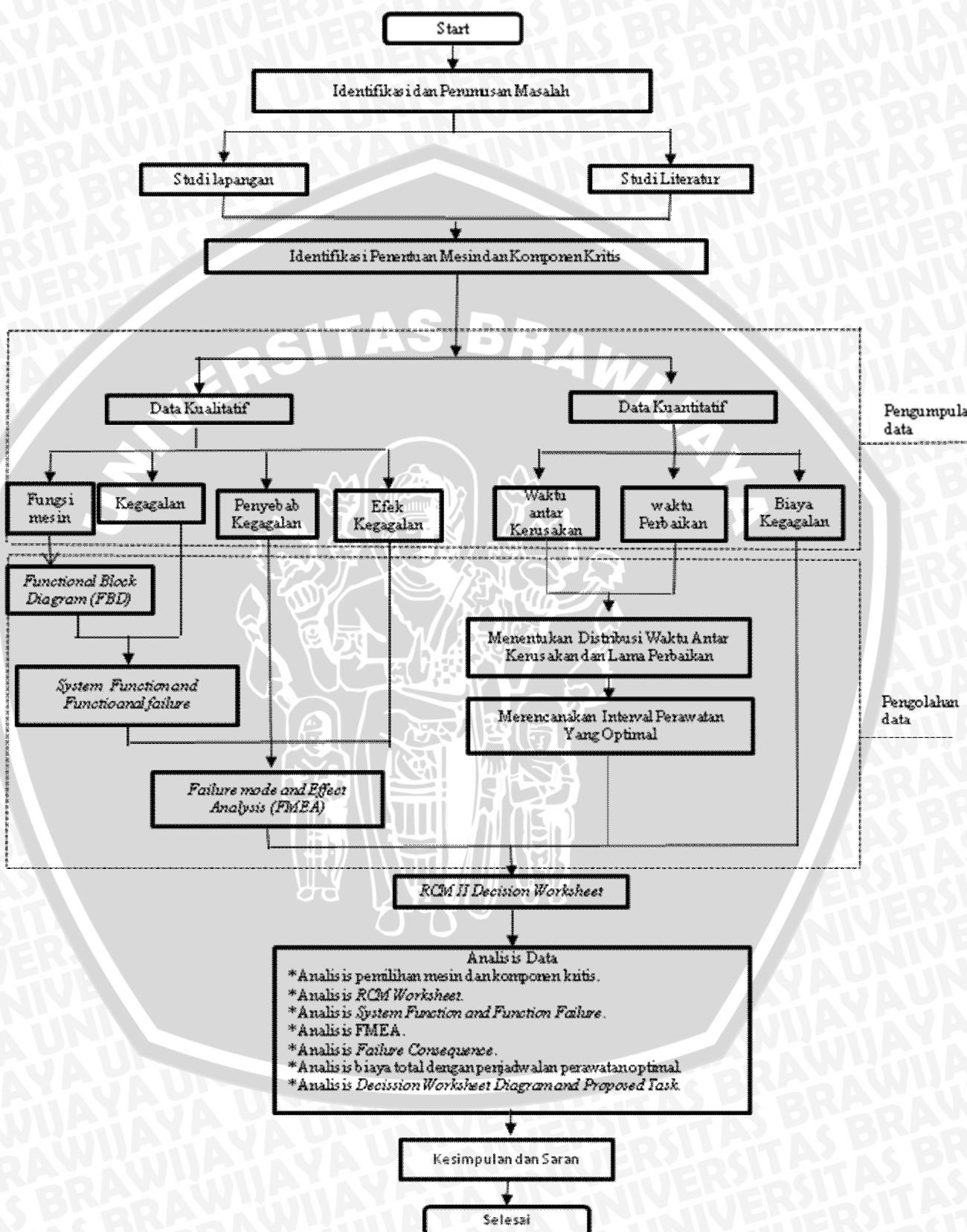
1. Analisis pemilihan mesin dan komponen kritis.
2. Analisis *RCM Worksheet*.



3. Analysis System Function and Function Failure.
4. Analisis FMEA.
5. Analisis Failure Consequence.
6. Analisis biaya total dengan penjadwalan perawatan optimal.
7. Analisis Decission Worksheet Diagram and Proposed Task.



3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Obyek yang diamati dalam pembahasan skripsi ini adalah mesin-mesin yang berada di PT. PG Krebet Baru I Malang unit stasiun Ketel.

4.1.1 Jenis dan Spesifikasi Mesin

Mesin-mesin yang berada di unit stasiun Ketel tersusun secara seri dalam melakukan proses produksi. Jenis mesin beserta spesifikasinya di unit stasiun Ketel antara lain sebagai berikut:

4.1.1.1 Conveyor (Lampiran 1)

1. *Bagasse Conveyor I*
2. *Bagasse Conveyor II*
3. *Bagasse Conveyor III (Double Deck)*
4. *Bagasse Conveyor IV*
5. *Bagasse Conveyor V (Feed Back)*
6. *Belt Conveyor I (atas)*
7. *Bagasse Reclaimer*
8. *Belt Conveyor II (Bawah)*

4.1.1.2 Boiler (Lampiran 1)

1. *Boiler Yoshimine I*
2. *Boiler Cheng Chen*
3. *Boiler Yoshimine II*



4.1.2 Pemilihan Mesin Kritis

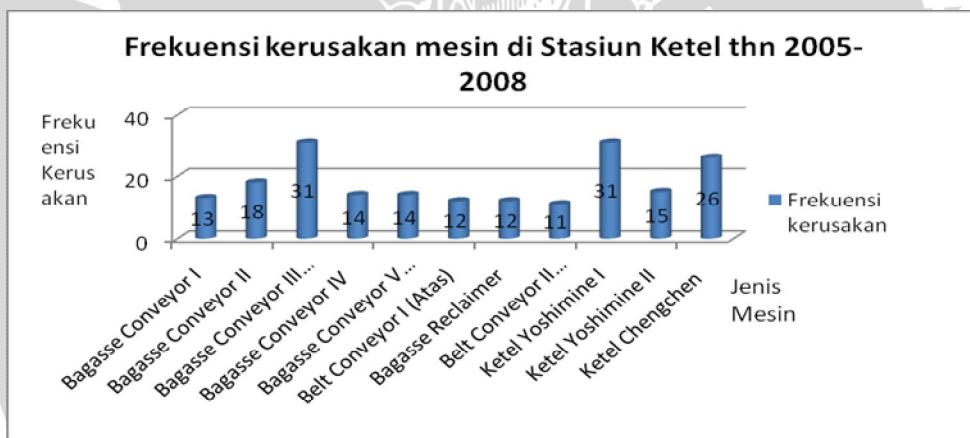
Banyak sekali mesin kritis yang ada di stasiun Ketel PT. PG Krebet Baru I Malang, namun dalam penelitian ini tidak semua mesin kritis tersebut perlu dilakukan analisis. Oleh karena itu dilakukan pemilihan mesin kritis yang memerlukan prioritas penanganan terlebih dahulu. Pemilihan mesin kritis berdasarkan hal-hal sebagai berikut:

1. Frekuensi kegagalan mesin dalam periode tertentu selama berlangsungnya operasi produksi. Frekuensi kegagalan tersebut menunjukkan tingkat kegagalan atau kerusakan pada mesin-mesin produksi selama musim giling berlangsung mulai tahun 2005 – 2008 dapat dilihat melalui tabel 4.1 berikut di bawah ini :

Tabel 4.1 Frekuensi Kerusakan Mesin Tahun 2005 – 2008

No	Stasiun Ketel (<i>Boiler Station</i>)	Frekuensi kerusakan
1	<i>Bagasse Conveyor I</i>	13
2	<i>Bagasse Conveyor II</i>	18
3	<i>Bagasse Conveyor III (Double Deck)</i>	31
4	<i>Bagasse Conveyor IV</i>	14
5	<i>Bagasse Conveyor V (Feed Back)</i>	14
6	<i>Belt Conveyor I (Atas)</i>	12
7	<i>Bagasse Reclaimer</i>	12
8	<i>Belt Conveyor II (Bawah)</i>	11
9	<i>Ketel Yoshimine I</i>	31
10	<i>Ketel Yoshimine II</i>	15
11	<i>Ketel Chengchen</i>	26
	Total	197

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)



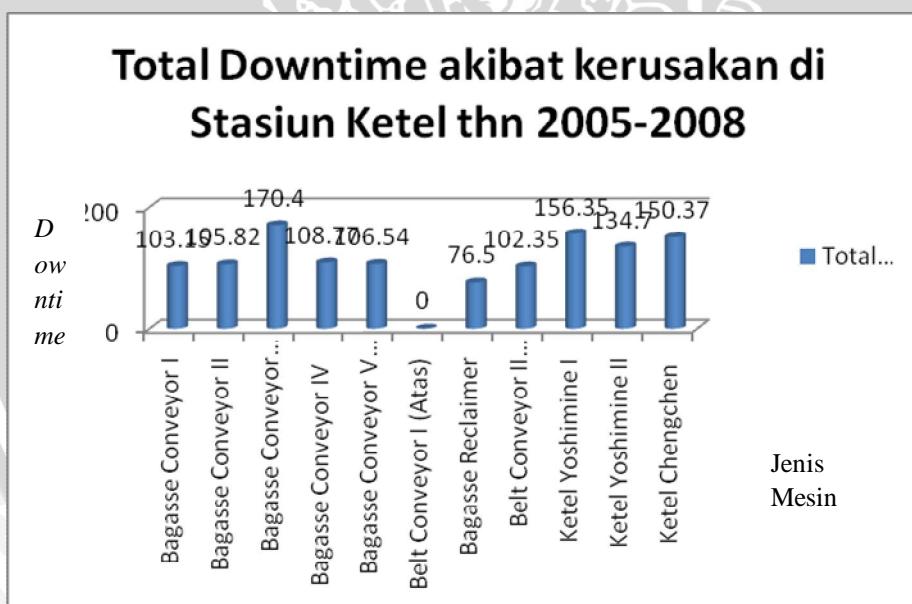
Gambar 4.1 Frekuensi Kerusakan Mesin
Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

2. Semua peralatan mesin dan komponen yang berada di stasiun Ketel tersusun secara berurutan atau seri sehingga apabila terjadi kegagalan pada salah satu mesin akan menyebabkan kegagalan pada mesin yang lainnya. Akibat dari kegagalan mesin tersebut akan menyebabkan terjadinya *downtime* sehingga mengganggu kelancaran produksi yang berpengaruh pada pemenuhan target produksi pada periode tersebut. Tabel di bawah ini menunjukkan total *downtime* yang terjadi mulai tahun 2005-2008 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Total Downtime Akibat Kerusakan Mesin Tahun 2005-2008

No	Stasiun Ketel (<i>Boiler Station</i>)	Total Downtime (Jam)
1	<i>Bagasse Conveyor I</i>	103,15
2	<i>Bagasse Conveyor II</i>	105,82
3	<i>Bagasse Conveyor III (Double Deck)</i>	170,4
4	<i>Bagasse Conveyor IV</i>	108,77
5	<i>Bagasse Conveyor V (Feed Back)</i>	106,54
6	<i>Belt Conveyor I (Atas)</i>	80,6
7	<i>Bagasse Reclaimer</i>	76,5
8	<i>Belt Conveyor II (Bawah)</i>	102,35
9	<i>Ketel Yoshimine I</i>	156,35
10	<i>Ketel Yoshimine II</i>	134,7
11	<i>Ketel Chengchen</i>	150,37

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang(2009)



Gambar 4.2 Total Downtime Akibat Kerusakan Mesin Tahun 2005-2008

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang(2009)

Setelah melalui tahapan pemilihan mesin kritis berdasarkan frekuensi tingkat kerusakan dan total *downtime* mulai tahun 2005 – 2008, maka langkah selanjutnya adalah melakukan prioritas penentuan komponen kritis. Penentuan komponen kritis ini

bertujuan agar perawatan atau pemeliharaan pada komponen mesin bisa fokus. Penentuan komponen kritis berdasarkan pada:

1. Komponen yang memiliki pengaruh fungsi terbesar pada mesin. Sehingga apabila komponen tersebut mengalami kerusakan akan berdampak besar pada hasil produk akhir.
2. Komponen mesin yang memiliki biaya penggantian yang besar apabila komponen tersebut mengalami kerusakan.
3. Kerusakan mesin yang dapat menyebabkan terjadinya *downtime* yang besar sehingga mengganggu kelancaran jalannya operasi sehingga berdampak besar pada kerugian perusahaan.

4.1.3 Pengumpulan Data

4.1.3.1 Data Kualitatif

Berdasarkan analisis dari beberapa kriteria di atas maka yang menjadi objek penelitian di stasiun Ketel adalah *Bagasse Conveyor III, Yoshimine I*.

4.1.3.1.1 Data Fungsi Mesin

a. Bagasse Conveyor III

Deck bawah Berfungsi untuk mentransfer ampas dari *Bagasse Conveyor II* menuju masing-masing *Boiler Bagasse Feeder* dan sisanya menuju *Bagasse Conveyor IV*.

Deck atas berfungsi untuk menstransfer ampas dari *Bagasse Conveyor Feed Back* menuju masing-masing *Boiler Bagasse Feeder*.

Beberapa komponen utamanya:

Tabel 4. 3 Komponen Utama Bagasse Conveyor III

No	Komponen Utama	Fungsi
1	<i>Gearbox</i>	Sebagai tenaga untuk menggerakkan atau menjalankan konveyor dalam menstranfer ampas.
2	Rantai Penggerak	Sebagai rantai penghubung untuk menggerakkan konveyor dalam menstranfer ampas (<i>bagasse</i>)
3	<i>Scrapper</i>	Sebagai pengangkut material <i>bagasse</i> .

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

b. Yoshimine I

Pada PG. Krebet Baru I merupakan ketel uap jenis *Yoshimine I*. Secara umum cara kerja jenis ketel tersebut adalah air yang telah diproses dalam *water treatment plant*

yang ditampung dalam tangki *feed water* dipompa masuk kedalam *drum* atas kemudian masuk ke dalam pipa utama, air yang ada dalam pipa-pipa utama tersebut dipanaskan dengan hasil pembakaran bahan bakar yang berupa *baggase*. Akibat proses pembakaran tersebut air yang ada dalam *drum* berubah fasa menjadi uap jenuh kemudian uap tersebut masuk kedalam unit *superheater*, uap yang keluar dari *superheater* ini telah berubah menjadi uap panas lanjut atau dalam kondisi uap kering. Uap kering yang keluar dari *superheater* ini yang kemudian akan digunakan sebagai tenaga penggerak turbin dan mesin konversi energi lainnya dan uap bekas yang keluar dari turbin atau mesin konversi energi lain dialirkan menuju proses pembutan gula, yaitu ke *juice heater*, *evaporator* dan pan masakan.

Beberapa komponen utamanya:

Tabel 4.4 Komponen Utama Boiler Yoshimine I

No	Komponen Utama	Fungsi
1	Feed Water Pump (FWP)	Alat ini berfungsi untuk memompa air kedalam Ketel dari <i>Deaerator</i> dan masuk ke dalam <i>Upper Drum</i> .
2	Air Heater	berfungsi untuk memanaskan fluida kerja tetapi pada <i>air heater</i> fluida yang dipanaskan adalah udara yang akan masuk kedalam ruang bakar Ketel uap baik itu udara primer ataupun udara skunder.
3	Burner	berfungsi untuk mengabutkan minyak residu agar dapat terbakar dengan sempurna. Minyak bakar tersebut sebelumnya harus dipanaskan terlebih dahulu oleh uap sampai temperatur 90 °C
4	Deaerator	Menyerap atau menghilangkan kandungan O ₂ atau gas-gas dari dalam air pengisi Ketel. Gas O ₂ sangat berbahaya bagi material Ketel uap karena akan cepat menimbulkan korosi.
5	IDF (Induced Draft Fan)	berfungsi untuk menarik gas sisa pembakaran dari ruang bakar keluar melalui cerobong asap
6	FDF (Forced Draft Fan)	berfungsi untuk menghembuskan udara ke dalam ruang bakar setelah melalui pemanas udara. Gunanya supaya proses pembakaran berlangsung secara sempurna.

Sumber: PT PG Krebet Baru I Malang (2009)

4.1.3.1.2 Data Kegagalan Fungsi Mesin

Kegagalan fungsi mesin merupakan kegagalan mesin/komponen dalam melaksanakan fungsi utama yang diharapkan. Berdasarkan observasi dan wawancara yang telah dilakukan pada saat penelitian di PT. PG Krebet Baru I Malang maka diperoleh beberapa fungsi mesin sebagai berikut:

Sedangkan *Function Failure* dari fungsi mesin *Bagasse Conveyor III* didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.5 Function and Function failure mesin Bagasse Conveyor III

No	Function	Function Failure
1	<i>Deck bawah</i> berfungsi untuk menstranfer ampas dari <i>Bagasse Conveyor II</i> menuju masing-masing <i>Boiler Bagasse Feeder</i> dan sisanya menuju <i>Bagasse Conveyor IV</i>	<i>Deck bawah</i> gagal dalam menstranfer ampas dari <i>Bagasse Conveyor II</i> sehingga tidak dapat menstranfer <i>bagasse</i> masuk ke <i>Boiler bagasse feeder</i> dan <i>Bagasse Conveyor IV</i> .
2	<i>Deck atas</i> untuk menstranfer ampas dari <i>Bagasse Conveyor Feed Back</i> menuju masing-masing <i>Boiler Bagasse Feeder</i> .	<i>Deck atas</i> tidak dapat mentransfer ampas dari <i>Bagasse Conveyor Feed Back</i> dikarenakan adanya kerusakan komponen sehingga tidak dapat menuju masing-masing <i>Boiler Bagasse Feeder</i> .

Sumber: PT. PG Krebet baru I Malang (2009)

Sedangkan *Function Failure* dari fungsi mesin *Yoshimine I* didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.6 Function and Function Failure Mesin Yoshimine I

No	Function	Function Failure
1	Melakukan proses air dalam <i>water treatment plant</i> kemudian ditampung dalam tangki <i>feed water</i> untuk dipompa masuk dalam drum atas.	Gagal memproses air dalam <i>water treatment plant</i> sehingga tidak dapat menampung air untuk dipompa masuk ke dalam drum atas.
2	Melakukan proses pemanasan air melalui pipa-pipa dengan hasil pembakaran berupa <i>bagasse</i> .	Gagal melakukan proses pemanasan air karena disebabkan adanya kebocoran pada pipa-pipa pembakaran tersebut.
3	Menghasilkan uap kering dari <i>superheater</i> yang digunakan sebagai penggerak turbin dan mesin konversi energi lainnya.	Tidak dapat menghasilkan uap kering karena adanya kerusakan pada <i>superheater</i> sehingga tidak dapat menggerakkan turbin.

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

4.1.3.2 Data Kuantitatif



Data kuantitatif merupakan data-data yang dapat dihitung. Data-data kuantitatif yang telah dikumpulkan antara lain sebagai berikut:

1. Data waktu antar kerusakan (*time failure*) dan data waktu perbaikan (*time to repair*) terdapat pada tabel 4.7 dan 4.8 dibawah ini:

**Tabel 4.7 Data Waktu Antar Kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr)
Bagasse Conveyor III**

Gear Box		Rantai Penggerak		Scrapper	
Tf(jam)	Tr (Jam)	Tf (jam)	Tr(jam)	Tf(jam)	Tr(jam)
827,7	1,28	396,3	1,54	1119,1	0,99
681,3	1,56	776	0,88	314,2	1,32
911,9	1,4	235,3	2	141,1	1
588,8	1,4	393,1	1,37	481,6	0,79
810	1,6	423,5	1	1097,7	1,6
666,6	1,3	993,3	0,75	758,6	0,8
472,3	1,7	831,9	1,2	456,3	1,6
339,5	1,1	529,3	0,6	582,5	1,1
801,6	1,3	457,4	0,9	394,6	1,4
		553,6	0,3	319,1	1,32
		171,2	1,6	655,9	0,9
6099,7	12,64	5760,9	12,14	6320,7	12,82

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

Keterangan:

Tf : Data waktu antar kerusakan (jam)

Tr : Data waktu antar perbaikan (jam)





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



2. Data biaya kegagalan mesin meliputi biaya tenaga kerja, biaya komponen mesin serta biaya perawatan mesin.

- a. Data Biaya Tenaga Kerja Perawatan

Tabel 4.9 Biaya Tenaga Kerja Perawatan

No	Tenaga <i>Maintenance</i>	Gaji (Rp)	Gaji/Jam (Rp)	Jumlah
1	Operator	4.725.000,00	26.847,00	3 orang
2	Pekerja mekanik	3.307.500,00	18.793,00	12 orang
3	Pekerja pembantu	880.000,00	5.000,00	20 orang
	Rata-rata		16.880,00	

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

- b. Harga Komponen Mesin

Harga komponen mesin dapat ditunjukkan melalui tabel 4.10 seperti di bawah ini:

Tabel 4.10 Harga Komponen Mesin

No	Nama Komponen	Harga (Rp)
1	<i>Gear Box Bagasse Conveyor 3</i>	48.000.000,00
2	Rantai Penggerak <i>Bagasse Conveyor 3</i>	600.000,00
3	<i>Scrapper Bagasse Conveyor 3</i>	800.000,00
4	<i>FWP Yoshimine I</i>	25.000.000,00
5	<i>Air Heater Yoshimine I</i>	80.000.000,00
6	<i>Burner Yoshimine I</i>	173.000.000,00
7	<i>Daerator Yoshimine I</i>	18.000.000,00
8	<i>IDF Yoshimine I</i>	15.000.000,00
9	<i>FDF Yoshimine I</i>	15.000.000,00

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

- c. Biaya Perawatan Persiklus

Biaya perawatan persiklus dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini:

Tabel 4.11 Biaya Perawatan Persiklus

Nama Komponen	Biaya/siklus
Gear Box Bagasse Conveyor 3	15.000.000,00
Rantai Penggerak Bagasse Conveyor 3	295.000.000,00
Scrapper Bagasse Conveyor 3	30.000.000,00
FWP Yoshimine I	29.500.000,00
Air Heater Yoshimine I	98.000.000,00
Burner Yoshimine I	37.000.000,00
Daerator Yoshimine I	30.000.000,00
IDF Yoshimine I	106.000.000,00
FDF FDF Yoshimine I	59.000.000,00

Sumber: PT PG Krebet Baru I Malang (2009)

4.1.4 Pengolahan Data

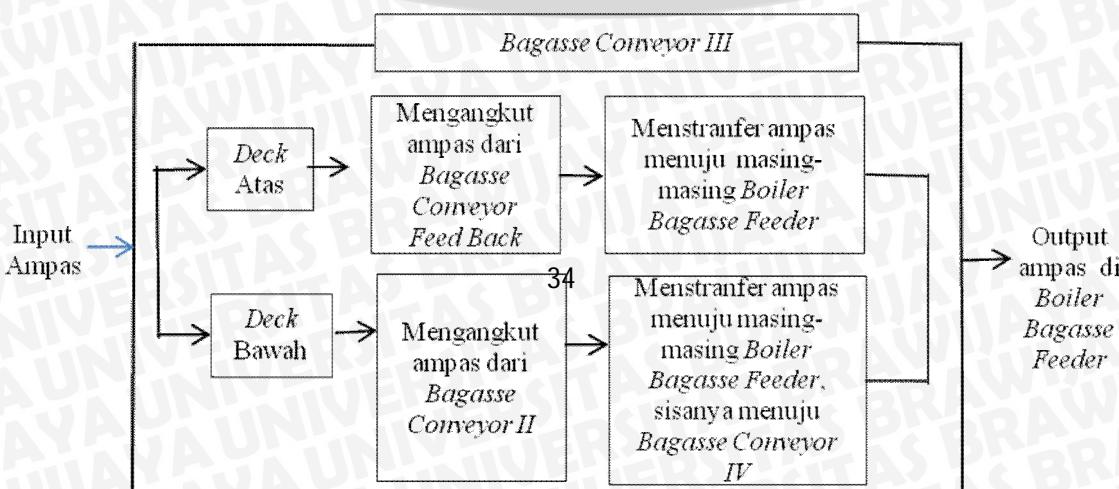
Pada tahap ini pengolahan data ini akan dilakukan analisis mengenai data-data baik data kuantitatif maupun data kualitatif. Pengolahan data meliputi:

4.1.4.1 Function and Function Failure

Function merupakan fungsi utama dari mesin yang diharapkan oleh pengguna, sedangkan *function failure* merupakan kegagalan mesin melaksanakan fungsi utama yang diharapkan pengguna.

