

**PENERAPAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* II
(RCM II) DALAM PERENCANAAN AKTIVITAS DAN
INTERVAL PERAWATAN YANG EFEKTIF
(*Studi kasus pada PT. XYZ Rungkut Surabaya*)**

SKRIPSI

Konsentrasi Sistem Manufaktur

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik**



Disusun Oleh :

**SULUH ELMAN SWARA
NIM 0510670050-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
MALANG
2010**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENERAPAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* II (RCM II)
DALAM PERENCANAAN AKTIVITAS DAN INTERVAL PERAWATAN
YANG EFEKTIF**

(Studi kasus pada PT. XYZ Rungkut Surabaya)

SKRIPSI

KONSENTRASI SISTEM MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun Oleh :

SULUH ELMAN SWARA
NIM 0510670050-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Bambang Indrayadi, MT.
NIP. 196009051987011001

Nasir Widha Setyanto, ST., MT.
NIP. 197009142005011001



LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* II (RCM II) DALAM PERENCANAAN AKTIVITAS DAN INTERVAL PERAWATAN YANG EFEKTIF
(Studi Kasus pada PT. XYZ Rungkut Surabaya)

SKRIPSI
KONSENTRASI SISTEM MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar sarjana teknik

Disusun oleh :
SULUH ELMAN SWARA
NIM. 0510670050 - 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 30 Juni 2010

Skripsi I

Skripsi II

Dra. Murti Astuti, MSIE.
NIP. 196106201986032001

Ir. Purnomo Budi Santoso, M. Sc., Ph.D.
NIP. 195301131983031003

Komprehensif

Dr. Ir. Pratikto, MT.
NIP. 19461110 198103 1 001

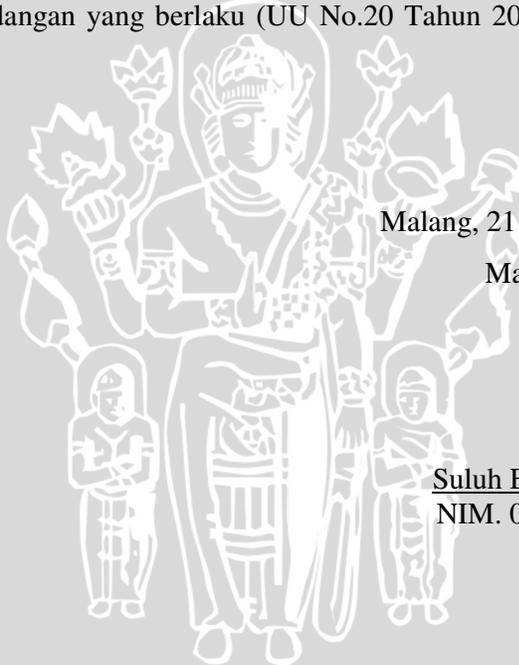
Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Industri

Nasir Widha Setyanto, ST., MT.
NIP. 19700914 200501 1 001

**PERNYATAAN ORISINALITAS JUDUL PROPOSAL
PENELITIAN SKRIPSI**

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

Apabila ternyata di dalam naskah proposal skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiat, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).



Malang, 21 September 2010

Mahasiswa

Suluh Elman Swara
NIM. 0510670050



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, karena hanya dengan anugerah-Nya lah skripsi yang berjudul: “Penerapan *Reliability Centered Maintenance* II (RCM II) Dalam Perencanaan Aktivitas dan Interval Perawatan yang Efektif (Studi Kasus Pada PT. XYZ Rungkut Surabaya)” ini dapat terselesaikan.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata satu (S-1) di Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Bapak Nasir Widha Setyanto, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri.
2. Bapak Ir. Bambang Indrayadi, MT. selaku Dosen Pembimbing Skripsi Pertama sekaligus sebagai Ketua Konsentrasi Sistem Manufaktur, yang telah berkenan mengarahkan dan membimbing hingga tersusunlah skripsi ini.
3. Bapak Nasir Widha Setyanto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Skripsi Kedua yang telah berkenan memberikan arahan dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini dan selaku dosen wali yang telah membimbing saya sejak awal pendidikan saya di Teknik Industri.
4. Ibu Dra. Murti Astuti, MSIE. selaku dosen penguji Skripsi I atas segala masukan yang membantu saya untuk menyempurnakan skripsi ini dan untuk semua wejangan Ibu yang telah membangkitkan semangat, membesarkan hati saya dan lebih optimis dalam berusaha.
5. Bapak Ir. Purnomo Budi Santoso, M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji Skripsi II atas arahan dan inspirasi yang Bapak berikan.
6. Bapak Dr. Ir. Pratikto, MT. Selaku dosen penguji Komprehensif atas segala kritik dan saran yang sangat membangun dan membantu dalam menyempurnakan skripsi ini.
7. Bapak Remba Yanuar Efranto, ST., MT. dan Ibu Ceria Farela MT, ST., MT atas segala masukan dan kritik sehingga lebih menyempurnakan skripsi ini.

8. Pembimbing Lapangan di PT. YXZ Bapak M. Zaenal Yamani, Bapak Bekti, dan Ibu Rini Andriani yang telah membimbing saya selama berada di PT. YXZ.
9. Seluruh staf PT. YXZ yang telah membantu dan mengajarkan banyak hal pada kami selama proses penulisan skripsi ini.
10. Ibunda, Ayahanda, dan adik-adikku tersayang Amalia Sukma Ridhani, Laras Husna Aulia dan Elmia Kharisma Arsyi yang tidak henti-hentinya memberikan dorongan, semangat, dan doa untuk kelancaran penulisan skripsi ini.
11. Yurinda 'Ulink' Ergyona yang telah memberikan banyak *support*, doa, dan banyak hal yang membuat saya merasa kuat dan bersemangat dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
12. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Industri dan Teknik Mesin khususnya teman-teman angkatan 2005 yang telah banyak membantu semenjak awal perkuliahan hingga diselesaikannya skripsi ini.
13. Sahabat-sahabatku Ella, Anes, Gery, Henny, Bayu, Dony, Dian, Cecyl dan lainnya yang banyak memberikan saran dan bantuan moril.
14. Rekan-rekan penghuni GHF, Pak Bagus, Pak Toni, Gede Korri, Doni, Nanang, Ryan, Geri, Chandra, Rizal, Ciko, dan lainnya yang terus-menerus memberikan dorongan semangat untuk saya selama mengerjakan skripsi ini.

Dengan keterbatasan ilmu yang dimiliki penulis, tentunya skripsi ini membutuhkan banyak kritik dan saran. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun dan terdapat relevansi sebagai pijakan untuk menuju ke arah yang lebih baik. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memenuhi sebagian kebutuhan referensi yang ada dan kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung semoga mendapatkan imbalan yang sepatutnya dari Allah SWT.

Malang, September 2010

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Asumsi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Maintenance</i>	5
2.2 <i>Reliability Centered Maintenance II</i>	6
2.2.1 <i>System Function and Function Failure</i>	8
2.2.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	8
2.2.3 <i>Failure Consequences</i>	9
2.2.4 <i>Proactive Task and Initial Interval</i>	9
2.2.5 <i>Default Action</i>	12
2.3 Konsep Keandalan	12
2.3.1 Definisi Keandalan	13
2.3.2 Fungsi Keandalan	13
2.3.3 Laju Kerusakan	14
2.3.4 <i>Mean Time to Failure</i>	15
2.3.5 Model-model Distribusi Kegagalan/Kegagalan.....	15
2.4 Model Matematis Perawatan	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Metode Penelitian	19

3.2	Rancangan Penelitian.....	19
3.3	Alat-alat yang Digunakan	19
3.4	Tahapan Metodologi Penelitian	20
3.4.1	Studi Pustaka.....	21
3.4.2	Identifikasi Masalah.....	21
3.4.3	Tujuan Penelitian	22
3.4.4	Penetapan Lini Produksi dan Komponen Mesin Kritis	22
3.4.5	Pengumpulan Data.....	22
3.4.6	Pengolahan Data	23
3.4.6.1	Pengolahan Data Kualitatif.....	23
3.4.6.2	Pengolahan Data Kuantitatif.....	26
3.4.7	Analisis Data.....	27
3.5	Diagram Alir Penelitian	28
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		29
4.1	Penentuan Lini Produksi dan Komponen Mesin Kritis	29
4.1.1	Penentuan Lini Produksi Kritis.....	29
4.1.2	Penentuan Komponen Mesin Kritis	30
4.1.3	Deskripsi Komponen yang Diamati.....	38
4.2	Pengumpulan Data.....	40
4.3	Pengolahan Data	42
4.3.1	<i>Functional Block Diagram (FBD)</i>	42
4.3.2	<i>System Function and Function Failure</i>	42
4.3.3	<i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	43
4.3.4	Uji Distribusi Waktu Antar Kerusakan.....	44
4.3.5	Uji Distribusi Waktu Lama Perbaikan.....	49
4.3.6	Biaya Perawatan	50
4.3.7	Interval Perawatan Efektif	51
4.3.8	<i>RCM II Decision Worksheet</i>	64
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		68
5.1	Pembahasan Penentuan Lini Produksi dan Komponen Mesin Kritis	68
5.2	Pembahasan <i>Functional Block Diagram (FBD)</i>	68
5.3	Pembahasan <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	69
5.4	Pembahasan Total Biaya Perawatan dan Interval Perawatan Efektif	71
5.5	Pembahasan <i>RCM Decision Worksheet</i>	71