Berdasarkan pengolahan dan pengamatan data yang dilakukan di lapangan maka didapatkan beberapa data mengenai fungsi mesin kritis. Fungsi ini digambarkan dalam bentuk *functional blok diagram*. Sedangkan komponen yang terlibat di dalamnya digambarkan dalam bentuk blok diagram.

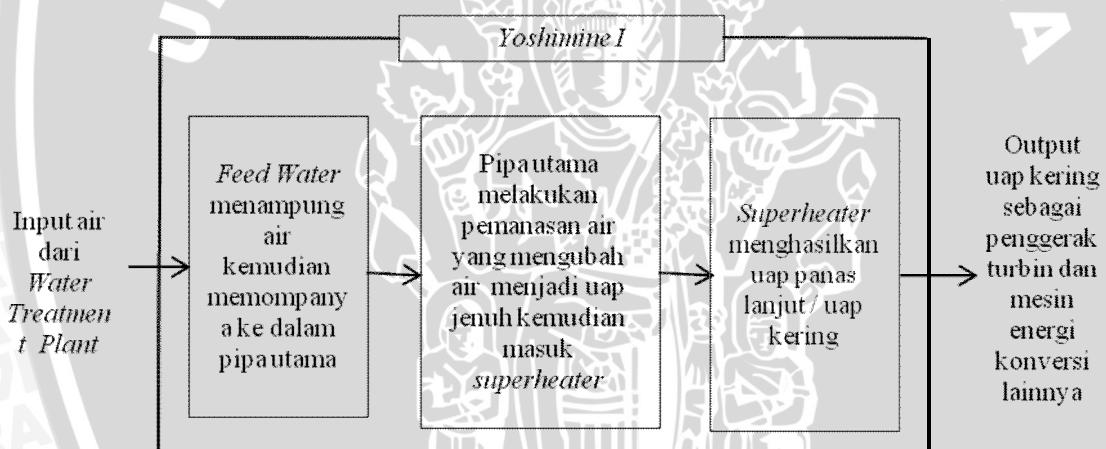
a.Bagasse Conveyor III



Gambar 4. 3 *Function Block Diagram Bagasse Conveyor III*
 Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

Keterangan: Pada gambar 4.3 *Function Block Diagram Bagasse Conveyor III* dapat dijelaskan bahwa dalam FBD merupakan suatu system yang terdiri atas input, proses dan output. Input berupa ampas (*bagasse*), kemudian melalui proses dari *deck* atas dan *deck* bawah kemudian menghasilkan output yang berupa ampas di *Boiler Bagasse Feeder*.

b. *Yoshimine I*



Gambar 4. 4 *Function Diagram Yoshimine I*
 Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

Keterangan: Pada gambar 4.4 *Function Block Diagram Yoshimine I* dapat dijelaskan bahwa dalam FBD merupakan suatu sistem yang terdiri atas input, proses dan output. Input berupa air dari *water treatment plant*, kemudian melalui proses masuk ke *feed water*, *superheater* kemudian menghasilkan output yang berupa uap kering sebagai penggerak turbin dan mesin energi konversi lainnya.

4.1.4.2 *Failure Mode and Effect Analysis*

Setelah dilakukan pengolahan data melalui *Function and Function Failure* maka langkah selanjutnya yang diambil dalam RCM II adalah *Failure Mode and Effect Analysis*.

Failure mode merupakan suatu kondisi atau kejadian yang mengakibatkan suatu *system* mengalami kegagalan fungsi. Dalam RCM analisis *Failure mode* dilaksanakan berdasarkan dengan objek yang diteliti dan dilakukan batasan analisis sampai ditemukan akar penyebab yang menimbulkan kegagalan tersebut. Setelah adanya deteksi dari *failure mode* kemudian dapat diambil langkah yaitu *Effect Analysis* berdasarkan akibat kegagalan yang terjadi.

Failure Mode and Effect Analysis disusun berdasarkan data histori yang terdapat pada “Buku Harian Jaga Masinis” serta hasil wawancara dengan karyawan yang berada di stasiun Ketel. Tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (*FMEA*) dapat dilihat pada tabel 4.12 dan 4.13 di bawah ini:





UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA







UNIVERSITAS BRAWIJAYA







Berdasarkan Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 mengenai kolom-kolom FMEA maka dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Function*

merupakan penjelasan dari fungsi utama komponen mesin *Bagasse Conveyor III* maupun *Yoshimine I* yang berasal dari keterangan *Function Block Diagram*.

2. *Function Failure (Loss Of Function)*

merupakan penjelasan dari fungsi kegagalan komponen mesin dalam menjalankan fungsi utama yang diharapkan oleh pengguna.

3. *Failure Mode*

Merupakan penjelasan dari suatu kejadian yang mengakibatkan suatu sistem mengalami kegagalan fungsi.

4. *Failure Effect*

Merupakan penjelasan dari suatu pengaruh (*effect*) apabila *failure mode* terjadi.

5. *Information Reference:*

- F (*Function*) merupakan penjelasan dari *function* yang disimbolkan dengan urutan angka Arab (1,2,3,...) yang berdasarkan urutan fungsi utama dari FBD.
- FF (*Function Failure*) merupakan penjelasan dari *function failure* yang dilambangkan dengan abjad (A,B,C,...) berdasarkan urutan kegagalan fungsi utama. Apabila dalam kolom FF dilambangkan dengan huruf A maka berarti sebuah *function* dari komponen mesin tersebut memiliki sebuah *function failure* A.
- FM (*Failure Mode*) merupakan penjelasan dari *failure mode* yang disebabkan adanya *function failure*. Dalam kolom FM dilambangkan dengan angka Arab(1,2,3,...) yang merupakan jumlah dari *failure mode* atau penyebab dari

function failure. Apabila dalam kolom FM ditulis angka 1 maka diartikan bahwa untuk *function failure* disebabkan oleh satu penyebab *failure mode*.

4.1.4.3 Failure Consequence

Merupakan konsekuensi yang ditimbulkan akibat terjadinya kegagalan fungsi mesin. Dalam RCM, *failure consequence* dibedakan menjadi 4 jenis yaitu *hidden failure*, *safety effect*, *environment effect* dan *operational effect*. Dalam mengetahui *Failure Consequence* terdapat *worksheet* yang harus diisi seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.14 Failure Consequences

Failure Consequences	Keterangan	
	Yes	No
Kolom H (<i>Hidden Failure</i>)	<i>Failure modes</i> diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal.	<i>Failure modes</i> tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal.
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure modes</i> berdampak pada keselamatan kerja operator	<i>Failure modes</i> tidak berdampak pada keselamatan kerja operator
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure modes</i> berdampak pada keselamatan / kelestarian lingkungan	<i>Failure modes</i> tidak berdampak pada keselamatan / kelestarian lingkungan.
Kolom O(<i>Operational</i>)	<i>Failure modes</i> berdampak pada output produksi	<i>Failure modes</i> tidak berdampak pada output produksi.

Sumber : Moubray, 1997

1.1.4.4 Perhitungan Matematis Penentuan *Initial Interval* Perawatan

Perhitungan matematis dalam penentuan inial interval ini dilaksanakan terhadap komponen-komponen kritis yang telah tertuang dalam *RCM Decision Worksheet* sehingga perlu mendapatkan penanganan *scheduled task* yang meliputi *scheduled restoration task* dan *scheduled discard task*. Langkah yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Penentuan distribusi data

Pengujian distribusi dilaksanakan terhadap data waktu antar kerusakan (*time failure/Tf*) dan data waktu perbaikan (*time to repair/Tr*). Data waktu antar kerusakan didapat dengan menghitung selisih waktu antara kerusakan pertama dengan kerusakan berikutnya. Sedangkan data waktu perbaikan didapat dengan menghitung lamanya waktu perbaikan saat kerusakan terjadi. Pengujian distribusi ini menggunakan bantuan *software MINITAB 14*.

Tabel 4. 15 Uji Distribusi Waktu Antar Kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr)

Nama Komponen	Jenis Distribusi	Ket	Parameter				
			β	η	λ	μ	τ
<i>Gearbox BC III</i>	Weibull	Tf	3,55827	753,276	-	-	-
	Log Normal	Tr	-	-	-	0,33169	0,14444
<i>Rantai Penggerak BC III</i>	Weibull	Tf	2,17893	594,209	-	-	-
	Weibull	Tr	2,13188	1,2636	-	-	-
<i>Scrapper BC III</i>	Weibull	Tf	1,89768	653,266	-	-	-
	Log Normal	Tr	-	-	-	0,12298	0,27394
<i>FWP Yosh I</i>	Weibull	Tf	1,8135	901,942	-	-	-
	Weibull	Tr	3,1413	0,64821	-	-	-
<i>Air Heater Yosh I</i>	Weibull	Tf	1,83926	807,935	-	-	-
	Weibull	Tr	4,39691	1,69967	-	-	-
<i>Burner Yosh I</i>	Weibull	Tf	1,22647	1151,42	-	-	-
	Log Normal	Tr	-	-	-	0,74003	0,22761
<i>Daeerator Yosh I</i>	Weibull	Tf	1,46527	849,89	-	-	-
	Weibull	Tr	3,28565	1,69704	-	-	-
<i>IDF Yosh I</i>	Weibull	Tf	1,04953	967,198	-	-	-
	Weibull	Tr	3,44048	2,17157	-	-	-
<i>FDF Yosh I</i>	Weibull	Tf	1,01062	1545,16	-	-	-
	Log Normal	Tr	-	-	-	1,05296	0,14687

Sumber: Pengolahan data dengan *software MINITAB 14*

2. Perhitungan *Mean Time to Failure (MTTF)* and *Mean to Repair (MTTR)*



Perhitungan MTTF dapat menggunakan persamaan $MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt$, sedangkan untuk data yang berdistribusi weibull perhitungan MTTF dapat menggunakan persamaan $MTTF = \eta\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})$.

Berikut tabel 4.16 yang menunjukkan perhitungan MTTF dan MTTR:

Tabel 4.16 Perhitungan MTTF dan MTTR

Jenis Mesin	Nama Komponen	MTTF	MTTR
Bagasse Conveyor III	Gear Box BC III	678,355	1,40792
	Rantai Penggerak III	526,235	1,11908
	Scrapper BC III	579,707	1,1741
Yoshimine I	FWP	801,802	1,58607
	Air Heater	717,789	1,54899
	Burner	1077,21	2,151
	Deaerator	769,519	1,52194
	IDF	948,78	1,9521
	FDF	1538,36	2,89721

Sumber: Pengolahan data dengan Software MINITAB 14

Keterangan:

MTTF: Rata-rata waktu kerusakan

MTTR: Rata-rata waktu perbaikan

3. Perhitungan Interval Perawatan Optimum

Setelah dilakukan pengujian distribusi waktu antar kerusakan dan waktu antar perbaikan , langkah selanjutnya adalah menentukan interval perawatan yang optimum. Sebelum melakukan perhitungan interval perawatan optimum terlebih dahulu adalah menentukan biaya tenaga kerja. biaya kerugian produksi, biaya perbaikan komponen. Berikut merupakan perhitungan biaya tenaga kerja, biaya kerugian produksi, biaya perbaikan komponen.



a. Biaya Tenaga Kerja

Pada proses produksi yang berlangsung setiap hari di stasiun Ketel terdapat tenaga *maintenance* tiap shift, dimana komposisinya sebagai berikut:

Tabel 4.17 Biaya Tenaga Kerja

No	Tenaga Maintenance	Gaji (Rp)	Gaji/Jam (Rp)	Jumlah
1	Operator	4.725.000,00	26.847,00	3 orang
2	Pekerja mekanik	3.307.500,00	18.793,00	12 orang
3	Pekerja pembantu	880.000,00	5.000,00	20 orang
	Rata-rata		16.880,00	

Sumber: PT. PG Krebet Baru I Malang (2009)

b. Biaya kerugian produksi

Jam berhenti giling yang terjadi akibat kerusakan mesin selama musim giling di stasiun Ketel dapat berimbang pada bagian lain. Berikut akan dijelaskan perihal yang terjadi akibat *breakdown time* yang berpengaruh pada kehilangan gula SHS di bagian fabrikasi.

Jika sehari rata-rata gula SHS yang dihasilkan 4500 kuintal. maka pendapatan gula SHS perjam adalah sebagai berikut:

$$\text{Pendapatan gula SHS perjam} = \frac{4500 \text{ kuintal}}{24} = 187,5 \text{ kuintal}$$

Jika Harga Pokok Produksi (HPP) gula SHS per kilogram Rp. 4.900,00 maka biaya kerugian produksi perjam adalah

$$\begin{aligned} Co &= \text{Pendapatan gula SHS perjam} \times 100 \times \text{HPP gula SHS/Kg} \\ &= 187,5 \text{ kuintal} \times 100 \times \text{Rp. } 4.900,00 \\ &= \text{Rp. } 91.875.000,00 \end{aligned}$$

c. Biaya Perbaikan

Merupakan biaya yang dikeluarkan bila terjadi kerusakan komponen. Biaya ini meliputi biaya komponen, biaya kerugian produksi akibat penggantian dan biaya tenaga kerja untuk penggantian.

Tabel 4.18 Biaya Perbaikan Komponen Mesin

Nama Komponen	Harga (Cr) (Rp)	Kerugian Produksi/jam (Co) (Rp)	Upah pekerja/jam (Cw) (Rp)	MTTR	Biaya Perbaikan Komponen (Cf) (Rp)
Gear Box BC III	48.000.000,00	91.875.000,00	16.880,00	1,40792	177.376.416,00

Rantai Penggerak BC III	600.000,00	91.875.000,00	16.880,00	1,11908	103.434.365,00
Scrapper BC III	800.000,00	91.875.000,00	16.880,00	1,1741	108.690.256,00
FWP Yoshimine I	25.000.000,00	91.875.000,00	16.880,00	1,58607	170.746.954,00
Air Heater Yoshimine I	80.000.000,00	91.875.000,00	16.880,00	1,54899	222.339.603,00
Burner Yoshimine I	173.000.000,00	91.875.000,00	16.880,00	2,151	370.659.434,00
Deaerator Yoshimine I	18.000.000,00	91.875.000,00	16.880,00	1,52194	157.853.928,00
IDF Yoshimine I	15.000.000,00	91.875.000,00	16.880,00	1,9521	194.382.139,00
FDF Yoshimine I	15.000.000,00	91.875.000,00	16.880,00	2,89721	281.230.074,00

Sumber: Data Pengolahan

Keterangan:

Cr: Harga komponen mesin (Rp)

Co: Waktu kerugian produksi (jam)

Cw: Besar upah pekerja (jam)

MTTR: Rata-rata waktu perbaikan

Cf: Biaya perbaikan komponen (Rp)

d. Interval Perawatan

Tabel 4.22 di bawah ini merupakan interval perawatan komponen berdasarkan persamaan 2-21, dapat ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 4.19 Interval Perawatan Optimal

Nama Komponen	β	μ	C_M (Rp/siklus)	C_F (Rp/siklus)	T_M (jam)	T_M (hari)
Gear Box BC III	3,55827	753,276	15.000.000,00	177.376.416,00	288,942	12
Rantai Penggerak BC III	2,17893	594,209	295.000.000,00	103.434.365,00	891,293	37
Scrapper BC III	1,89768	653,266	30.000.000,00	108.690.256,00	350,902	15
FWP Yoshimine I	1,8135	901,942	29.500.000,00	170.746.954,00	383,826	16



<i>Air Heater Yoshimine I</i>	1,83926	807,935	98.000.000,00	222.339.603,00	569,261	24
<i>Burner Yoshimine I</i>	1,22647	1151,42	37.000.000,00	370.659.434,00	590,399	26
<i>Deaerator Yoshimine I</i>	1,46527	849,89	30.000.000,00	157.853.928,00	461,309	19
<i>IDF Yoshimine I</i>	1,04953	967,198	106.000.000,00	183.723.600,00	10033,9	418
<i>FDF Yoshimine I</i>	1,01062	1545,16	59.000.000,00	254.238.346,00	32687,7	1362

Sumber : Data pengolahan

Keterangan:

β : Parameter bentuk

μ : Parameter skala

C_M : Biaya yang dikeluarkan untuk perawatan persiklus (Rp/siklus)

C_F : Biaya perbaikan komponen persiklus (Rp/siklus)

T_M : Interval waktu perawatan optimal (jam)

Berdasarkan persamaan 2-20 total biaya perawatan dengan interval perawatan yang optimum dapat dilihat hitungannya pada tabel di bawah ini sebagai berikut:



Tabel 4.20 Total Biaya Perawatan dengan Interval Perawatan Optimum



Nama Komponen	B	H	CM (Rp/siklus)	CF (Rp/siklus)	TM (jam)	To (jam)	TCTM (Rp/jam)	TCT0 (Rp/jam)
Gear Box BC III	3,56	753,28	15.000.000,00	177.376.415,7	288,9	300	5.915.250,86	6.751.662,4
Rantai Penggerak BC III	2,18	594,21	295.000.000,00	103.434.365,1	891,3	1.020	250.557.786,9	336.007.123,00
Scrapper BC III	1,90	653,27	30.000.000,00	108.690.256,3	350,9	480	33.504.480,82	60.622.357,2
FWP Yoshimine I	1,81	901,94	29.500.000,00	170.746.954,1	383,8	540	36.339.171,89	67.403.113,4
Air Heater Yoshimine I	1,84	807,94	98.000.000,00	222.339.603,2	569,3	720	116.940.689,1	180.011.035,00
Burner Yoshimine I	1,23	1151,42	37.000.000,00	370.659.433,9	590,4	720	163.374.484,7	208.385.461,00
Deaerator Yoshimine I	1,47	849,89	30.000.000,00	157.853.927,8	461,3	540	64.535.669,23	81.263.706,5
IDF Yoshimine I	1,05	967,198	106.000.000,00	183.723.599,8	10033,9	11.000	2.139.992.527,00	2.356.767.376,00
FDF Yoshimine I	1,01	1545,16	59.000.000,00	254.238.346,1	32687,7	35.000	5.555.405.165,00	5.952.724.263,00

Sumber: Pengolahan Data

1.1.4.5 RCM Decission Worksheet

Dalam *RCM decision diagram* dibagi menjadi beberapa bagian antara lain: *proactive task, default actions, propose task, initial interval, can be done by.*

a. Proactive Task and Default Action

Proactive task merupakan suatu kondisi yang diambil atau digunakan untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Dalam RCM terdapat beberapa tindakan *proactive task* yakni *scheduled on condition task, scheduled restoration task, scheduled discard task*.

Sedang *default action* terdiri atas *scheduled failure finding, combination task, redesign.*

Tabel 4.21 Proactive and default action

<i>Proactive task</i>	Persyaratan kondisi
Kolom H ₁ /S ₁ /O ₁ /N ₁ <i>Scheduled on Condition task</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apakah potensial <i>failure (PF interval)</i> dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal? ▪ Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan?
Kolom H ₂ /S ₂ /O ₂ /N ₂ <i>Scheduled Restoration task</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan ▪ Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan. ▪ Memperbaiki dengan subsystem yang tahan terhadap kegagalan tersebut
Kolom H ₃ /S ₃ /O ₃ /N ₃ <i>Scheduled Discard task</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dapat diidentifikasi umur dimana <i>item</i> tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan ▪ Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan.
Kolom H ₄ <i>Scheduled Failure Finding task</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis
Kolom H ₅ <i>Redesign</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan <i>design</i> pada mesin
Kolom S ₄ <i>Combination task</i>	<i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan

Sumber : Moubray, 1997

Apabila terjadi kegagalan dimana keempat jenis tindakan di atas tidak bisa mengatasinya maka perlu dimasukkan ke dalam *No Scheduled Maintenance* dengan mengambil langkah *redesign* terhadap peralatan yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan.

b. Propose Task

Dalam *Propose Task* dilakukan pengambilan tindakan secara nyata untuk menterjemahkan hasil dari *Proactive and default action* sehingga dapat diambil keputusan tindakan perawatan untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi yang mungkin terjadi.

c. Initial Interval

Kolom *Initial Interval* diisi dengan interval perawatan yang optimal untuk *scheduling restoration/discard*. *Initial interval* dapat diperhatikan melalui perhitungan matematis di sub bab 4.1.5.

d. Can be done by

Dalam kolom *Can Be Done By* dapat diisi tentang siapa yang diberi wewenang dalam melaksanakan aktivitas perawatan tersebut. Meliputi pihak-pihak yang berkaitan langsung dengan proses operasi dari peralatan tersebut. Tabel 4.22 dan 4.23 merupakan contoh *RCM Decision Worksheeet* pada mesin *Bagasse Conveyor III* dan mesin *Yoshimine I*.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Pemilihan Mesin dan Komponen Kritis

Pada penelitian RCM II di stasiun Ketel didapatkan bahwa berdasarkan data frekuensi kerusakan mesin dan total *downtime* akibat kerusakan mesin diketahui bahwa mesin kritis yang dipilih untuk mendapatkan penanganan yang lebih utama dibanding dengan mesin yang lain adalah mesin *Bagasse Conveyor III* dan mesin *Yoshimine I*.

4.2.2 Analisis RCM Worksheet

Selanjutnya langkah berikutnya adalah melakukan analisis *RCM Worksheet* pada tahap ini berdasarkan hasil pengumpulan data dan pengolahan data sebelumnya. Dalam analisis *RCM Worksheet* ini dijabarkan ke dalam *RCM Decision Diagram Worksheet* yang berisi *System Function and Function Failure* maupun FMEA sehingga dapat dilakukan analisis tindakan pencegahan yang dibutuhkan.

4.2.2.1 Analisis System Function and Function Failure

Susunan komponen pada mesin *Bagasse Conveyor III* adalah seri sehingga apabila terjadi kerusakan atau kegagalan pada salah satu komponen maka komponen lain akan mengalami gangguan fungsi. Hal ini terlihat jelas bahwa rangkaian komponen pada mesin *Bagasse Conveyor III* adalah berurutan satu sama lain sehingga harus tetap terjaga semua fungsinya dengan baik. *Bagasse Conveyor III* merupakan mesin *Double Deck* dimana ada hubungan *sinergy* antara *deck* atas dengan *deck* bawah yang harus bekerja secara maksimal, apabila terjadi kerusakan pada salah satu nya akan mengganggu atau menyebabkan kerusakan pada yang lainnya.

Mesin *Yoshimine I* merupakan *boiler* yang penting atau disebut juga jantung pada produksi giling gula di PT. PG Krebet Baru I, hal ini dikarenakan apabila terjadi kerusakan pada sistem *boiler* tersebut maka mengganggu semua aktivitas kerja semua mesin yang ada di pabrik. Komponen mesin *Yoshimine I* juga tersusun secara seri yang menyebabkan semua komponennya bekerja secara berurutan. Hal ini dapat terlihat dari urutan-urutan kerja pada *Function Block Diagram* yang dimulai dari proses awal sampai menuju proses berikutnya.

4.2.2.2 Analisis Failure Mode and Effect Analysis



Berdasarkan hasil analisis dari *System Function and Function Failure* maka sumber penyebab kegagalan yang menjadi *failure mode* dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian antara lain:

1. Kegagalan fungsi mesin yang disebabkan karena adanya kejadian eksternal diluar kondisi normal (*accident condition*). Kejadian ini merupakan kejadian yang terjadi diluar produksi (*unpredictable condition*) dan tidak dapat diperhitungkan dan diprediksikan sebelumnya oleh operator yang bersangkutan.
2. Kegagalan yang disebabkan oleh usia pakai komponen mesin (*lifetime condition*). Kegagalan ini dapat terjadi karena adanya *failure rate* (kecepatan kerusakan) komponen yang naik. Hal ini dapat ditentukan dengan nilai parameter bentuk (β)>1 pada komponen dengan jenis distribusi weibull. Laju kerusakan akan semakin meningkat seiring dengan adanya pertambahan usia dari komponen tersebut.
3. Kegagalan karena kelalaian operator.

Penyebab kegagalan tersebut meliputi:

- a. Kemampuan setiap operator yang berbeda keahliannya.
- b. Kondisi lingkungan kerja yang kurang nyaman karena suhu lingkungan kerja yang panas dan suara bising yang terjadi di sekitar sehingga mengganggu kinerja dari operator tersebut.
- c. Desain dari alat yang memungkinkan terjadinya kesalahan kerja dari operator.

Berdasarkan efek kegagalannya maka dapat di kategorikan dalam 2 kelompok:

1. Kegagalan yang menyebabkan berhentinya atau *downtime* pada proses produksi. Kegagalan ini terjadi dikarenakan *system* tidak berfungsi. Operator akan mengetahui secara jelas mengenai kegagalan yang terjadi pada mesin sehingga akan dilakukan perbaikan untuk kembali pada kondisi normal.
2. Kegagalan yang tidak menyebabkan pada berhentinya proses produksi namun menhasilkan produk yang cacat. Pada jenis kegagalan ini tidak menimbulkan *downtime* tetapi menghasilkan produk yang kurang bagus atau cacat pada akhir produksi. Operator tidak bisa mendeteksi secara langsung mengenai kegagalan ini dikarenakan tidak adanya *downtime* sehingga mereka baru mengetahui setelah adanya laporan dari pihak *Quality Control* mengenai hasil produk yang cacat.

4.2.2.3 Analisis Failure Consequence

Berdasarkan *RCM worksheet* diketahui bahwa *failure effect* yang ditimbulkan oleh kegagalan fungsi mengakibatkan konsekuensi pada *hidden failure* dan kerugian



produksi. Konsekuensi terhadap operasional produksi terjadi di semua jenis kegagalan yaitu dengan timbulnya *downtime* dan penggantian komponen.

4.2.3 Analisis Biaya Total dengan Penjadwalan Perawatan Optimal

Hasil uji distribusi data dapat diketahui bahwa dari komponen yang berdistribusi kerusakan weibull ternyata kesemuanya memiliki parameter bentuk $(\beta) > 1$. Dapat dijelaskan bahwa setiap item berdistribusi weibull dengan parameter bentuk $(\beta) > 1$ mengindikasikan bahwa laju kerusakan komponen dalam masa *wear out* (potensial *failure* tinggi). Agar komponen tersebut tetap memiliki tingkat keandalan yang tinggi maka diperlukan penjadwalan penggantian komponen (*scheduled discard*) ataupun tindakan perbaikan komponen termasuk di dalamnya penggantian sub komponen (*scheduled restoration*).

Untuk komponen dengan biaya perawatan jauh lebih rendah dibandingkan dengan biaya resiko kegagalan maka diupayakan tindakan *preventive maintenance* lebih sering dilaksanakan dalam artian dilaksanakan dengan interval perawatan yang lebih pendek dari sebelumnya. Selain itu terdapat beberapa sub komponen dimana penggantian tidak membutuhkan berhentinya produksi.

Teknik penjadwalan penggantian komponen/sub komponen tersebut bertujuan untuk mempertahankan tingkat keandalan dari komponen. Dengan dijaga tingkat keandalan komponen maka diharapkan kegagalan komponen di tengah produksi dapat dihindari sehingga perusahaan mampu mengeliminasi *downtime* dan menekan tingginya biaya kegagalan.

Berdasarkan persamaan 2-20 maka total biaya perawatan dengan interval perawatan optimum dapat dilihat pada tabel di bawah ini sebagai berikut:

Tabel 4.25 Total Biaya Perawatan dengan Interval Perawatan Optimum

Nama Komponen	B	η	CM (Rp/siklus)	CF (Rp/siklus)	TM (jam)	To jam	TCTM (Rp/jam)	TCTO (Rp/jam)	Penurunan Biaya
Gear Box BC III	3,56	753,28	15.000.000,00	177.376.415,7	288,9	300	5.915.250,863	6.751.662,4	12,39%
Rantai Penggerak BC III	2,18	594,21	295.000.000,00	103.434.365,1	891,3	1020	250.557.786,9	336.007.123,00	25,43%
Scrapper BC III	1,90	653,27	30.000.000,00	108.690.256,3	350,9	480	33.504.480,82	60.622.357,2	44,73%
FWP Yoshimine I	1,81	901,94	29.500.000,00	170.746.954,1	383,8	540	36.339.171,89	67.403.113,4	46,09%
Air Heater Yoshimine I	1,84	807,94	98.000.000,00	222.339.603,2	569,3	720	116.940.689,1	180.011.035	35,04%
Burner Yoshimine I	1,23	1151,42	37.000.000,00	370.659.433,9	590,4	720	163.374.484,7	208.385.461	21,60%
Deaerator Yoshimine I	1,47	849,89	30.000.000,00	157.853.927,8	461,3	540	64.535.669,23	81.263.706,5	20,58%
IDF Yoshimine I	1,05	967,198	106.000.000,00	183.723.599,8	10033,9	11000	2.139.992.527,00	2.356.767.376	9,20%
FDF Yoshimine I	1,01	1545,16	59.000.000,00	254.238.346,1	32687,7	35000	5.555.405.165,00	5.952.724.263	6,67%

Sumber : Data Pengolahan

4.2.4 Analisis Decission Worksheet Diagram and Propose Task

Berdasarkan *Decission Worksheet Diagram RCM* diketahui bahwa 4 jenis kegagalan *preventive maintenance* yaitu *scheduled in condition task*, *scheduled restoration task*, *scheduled discard task* dan *no scheduled maintenance*.

a. *Scheduled on condition task*

Dilakukan dengan memprediksi kegagalan dengan mendekripsi efek yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut. Beberapa hal yang dapat dijadikan indikator untuk melakukan *scheduled on condition task* antara lain:

1. Pengamatan terhadap variasi produk berada di luar batas kontrol maka diindikasikan pada *Bagasse Conveyor III*.
2. Berdasarkan *human sense*. *Human* yang dimaksud adalah pihak-pihak yang terkait secara langsung/dekat dengan mesin yang bersangkutan, sedang *sense* meliputi apa yang dilihat, didengar dan dirasakan. Akan tetapi hal ini terlalu subjektif dan memerlukan pengamatan yang cukup terhadap tingkah laku mesin/komponen.

Scheduled on condition task pada dasarnya merupakan teknik *predictive maintenance* dalam RCM.

b. *Scheduled Restoration and Scheduled Discard Task*

Dilakukan dengan mengadakan perawatan secara teratur terhadap komponen yang merupakan hal yang sangat penting dalam *scheduled restoration task*. Dikarenakan dengan diketahui laju penurunan keandalan komponen maka tindakan pencegahan kegagalan dapat dilakukan. Laju penurunan komponen yang berdistribusi kerusakan weibull dengan bentuk parameter $(\beta)>1$. Hal tersebut mengindikasikan bahwa komponen memasuki masa *wear out* dimana tingkat potensi *failure* tinggi. *Scheduled discard task* dilakukan dengan penggantian keseluruhan komponen sebelum batas waktunya habis. Hal ini terjadi karena penggantian sub komponen tidak akan mengembalikan ke kondisi semula. Untuk menghemat biaya komponen maka komponen lama yang diturunkan dapat dilakukan proses *repair*. *Scheduled restoration discard task* pada dasarnya merupakan teknik *preventive maintenance* untuk mencegah *failure state* di tengah produksi. Teknik *scheduled restoration task and scheduled discard task* merupakan teknik pengertian sub komponen (*Restor*), komponen(*discard*) dan *repair* pada interval perawatannya tanpa memandang kondisi item tersebut rusak/baik. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan beban biaya dan laju kerusakan item

agar biaya resiko akibat kerusakan akan lebih besar apabila dibandingkan dengan beban biaya perawatan.

Interval perawatan optimal merupakan nilai minimum dari total biaya perawatan komponen.

Berdasarkan persamaan 2-12 maka keandalan dapat dilihat hitungannya melalui tabel 4.25 di bawah ini sebagai berikut:

Tabel 4.25 Perbandingan Reliability Tm & To

Nama Komponen	β	μ	Tm	To	R (Tm)	R(To)
Gear Box BC III	3,56	753,28	288,942	300	0,9675	0,9629
Rantai Penggerak BC III	2,18	594,21	891,293	1020	0,0889	0,0388
Scrapper BC III	1,9	653,27	350,902	480	0,7356	0,573
FWP Yoshimine I	1,81	901,94	383,826	540	0,8081	0,6735
Air Heater Yoshimine I	1,84	807,94	569,261	720	0,5915	0,4453
Burner Yoshimine I	1,23	1151,42	590,399	720	0,6442	0,5704
Deaerator Yoshimine I	1,47	849,89	461,309	540	0,6654	0,5984
IDF Yoshimine I	1,05	967,20	9508,9	10000	0,000008	0,000002
FDF Yoshimine I	1,01	1545,16	29581,7	31000	0,00000003	0,00000007

Sumber : Data Pengolahan

Keterangan:

Tm: Interval perawatan optimal (jam); To: Interval perawatan aktual (jam); R (Tm) : Reliability berdasarkan Tm; T (To): Reliability berdasarkan To

c. No Scheduled Maintenance

No scheduled maintenance merupakan pencegahan kerusakan (*preventive maintenance*) diluar perlakuan *restor*, *repair* ataupun *replace* akan tetapi melalui tindakan *redesign* ataupun *run to failure*.

Beberapa tindakan no scheduled antara lain:

1. Mendesign ulang mesin untuk mereduksi kemungkinan operator berbuat kesalahan/ mereduksi kemungkinan terjadinya *accident condition*.
2. Mempersiapkan standart procedur operation baru untuk mengeliminasi *human error condition*.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pemilihan mesin kritis berdasarkan pada data frekuensi kerusakan mesin dan data total *downtime* akibat kerusakan mesin . Menurut hasil pengumpulan data dan pengolahan data di dapatkan hasil kesimpulan mesin kritis yang dipilih di stasiun Ketel adalah mesin *Bagasse Conveyor III* (frekuensi kerusakan mesin 31 kali; total *downtime* 170,4 jam) dan mesin *Yoshimine I* (frekuensi kerusakan mesin 31 kali; total *downtime* 156,35 jam).
2. Berdasarkan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II kebijakan perawatan yang tepat dapat ditentukan berdasarkan dampak dan penyebab kegagalan. *Scheduled on condition task*, diterapkan untuk mengatasi *hidden failure* dimana kegagalan diindikasikan dengan meningkatnya produk cacat. *Scheduled restoration task* dan *scheduled discard task* dapat dilakukan terhadap komponen yang dapat dihitung laju kerusakannya. Pencegahan dapat dilakukan dengan mengembalikan fungsi seperti sedia kala baik melalui *repair* atau *replacement komponen*.

Mesin *Bagasse Conveyor III*:

- *Scheduled discard task* digunakan untuk penggantian rantai penggerak pada initial interval 891,3 jam (37 hari) dan scrapper pada saat initial interval 350,9 jam (15 hari).
- *Scheduled restoration task* digunakan untuk melakukan pengecekan pada rantai *Bagasse Conveyor III* pada initial interval 891,3 jam (37 hari) dan penggantian *van belt* pada initial interval 891,3 jam (37 hari).

Mesin *Yoshimine I*:

- *Scheduled discard task* digunakan untuk penggantian *FWP* pada initial interval 383,826 jam (16 hari); *kontraktor drum hoper* pada initial interval 461,309 jam (19 hari); *panel IDF* pada initial interval 10033,9 jam (418 hari); *filter oil burner* pada initial interval 590,399 jam (26 hari); *kabel supply motor IDF* pada initial interval 10033,9 jam (418 hari).
- *Scheduled restoration task* digunakan untuk melakukan pengecekan pada pipa ketel, *Afsluiter FWP*, sambungan *Zekring Power*, *kopling IDF* dan kebocoran *air heater*.



1. Penentuan penjadwalan perawatan dilakukan untuk kasus-kasus dengan penganganan *scheduled restoration task* dan *scheduled discard task*, dimana penentunya didasarkan pada rasio antara biaya perawatan dan biaya kegagalan. Dari hasil perhitungan didapatkan interval perawatan optimal sebagai berikut:
 - a. *Gearbox Bagasse Conveyor III* dengan interval perawatan optimal 288,9 jam (12 hari).
 - b. Rantai penggerak *Bagasse Conveyor III* dengan interval perawatan optimal 891,3 jam (37 hari).
 - c. *Scrapper Bagasse Conveyor III* dengan interval perawatan optimal 350,9 jam (15 hari).
 - d. *FWP Yoshimine I* dengan interval perawatan optimal 383,8 jam (16 hari).
 - e. *Air heater Yoshimine I* dengan interval perawatan optimal 569,3 jam (24 hari).
 - f. *Burner Yoshimine I* dengan interval perawatan optimal 590,4 jam (25 hari).
 - g. *Deaerator Yoshimine I* dengan interval perawatan optimal 461,3 jam (19 hari).
 - h. *IDF Yoshimine I* dengan interval perawatan optimal 9508,9 jam (396 hari).
 - i. *FDF Yoshimine I* dengan interval perawatan optimal 29581,7 jam (1233 hari).

5.2 Saran

1. PT. PG Krebet Baru I sebaiknya memperhatikan mesin-mesin dan komponen kritis di pabrik terutama untuk mesin *Bagasse Conveyor III* dan *Yoshimine I* selain itu juga harus memperhatikan mesin yang lain agar tidak menimbulkan kerugian yang lebih besar.
2. Dalam *Reliability Centered Maintenance II* (RCM II) pada studi kasus di stasiun Ketel sebaiknya diterapkan *scheduled discard task*, *scheduled restoration task* dan *scheduled on condition task* sesuai dengan konsekuensi yang ditimbulkan oleh kerusakan mesin.
3. Sebaiknya perusahaan lebih memperhatikan dalam pengaturan jadwal pemeliharaan yang optimal disesuaikan dengan hasil interval perawatan optimum guna meminimumkan biaya pemeliharaan dan memperkecil kerugian akibat *downtime* mesin.



DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, Sofyan. 1993. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi UI.
- Blancard, Benjamin S., Dinesh. V & Elmer L.P. 1995. *Maintainability*. New York: John Wiley and Sons.
- Corder, Antony. 1996. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Dhillon, B.S. 2002 . *Engineering Maintenance* . Washington DC: CRC Press.
- Ebeling, E, Charles. 1997 . *an Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore.
- Havard J. Thevik. 2000. *Determination of a Cost Optimal, predetermined maintenance,scheduled,(Online),(<http://www.dnv.com/binaries/Determination cost opt tcm 4-8724.pdf>, diakses 16 November 2005).*
- Moubray, J. 1997. *Reliability Centered Maintenance 2nd Edition*. New York : Industrial Press Inc.
- Smith, M Anthony. 1993. *Reliability Centered Maintenance*. New York: McGraw Hill, Inc.



Lampiran 1. Jenis Dan Spesifikasi Mesin

4.1.1.1 Conveyor

1. Bagasse Conveyor I

Berfungsi untuk mentransfer ampas yang keluar dari gilingan no V menuju Bagasse

Conveyor II

Tipe	: Rake Conveyor (Single deck)
Panjang	: 17 m (Head to Tail Sprocket)
Lebar	: 1,2 m
Conveyor Chain	: Roller Chain with A Side Bar 09063
Jumlah rantai	: 1000 links
Sudut Kemiringan	: 30°
Daya Motor Penggerak	: 30 kw
Putaran	: 1450 rpm
Ratio Gearbox	: 1: 37

2. Bagasse Conveyor II

Berfungsi untuk mentransfer ampas yang keluar dari Bagasse Conveyor I ke

Bagasse Conveyor III.

Tipe	: Rake Conveyor (Single Deck)
Panjang	: 18 m
Lebar	: 1,2 m
Conveyor Chain	: Roller Chain with A Side Bar 09063
Jumlah rantai	: 800 links
Sudut Kemiringan	: 45°
Daya Motor Penggerak	: 45 kw
Putaran	: 1450 rpm
Ratio Gearbox	: 1: 37

3. Bagasse Conveyor III (Double Deck)

Deck Bawah Berfungsi untuk mentransfer ampas dari Bagasse Conveyor II menuju masing-masing Boiler Bagasse Feeder dan sisanya menuju Bagasse Conveyor IV.

Deck atas berfungsi untuk menransfer ampas dari Bagasse Conveyor Feed Back menuju masing-masing Boiler Bagasse Feeder.

Tipe	: Rake Conveyor (Double Deck)
Panjang	: 80 m
Lebar	: 1,2 m

<i>Conveyor Chain</i>	: <i>Roller Chain with A Side Bar 09063</i>
Jumlah rantai	: 2000 links
Sudut Kemiringan	: 0° (Datar)
Daya Motor Penggerak	: 75 kw
Putaran	: 1450 rpm
<i>Ratio Gearbox</i>	: 1: 30

4. *Bagasse Conveyor IV*

Berfungsi untuk mentransfer sisa ampas sisa dari *Bagasse Conveyor III* menuju Lantai Gudang Ampas (*Bagasse Floor*) apabila *Belt Conveyor I* (atas) mengalami kegagalan/ *failure*.

Tipe	: <i>Rake Conveyor (Single Deck)</i>
Panjang	: 8 m
Lebar	: 1,2 m
<i>Conveyor Chain</i>	: <i>Roller Chain with A Side Bar 09063</i>
Jumlah rantai	: 302 links
Sudut Kemiringan	: 0° (Datar)
Daya Motor Penggerak	: 30 kw
Putaran	: 1450 rpm
<i>Ratio Gearbox</i>	: 1: 30

5. *Bagasse Conveyor V (Feed Back)*

Berfungsi untuk mentransfer ampas dari *Belt Conveyor Bawah* menuju *Bagasse Conveyor III* (Deck atas).

Tipe	: <i>Rake Conveyor (Single Deck)</i>
Panjang	: 40 m
Lebar	: 1,2 m
<i>Conveyor Chain</i>	: <i>Roller Chain with A Side Bar 09063</i>
Jumlah rantai	: 2000 links
Sudut Kemiringan	: 45°
Daya Motor Penggerak	: 75 kw
Putaran	: 1450 rpm
<i>Ratio Gearbox</i>	: 1: 37

6. *Belt Conveyor I (atas)*

Berfungsi untuk mentransfer ampas sisa dari *Bagasse Conveyor III* menuju Lantai Gudang Ampas (*Bagasse Floor*).

Tipe	: <i>Belt Conveyor</i>
Panjang	: 48 m
Lebar	: 80 cm
Daya Motor Penggerak	: 25 kw
Putaran	: 1450 rpm
<i>Ratio Gearbox</i>	: 1: 37

7. *Bagasse Reclaimer*

Berfungsi untuk mentransfer ampas dari *Bagasse Floor* ke *Belt Conveyor bawah* dan dibawa menuju *Bagasse Conveyor Feed Back* untuk suplesi (penambahan) ampas ke *Bagasse Conveyor III* bila terjadi pemberhentian giling.

Tipe	: <i>Floating Rake Conveyor</i>
Panjang	: 15 m
Lebar	: 1,2 m
<i>Conveyor Chain</i>	: <i>Roller Chain with A Side Bar 09060</i>
Jumlah rantai	: 300 links
Daya Motor Penggerak	: 25 kw
Putaran	: 1450 rpm
<i>Ratio Gearbox</i>	: 1: 44

8. *Belt Conveyor II (Bawah)*

Berfungsi untuk menerima ampas dari *Bagasse Reclaimer* menuju *Bagasse Conveyor Feed Back*.

Tipe	: <i>Belt Conveyor</i>
Panjang	: 36 m
Lebar	: 80 cm
Daya Motor Penggerak	: 25 kw
Putaran	: 1450 rpm
<i>Ratio Gearbox</i>	: 1: 44

4.1.1.2 Boiler

1. Boiler Yoshimine I

Type	: H-10005
Serial Number	: 2660
Evaporation (MRC)	: 40 Ton/hour
Steam Pressure (max)	: 22 kg/cm2
Steam Pressure (normal)	: 18 kg/cm2
Steam Temperatur	: $350^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ at Superheater Outlet
Combustion air temp	: 200-100°C at HRC Cat WB Inlet
Type of Draft	: Balanced Draft
Furnace Pressure	: 5-10 mm H_2O at MCR
Heating Surface	: 1120 H2
Furnace Dimension	: Wide = 5400 mm Long = 3400 mm High = 8200 mm
Type of Combustion	: bagasse of bunker 'C' oil mono 100% firing and combination firing
Kind of fuel to be under	: At normal = operation bunker 'C' oil at Colt start = bunker 'C' oil
Bagasse Comsumtion	: 17,655 kg/hour at MCR
Net calorific value	: 1,720 kcal/kg
Fuel Net heating value	: 9,700 kcal/kg
Fuel Spesific Grafty	: 15/a°C
Fuel Viscosity	: Netwood No.1
Flame dimension of anticipation:	$\emptyset 2.4 \times 5.1$ mtr long

a. Burner Unit

Instalation	: semi outdoor
Quantity	: One set
Type	: NFX-Coen LI-CONREP-3 oil auto II (SP) (non installation type)
Fuel oil Supply	: 10 kg/cm3 G x 90°C
Atomizing Steam Supply	: Normal 10 kg/cm2 G (saturation temp)
Pilot Gas Supply	: propane gas 0,2 kg/cm2 G x 10 NM3/hour

<i>Power and Force</i>	: AC = Ø 200V x 60 Hz
<i>Firing Range</i>	: Max 3500 kg/h Ton min 780 kg/h
<i>Oil Pressure at burner</i>	: 6 kg/cm2 G at max firing rate
<i>Steam Pressure at burner</i>	: 7 kg/cm2 at max firing rate
<i>Draft Lost</i>	: register = 95 mm Aq at MCR
	<i>Damper</i> = 30 mm Aq at MCR (at 200°C and 15% excess air)
<i>Automizing Steam Consumption</i>	: 470 kg/h
<i>Fuel Consumption for start up</i>	: max 900 liter/h at 20 kg/cm2G

b. Pompa Residu ke Burner

b.1. Pompa

<i>Type dan model</i>	: DEH 44 Suellside
<i>Jumlah</i>	: 2 unit
<i>Fluid</i>	: Oil
<i>Design Pressure</i>	: 12 kg/cm2
<i>Design Temperature</i>	: 150°C
<i>Hydraulic Test</i>	: 18 kg/cm2
<i>Electric Sources</i>	: 440 Volt ; 60 Hz
<i>Power</i>	: 4,4 KW = 6 HP

b.2. Motor

<i>Merk</i>	: LITTLE KING
<i>Type</i>	: TISP 85 NUR
<i>Voltage</i>	: 440 Volt; 6 Hz
<i>Ampere</i>	: 14 A
<i>Power</i>	: 10 HP
<i>Speed</i>	: 1,160 rpm

b.3. Pressure Control Value

<i>Type</i>	: S-K 420 PI-C
<i>Jumlah</i>	: 1 set
<i>Size</i>	: 25A
<i>Connection</i>	: 25 A F JIS 20 kg/cm2 RF
<i>Fluid</i>	: C-Oil (30-50°C max 100°C)
<i>Flow rate</i>	: 1-4 kl/hr

<i>Material Body</i>	: Cast Iron
<i>Material Trim</i>	: Stainless Steel
<i>Body Test Pressure</i>	: 26 kg/cm2
<i>Pressure Inlet</i>	: 12kg/cm2
<i>Pressure Outlet</i>	: Max 7 MmAq
<i>Spare</i>	: Spring "O" ring
<i>Painting Colour</i>	: Silver

c. *Booster Pump*

c.1. *Pump*

<i>Bore discharge</i>	: Ø 40mm
<i>Bore suction</i>	: Ø 50 mm
<i>Discharge pressure</i>	: 20 kg/cm2
<i>Suction Pressure</i>	: 10 kg/cm2
<i>Total Pressure</i>	: 10 kg/cm2
<i>Capacity</i>	: 1 m3/hr
<i>Safety Value Press</i>	: 10,5 kg/cm2

c.2. *Motor*

<i>Outout Power</i>	: 1.5 KW = 2 HP
<i>Voltage</i>	: 440 Volt;60 Hz
<i>Revolution</i>	: 1000 rpm
<i>Guarant vls for power</i>	: 300 cst
<i>Fuarant vls for capacity</i>	: 20 cst

d. *Economic and Air Heater Assembly*

d.1. *Air Heater*

<i>Type</i>	: Tubular
<i>Heating Surface</i>	: 1,025 m2
<i>Air Temperature</i>	: In 35°C; Out 200°C

d.2. *Economizer*

<i>Type</i>	: Bar Tube
<i>Heating Surface</i>	: 150 m2
<i>Water Temperature</i>	: In 105°C; Out 135°C
<i>DC-42 M4 type Dust Collector</i>	
<i>Disposal Capacity</i>	: 2.550 m3/min/two sets
<i>Gas Temperature</i>	: 200°C



Pressure Loss : 80 mmAq

e. F.O. PUMP

e.1. Pump

Bore Discharge : Ø 50 mm

Bore Suction : Ø 65 mm

Discharge Pressure : 13 kg/cm²

Suction Pressure : 0 kg/cm²

Total Pressure : 13 kg/cm²

Capacity : 5 m³/hr

e.2. Motor

Output Power : 10 HP

Voltage : 440 Volt ; 60 Hz

Revolution : 1200 rpm

Quorant vls for power : 500

Quorant bls for capacity : 100

Komponen mesin Boiler Yoshimine I antara lain:

1. IDF (Induced Draft Fan)

Capacity : 2250 m³/min

Static Pressure : 200 mm Aq

Air Temperature : 200°C

Revolution : 1200 rpm

Brake Power : 126 KW = 170 HP

2. FDF (Force Draft Fan)

Capacity : 930 m³/min

Static Pressure : 240 mmAq

Air Temperature : 35°C

Revolution : 1770 rpm

Brake Power : 60 KW = 80 HP

GD 2 : 109 kg/m²

Damper Torque : 12,11 kgM

Colour In : Sin anti Corrosive

Colour Out : Side Muneel no.106 Y 8/4

Static Weight (With motor) : 2050 kg

Dynamic Weight (with motor) : 2950 kg

3. SAF (Secundary Air Fan)

Capacity : 360 m³/min

Static Pressure : 250 mmAq

Air Temperature : 200°C

Revolution : 2030 rpm

Brake Power : 26 KW = 35 HP

GD 2 : 36 kg/m²

Damper Torque : 29 kgM

Static weight (with Motor) : 850 kg

Dynamic Weight (with motor) : 1300 kg

Motor Power : 100 HP-4P

Voltage : 440 Volt;60 Hz

Speed : 2030 rpm

4. FWP (Feed Water Pump)

4.1 Steam Driven Feed Water Pump

Type : steam turbine driven directly coupled centrifugal multy stage type.