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	74
6.1 Kesimpulan.....	74
6.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN	78



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Waktu Antar Kerusakan <i>Seal</i> Piston D11 Dibandingkan Dengan..... <i>Planned Maintenance</i> Perusahaan	3
Tabel 3.1	Rancangan Penelitian.....	20
Tabel 4.1	Komponen Kritis <i>Filling Nozzle</i> Lini D12	39
Tabel 4.2	Komponen Kritis Unit Pengisian Lini D11	39
Tabel 4.3	Waktu Antar kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr) Komponen Kritis <i>Nozzle</i> Unit Pengisian Lini D12.....	40
Tabel 4.4	Waktu Antar kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr) Komponen Kritis Piston, <i>Rotary Valve</i> dan <i>Nozzle</i> Unit Pengisian Lini D11	41
Tabel 4.5	<i>Function and Function Failure</i> Komponen Kritis <i>Nozzle</i> Unit Pengisian D12	43
Tabel 4.6	<i>Function and Function Failure</i> Komponen Kritis <i>Rotary valve</i> , Piston, dan <i>Nozzle</i> Lini D11	43
Tabel 4.7	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> Komponen Kritis <i>Nozzle</i> Lini D12	45
Tabel 4.8	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> Komponen Kritis <i>Rotary Valve</i> , <i>Piston</i> , dan <i>Nozzle</i> D11	46
Tabel 4.9	Uji Distribusi Tf Komponen Kritis <i>Nozzle</i> Lini D12.....	48
Tabel 4.10	Uji Distribusi Tf Komponen Kritis <i>Valve</i> , <i>Piston</i> , dan <i>Nozzle</i> Lini D11	48
Tabel 4.11	MTTF Komponen-komponen Kritis <i>Nozzle</i> Lini D12	48
Tabel 4.12	MTTF Komponen-komponen Kritis <i>Rotary Valve</i> , Piston, dan <i>Nozzle</i> Lini D11	48
Tabel 4.13	Uji Distribusi Tr Komponen Kritis <i>Nozzle</i> Lini D12.....	49
Tabel 4.14	Uji Distribusi Tr Komponen Kritis <i>Rotary Valve</i> , <i>Piston</i> , dan <i>Nozzle</i> Lini D11	49
Tabel 4.15	MTTR Komponen-komponen Kritis <i>Nozzle</i> Lini D12	49
Tabel 4.16	MTTR Komponen-komponen Kritis <i>Rotary Valve</i> , Piston, dan <i>Nozzle</i> Lini D11	50
Tabel 4.17	Biaya Kegagalan Komponen-komponen Kritis.....	52
Tabel 4.18	Biaya Perawatan Komponen-komponen Kritis	53
Tabel 4.19	Interval Perawatan Efektif Komponen-komponen Kritis	53
Tabel 4.20	Interval Perawatan Efektif Komponen-komponen Kritis yang Dapat Diajukan Untuk Perusahaan.....	63
Tabel 4.21	<i>Failure Consequences</i>	64
Tabel 4.22	<i>Proactive Task and Default Action</i>	65
Tabel 4.23	<i>RCM Decision Worksheet</i> D12	66
Tabel 4.24	<i>RCM Decision Worksheet</i> D11	67
Tabel 5.1	Perbandingan Antara <i>Total Cost Maintenance</i> dan <i>Reliability</i> Aktual Perusahaan Dengan Interval Waktu Perawatan Efektif Hasil Rancangan.	73

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>System function</i>	8
Gambar 2.2	Kurva <i>Bathtub-Shaped</i>	11
Gambar 2.3	Kurva P-F.....	11
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	28
Gambar 4.1	Diagram Pareto Lama Waktu <i>Breakdown Mesin Lini Dental Robotik</i> Periode Tahun 2006-2008.....	30
Gambar 4.2	<i>Layout Mesin Lini D12</i>	34
Gambar 4.3	<i>Layout Mesin Lini D11</i>	35
Gambar 4.4	Diagram Pareto Lama <i>Breakdown Unit Service Lini D12</i> Periode Tahun 2006-2008	36
Gambar 4.5	Diagram Pareto Lama <i>Breakdown Unit Service Lini D11</i> Periode Tahun 2006-2008.....	37
Gambar 4.6	Aliran Proses Unit Pengisian	39
Gambar 4.7	<i>Functional Block Diagram nozzle</i> lini D12	42
Gambar 4.8	<i>Functional block diagram rotary valve, piston, dan nozzle</i> lini D11.....	42

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Spesifikasi dan kapasitas mesin tahun 2008	78
Lampiran 2	Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D12 dengan bantuan softwatre Minitab 14	79
Lampiran 3	Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D11 dengan bantuan softwatre Minitab 14	82
Lampiran 4	Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D12 dengan bantuan softwatre Minitab 14	86
Lampiran 5	Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D11 dengan bantuan softwatre Minitab 14	89
Lampiran 6	RCM II Decision Diagram	93



RINGKASAN

SULUH ELMAN SWARA, Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2010, *Penerapan Reliability Centered Maintenance II (RCM II) Dalam Perencanaan Aktivitas Dan Interval Perawatan Yang Efektif*, Dosen Pembimbing: Ir. Bambang Indrayadi, MT. dan Nasir Widha Setyanto, ST., MT.

PT. XYZ Rungkut Surabaya merupakan salah satu industri yang proses produksinya banyak menggunakan mesin robotik sebagai pengganti tenaga manusia yang tentunya memiliki produktivitas tinggi guna pemenuhan target produksi. Untuk melayani permintaan pasar yang terus meningkat, dalam menjalankan proses produksinya mesin-mesin tersebut harus bekerja selama 24 jam atau *non-stop*, sehingga akan ada probabilitas yang tinggi bahwa mesin-mesin produksi tersebut mengalami kerusakan atau *breakdown*, sehingga apabila terjadi *breakdown* pada mesin tersebut maka produktivitas proses produksi akan menurun tajam yang mengakibatkan biaya kerugian akibat *loss production* dan *downtime* serta memungkinkan terjadinya kerusakan pada komponen-komponen yang lain. Faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan tersebut antara lain faktor usia mesin atau komponennya, faktor *skill* operator, dan sistem *maintenance* yang kurang bagus salah satunya yang menjadi fokus dalam penelitian ini. Masalah yang terjadi adalah masih terjadinya mesin rusak sebelum interval perawatan yang dijadwalkan oleh perusahaan

Untuk mengatasi permasalahan perawatan tersebut, perusahaan harus dapat merencanakan interval waktu dan jenis aktivitas perawatan yang efektif, sehingga *reliability* atau keandalan mesin menjadi lebih dan kemungkinan terjadinya *breakdown* pada mesin dapat ditekan seminimum mungkin. Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk penjadwalan aktivitas perawatan ini adalah *Reliability Centered Maintenance II (RCM II)*. *Reliability Centered Maintenance* secara sistematis mengidentifikasi langkah perawatan yang diperlukan untuk mencegah terjadinya kegagalan agar komponen atau sistem tersebut dapat menjalankan fungsinya dengan baik, dengan biaya perawatan yang seefisien mungkin dan dapat mencapai tingkat keandalan yang diharapkan.

Dari hasil pengolahan data dan analisa yang dilakukan dengan menggunakan metode RCM II, didapatkan aktivitas perawatan yang efektif untuk diterapkan pada *part* mesin produksi tersebut. Aktivitas perawatan itu adalah *scheduled on condition task* dan *scheduled discard task*. Selain itu didapatkan interval waktu perawatan yang efektif, yang berhasil meningkatkan *reliability* atau keandalan 4 dari 7 buah *part* mesin yang menjadi objek penelitian sebesar 63% (*shaft rotary valve*), 116% (*seal piston*), 160% (*bushing rotary valve*), hingga 252% (*seal stick nozzle*).

Kata Kunci: *Breakdown, Failure Mode and Effect Analysis, Reliability Centered Maintenance, RCM Decision Worksheet, Scheduled on Condition Task, Scheduled on Discard Task*

ABSTRACT

SULUH ELMAN SWARA, Industrial Engineering Study Program, Department of Engineering, Faculty of Techniques of Brawijaya University, June 2010, *Application of Reliability Centered Maintenance II in Planning Activities and Effective Maintenance Interval*, Advisor: Ir. Bambang Indrayadi, MT. and Nasir Widha Setyanto, ST., MT.

PT. XYZ Rungkut Surabaya is one of many industrial production processes using robotic machines to replace human labor which must have high productivity in order to fulfill production targets. To serve the increasing market demand, in running the production process machinery must work for 24 hours non-stop, so there will be a high probability that these production machines were damaged or breakdown, so that in case of breakdown on these machines then the productivity will decrease the production process that resulted in sharp losses due to loss of production costs and downtime and enables the occurrence of damage to other components. Factors that cause this damage, among others, the age factor for machine components, operator skill factor, and system maintenance is less good one of them have been the focus of this research.