Specification:

Max capacity : 110 m³/hr

Delivery pressure : 25 Kg/cm³G

Feed Water Temperature : 105°C max

Steam Turbine

Type : manual starting back pressure type

Inlet steam pressure : 19 Kg/cm²G

Outlet steam pressure : 1.2 Kg/cm²G

Inlet steam temperature : 320°C

Power : 150 Kw

Speed : 2500 rpm

4.2. Electric Driven Feed Water Pump (Stand-by)

Type : motor driven directly coupled centrifugal multy stage type.

Specification:

<i>Max capacity</i>	: 110 m3/hr
<i>Delivery pressure</i>	: 25 Kg/cm3G
<i>Feed Water Temperature</i>	: 105°C max
<u><i>Electric motor</i></u>	
<i>Type</i>	: manual starting back pressure type.
<i>Power</i>	: 150 Kw
<i>Speed</i>	: 2950 rpm

4.3. Deareator Feed Water Pumps

Jumlah : 2 set

Type : Motor driven directly coupled centrifugal type.

Specification

Capacity : 100 m3/hr

Head : 40 m

Feed Water Temperature : 80°C

Electric Motor

Type : TEFC Squirel Cage Type

Power : 22 Kw

Speed : 2950 rpm

2. Ketel Cheng-Chen

Dibuat Oleh : Cheng Chen. Taiwan

Dipasang oleh : PT. Perindo Utama

Jumlah : 1 unit

Dipasang tahun : 1993

Type : CWN-1700

Heating Surface : 1944 m3

Evaporation rate : 30,8 kg/cm2/hr

Design Pressure : 25 Kg/cm2G

Nominal Working Pressure : 20 Kg/cm2G

Evaporation Surface : 12,9 m3

Size of balen Furnace : W 4,9 x L 7,7 x H 10,2 m

Furnace Volume : 384 m3

Grate Area : 35,5 m2

Steam Temp at Attempt Outlet : 350±10°C

Feed Water Temp Entering Clearrator: 105°C

Minimum Air Temperature : 160°C

Boiler Efficiency at bagasse firing : 70%

Boiler Efficiency at oil firing : 75%

Komponen mesin Boiler Cheng-Chen

1. FWP

a. Steam Driven Feed Water Pump

Type : Centrifugal Multy Stage

Model : M 80 SW

Specification

Maximum capacity : 85 m³/hr

Delivery Pressure : 260 kg/cm²G

Feed Water Temperature : 105°C max

Nozzel Size : 100 x 180

Steam Turbine

Type : Normal Starting Back Pressure

Inlet Steam Pressure : 20 kg/cm²G

Outlet Steam Pressure : 1 kg/cm²G

Inlet Steam Temperature : 350°C

Power : 120 KW

Speed : 3600 rpm

b. Electric Driven Feed Water Pump (stand by)

Type : Motor Driven Directly Coupled

Centrifugal Multy Stage

Specifications

Maximum Capacity : 80 m³/hr

Delivery Pressure : 260 kg/cm²G

Feed Water Temperature : 105°C

Electric Motor

Type : TEFC Squirrel Cage

Power : 120 KW

Speed : 3600 rpm

c. Dearator Feed Water Pump

Type : Motor Driven Directly Coupled Single Stage Centrifugal pump

Specifications

Capacity : 80 m³/hr

Head : 40 m

Feed Water Temperature : 80°C

Electric Motor

Type : TEFC Squirrel Cage

Power : 11 KW

Speed : 3600 rpm

2. FDF (Forced Draft Fan)

Type : Steam turbine directly coupling and motor driven with over speed ducth specification (ACMM).

Max capacity : 2000 m³/mm

Static pressure (at max capacity) : 230 mm Aq

Air temperature : 30°C

Handling capacity regulating method : automatic damper control

Steam Turbine

Type : Back pressure type

Inlet steam pressure : 19 Kg/cm²G

Outlet steam pressure : 1 Kg/cm²G

Inlet Steam Temperature : 350°C

Power : 150 Kw

Speed : 1180 rpm

Electric Motor

Type : TEFC Squirrel Cage

Power : 110 KW

Speed : 1180 rpm

Part Finished

Reduction gear :(4500/100)

3. IDF

Type : Steam Turbine Driven. Directly Coupled The Otherside of IDF

Specifications

<i>Max Capacity</i>	: 5600 ACMM
<i>Static Pressure (at max capacity)</i>	: 250 mmAq
<i>Gas Temperature</i>	: 170-240°C
<i>Draft Regulating Method</i>	: Automating Damper Control
<i>Density</i>	: 1,293 kg/NM3
<i>Fan Size</i>	: D 1807/7300 DIDW CCWUBW/Intel
<i>Type of Drive</i>	: Direct by Motor
<i>Fan Type</i>	: Airfoil Centrifugal
<i>Fan Over Speed</i>	: 880 rpm
<i>Static Efficiency</i>	: 60%
<i>Max Break Hp</i>	: 330KW@DES Condotion

4. Steam Turbine

<i>Type</i>	: Horizontal axial Flow back Pressure
<i>Inlet Steam Pressure</i>	: 19 kg/cm ² G
<i>Outlet Steam Pressure</i>	: 1 Kg/cm ² G
<i>Inlet Steam Temperature</i>	: 340°C
<i>Power</i>	: 340 KW
<i>Speed</i>	: 890 rpm

3. Yoshimine II

<i>Akte ijin</i>	: 566/19671421.109/2006 tg 22-06-06
<i>Dibuat oleh</i>	: Yoshimine Boiler Industry Co.Ltd
<i>Dipasang oleh</i>	: PT. saka Pratama
<i>Jumlah</i>	: 1 unit
<i>Dipasang th</i>	: 2006
<i>Type</i>	: H-2700
<i>Heating Surface</i>	: 2700 m ² (Approx)
<i>Evaporator Rate</i>	: 30 Kg/m ² (approx)
<i>Design Pressure</i>	: 27 Kg/cm ² G
<i>Normal Working Pressure</i>	: 24 Kg/cm ² G
<i>Evaporation at net evaporation</i>	: 80000 Kg/hr

<i>Peak for 2 hours</i>	: 96000 Kg/hr
<i>Evaporation surface</i>	: 14,6 m ²
<i>Furnace volume</i>	: 387 m ³
<i>Steam temperature at temperator outlet</i>	: 350± 10°C
<i>Feed water temperature</i>	: 80°C
<i>Minimum air temp</i>	: 25°C
<i>Boiler efficiency at bagasse firing</i>	: 80%
<i>Boiler eff at oil firring</i>	: 85%

Komponen mesin dari Boiler Yoshimine II antara lain sebagai berikut:

1. FWP

a. Steam Driven Feed Water Pump

Type : steam turbine driven directly coupled centrifugal multi stage type.

Specification:

Max capacity : 110 m³/hr

Delivery pressure : 25 Kg/cm³ G

Feed water temperature : 105 °C max

Steam Turbien

Type : Manual starting back pressure type

Inlet steam pressure : 19 Kg/cm²G

Outlet steam pressure : 1,2 Kg/cm² G

Inlet steam temperature : 320 °C

Power : 150 Kw

Speed : 2500 rpm

b. Electric Driven Feed Water Pump (Stand-by)

Type : motor driven direcly coupled centrifugal multy stage type.

Specification :

Max capacity : 110 m³/hr

Delivery pressure : 25 Kg/cm³ G

Feed water temperature : 105 °C max

Electric motor:

Type : manual starting back pressure type

Power : 150 Kw

Speed : 2950 rpm

c. Daerator Feed Water Pumps

Jumlah : 2 set

Type : Motor driven directly coupled centrifugal type

Specification

Capacity : 100 m³/hr

Head : 40 m

Feed water temperature : 80°C

Electric Motor

Type : TEFC Squirrel Cage Type

Power : 22 Kw

Speed : 2950 rpm

2. FDF

Type : Steam turbine driven, directly coupling and motor driven, V belt coupled turbo type.

Specification:

Max capacity : 2200 m³/min

Static pressure (at max capacity) : 240 mm Aq

Gas temperature : 30°C

Handling capacity regulation method : By manual Damper

Steam Turbine:

Type : Back pressure type

Inlet steam pressure : 19 Kg/cm²G

Outlet steam pressure : 1,2 Kg/cm²G

Inlet steam temperature : 320 °C

Power : 160 Kw

Speed : 1000 rpm

Electric Motor

Type : TEFC Squirrel Cage Type

Power : 45 Kw

Speed : 900 rpm

Part furnished

Reduction gear (4500/1000)

3. IDF

Type : Steam turbine driven. directly coupled double suchon. turbo type

Specifications:

Max capacity : 5000 m³/min

Static pressure (at max capacity) : 220 mm Aq

Gas Temperature : 240°C

Draft regulating method : ramper control (automatic)

Steam Turbine:

Type : TEFC Squirrel Cage Type

Power : 160 Kw

Speed : 1450 rpm

Part furnished

Reduction gear (4500/1000)



Lampiran 2. Perhitungan MTTF Komponen *Bagasse Conveyor III*

$$\begin{aligned} \text{MTTF Gear Box} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 753.276 \left(\frac{100}{356} \right)! \\ &= 678,355 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTF Rantai Penggerak} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 594.21 \left(\frac{100}{218} \right)! \\ &= 526,235 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTF Scrapper} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 653.27 \left(\frac{100}{190} \right)! \\ &= 579,707 \end{aligned}$$



Lampiran 3. Perhitungan MTTF Komponen Mesin Yoshimine I

$$\begin{aligned} \text{MTTF FWP} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 901,94 \left(\frac{100}{181} \right)! \\ &= 801,802 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTF Air Heater} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 807,94 \left(\frac{100}{184} \right)! \\ &= 717,789 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTF Burner} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 1151,42 \left(\frac{100}{123} \right)! \\ &= 1077,21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTF Deaerator} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 849,89 \left(\frac{100}{147} \right)! \\ &= 769,519 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTF IDF} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 967,198 \left(\frac{100}{105} \right)! \\ &= 948,78 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{MTTF FDF} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 545,16 \left(\frac{100}{101} \right)! \\ &= 1538,36 \end{aligned}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 4. Perhitungan MTTR Komponen Mesin *Bagasse Conveyor III*

$$\begin{aligned} \text{MTTR Gear Box} &= \theta\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 0,14444 \left(\frac{100}{33} \right)! \\ &= 1,40792 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTR Rantai Penggerak} &= \theta\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 12636 \left(\frac{100}{213} \right)! \\ &= 1,11908 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTR Scrapper} &= \theta\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 0,27394 \left(\frac{100}{12} \right)! \\ &= 1,1741 \end{aligned}$$



Lampiran 5. Perhitungan MTTR Komponen Mesin Yoshimine I

$$\begin{aligned} \text{MTTR FWP} &= \theta\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 0,64821 \left(\frac{100}{314} \right) ! \\ &= 1,58607 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTR Air Heater} &= \theta\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 1,69967 \left(\frac{100}{396} \right) ! \\ &= 1,54899 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTR Burner} &= \theta\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 0,22761 \left(\frac{100}{74} \right) ! \\ &= 2,151 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTR Deaerator} &= \theta\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 1,69704 \left(\frac{100}{328} \right) ! \\ &= 1,52194 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTTR IDF} &= \theta\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 2,17157 \left(\frac{100}{344} \right) ! \\ &= 1,9521 \end{aligned}$$



MTTR FDF

$$\begin{aligned} &= \theta r \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \\ &= 0,14687 \left(\frac{100}{105} \right) \\ &= 2,8721 \end{aligned}$$



Lampiran 6. Perhitungan Biaya Perawatan Komponen Mesin (Rupiah)

$$TC \text{ Komponen} = \frac{CF}{\eta^F} TM^{\beta-1} + \frac{CM}{TM}$$

Biaya Perawatan Komponen Mesin *Bagasse Conveyor III*

$$\begin{aligned} TC \text{ Gear Box} &= \frac{177.376.416}{753,29^{1,06}} 288,94^{3,56-1} + \frac{15.000.000}{288,94} = 5.915.250.863 \\ TC \text{ Rantai Penggerak} &= \frac{103.434.366}{894,20^{1,06}} 891,293^{2,18-1} + \frac{295.000.000}{891,29} = 250.557.786,9 \\ TC \text{ Scrapper} &= \frac{108.690.266}{5653,27^{1,06}} 350,9^{1,90-1} + \frac{30.000.000}{350,9} = 33.504.480,82 \end{aligned}$$

Biaya Perawatan Komponen Mesin *Yoshimine I*

$$\begin{aligned} TC \text{ FWP} &= \frac{170.746.954}{901,94^{1,81}} 383,83^{1,81-1} + \frac{29.500.000}{383,83} = 36.339.171,89 \\ TC \text{ Air Heater} &= \frac{222.389.603}{807,94^{1,84}} 569,26^{1,84-1} + \frac{98.000.000}{807,94} = 116.940.689,1 \\ TC \text{ Burner} &= \frac{370.659.434}{1151,42^{1,28}} 590,4^{1,28-1} + \frac{37.000.000}{590,4} = 163.374.484,7 \\ TC \text{ Deaerator} &= \frac{157.853.928}{849,89^{1,47}} 461,3^{1,47-1} + \frac{30.000.000}{461,3} = 64.535.669,23 \\ TC \text{ IDF} &= \frac{188.723.600}{967,198^{1,05}} 10033,9^{1,05-1} + \frac{106.000.000}{10033,9} = 2.139.992.527 \\ TC \text{ FDF} &= \frac{264.238.846}{1645,16^{1,01}} 32687,7^{1,21-1} + \frac{59.000.000}{32687,7} = 5.555.405.165 \end{aligned}$$



Lampiran 7. Perhitungan TM Komponen Mesin

$$TM_{Komponen} = \eta x \left[\frac{CM}{CF(\beta-1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

Perhitungan TM Komponen Mesin *Bagasse Conveyor III*

$$TM_{Gear\ Box} = 753,28 \left[\frac{18.000.000}{177.376.416(3,56-1)} \right]^{\frac{1}{1,08}} = 288,94$$

$$TM_{Rantai\ Penggerak} = 594,21 \left[\frac{295.000.000}{108.434.363(2,18-1)} \right]^{\frac{1}{1,08}} = 891,29$$

$$TM_{Scrapper} = 653,27 \left[\frac{30.000.000}{108.690.256(1,90-1)} \right]^{\frac{1}{1,08}} = 350,9$$

Perhitungan TM Komponen Mesin *Yoshimine I*

$$TM_{FWP} = 901,94 \left[\frac{29.500.000}{170.746.954(1,81-1)} \right]^{\frac{1}{1,01}} = 383,83$$

$$TM_{Air\ Heater} = 807,94 \left[\frac{98.000.000}{222.339.603(1,84-1)} \right]^{\frac{1}{1,04}} = 569,26$$

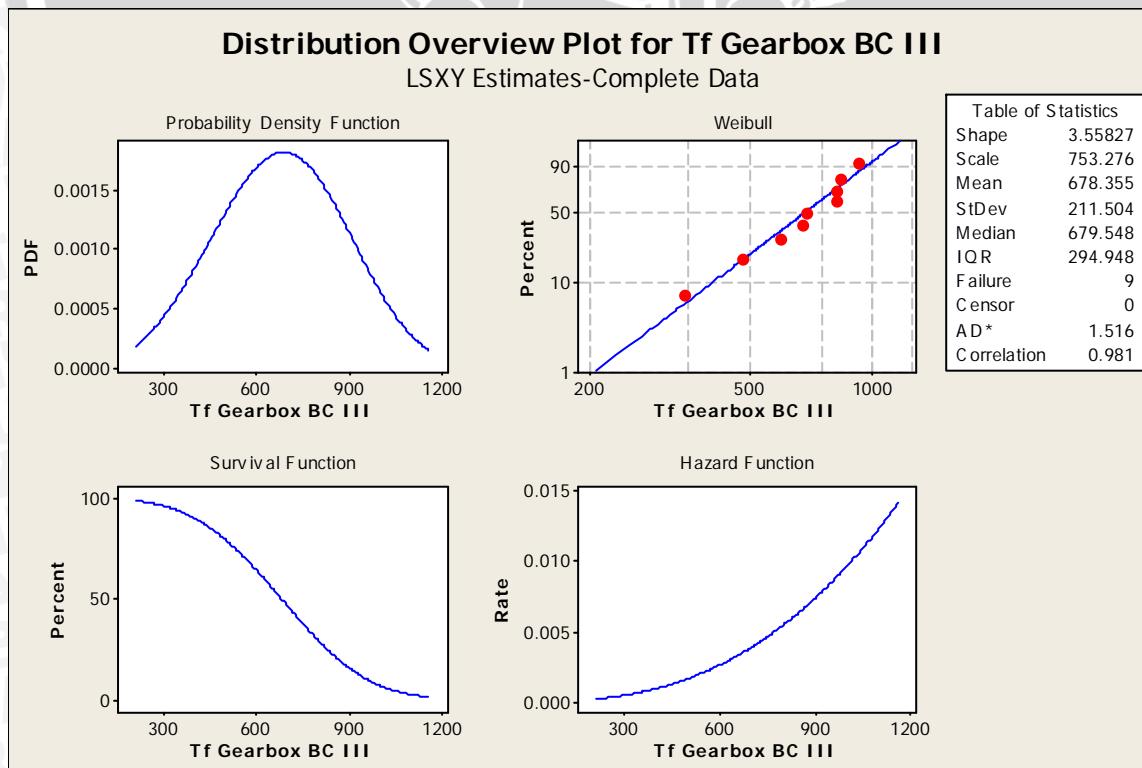
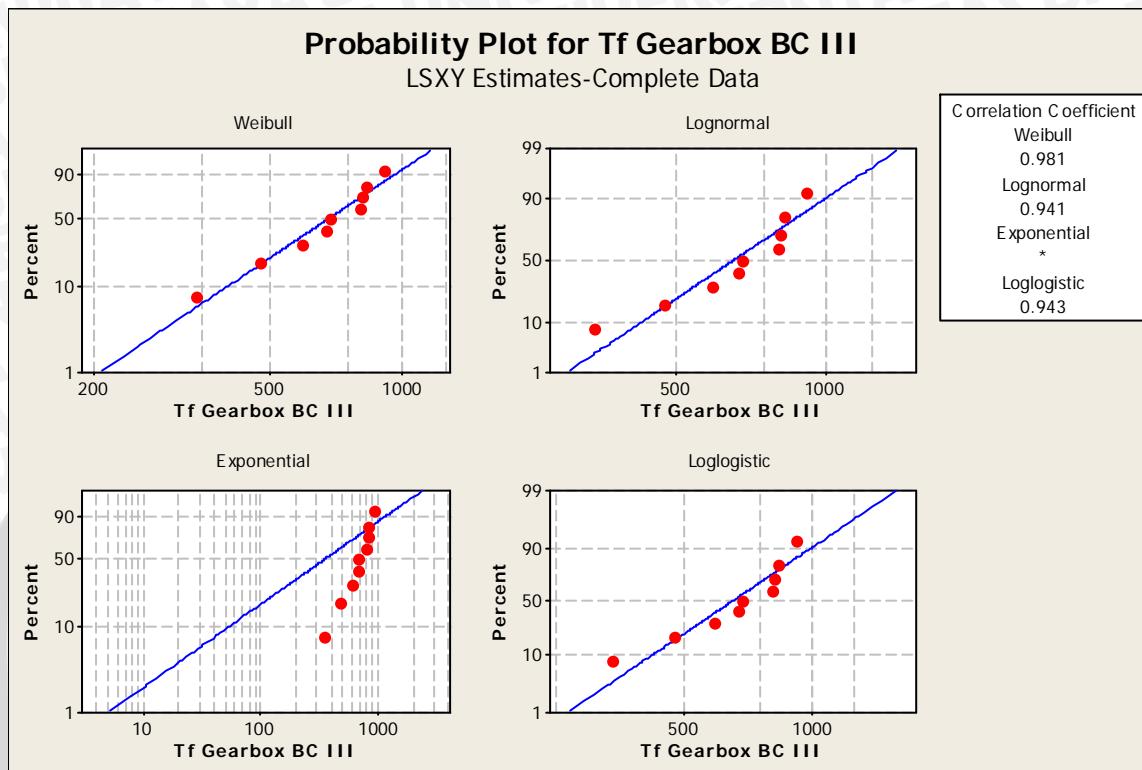
$$TM_{Burner} = 1151,42 \left[\frac{37.000.000}{370.659.434(1,28-1)} \right]^{\frac{1}{1,08}} = 590,4$$