To overcome such maintenance problems, companies must be able to plan a time interval and type of activity an effective treatment, so the reliability or the reliability of the machines become more and possible a breakdown. One method that can be applied to scheduling maintenance activities is Reliability Centered Maintenance II (RCM II). Reliability Centered Maintenance treatment systematically identify steps needed to prevent the occurrence of failures to the component or system can perform its functions well, with maintenance costs as efficiently as possible and can achieve the expected level of reliability.

From the data processing and analysis using RCM II, it was found effective maintenance activities to be implemented on the production machine parts. It is a scheduled maintenance activity on conditioning tasks and scheduled discard tasks. Also found an effective treatment time interval, which successfully improved the reliability or the reliability of four of the seven fruit machine parts which become the object of study is 63% (rotary valve shaft), 116% (piston seal), 160% (bushing rotary valve), until 252% (seals stick nozzle).

Keywords: Breakdown, Failure Mode and Effect Analysis, Reliability Centered Maintenance, RCM Decision Worksheet, Scheduled on Condition Task, Scheduled on Discard Task

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang yang mengungkapkan alasan mengapa permasalahan yang ada pada perusahaan dikaji dalam skripsi ini, rumusan masalah yang akan dikaji, tujuan penelitian, manfaat penelitian bagi kepentingan ilmiah atau kepentingan terapan, batasan masalah, dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini.

1.1 Latar Belakang Masalah

Dengan semakin berkembangnya teknologi mengakibatkan kebutuhan akan tenaga manusia dalam melaksanakan proses produksi dalam industri manufaktur mulai bergeser untuk kemudian digantikan dengan mesin atau tenaga robot. PT. XYZ merupakan salah satu industri yang proses produksinya banyak menggunakan mesin sebagai pengganti tenaga manusia khususnya pada aktivitas *filling* (pengisian pasta ke dalam *tube*), *cartoning* (memasukkan *tube* yang telah berisi pasta ke dalam *individual carton*), dan *wrapping* (membungkus 9 *individual carton* dengan plastik transparan) yang tentunya memiliki produktivitas tinggi guna pemenuhan target produksi.

Untuk melayani permintaan pasar yang terus meningkat, dalam menjalankan proses produksi mesin-mesin harus bekerja selama 24 jam atau *non-stop*. Dengan beban kerja mesin yang harus beroperasi *non-stop* seperti itu, akan ada probabilitas yang tinggi bahwa mesin-mesin produksi tersebut mengalami kerusakan. Keadaan tersebut belum termasuk faktor-faktor lain yang dapat mempercepat laju kerusakan mesin seperti faktor usia mesin atau komponennya, faktor *skill* operator yang mengoperasikannya, dan lain sebagainya. Sistem penjadwalan atau metode *maintenance* yang buruk juga dapat mengakibatkan peningkatan kecepatan kerusakan mesin dan kerugian biaya bagi perusahaan akibat tidak sesuainya *cost* yang dikeluarkan untuk aktivitas *maintenance* mesin produksi dengan hasil dari aktivitas *maintenance* itu sendiri.

PT. XYZ memproduksi 2 *group* produk yaitu *Personal Care* (PC) dan *Personal Wash* (PW). Pada penelitian kali ini akan dilaksanakan pada *group* produk *Personal Care Factory* (PC) yang memproduksi 3 jenis produk (*Dental*, *Skin*, dan *Deo*). Jumlah Lini produksi pada *Personal Care Factory* adalah 21 *lini*, 4 diantaranya menggunakan tenaga robot *ultra high speed in the world* untuk lini *Dental* atau pasta gigi dengan *design speed 500 pieces/minute*. Dengan kecepatan produksi tersebut,

empat unit lini itu menyumbang angka persentase *Overall Equipment Efficiency* (OEE) paling besar, sehingga apabila terjadi *breakdown* pada lini tersebut maka produktivitas proses produksi akan menurun tajam. Spesifikasi dan kapasitas mesin-mesin *Dental* dapat dilihat pada Tabel lampiran 1. Berdasarkan hasil pengamatan, permasalahan yang terjadi adalah masih terjadinya mesin rusak sebelum interval perawatan yang dijadwalkan oleh perusahaan, yang dapat dilihat pada Tabel 1.1 pada *cell* yang diberi warna kuning. Pada Tabel 1.1, diambil contoh sebuah *part* yang mengalami kerusakan sebelum interval perawatan yaitu *Seal Piston*. Pada kolom pertama merupakan waktu antar kerusakan dari *seal piston* tersebut. Pada kolom kedua hingga 4 (*planned maintenance* 1, 2, dan 3) merupakan interval waktu pelaksanaan aktivitas perawatan oleh perusahaan. Angka yang membedakan interval tersebut yaitu angka 1, 2, dan 3 merupakan kelipatan dari interval waktu perawatan *seal piston*. *Seal piston* dijadwalkan memiliki interval waktu perawatan setiap 1440 jam. Kemungkinan yang terjadi adalah *seal piston* bisa saja melewati batas interval waktu (1440 jam) sebelum mengalami kerusakan, sehingga *seal piston* mengalami kerusakan pada saat memasuki interval berikutnya (interval kedua bahkan ketiga). Oleh karena itu kolom *planned maintenance* 2 dan ketiga berisi kelipatan 2 dan 3 dari interval perawatan yaitu 1440 jam. Untuk kolom berikutnya yaitu kolom selisih merupakan kolom yang berisi hasil operasi pengurangan antara interval *planned maintenance* pertama (1) dengan waktu antar kerusakan, begitu juga dengan kolom selisih kedua yang merupakan hasil operasi pengurangan antara interval *planned maintenance* kedua (2) dengan waktu antar kerusakan. Hasil operasi pengurangan yang positif memperlihatkan bahwa kerusakan *seal piston* terjadi sebelum interval perawatan, sedangkan hasil operasi pengurangan yang negatif menunjukkan bahwa umur dari *seal piston* melewati interval perawatan pada saat itu dan akhirnya rusak sebelum kelipatan interval berikutnya. Konsekuensi yang harus dihadapi oleh perusahaan selain menurunnya produktivitas lini produksi adalah terhadap operational karena *breakdown* yang terjadi akan menyebabkan *downtime* yang menimbulkan biaya kerugian akibat *loss production* dan kemungkinan juga kerusakan pada komponen-komponen yang lain. Akibatnya terjadi aktivitas *maintenance* yang menimbulkan kerugian yang tidak sedikit bagi perusahaan. Oleh karena itu diperlukan metode perawatan yang handal dengan interval perawatan yang efektif. Sehingga kemungkinan terjadinya *breakdown* pada mesin dapat ditekan seminimum mungkin dan keandalan mesin produksi pada lini tersebut dapat dijaga.

Metode *Reliability Centered Maintenance* II merupakan metode perawatan yang dipilih karena mengkombinasikan *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.

Tabel 1.1 Waktu Antar Kerusakan *Seal* Piston D11 Dibandingkan Dengan *Planned Maintenance* Perusahaan

Waktu antar Kerusakan (jam)	Planned Maintenance (jam)			Selisih (jam)		
	1	2	3	1	2	3
96	1440	2880	4320	1344	2784	4224
992	1440	2880	4320	448	1888	3328
3896	1440	2880	4320	-2456	-1016	424
936	1440	2880	4320	504	1944	3384
4800	1440	2880	4320	-3360	-1920	-480
1808	1440	2880	4320	-368	1072	2512
384	1440	2880	4320	1056	2496	3936
232	1440	2880	4320	1208	2648	4088
1688	1440	2880	4320	-248	1192	2632
1848	1440	2880	4320	-408	1032	2472

Sumber: Data Pengolahan Waktu Antar Kerusakan

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang masalah yang telah dijabarkan di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Apa saja komponen kritis yang terdapat di mesin pada lini produksi, yang menjadi penyebab utama terjadinya *breakdown*?
2. Bagaimana kebijakan metode RCM II dalam menentukan jenis perawatan terhadap komponen-komponen kritis tersebut?
3. Bagaimana interval perawatan yang efektif untuk menjaga keandalan komponen dan mesin agar dapat menekan frekuensi dan lama waktu *breakdown* yang terjadi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari perumusan masalah diatas, maka ditetapkan bahwa tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan komponen kritis mesin pada lini produksi *Personal Care*.
2. Menentukan kebijakan perawatan dengan menggunakan metode RCM II.
3. Menentukan interval perawatan yang efektif terhadap komponen mesin tersebut.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui komponen kritis mesin pada lini produksi *Personal Care*.
2. Dapat mengetahui kebijakan perawatan dengan menggunakan metode RCM II.
3. Dapat mengetahui interval perawatan efektif yang akan diterapkan pada komponen kritis mesin.

1.5 Batasan Masalah

Dalam melaksanakan perencanaan pemeliharaan mesin-mesin, maka perlu diberikan batasan-batasan agar tidak terlalu melebar pembahasannya. Adapun batasan yang dikaji adalah dilakukannya pembahasan pada lini produksi *Dental* yang menggunakan tenaga robotik *ultra high speed* (D10, D11, D12, dan D15) dan komponen-komponen kritis yang terlibat khususnya pada salah satu lini yang dirasakan paling kritis.