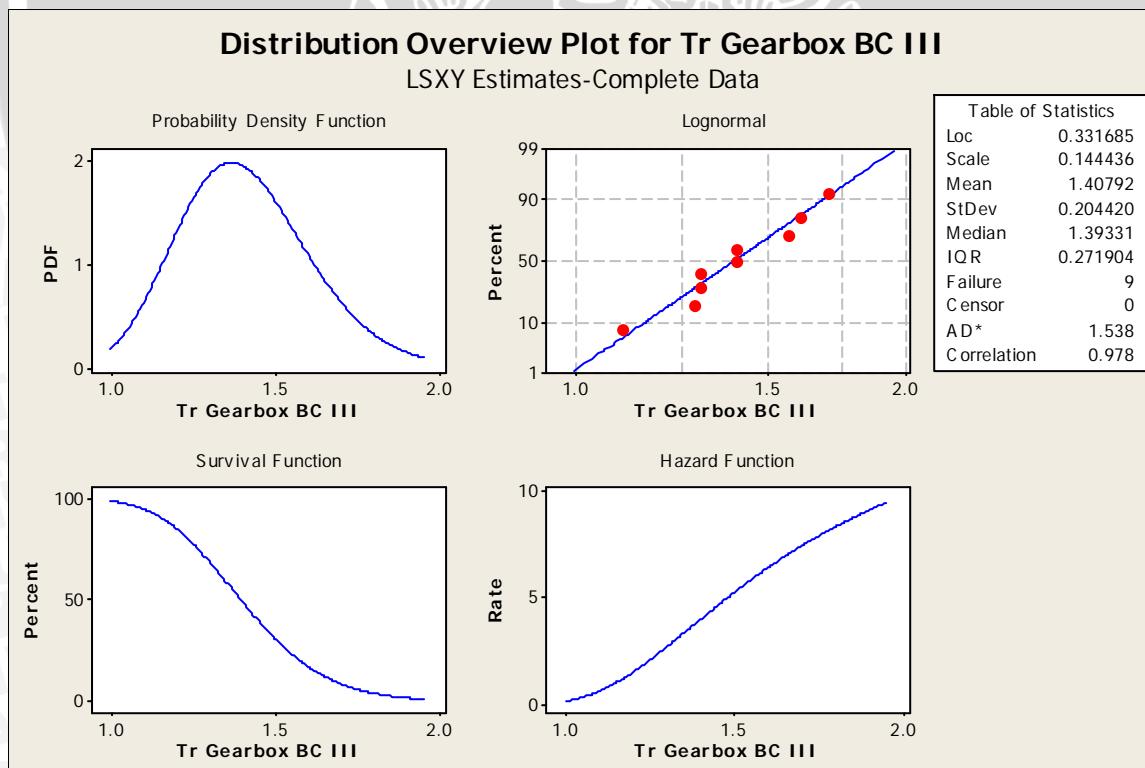
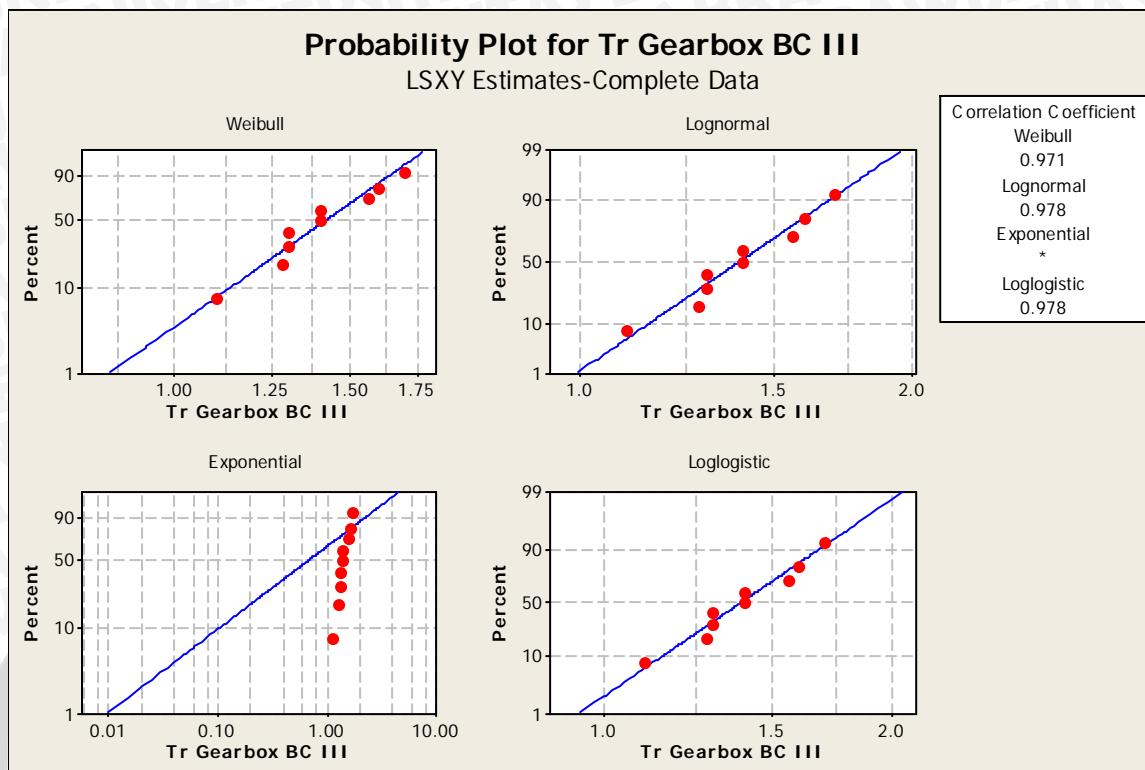
$$TM_{Deaerator} = 849,89 \left[\frac{30.000.000}{167.898.928(1,47-1)} \right]^{\frac{1}{1,07}} = 461,3$$

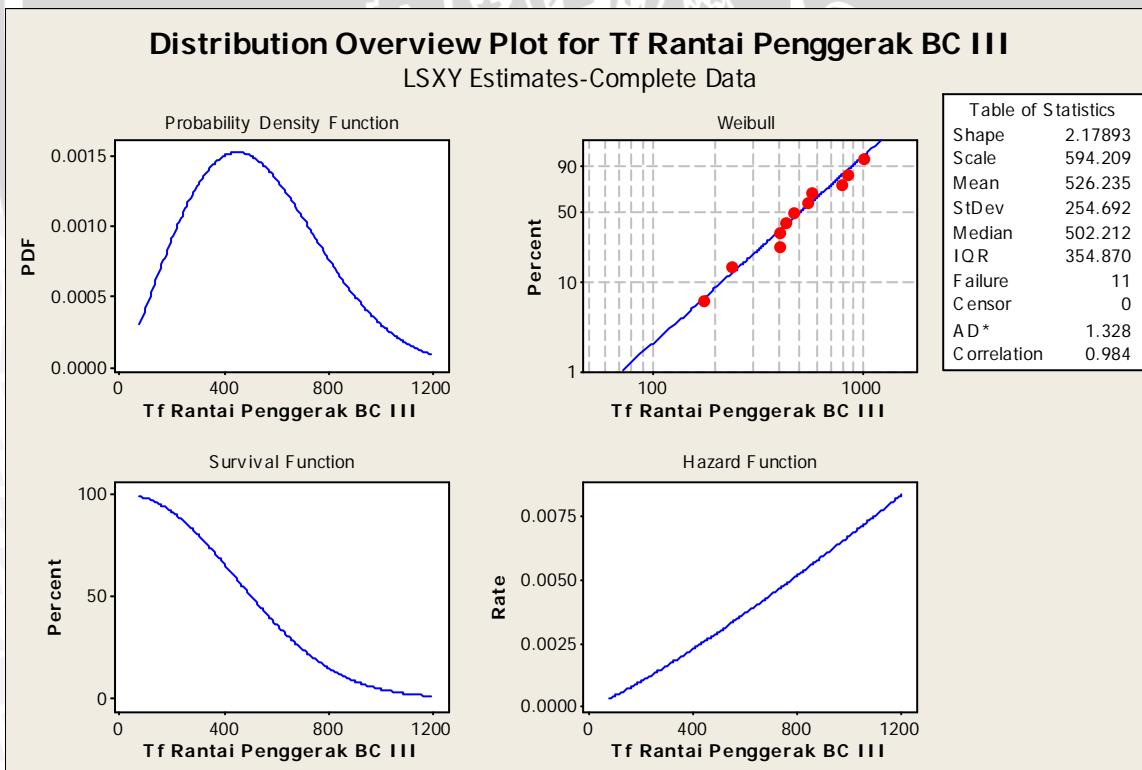
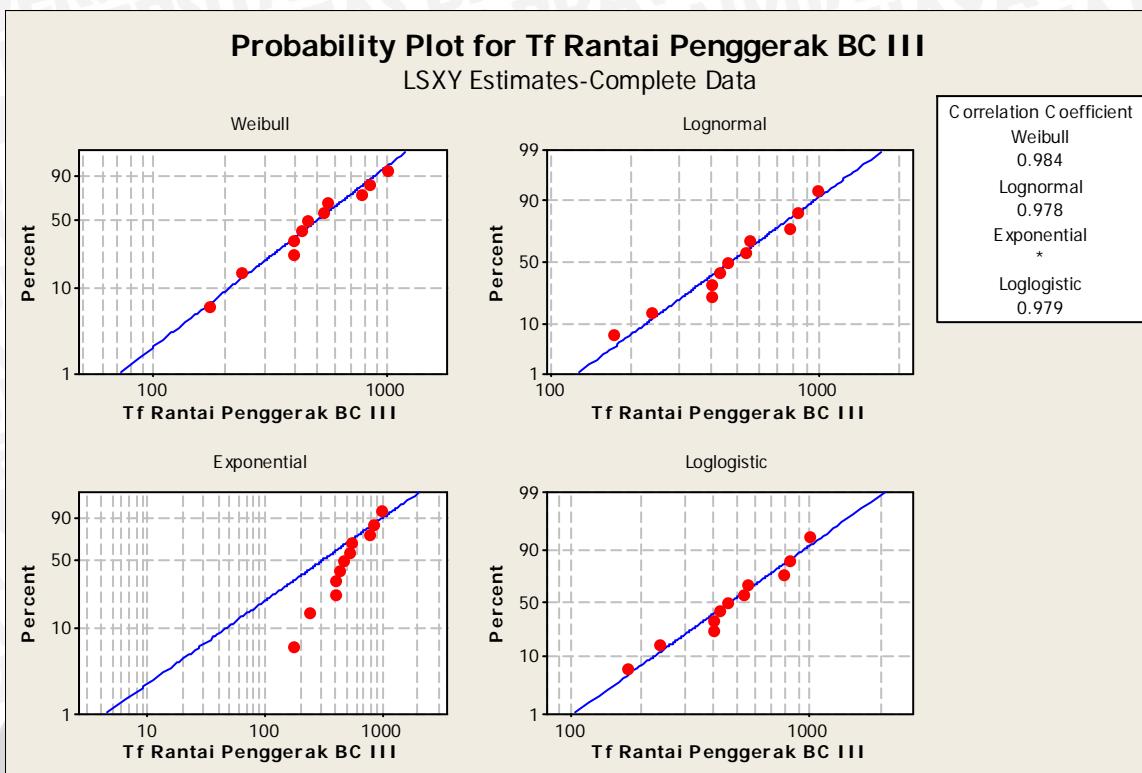
$$TM_{IDF} = 967,198 \left[\frac{106.000.000}{163.723.599,8(1,05-1)} \right]^{\frac{1}{1,05}} = 10033,9$$

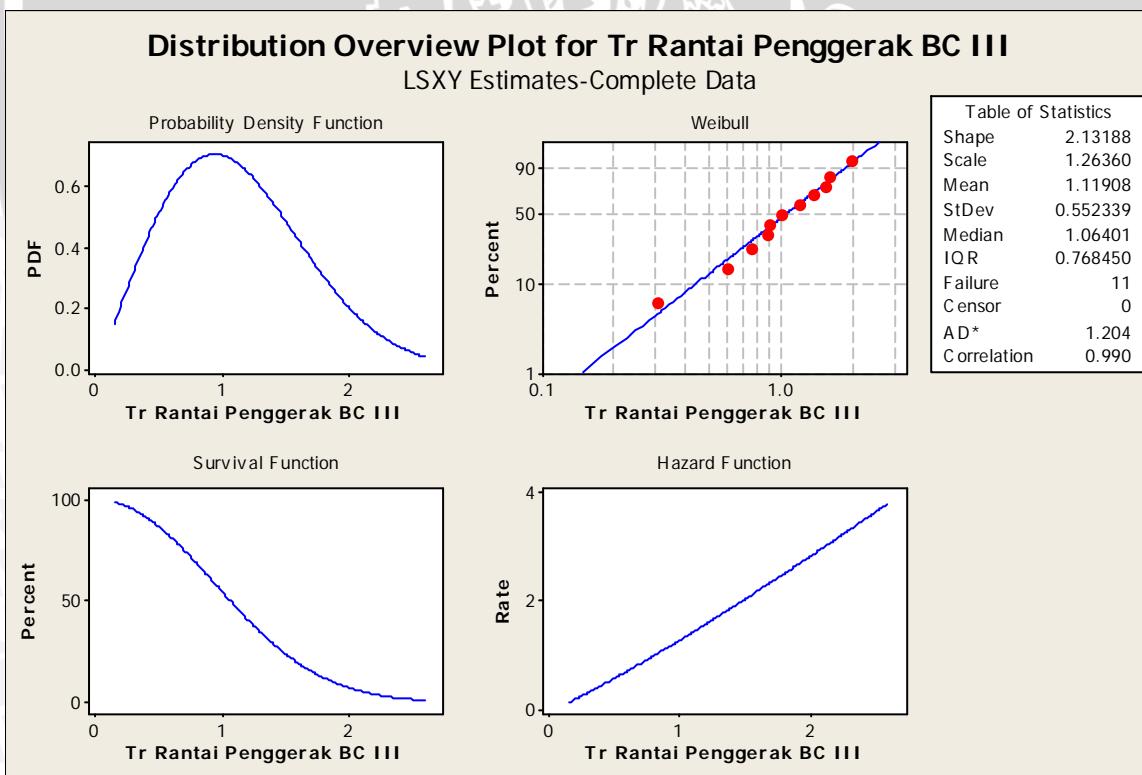
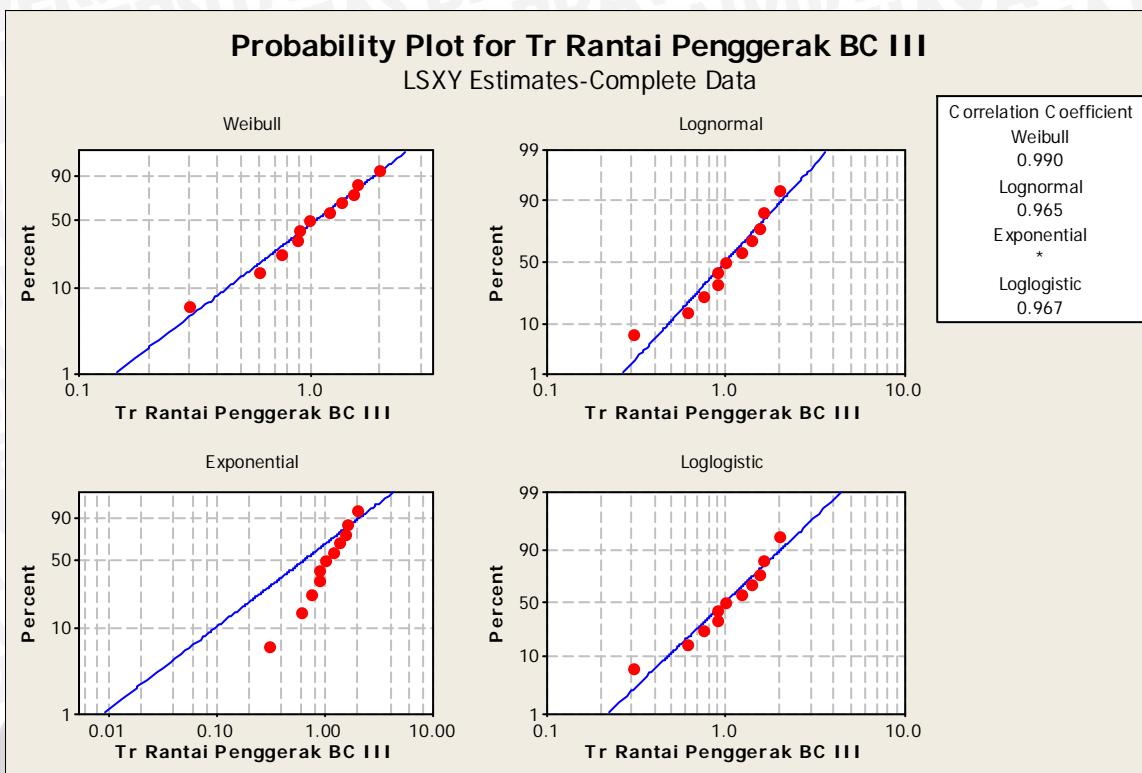
$$TM_{FDF} = 1545,16 \left[\frac{69.000.000}{254.238.346(1,01-1)} \right]^{\frac{1}{1,01}} = 32687,7$$

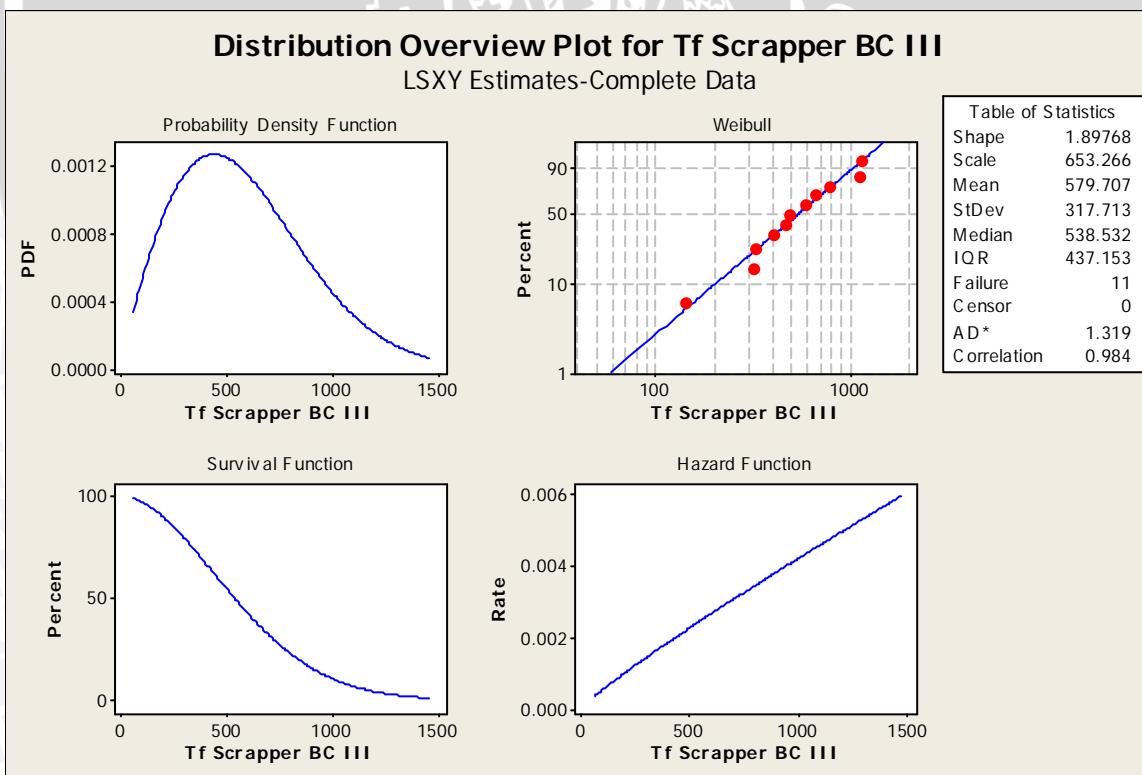
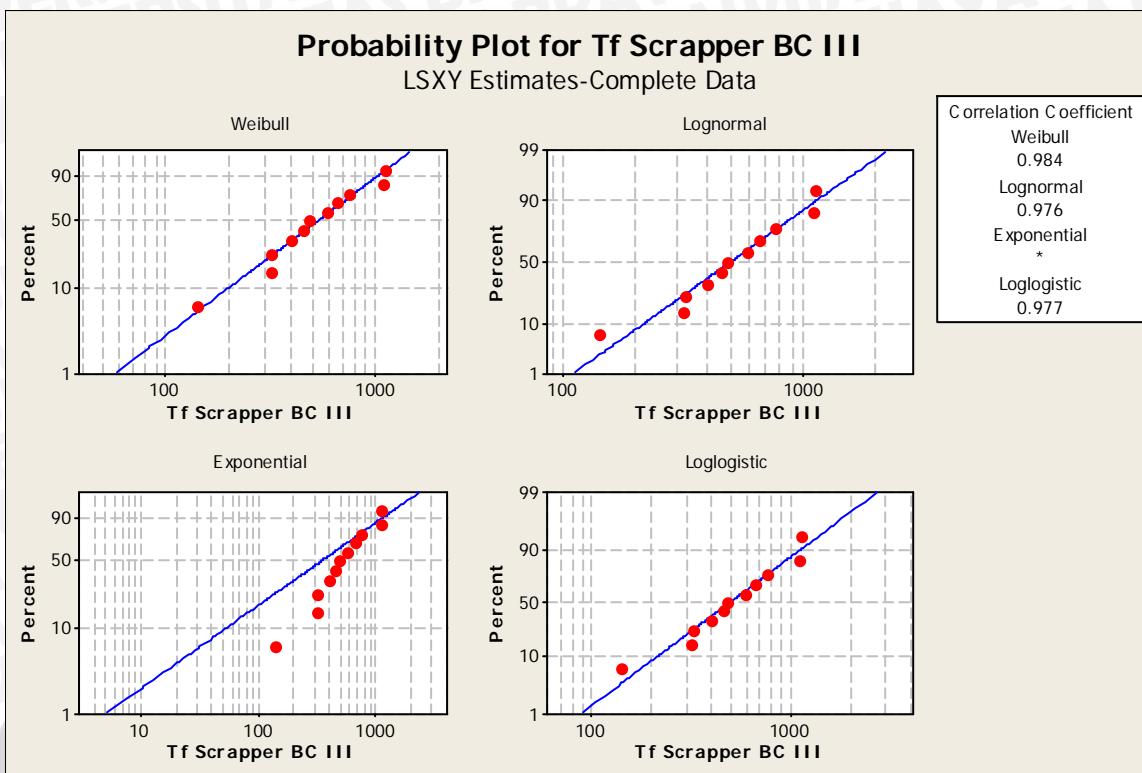
Lampiran 8. Pengolahan Data dengan Software MINITAB 14

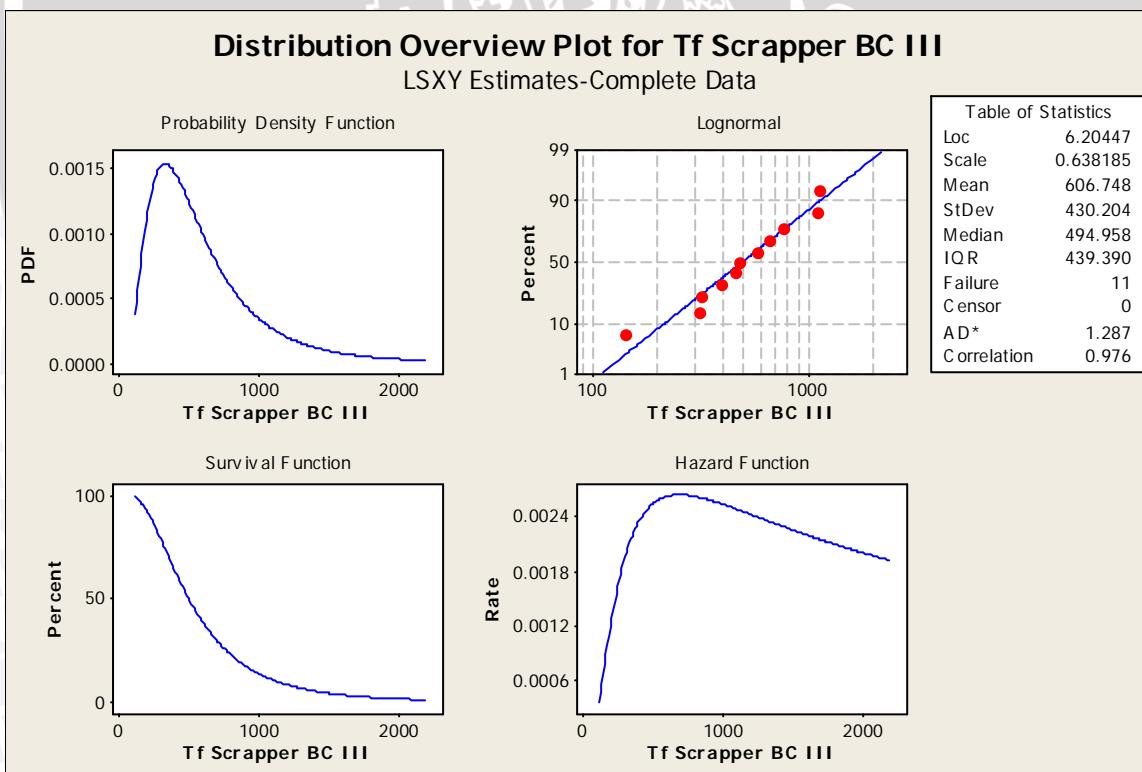
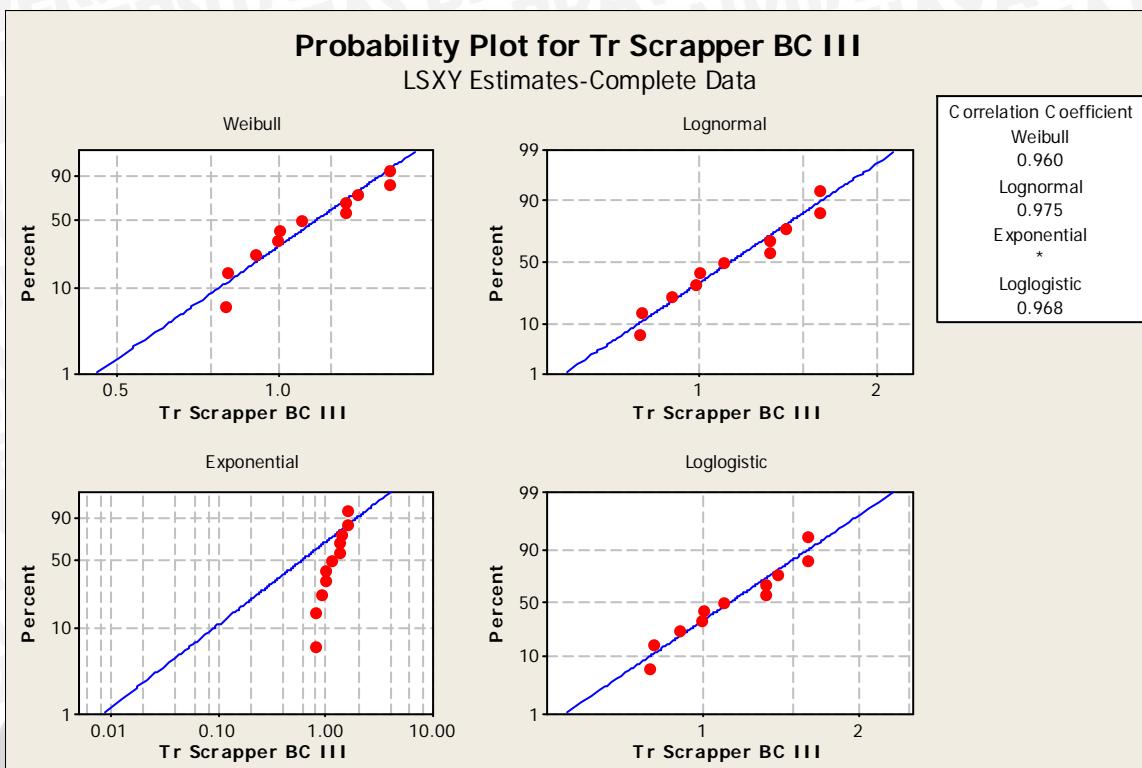


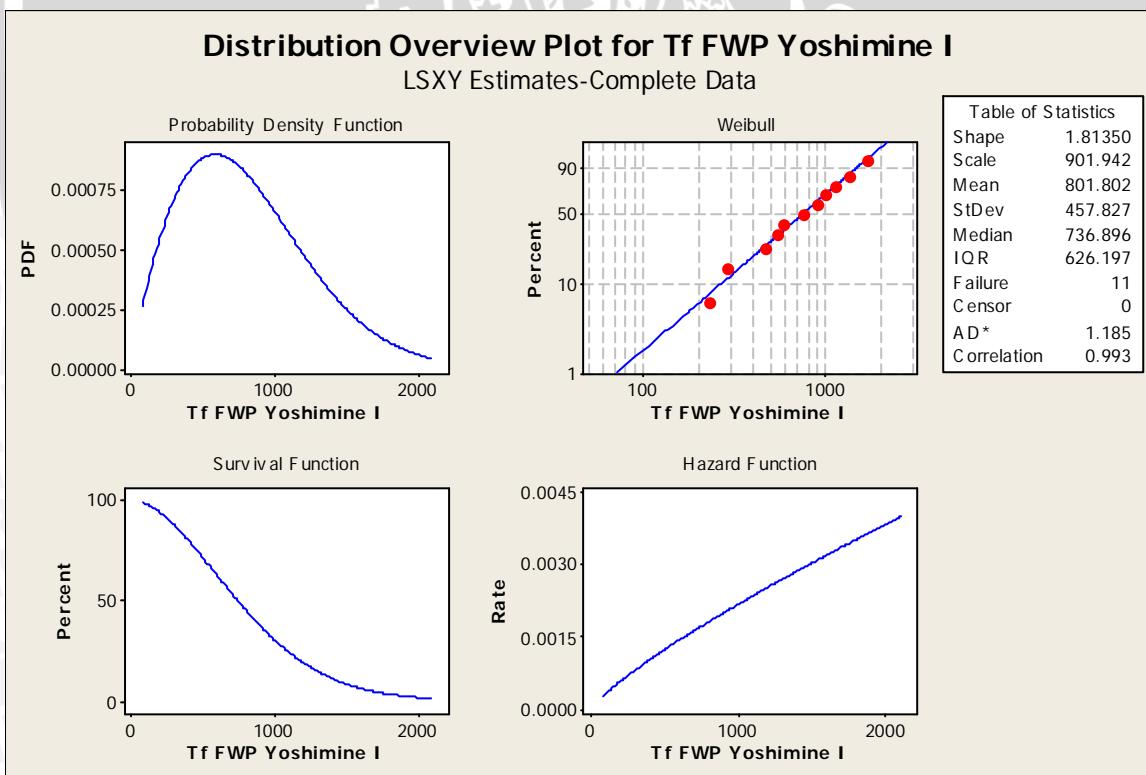
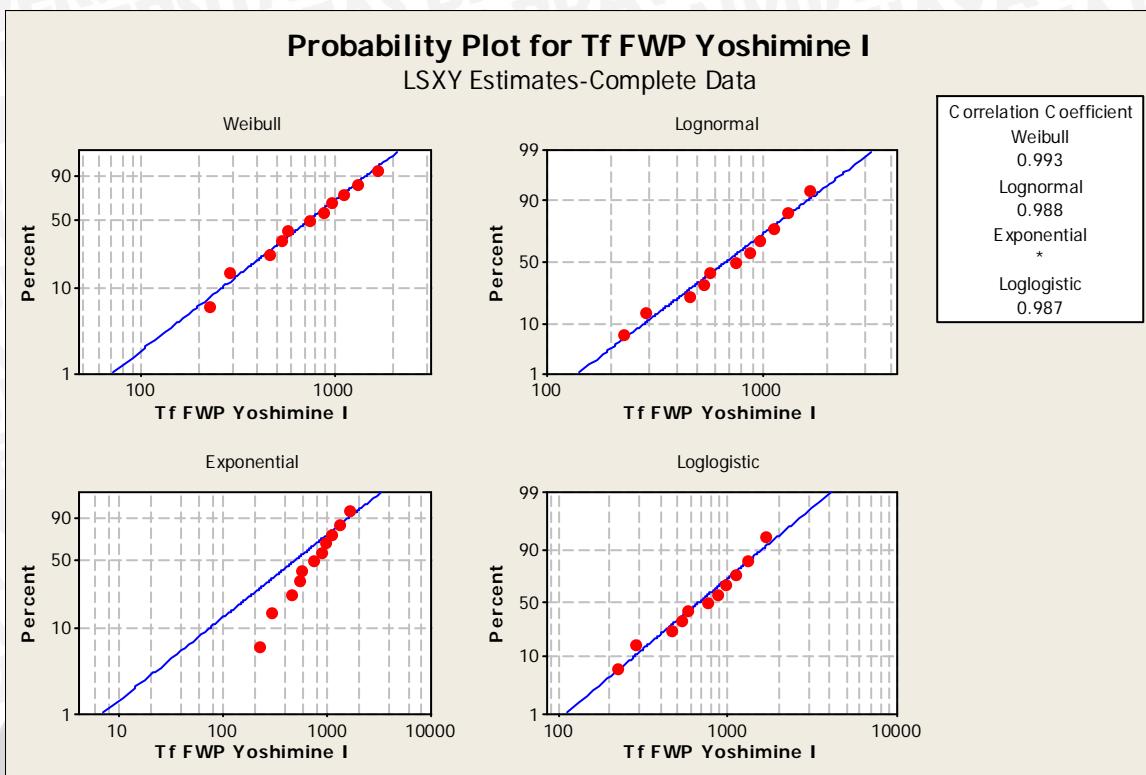


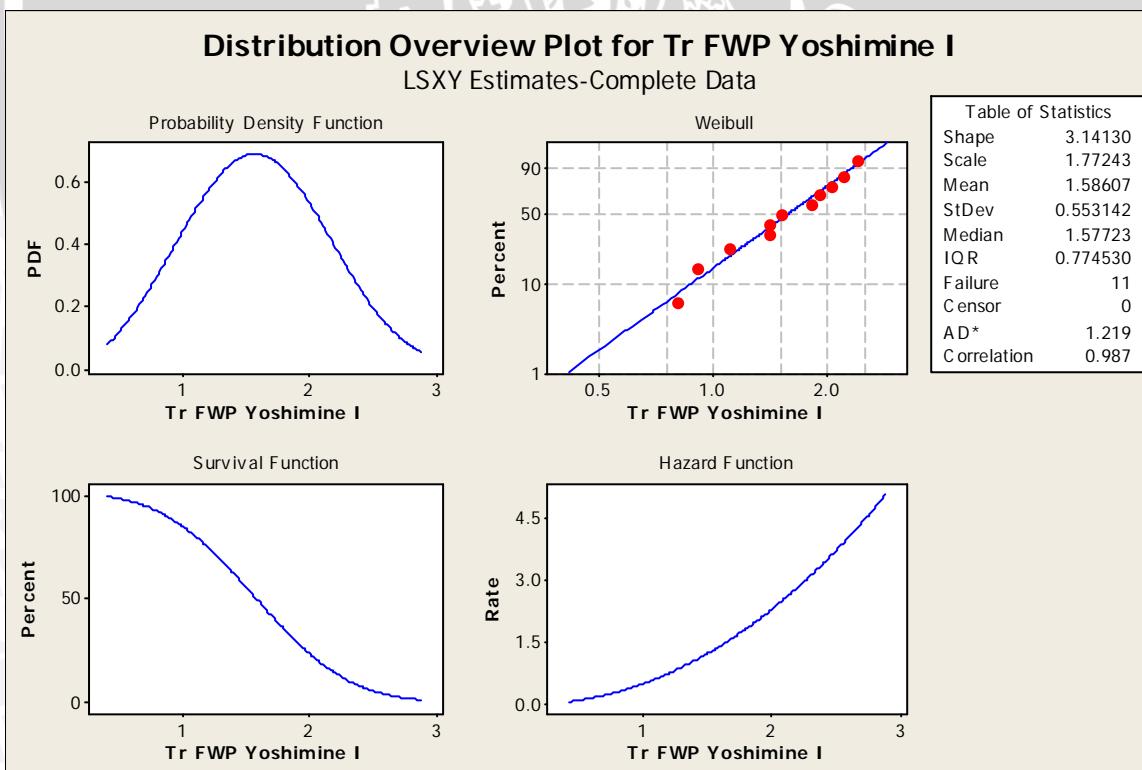
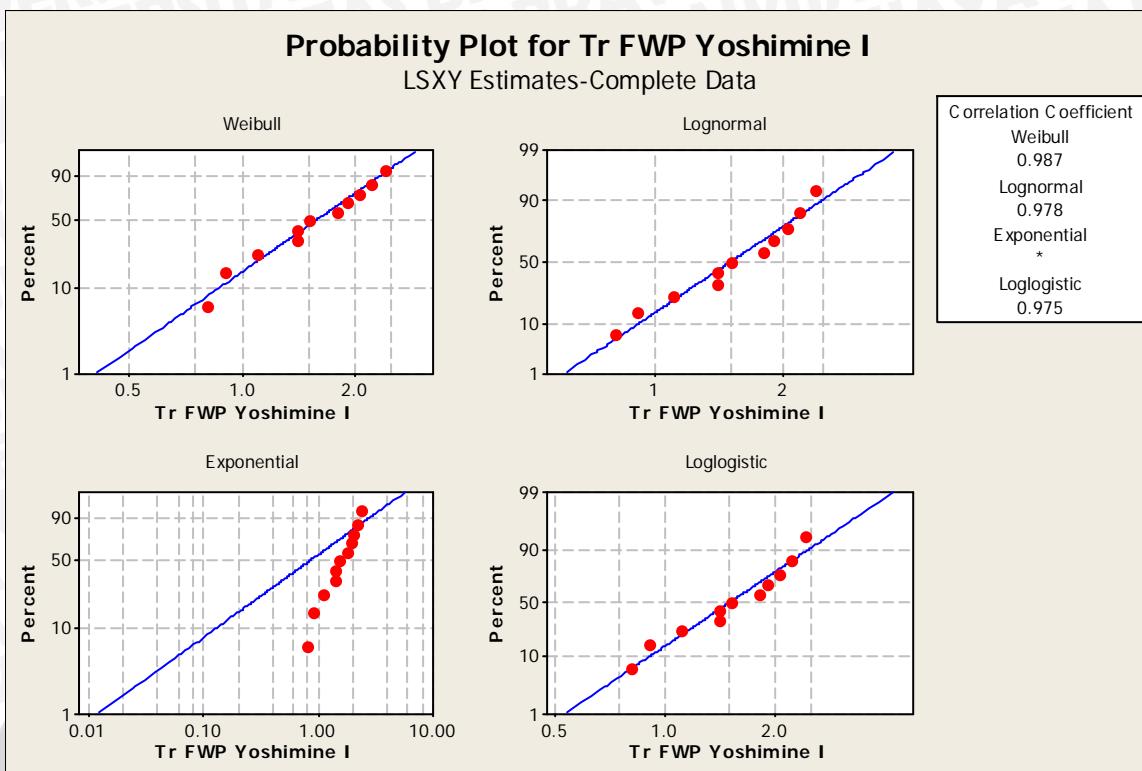


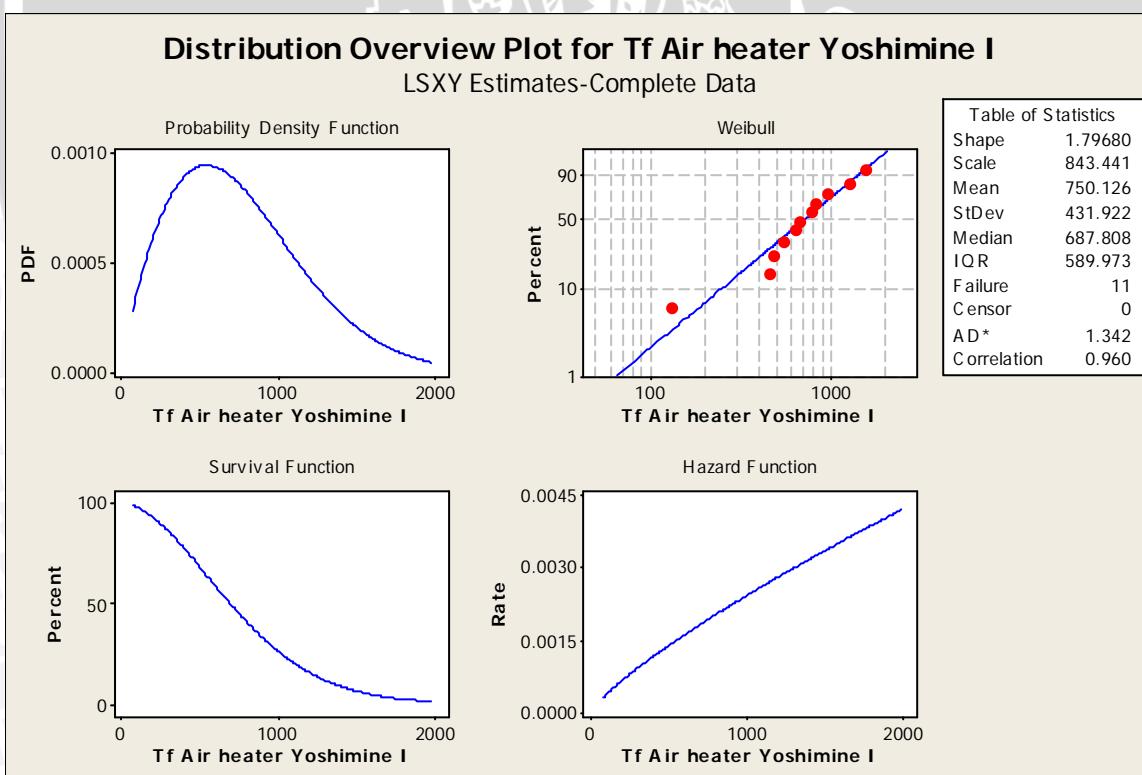
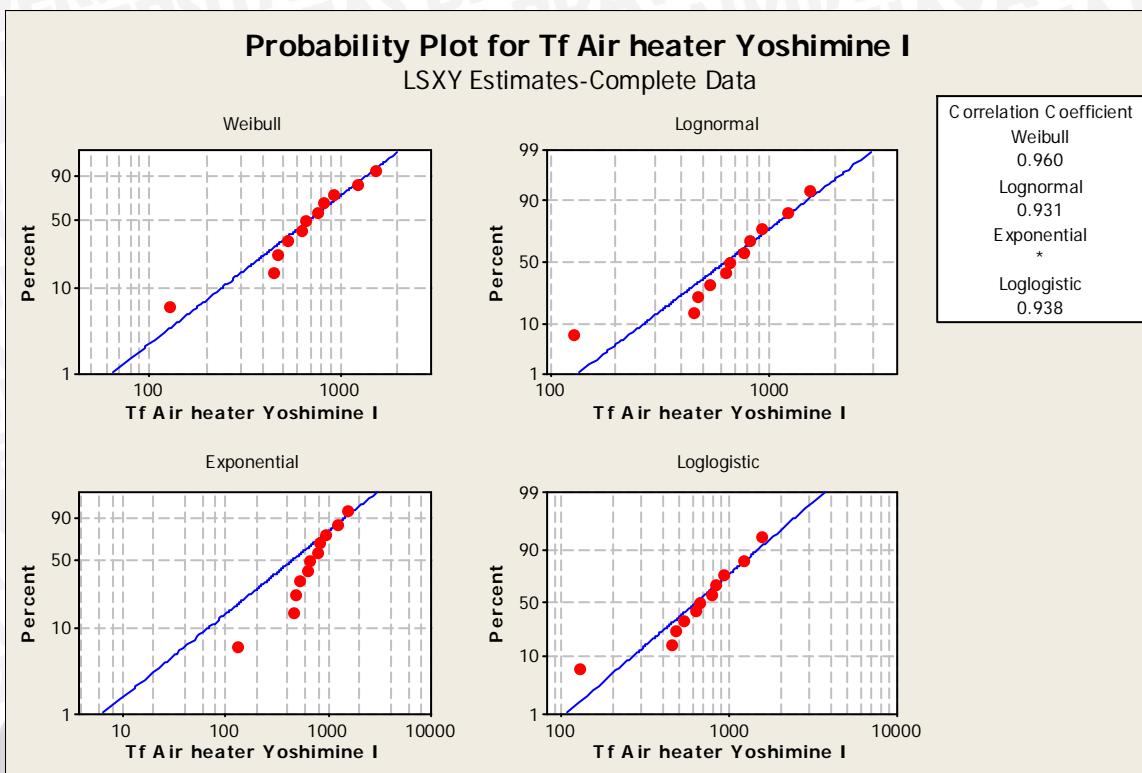