1.6 Asumsi

Berdasarkan batasan masalah maka asumsi yang dipakai pada penelitian ini adalah :

1. Komponen memiliki keandalan seperti baru setelah mengalami penggantian atau pemulihan kondisi.
2. Mesin-mesin masih layak untuk beroperasi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan diuraikan landasan-landasan teori yang mempunyai hubungan atau relevansi yang sesuai dengan pokok permasalahan, antara lain *maintenance*, *Reliability Centered Maintenance* II, konsep keandalan, dan model matematis perawatan. Teori-teori ini nanti akan digunakan sebagai landasan atau kerangka berpikir dalam penentuan langkah-langkah pemecahan masalah.

2.1 *Maintenance*

Maintenance dapat didefinisikan sebagai semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga sistem dan semua komponennya tetap bekerja seperti semestinya (Stephens, 2004:3). 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, 1992:18). Blanchard menambahkan bahwa kondisi di atas dapat dicapai antara lain dengan melakukan perencanaan penjadwalan tindakan perawatan dengan tetap memperhatikan fungsi pendukungnya dengan kriteria minimisasi biaya.

Tujuan dari semua program *maintenance* harus dapat menjaga atau memelihara kemampuan atau kapabilitas dari sebuah sistem dengan mempertimbangkan pengendalian biaya juga. Komponen-komponen dari biaya tersebut adalah sebagai berikut (Stephens, 2004:3):

1. Biaya tenaga kerja *maintenance* dan material
2. Biaya kerugian produksi (*Loss production cost*) yang disebabkan karena penerapan program *maintenance* yang tidak efektif

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

1. *Preplanned maintenance*, suatu tindakan perawatan yang pelaksanaannya telah direncanakan atau dijadwalkan terlebih dahulu (*scheduled*).
2. *Unplanned maintenance*, suatu tindakan yang pelaksanaannya tidak direncanakan atau tidak dijadwalkan sebelumnya (tidak terduga/*unexpected*).

Jenis-jenis kegiatan perawatan antara lain (Smith, 1993:10) :

1. *Corrective maintenance* adalah tindakan perawatan untuk mengembalikan kemampuan fungsi peralatan atau sistem yang telah mengalami kegagalan.
2. *Preventive maintenance* adalah tindakan perawatan untuk pemenuhan nilai dalam waktu tertentu (*specific points in time*), mempertahankan kemampuan fungsi dari peralatan atau sistem. Tentunya tindakan perawatan ini dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan atau kerusakan pada komponen suatu mesin atau sistem. *Preventive maintenance* dibagi empat jenis antara lain :
 - a. *Conditon directed (CD)*, merupakan kegiatan yang bertujuan untuk mendeteksi awal terjadinya kerusakan dengan memperhatikan kondisi dari komponen mesin atau sistem tersebut. Cara yang dilakukan adalah dengan mendeteksi awal terjadinya kerusakan dan memperkirakan waktu-waktu yang menunjukkan suatu peralatan akan mengalami kegagalan dalam menjalankan operasinya.
 - b. *Time directed (TD)*, merupakan kegiatan yang bertujuan secara langsung mencegah atau memperlambat terjadinya kerusakan dan dilakukan secara periodik tanpa melihat kondisi dari komponen mesin atau sistem tersebut.
 - c. *Failure Finding (FF)*, merupakan kegiatan yang bertujuan untuk menemukan kerusakan atau kegagalan yang tersembunyi pada suatu mesin atau sistem dalam menjalankan operasinya.
 - d. *Run-to-Failure (RTF)*, merupakan suatu tindakan untuk mengoperasikan komponen sampai terjadi kerusakan karena ditinjau dari segi ekonomis tidak menguntungkan jika dilakukan perawatan.

2.2 Reliability Centered Maintenance II

Reliability Centered Maintenance 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 penggunaanya (Moubray, 1997:7). *Reliability Centered Maintenance* secara sistematis mengidentifikasi langkah perawatan yang diperlukan untuk mencegah terjadinya kegagalan agar komponen atau sistem

tersebut dapat menjalankan fungsinya dengan baik, dengan biaya perawatan yang seefisien mungkin dan dapat mencapai tingkat keandalan yang diharapkan (Dhillon, 1999:160). Keunggulan yang dimiliki metode *Reliability Centered Maintenance II* antara lain:

1. Merupakan teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan dua jenis tindakan pencegahan yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. *Predictive maintenance* adalah pemeliharaan yang berdasarkan pada pengukuran kondisi suatu peralatan agar apabila peralatan tersebut gagal di masa yang akan datang telah dapat diambil suatu tindakan untuk menghindari kegagalan tersebut. Atau diartikan pemeliharaan berdasarkan penilaian atau analisis kondisi dari komponen-komponen mesin secara keseluruhan.
2. Menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif dalam merencanakan aktivitas pemeliharaan.
3. RCM II merupakan hasil pengembangan RCM sebelumnya, dengan adanya modifikasi pada *decision diagram* RCM yang mempertimbangkan *safety* dan *environmental consequences*.

Penelitian tentang *Reliability Centered Maintenance* pada dasarnya berusaha menjawab 7 pertanyaan utama tentang *item* atau peralatan yang diteliti (Moubray, 1997:7). Tujuh pertanyaan tersebut antara lain:

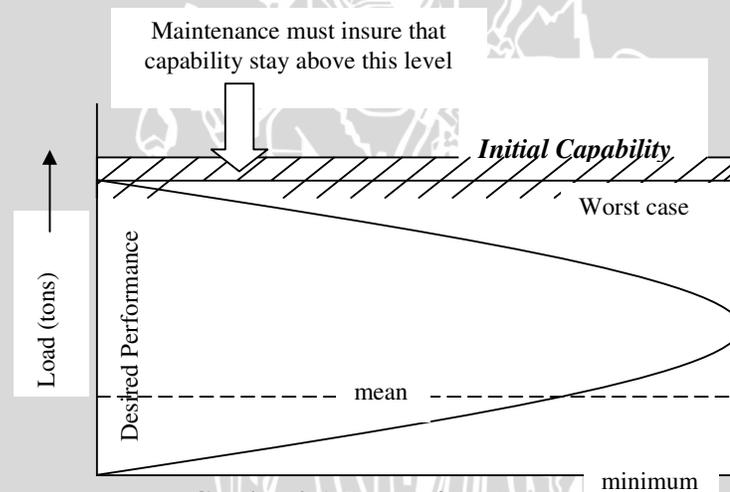
1. Apakah fungsi dan hubungan performansi *standart* dari *item* dalam konteks operasional (*system function*) ?
2. Bagaimana kegagalan dari *item* atau peralatan dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*) ?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure modes*)?
4. Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*) ?
5. Bagaimana konsekuensi dari masing-masing kegagalan tersebut (*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 analisis kualitatif untuk komponen yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu sistem. Pertanyaan 1 sampai 4 diatas dituangkan dalam bentuk *failure mode and effect analysis* (FMEA) serta RCM II *worksheet*.

2.2.1 Sistem Function and Function Failure

System function adalah fungsi dari *item* yang diharapkan oleh *user* tetap berada dalam level kemampuan dari *item* tersebut sejak saat dibuat. Sistem *maintenance* hanya mampu menjaga kondisi *item* tetap berada dibawah *initial capability* dari desain *item*. *System function* dapat digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *System function*

Sumber: Moubray, 1997:26

Sedangkan *function failure* didefinisikan sebagai kegagalan dari suatu *item* untuk melaksanakan *system function* yang diharapkan.

2.2.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analisis merupakan suatu teknik manajemen *failure* untuk mendefinisikan penyebab kegagalan suatu *item* tidak mampu melaksanakan fungsi *standart* yang diharapkan oleh *user*. *Failure mode* bertujuan untuk menemukan penyebab dari kegagalan yang timbul. *Failure*

effect menjelaskan dampak yang ditimbulkan apabila *failure* tersebut terjadi yang dituliskan pada FMEA *worksheet*.

2.2.3 Failure Consequences

Dalam *Reliability Centered Maintenance* konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam 4 bagian (Moubray, 1997:90) yaitu :

1. Hidden Failure Consequences

Dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung. Diperlukan suatu teknik khusus untuk mengatasi dampak kegagalan jenis ini.

2. Safety and Environment Consequences

Safety consequences terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi suatu *item* mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja lainnya. *Environment consequences* terjadi apabila kegagalan fungsi suatu *item* berdampak pada kelestarian lingkungan.

3. Operational Consequences

Suatu kegagalan dikatakan mempunyai konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional (kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen, atau biaya operasional untuk perbaikan komponen)

4. Non Operational Consequences

Bukti kegagalan pada kategori ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.2.4 Proactive Task and Initial Interval

Tindakan *Proactive Task and Initial Interval* dilaksanakan sebelum terjadi kegagalan, untuk mencegah objek atau komponen memasuki kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan (*failed state*). Aktivitas pencegahan tersebut adalah *predictive* dan *preventive maintenance*. Dalam RCM *predictive maintenance* dimasukkan dalam aktivitas *scheduled on condition task*, sedangkan *preventive maintenance* dimasukkan kedalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task* (Moubray, 1997:129).

1. *Scheduled restoration task* adalah tindakan pemulihan kemampuan *item* pada saat atau sebelum batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi saat itu. Karakteristiknya adalah sebagai berikut:
 - 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 *item* jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan).
 - c. Memperbaharui dengan *sub item* yang tahan terhadap kegagalan tersebut.

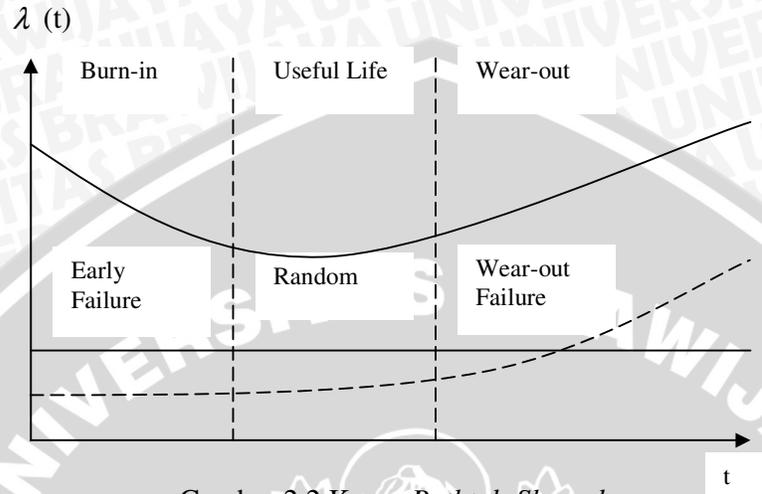
Karakteristik kegagalan *item* dapat dibagi menjadi tiga tahap yang biasa disebut *bathtub-shaped*, hal ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar

2.2 Tiga tahap tersebut antara lain :

- Kegagalan awal (*infant mortality failure*)
Kegagalan awal pada umumnya terjadi pada awal pengoperasian suatu *item*. Kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kerusakan yang menurun.
- Kegagalan Acak (*random Failure*)
Kegagalan acak umumnya terjadi pada *item* yang berjalan normal. Laju kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kegagalan yang konstan.
- Kegagalan Usang (*user-out failure*)
Pada usia penggunaan tertentu suatu *item* mengalami keusangan yang ditandai dengan laju kegagalan yang semakin meningkat. Untuk mengurangi pengaruh keusangan ini dilakukan penggantian beberapa bagian alat atau bahkan seluruhnya dengan yang baru.

2. *Scheduled 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.

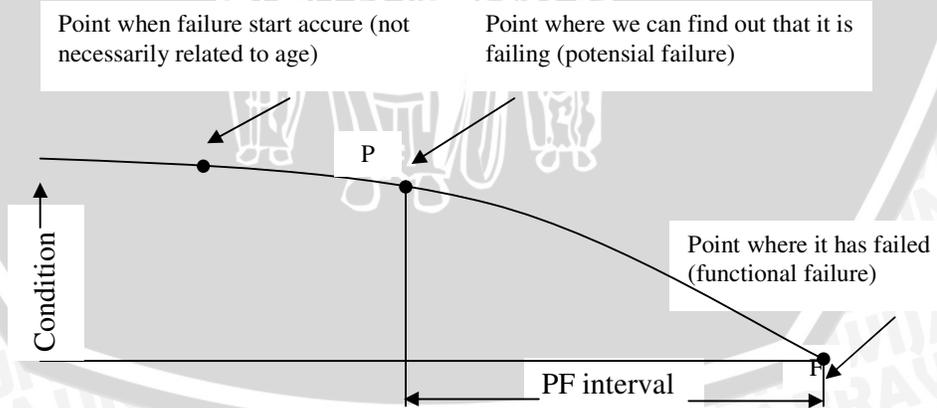
- b. Mayoritas dari *item* dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua *item* jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan).



Gambar 2.2 Kurva *Bathtub-Shaped*

Sumber: Ebeling, 1997:31

- 3. *Scheduled 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 mengindikasikan sedang terjadi kegagalan fungsi (*functional failure*).



Gambar 2.3 Kurva P-F

Sumber: Moubray, 1997:144

Kurva PF yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 menjelaskan awal terjadinya *failure*, titik ini menggambarkan kondisi kerusakan awal dari

suatu *item* yang diawali dari titik P, semakin lama laju kerusakan akan naik hingga mencapai titik kerusakan. Pencegahan optimal adalah ketika laju kerusakan *item* berada pada titik P.

Empat kategori utama *Scheduled on condition task* antara lain (Moubray, 1997:149):

- a. *Conditon 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 *gauges* yang ada dan peralatan untuk proses *monitoring*.
- d. Teknik inspeksi berdasarkan *human sense*.

2.2.5 Default Action

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

Default Action (Moubray, 1997:170) meliputi :

1. *Scheduled failure 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 sistem. 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.

2.3 Konsep Keandalan

Adanya konsep tentang keandalan dapat membantu dalam hal pemecahan masalah-masalah yang berkaitan dengan manajemen pemeliharaan. Sebagai contoh dalam sebuah industri bila pihak manajemen pemeliharaan dapat memperkirakan tingkat keandalan dari peralatan, maka akan diketahui kapan sebaiknya dilakukan pengantian komponen sehingga proses produksi dapat

berjalan dengan lancar. Sehingga dapat mengurangi biaya kerugian akibat *loss production* yang disebabkan oleh terhentinya kegiatan produksi karena mesin yang berhenti (*line stop*) diakibatkan adanya kerusakan komponen.

2.3.1 Definisi Keandalan

Keandaan adalah probabilitas suatu item dalam menjalankan fungsinya secara memuaskan selama periode waktu tertentu dan digunakan atau dioperasikan dalam kondisi yang semestinya (Dhillon, 2006:3). Berdasarkan definisi tersebut dapat kita simpulkan bahwa kata kunci dari *reliability* adalah probabilitas umur *item* dalam menjalankan fungsinya, yang akhirnya mengacu pada variabel waktu. Dalam hal ini waktu yang berkaitan dengan laju kerusakan (*failure rate*). Karena waktu kerusakan merupakan kejadian yang bersifat random maka kerusakan dapat digambarkan dalam bentuk probabilitas kerusakan yang mengikuti distribusi tertentu.

2.3.2 Fungsi Keandalan

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

$$R(t) = P\{T \geq t\} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana $R(t) \geq 0, R(0) = 1, \text{ dan } \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$ untuk nilai dari t, $R(t)$ adalah probabilitas dari *time to failure* adalah lebih besar atau sama dengan t.

Jika dirumuskan

$$F(t) = 1 - R(t) = P\{T < t\} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$$F(0) = 0 \text{ dan } \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$$

Dimana : $F(t)$ merupakan probabilitas peralatan dapat beroperasi hingga waktu t. Kita mengacu pada $R(t)$ adalah fungsi *reliability* dan $F(t)$ adalah *cumulative distribution failure (CDF)* dari distribusi. Dengan rumusan:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

$$f(t) \geq 0 \text{ dan } \int_0^{\infty} f(t)dt = 1$$

Maka didapat *cumulative distribution failure (CDF)* untuk $f(t)$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \dots\dots\dots (2.4)$$

$$R(t) = \int_{..t}^{\infty} f(t)dt \dots\dots\dots (2.5)$$

(Ebeling, 1997:24)

2.3.3 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 :

$$P\{t \leq T \leq t + \Delta t\} = R(t) - R(t + \Delta t)$$

$$P\{t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t\} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

$$= \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t}$$

Kemungkinan kondisi dari kegagalan perunit dalam waktu (tingkat kegagalan)

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{-[R(t + \Delta t) - R(t)]}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

$$= \frac{-dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Maka : $\lambda(t) = \frac{-dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)}$

Atau $\lambda(t)dt = \frac{-dR(t)}{R(t)}$

Integral $\int_{..0}^t \lambda(t)dt = \int_{..1}^{R(t)} \frac{-dR(t)}{R(t)}$

Dimana $R(0) = 1$, dari rumusan diatas dapat dihubungkan antar laju kerusakan terhadap tingkat keandalan sebagai berikut :

$$-\int_0^t \lambda(t)dt = \ln R(t) \text{ sehingga } R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \dots\dots\dots (2.7)$$

(Ebeling, 1997:29)

2.3.4 Mean Time to failure

Mean time to failure merupakan harapan masa pakai suatu peralatan.

Nilai harapan tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} MTTF &= \int_0^{\infty} t f(t) dt \\ &= -\int_0^{\infty} t \frac{dR}{dt} dt = -tR(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \\ &= \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots (2.8) \end{aligned}$$

(Ebeling, 1997:26)

2.3.5 Model-Model Distribusi Kegagalan/kerusakan

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. Berikut ini merupakan beberapa distribusi yang umumnya digunakan dalam menghitung tingkat keandalan suatu peralatan.