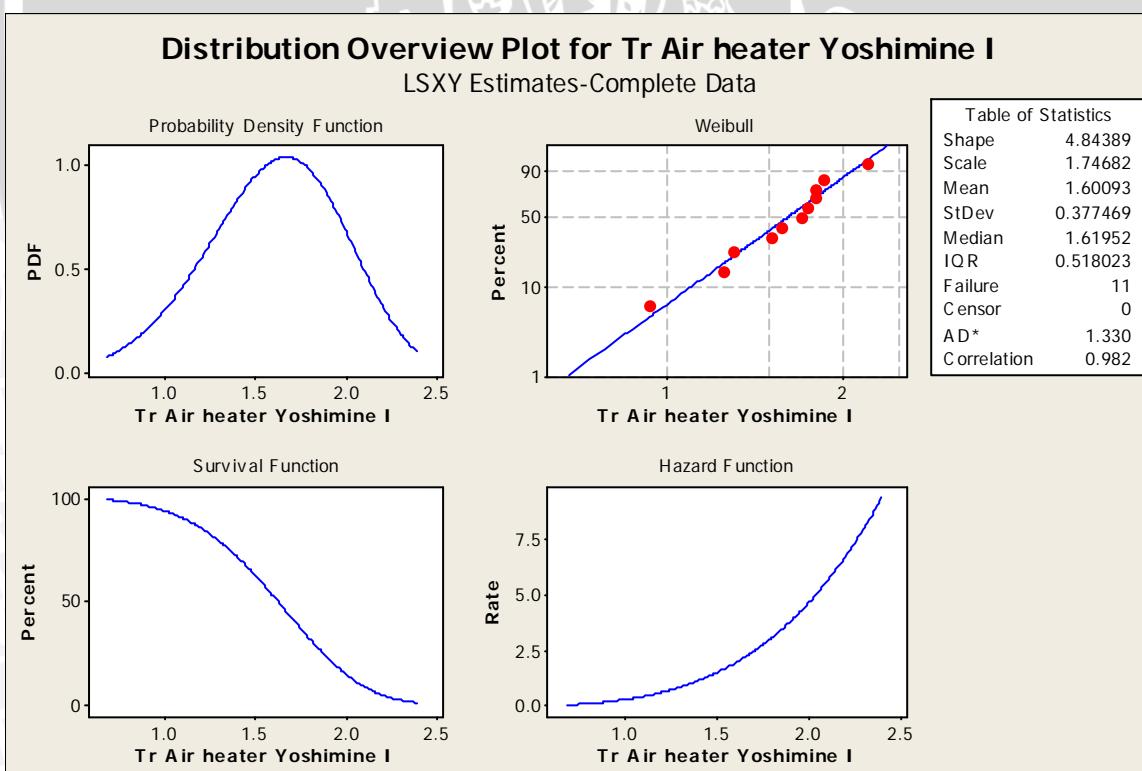
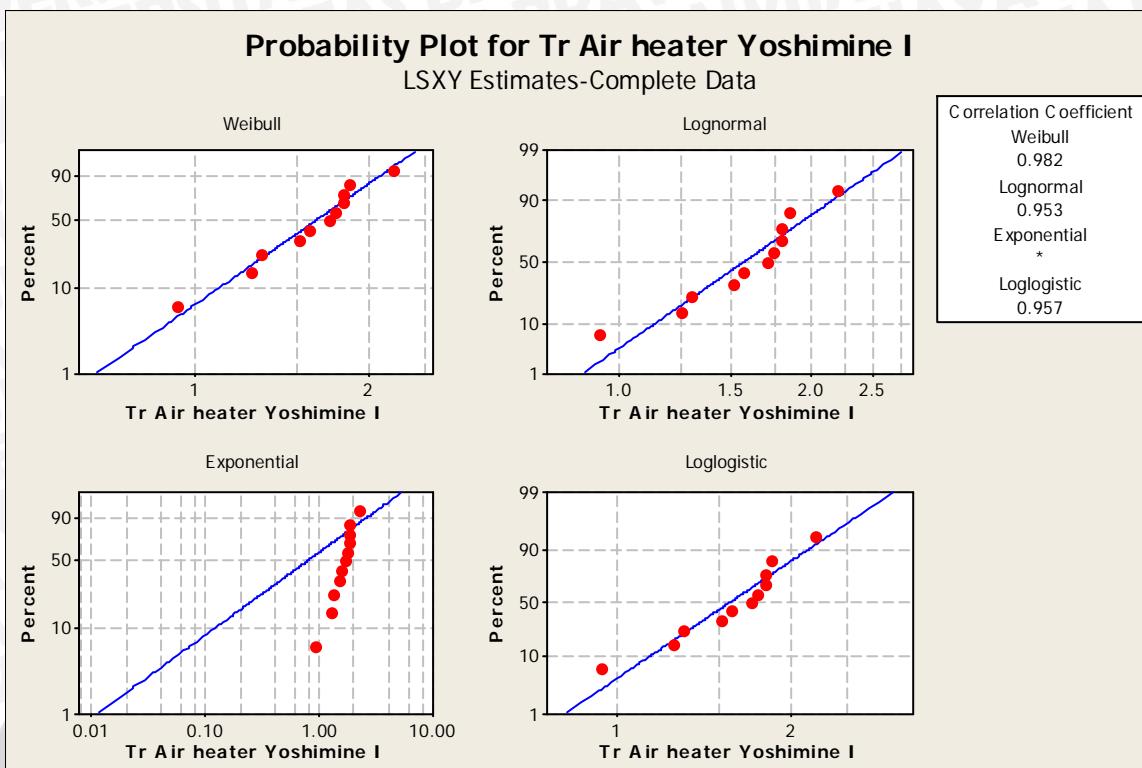


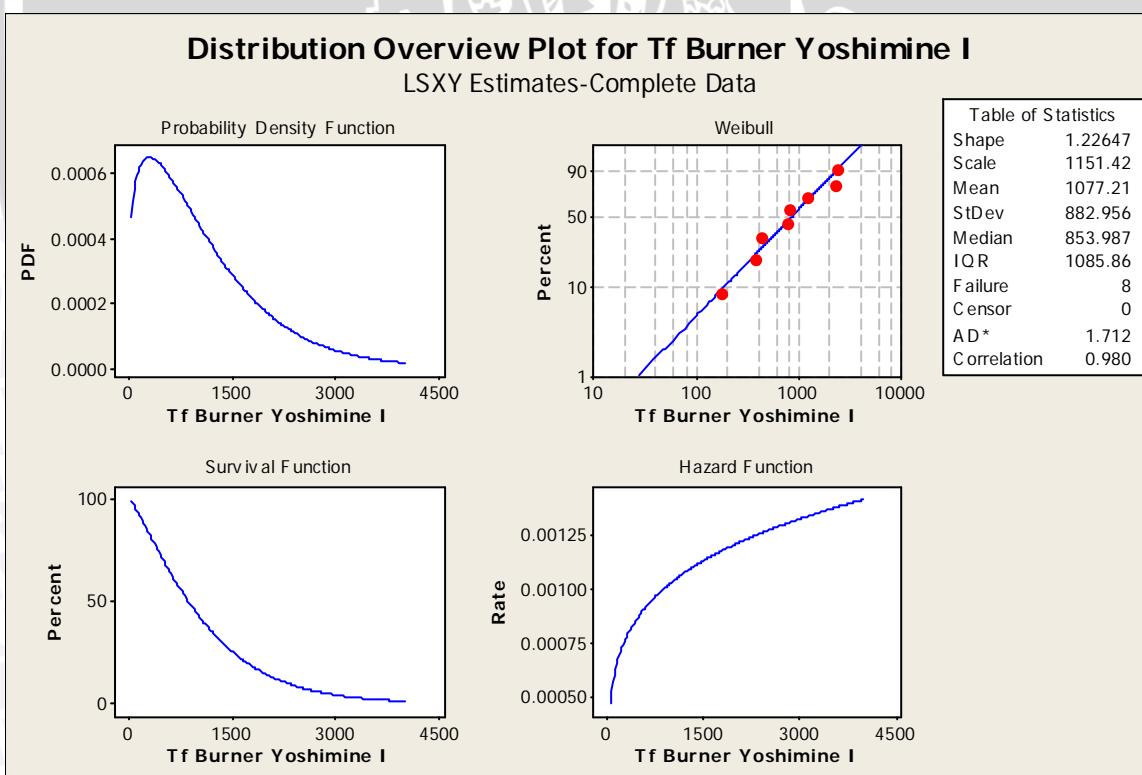
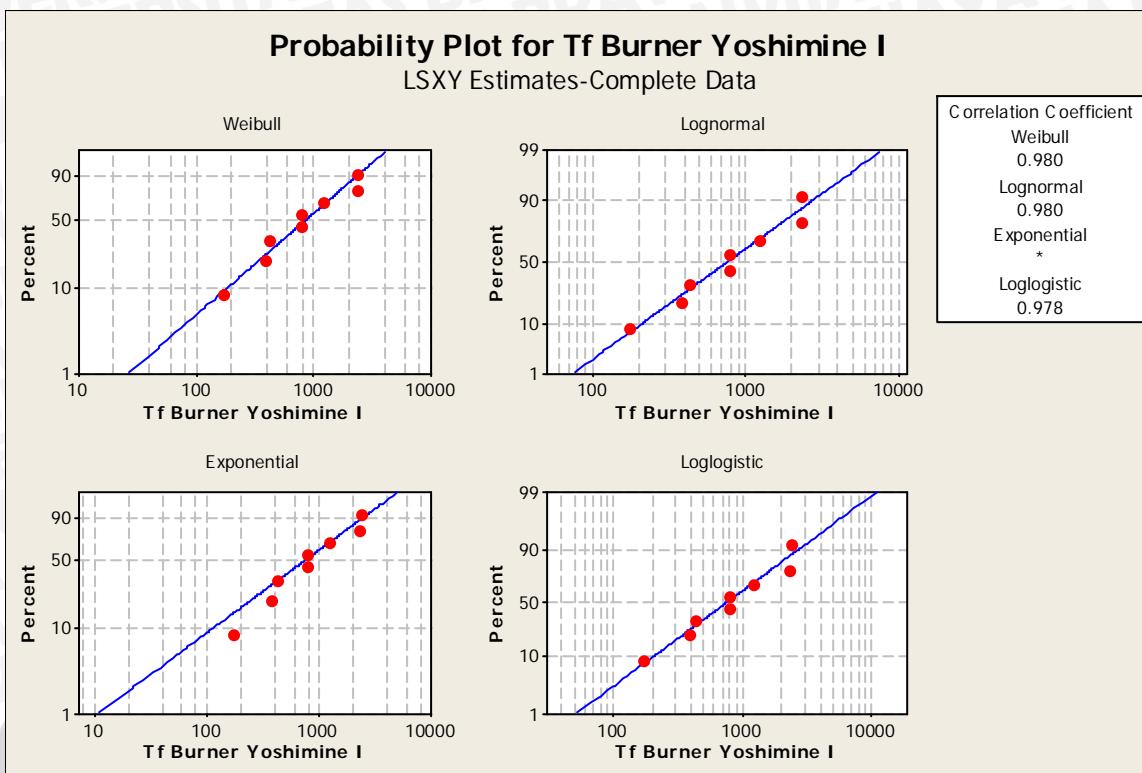


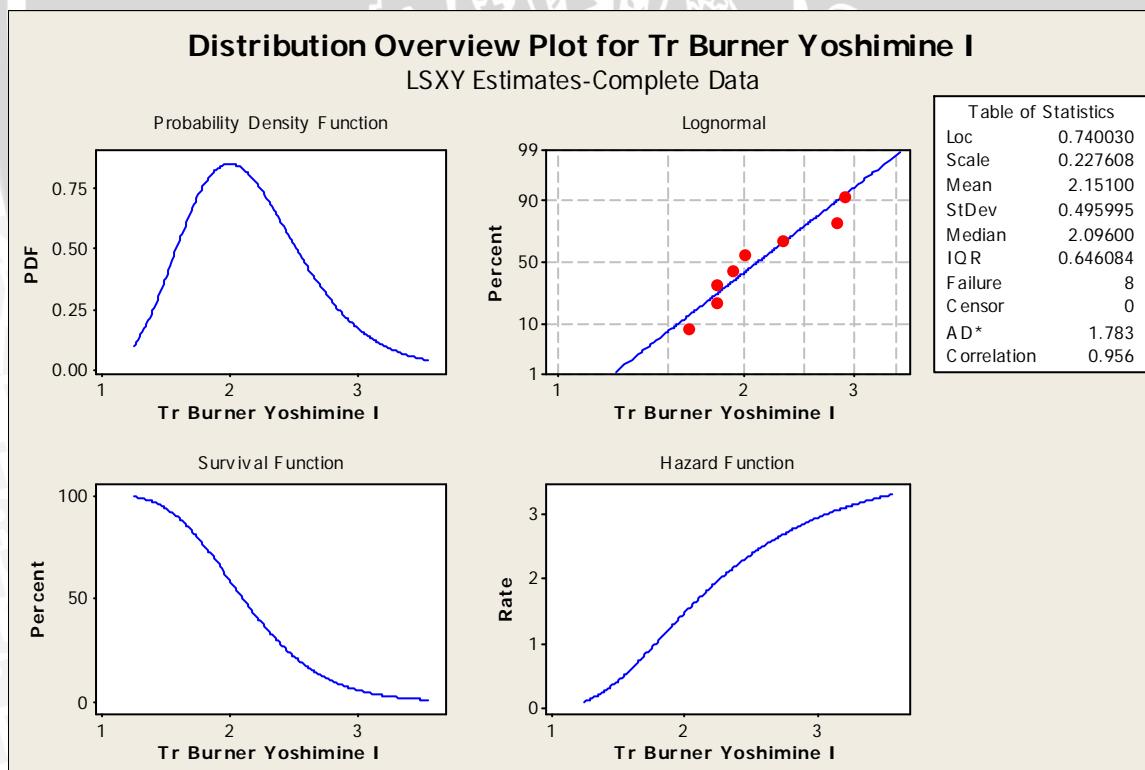
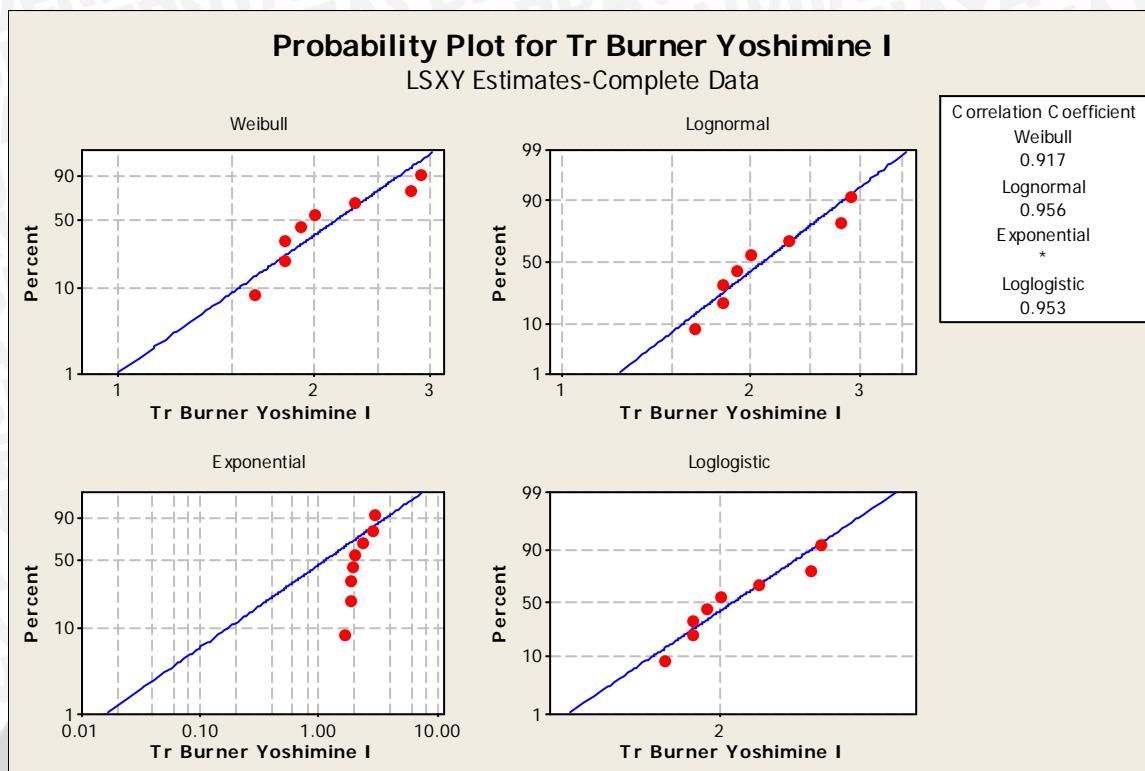


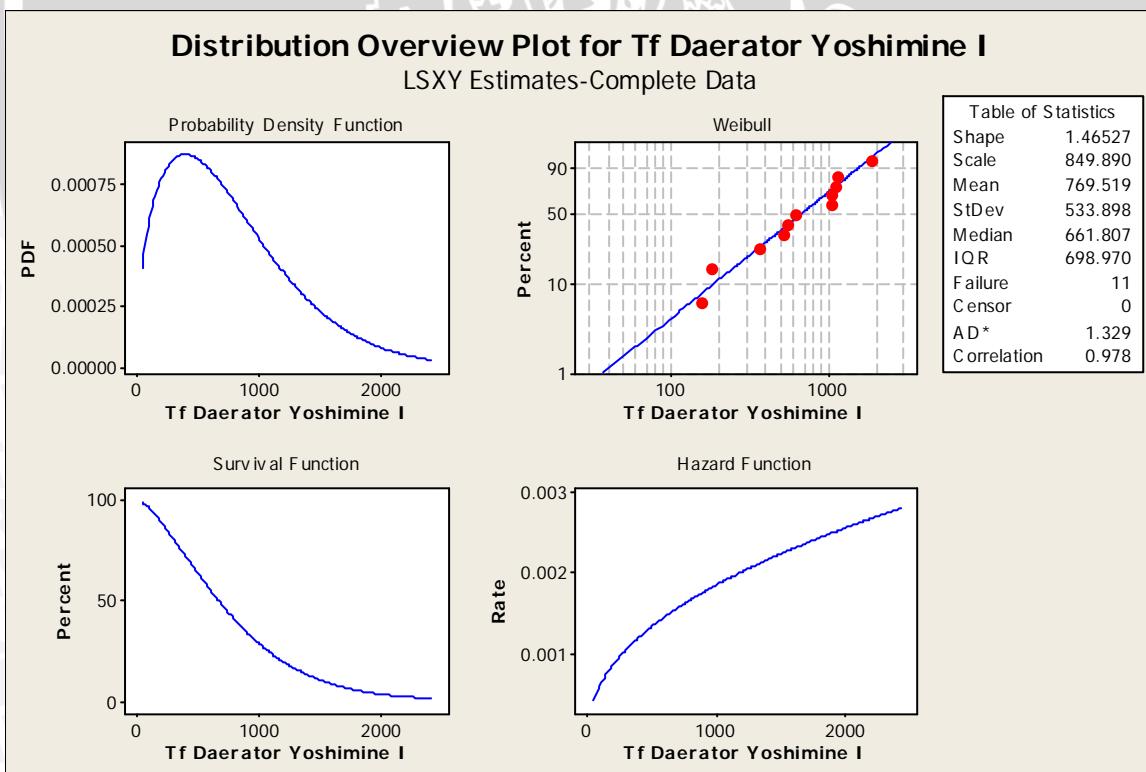
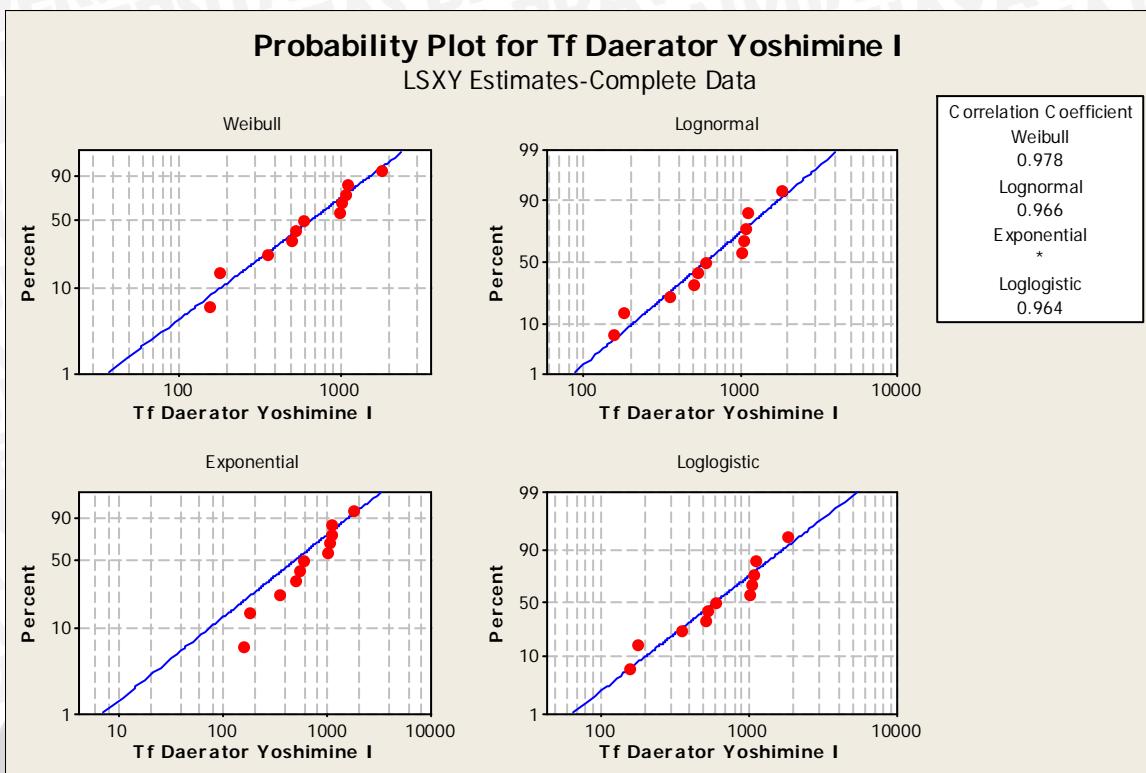


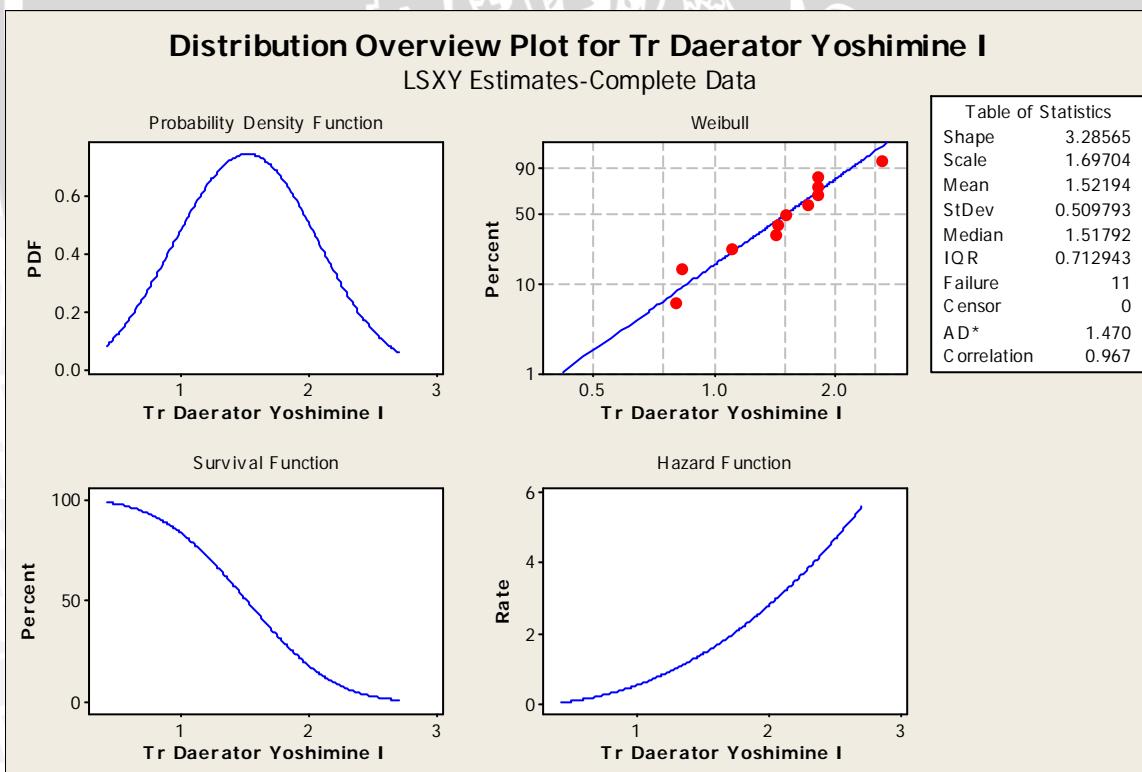
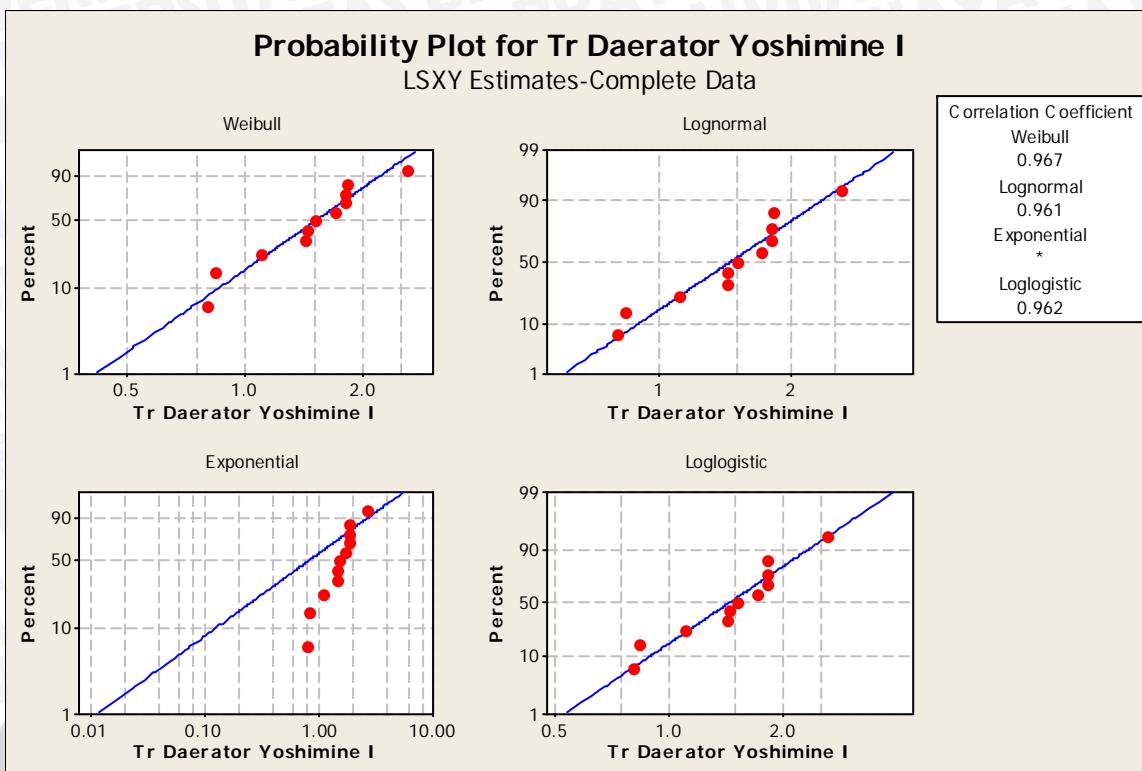