1. Distribusi Eksponensial

Banyak digunakan dimana kerusakan suatu peralatan disebabkan kerusakan komponen penyusun peralatan tersebut. Distribusi ini banyak digunakan dalam pekerjaan keandalan dan *maintenance* karena mudah dalam menangani analisis *failure rate* yang konstan dari suatu *item* terutama perangkat elektronik. Dalam distribusi eksponensial, beberapa persamaan yang digunakan :

$$R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda dt\right] = e^{-\lambda t}, t \geq 0 \dots\dots\dots (2.9)$$

dan $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

kemudian $f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}$

Dengan persamaan (2.8) Maka didapat :

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda} \dots\dots\dots (2.10)$$

(Ebeling, 1997:42)

2. Distribusi Weibull

Distribusi ini paling banyak dipakai dalam teknik penghitungan keandalan. Dalam distribusi Weibull ada dua parameter yaitu *shape parameter* (β) dan *scale parameter*(η). Persamaan yang digunakan antara lain :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \eta > 0, \beta > 0, t \geq 0 \dots\dots\dots (2.11)$$

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} dt \right]$$

$$= e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dan :

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Maka MTTF distribusi Weibull adalah :

$$MTTF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana $\Gamma(x)$ adalah fungsi gamma

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{x-1} e^{-y} dy$$

Untuk $x > 0$, $\Gamma(x) = (x-1)\Gamma(x-1)$

(Ebeling, 1997:59)

3. Distribusi Log Normal

Distribusi ini berguna sekali untuk merepresentasikan distribusi lama waktu perbaikan (*repair time*) dari suatu item yang mengalami kerusakan atau kegagalan. Persamaan yang digunakan antara lain :

Fungsi padat peluang (PDF) dari distribusi Log Normal adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp\left\{-\frac{1}{2s^2} \left[\ln \frac{t}{t_{med}}\right]^2\right\} \quad t \geq 0 \dots\dots\dots (2.15)$$

MTTF distribusi Log Normal adalah :

$$MTTF = t_{med} \exp\left(\frac{s^2}{2}\right) \dots\dots\dots (2.16)$$

(Ebeling 1997:73)

2.4 Model Matematis Perawatan

Model matematis akan sangat mendukung sekali dalam kalkulasi usia pakai peralatan dan penentuan waktu optimal peralatan (Havard, 2000). Dalam jurnalnya yang berjudul *Determination of a Cost Optimal, predetermined maintenance scheduled* dilukiskan bahwa kurva biaya total perawatan Vs usia pakai peralatan akan membentuk kurva parabolis dimana interval perawatan efektif berada pada nilai maksimum kurva. Dirumuskan bahwa total biaya perawatan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan maka dapat dihitung.

$$\begin{aligned} TC &= C_F f_F + C_M f_M \\ &= C_F \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + C_M \left[\frac{1}{TM} \right] \\ &= \frac{1}{TM} \left[C_F \int_0^{TM} \lambda(t) dt + C_M \right] \dots\dots\dots (2.17) \end{aligned}$$

(Havard, 2000: 4)

apabila data antar kerusakan berdistribusi Weibull, maka biaya total perjamnya adalah :

$$TC = \frac{C_F}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_M}{TM} \dots\dots\dots (2.18)$$

(Havard, 2000:4)

Untuk mendapatkan TC minimum maka $\frac{dT_C}{dT_M} = 0$ lalu diperoleh :

$$TM = \eta \times \left[\frac{C_M}{C_F(\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \dots\dots\dots (2.19)$$

(Havard, 2000:5)

$$C_f = Cr + MTTR(Co + Cw) \dots\dots\dots (2.20)$$

(Havard, 2000:5)

$$Co = \text{kecepatan produksi Kg/jam} \times \text{harga produk/Kg} \dots\dots\dots (2.21)$$

(Havard, 2000:5)

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 Efektif (*preventive maintenance*) dalam jam.

f_F = Frekuensi kegagalan.

f_M = Frekuensi perawatan.

TC = Biaya total perawatan.

Cr = Biaya penggantian kerusakan komponen

Co = Biaya kerugian/jam

Cw = Biaya tenaga kerja *corrective maintenancel*jam



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan bagaimana kajian dalam skripsi ini dilakukan. Bab ini menguraikan tentang metode penelitian yang digunakan, rancangan penelitian, alat-alat yang dipergunakan dalam pengambilan dan pengolahan data, tahapan metodologi penelitian, dan diagram alir penelitian.

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah bagaimana secara berurut suatu penelitian dilakukan, yaitu dengan alat apa dan prosedur bagaimana suatu penelitian dilakukan (Nazir, 2005:44). Pada penelitian ini dipakai metode deskriptif yaitu menuturkan pemecahan masalah yang ada berdasarkan data-data. Jadi penelitian deskriptif menyajikan data, menganalisis, dan menginterpretasikannya (Narbuko, 2004:44). Dalam penelitian ini peneliti mengumpulkan data-data yang terkait dengan pemeliharaan mesin robotik pada Pabrik PT. XYZ.

3.2 Rancangan Penelitian

Rancangan Penelitian diartikan sebagai strategi mengatur latar penelitian agar peneliti memperoleh data yang valid sesuai dengan karakteristik *variable* dan tujuan penelitian (Ali, 2000:15). Rancangan penelitian yang dilakukan pada Pabrik PT. XYZ adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

3.3 Alat-alat yang Digunakan

Pada penelitian ini alat-alat yang digunakan adalah

1. Data *Breakdown Analysis*, yang diperlukan sebagai sumber data frekuensi terjadinya *breakdown* dan lama waktu *breakdown*.
2. *Record Dental Log Book*, yang diperlukan sebagai sumber data *corrective maintenance* untuk menentukan waktu antar kerusakan.
3. Laporan Produksi, sebagai sumber data waktu dan lama kerusakan yang terjadi selama proses produksi berlangsung.
4. Data *Monitoring Performance*, sebagai sumber data waktu dan lama kerusakan dan perbaikan selama proses produksi berlangsung.

5. *Know why sheet*, sebagai sumber penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis*.
6. *software minitab 14*, yang diperlukan untuk mendapatkan distribusi sesuai dengan data. Data yang digunakan yaitu data waktu antar kerusakan dan data perbaikan mesin pada PT. XYZ untuk mendapatkan interval perawatan yang optimal.
7. Papan *Control Lini Produksi*, sebagai sumber data MTTF dan MTTR untuk dibandingkan dengan hasil analisis MTTF dan MTTR yang akan dilakukan dalam penelitian.
8. *Plan Maintenance Schedule*, sebagai sumber data waktu interval perawatan yang diterapkan oleh perusahaan untuk menjaga kondisi mesin agar tetap handal.

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Uraian	Proses Perolehan
Sumber Data	Data kualitatif dan Data kuantitatif (seperti yang tercantum pada metode penelitian)
Rencana Penelitian	Unit <i>sample</i> (Lini produksi yang menggunakan mesin robotik) antara lain D10, D11, D12, dan D15
Pengolahan Data	<ul style="list-style-type: none"> - Penentuan komponen kritis dari lini produksi mesin robotik . - Penentuan kebijakan perawatan berdasarkan RCM II yang dituangkan dalam RCM II <i>Decision Worksheet</i>. - Penentuan interval perawatan efektif.
Analisis data	Analisis hasil pengolahan data berdasarkan metode RCM II, serta analisis tindakan pencegahan yang diusulkan oleh penulis melalui prosedur RCM II <i>Decision Diagram</i> .

3.4 Tahapan Metodologi Penelitian

Penelitian ini melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Survei Pendahuluan
2. Studi Pustaka
3. Identifikasi Masalah
4. Tujuan Penelitian
5. Penentuan Lini Produksi dan Mesin Kritis
6. Pengumpulan Data

7. Pengolahan Data

- Data Kualitatif (Fungsi mesin, Jenis Kegagalan Mesin, Penyebab Kegagalan Mesin, dan Efek Kegagalan Mesin) untuk menyusun:
 - a. FBD (*Functional Block Diagram*)
 - b. *System Function and Function Failure*
 - c. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)
- Data Kuantitatif Mesin (Waktu Antar Perbaikan, Waktu Antar Kerusakan, dan Biaya Kegagalan) untuk menentukan:
 - a. Uji distribusi Waktu Antar Perbaikan untuk mendapatkan MTTR (*Mean Time to Repair*) dan uji distribusi Weibull untuk mendapatkan parameter *Shape* dan *Scale* serta MTTF (*Mean Time to Failure*)
 - b. Menentukan interval waktu perawatan efektif
 - c. Menentukan Biaya perawatan berdasarkan interval waktu perawatan efektif

8. Penyusunan RCM II *Decision Worksheet*

9. Analisis Hasil

10. Kesimpulan dan Saran

3.4.1 Studi Pustaka

Langkah selanjutnya adalah dengan melaksanakan studi pustaka dengan cara mengumpulkan dan mempelajari buku-buku referensi, jurnal dan *website* tentang metode perawatan *Reliability Centered Maintenance II* serta sumber pustaka lain yang erat kaitannya topik permasalahan yang akan dibahas. Dengan melaksanakan studi pustaka yang tepat maka dapat diketahui langkah-langkah dalam menerapkan metode *Reliability Centered Maintenance II* untuk proses perencanaan aktivitas perawatan yang efektif.

3.4.2 Identifikasi Masalah

Setelah menentukan topik penelitian, selanjutnya adalah mencari obyek penelitian yang sesuai dengan topik adalah lini produksi *Dental* (pasta gigi) yang menggunakan mesin robotik.

3.4.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian perlu ditetapkan agar penulisan skripsi ini terfokus dan tidak menyimpang dari permasalahan yang sedang dibahas.

3.4.4 Penetapan Lini Produksi dan Komponen Mesin Kritis

Tahap selanjutnya adalah menentukan lini produksi *dental* robotik kritis dari beberapa lini produksi dental robotik yang lainnya. Setelah itu menentukan mesin dan komponen mesin kritis yang terdapat pada lini produksi *dental* robotik kritis tersebut. Tentunya komponen mesin kritis tersebut yang akan menjadi fokus perhatian dari penerapan metode perawatan RCM II ini.

3.4.5 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian dalam skripsi ini antara lain :

1. Wawancara

Merupakan suatu teknik dalam proses memperoleh keterangan untuk tujuan penelitian dengan cara tanya jawab sambil bertatap muka antara penanya atau pewawancara dengan respondendengan menggunakan *interview guide* (panduan wawancara) (Nazir, 2005:193). Dengan wawancara dapat dikumpulkan data tentang fakta, sikap, pendapat, opini, dan pengalaman (Budiarto, 2004:53). Wawancara ini dilakukan terhadap karyawan PT. XYZ. Metode ini dilakukan untuk memperoleh informasi tentang permasalahan yang terjadi di perusahaan, penyusunan RCM II *Decision Worksheet* untuk menentukan kebijakan pemeliharaan yang dilakukan.

2. Observasi

Merupakan suatu teknik pengambilan data dengan menggunakan mata tanpa ada pertolongan alat standar lain untuk keperluan tersebut (Nazir, 2005:175). Observasi dilakukan secara langsung terhadap keadaan yang sebenarnya terjadi di dalam perusahaan yang sangat terkait dengan permasalahan yang menjadi objek penelitian. Observasi dilakukan terhadap proses produksi yang berjalan pada lini produksi mesin robotik yang menjadi objek utama penelitian untuk mengamati fungsi dari komponen-komponen mesin

produksi dan penyebab kegagalan yang terjadi. Selain itu pengamatan dilakukan untuk mengetahui proses pemeliharaan yang dilakukan pada mesin dan peralatan di PT. XYZ.

3. Dokumentasi

Merupakan teknik pengumpulan data dengan cara mencari data mengenai hal-hal atau variabel yang serupa catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, lengger, agenda, dan sebagainya (Arikunto, 2006:231).

Dalam penelitian ini dokumen yang diperlukan adalah seperti yang telah tercantum pada sub bab 3.2 nomer 1,2,3,4,5,7, dan 8.

Pada penelitian ini digunakan data kualitatif dan kuantitatif untuk mendukung penelitian ini yaitu:

- Data-data kualitatif meliputi:
 - a. Data fungsi mesin.
 - b. Data kegagalan.
 - c. Data penyebab kegagalan.
 - d. Data efek yang ditimbulkan apabila kegagalan tersebut terjadi.
- Data-data kuantitatif meliputi :
 - a. Data waktu antar kerusakan mesin (*time failure*)
 - b. Data waktu perbaikan (*time to repair*)
 - c. Data biaya kegagalan mesin yang meliputi data biaya operasional, biaya tenaga kerja, biaya penggantian komponen serta biaya perawatan mesin.

3.4.6 Pengolahan Data

Tahap berikutnya adalah mengolah data yang telah didapatkan sebelumnya yaitu pengolahan data kualitatif dan pengolahan data kuantitatif. Berikut ini merupakan langkah pengolahan kedua jenis data tersebut :

3.4.6.1 Pengolahan Data Kualitatif

Data-data yang telah diperoleh melalui proses wawancara maupun menggunakan dokumentasi pada bagian TPM (*Total Productive Maintenance*),

Bagian *Engineering*, dan *Fitter* mesin yang antara lain data fungsi mesin, data kegagalan, data penyebab kegagalan, dan data efek yang ditimbulkan apabila kegagalan tersebut terjadi, selanjutnya diolah sebagai berikut :

a. Functional Block Diagram (FBD)

Dengan menggunakan data komponen mesin kritis beserta fungsi komponen tersebut, selanjutnya disusun *Functional Block Diagram* (FBD) untuk mendeskripsikan keterhubungan fungsi dari masing-masing komponen dari mesin kritis tersebut. Selain itu deskripsi yang dilakukan dengan FBD tersebut meliputi proses-proses yang terjadi pada saat proses produksi berlangsung.

b. System Function dan Function Failure

System function merupakan fungsi utama atau *performance* dari mesin yang diharapkan oleh *user*. *System function* disini tidak menjelaskan fungsi tiap komponen dalam sebuah sistem lini produksi, tetapi menjelaskan fungsi dari komponen mesin kritis yang diamati. *Function failure* merupakan jenis-jenis kegagalan yang menyebabkan mesin tidak mampu melaksanakan *system function* yang diharapkan user. (Moubray,1997:46)

c. Failure Mode and Effect Analysis

Selanjutnya data olahan *System function and Function failure* serta data penyebab kegagalan dan efek kegagalan digunakan untuk menyusun *Failure Mode and Effect Analysis*. *Failure Mode and Effect Analysis* berusaha untuk mampu menganalisis sebab-sebab terjadinya kegagalan pada sistem pengamatan serta efek yang ditimbulkan apabila kegagalan tersebut terjadi. (Moubray,1997:53). Tujuan dari FMEA untuk mengidentifikasi kegagalan potensial dalam sebuah peralatan, proses, atau produk, untuk selanjutnya menentukan bagaimana kegagalan tersebut dapat mempengaruhi keseluruhan operasi dari peralatan atau sebuah sistem, dan untuk memberikan suatu solusi atau tindakan yang tepat untuk mengeliminasi kegagalan potensial tersebut (Stephens, 2004:180).

d. RCM II Decision Worksheet

Tahap selanjutnya adalah menganalisis dengan memasukkan semua *failure mode* ke dalam RCM II *Decision Diagram* untuk mengetahui konsekuensi dari kegagalan yang terjadi (*Failure Consequences*) dan jenis perawatan yang sesuai dengan penyebab kegagalan (*Proactive task and default action*). Setelah itu hasil keluaran dari *Failure Consequences* dan jenis perawatan yang sesuai tersebut dituangkan ke dalam RCM II *Decision Worksheet*. Komponen-komponen dari RCM II *Decision Worksheet* antara lain:

- *Failure Consequences*
Failure Consequences bertujuan untuk menganalisa dampak yang ditimbulkan oleh *function failure* yang terjadi pada komponen kritis. Dampak kegagalan tersebut antara lain *hidden failure*, *safety and environment*, *operational consequences*, dan *non operational consequences*.
- *Proactive Task and Default Action*
Proactive task merupakan langkah atau tindakan yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Tindakan yang dapat diambil untuk langkah *proactive task* antara lain *Scheduled on Condition Task*, *Scheduled Restoration Task*, dan *Scheduled Discard Task*.
Sedangkan *Default Action* merupakan tindakan yang dapat dilaksanakan apabila *proactive task* tidak dapat mencegah terjadinya *failure mode*. *Default Action* yang dapat dilakukan antara lain *Scheduled Failure Finding*, *Combination Task*, dan *Redesign*.
- *Proposed Task*
Proposed Task memberikan penjelasan mengenai tindakan pencegahan yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*, tindakan ini merupakan usulan nyata hasil keluaran dari *proactive task* atau *default action*.
- *Initial Interval*
Initial Interval adalah jarak atau interval waktu perawatan yang efektif terhadap *proactive task* atau *default action* yang telah ditentukan

sebelumnya, yang pada penelitian ini *initial interval* memiliki satuan jam. *Initial interval* ini diperoleh dari hasil pengolahan data kuantitatif.

- *Can be done*

Can be done merupakan pihak yang akan melaksanakan atau bertanggung jawab untuk tindakan perawatan yang telah ditentukan pada RCM II *Decision Worksheet*.

3.4.6.2 Pengolahan Data Kuantitatif

Data-data kuantitatif yang akan diolah antara lain adalah data waktu antar kerusakan (*time failure*), data lama perbaikan (*time to repair*), dan data biaya kegagalan mesin. Kemudian ditentukan distribusi waktu antar kerusakan dan lama perbaikan serta untuk menentukan interval perawatan. Sedangkan data biaya kegagalan mesin yang meliputi data biaya operasional, data biaya tenaga kerja, biaya penggantian komponen serta biaya perawatan mesin digunakan untuk meminimisasikan biaya perawatan yang berdasarkan interval perawatan efektif.

a. Penentuan Distribusi Waktu Antar Perbaikan dan Uji Distribusi Weibull Waktu Antar Kerusakan

Uji distribusi waktu lama perbaikan dilakukan untuk menghitung tingkat harapan siklus perbaikan yang akan diterapkan (MTTR).