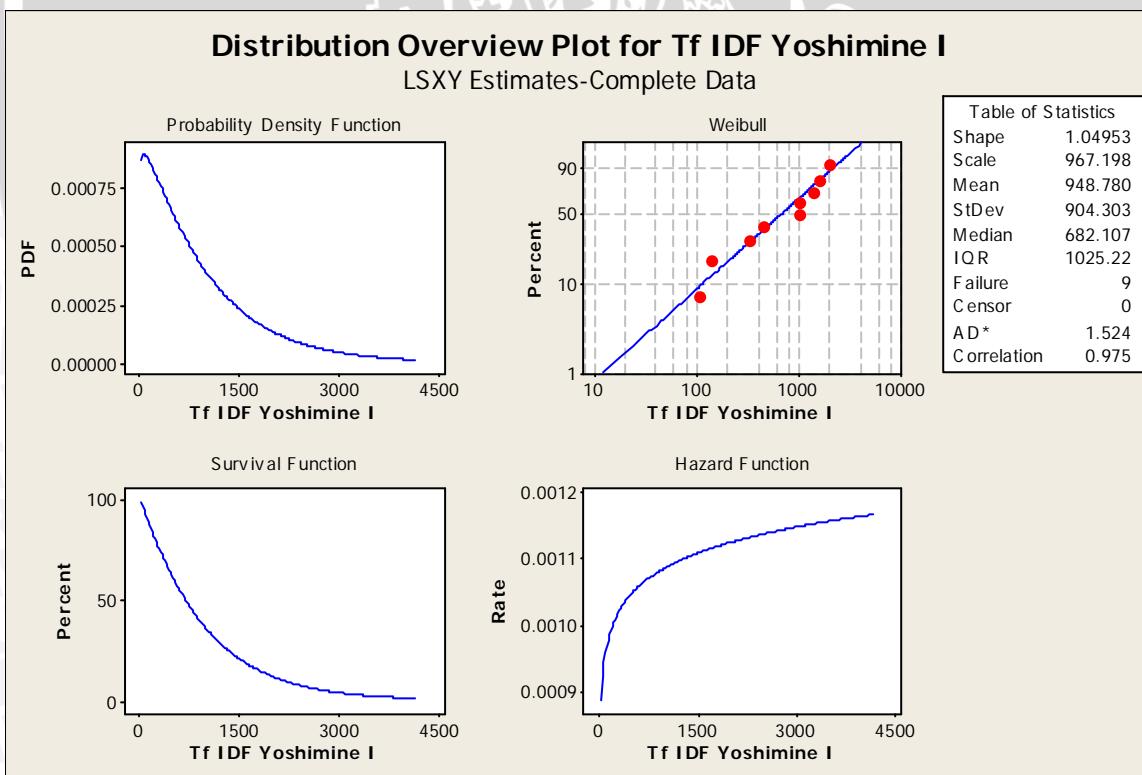
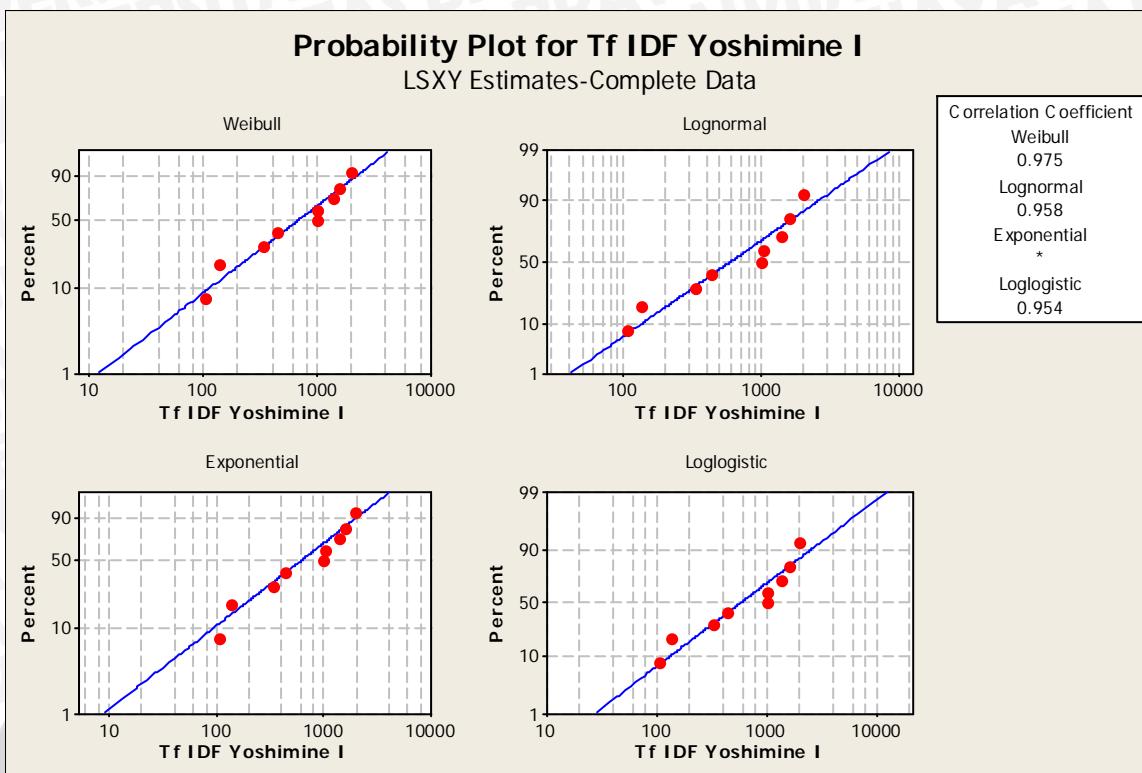


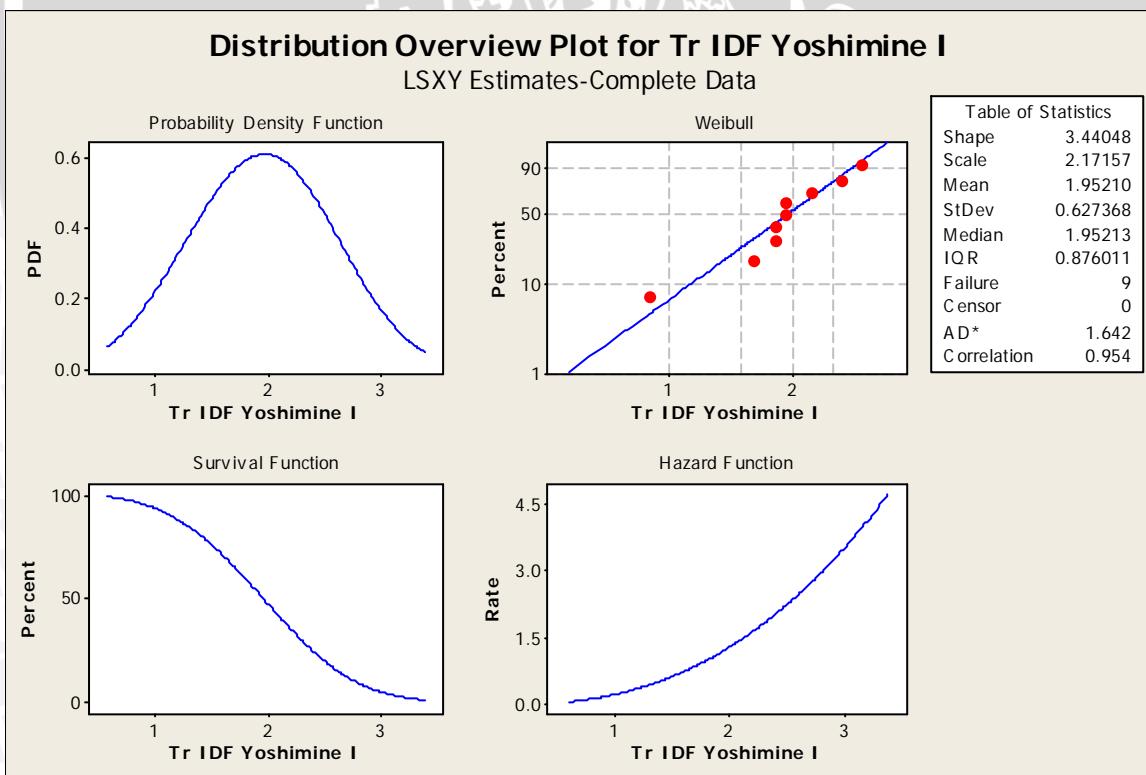
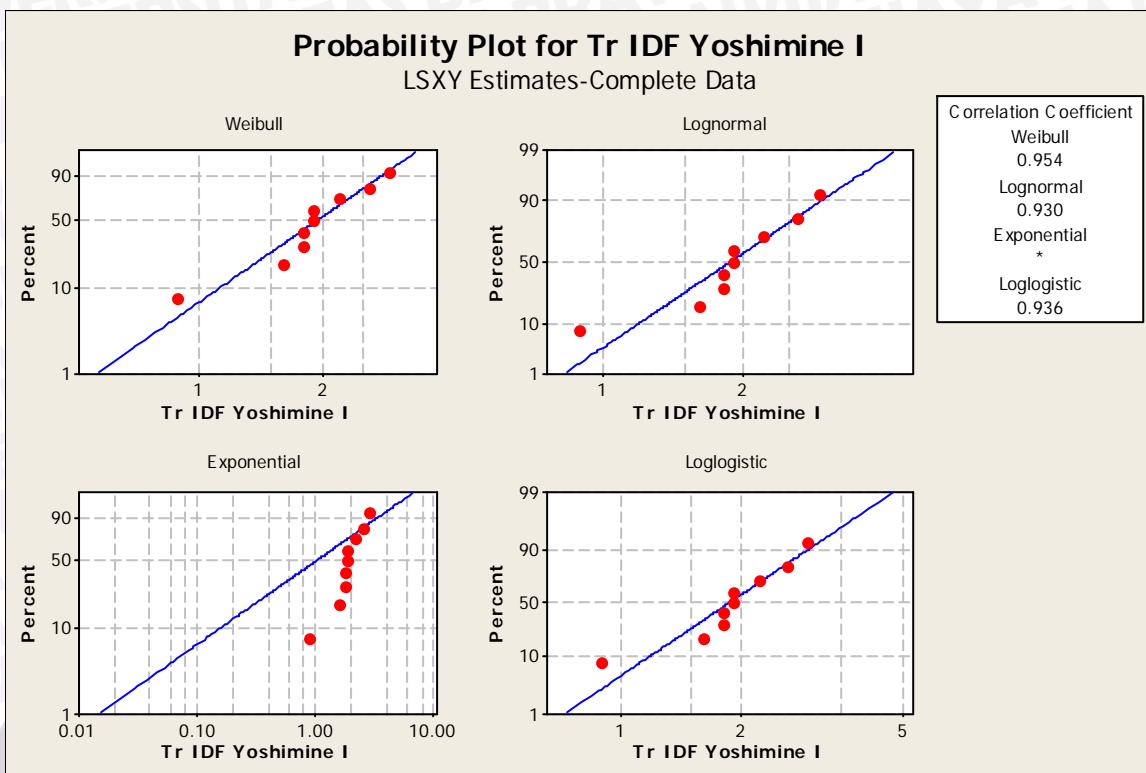


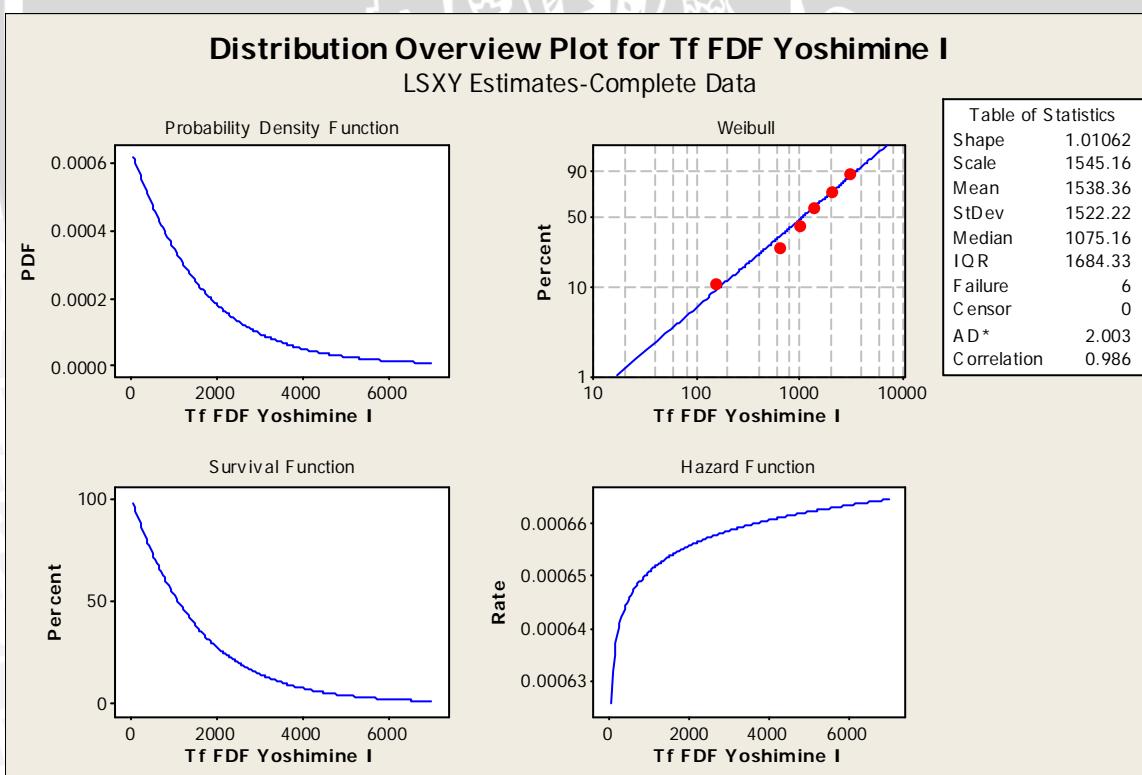
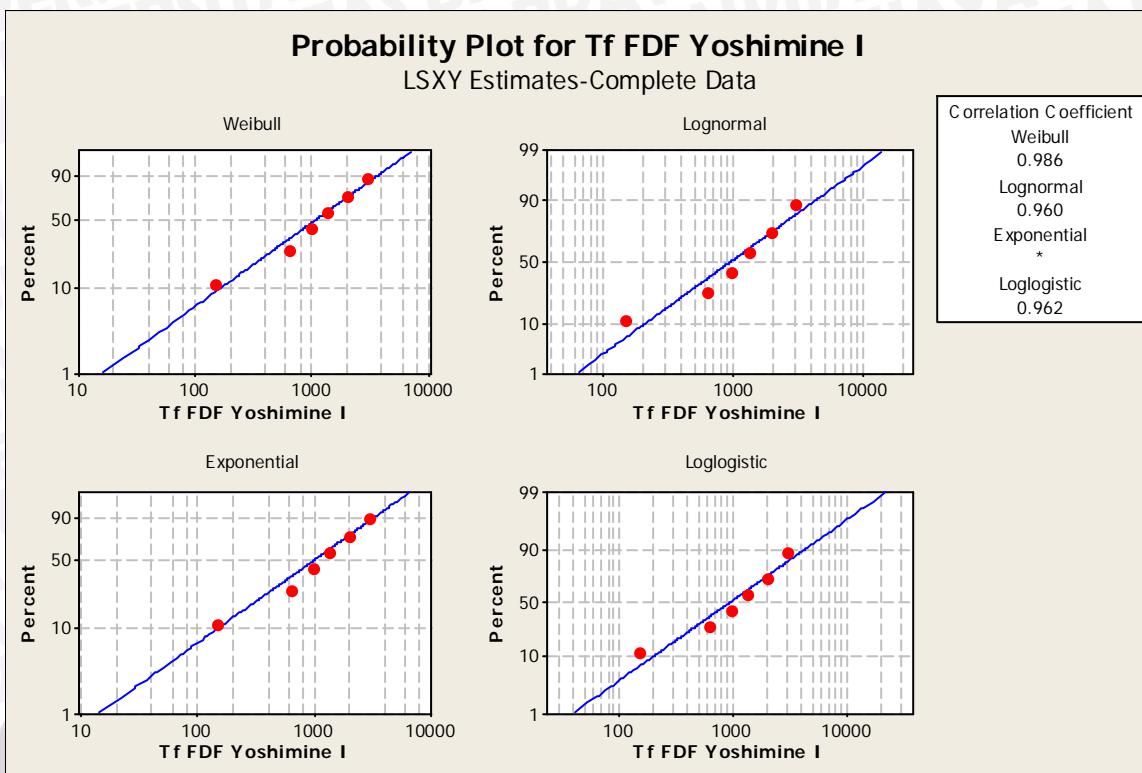


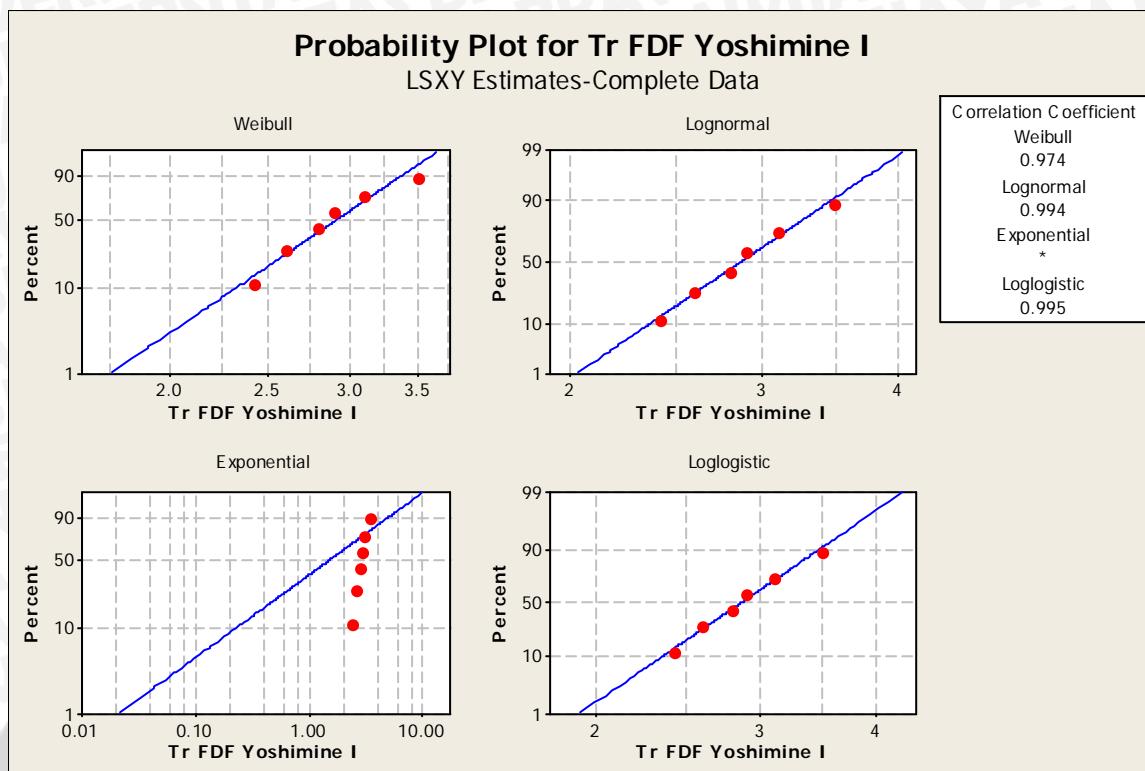




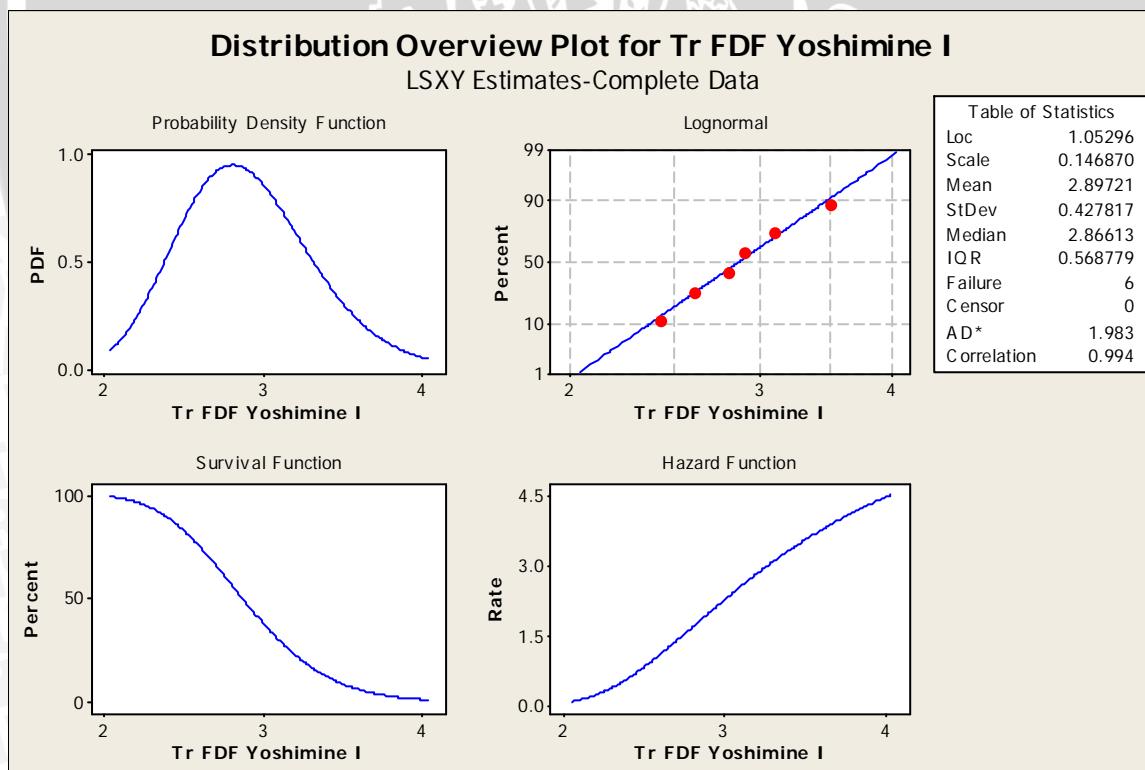








101





Lampiran 9. Flow Sheet PG. Krebet Baru I