Uji distribusi Weibull terhadap waktu antar kerusakan dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter *shape* dan *scale*, yang digunakan untuk menentukan interval waktu perawatan efektif. Penentuan waktu distribusi antar kerusakan tersebut dilakukan berfungsi untuk mendapatkan nilai kemungkinan terjadi kerusakan pada waktu tertentu (MTTF), kemungkinan mesin dapat beroperasi sampai waktu tertentu (fungsi keandalan) menghitung tingkat harapan panjang siklus perawatan.

b. Penentuan Interval Perawatan

Setelah dilakukan uji distribusi terhadap waktu antar kerusakan (T_f) dan waktu antar perbaikan (T_r), maka selanjutnya adalah menentukan

interval perawatan. Langkah-langkah perhitungannya meliputi :

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

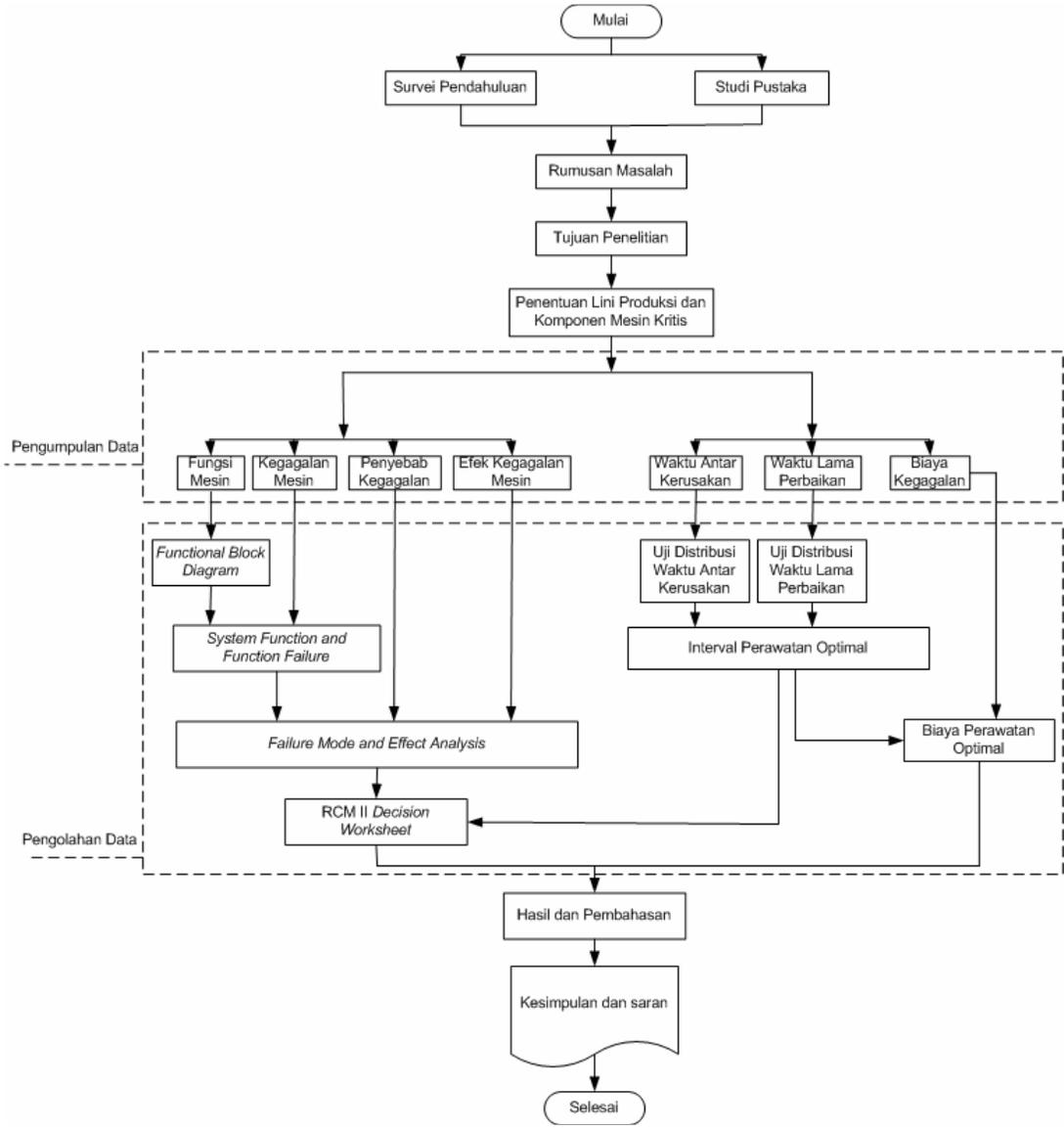
c. Menentukan Biaya Perawatan Berdasarkan Interval Waktu Perawatan Efektif

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

3.4.7 Analisis Data

Dalam tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil-hasil yang diperoleh pada data kualitatif dan data kuantitatif, kemudian dari hasil tersebut dapat di tarik kesimpulan, dimana kesimpulan tersebut akan menjawab tujuan awal dari penelitian dengan di sertai saran-saran yang ditujukan kepada pihak perusahaan.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan membahas rinci dari pelaksanaan penelitian, keterkaitan antara teori-teori yang digunakan dengan fakta yang ditemukan di lapangan dan perhitungan data yang akan diolah. Bab ini menjelaskan tentang Pengumpulan Data, dan Pengolahan Data. Sebelum melaksanakan pengumpulan dan pengolahan data, perlu dilakukan penentuan lini produksi dan komponen mesin kritis untuk mengetahui komponen-komponen kritis yang akan dijadikan sebagai objek penelitian.

4.1 Penentuan Lini Produksi dan Komponen Mesin Kritis

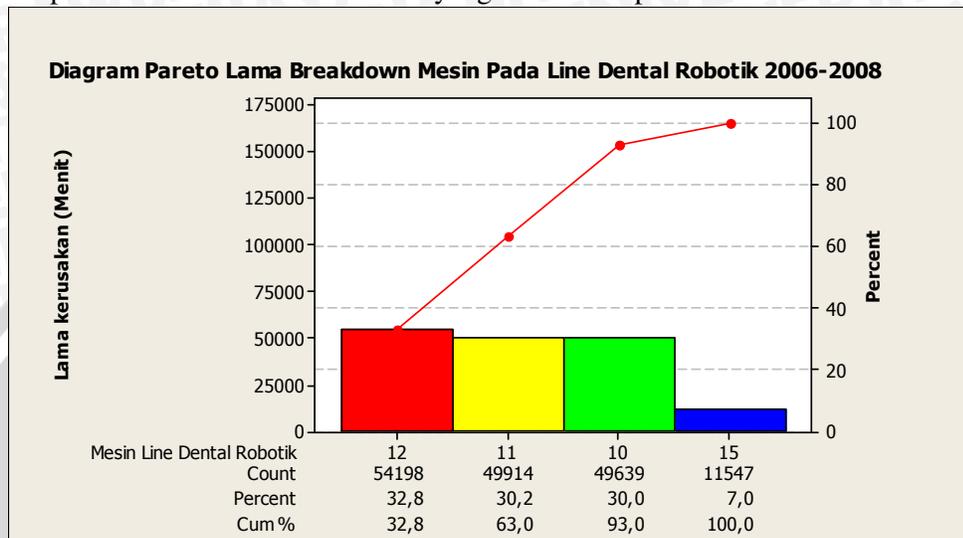
Sesuai dengan batasan masalah yang telah diuraikan pada bab I, maka lini produksi yang akan menjadi fokus penelitian adalah lini produksi *Dental* yang menggunakan tenaga *robotic ultra high speed*, yaitu lini D10, D11, D12, dan D15. Dari keempat lini tersebut akan dicari lini yang memiliki komponen mesin kritis.

4.1.1 Penentuan Lini Produksi Kritis

Untuk menentukan mesin dan komponen kritis yang akan dianalisis dalam menentukan kebijakan perawatan yang efektif, maka akan dipilih mesin dan komponen tertentu saja yang tentunya memiliki prioritas penanganan terlebih dahulu dengan cara membuat diagram pareto. Diagram pareto pada Gambar 4.1 akan menggambarkan lama waktu *breakdown* mesin dari setiap lini produksi. Dari diagram pareto pada Gambar 4.1 tersebut, penyumbang lama waktu *breakdown* sebesar 70 % adalah lini D12 dan D11. Maka lini D12 dan D11 merupakan lini dental robotik yang akan diprioritaskan untuk dianalisis lebih lanjut. Maka tahap berikutnya adalah menentukan unit *service* yang paling kritis dengan cara membuat diagram pareto lama waktu *breakdown* dari setiap unit *service* pada lini D12 dan D11.

4.1.2 Penentuan Komponen Mesin Kritis

Sebelum menentukan komponen mesin kritis, maka perlu diketahui aliran proses yang terjadi pada lini produksi kritis D12 dan D11, untuk memperlihatkan seluruh *unit service* yang ada di setiap lini tersebut



Gambar 4.1 Diagram Pareto Lama Waktu *Breakdown* Mesin Lini Dental Robotik Periode Tahun 2006-2008

Sumber: Data hasil pengolahan lama breakdown mesin lini dental robotik 2006-2008

Aliran proses produksi pada lini D-12 yang digambarkan oleh Gambar 4.2, adalah sebagai berikut:

1. *Embalage* yang berisi *tube* kosong diletakkan pada *Carton/embalage Transport*
2. *Robot Tube Loader* mengambil *tube* dari *embalage*, lalu memasukkannya ke dalam *link holder* yang terpasang pada *Tube transport chain*
3. Setelah itu posisi dudukan *tube* dikencangkan oleh *tube cap tightening*
4. Setelah posisi dudukan *tube* dikencangkan, lalu tanda strip yang ada di bagian ujung atas produk disenterkan terhadap posisi pengisian pasta dan posisi *sealing*. Fungsi ini dilakukan oleh *tube print (orientation)* dengan menggunakan sensor dan memutar *link holder tube* yang akan disenterkan hingga posisi yang tepat didapatkan
5. Lalu bagian dalam *tube* yang telah terpasang pada *link holder*, dibersihkan bagian dalamnya dari debu dan kotoran dengan sistem *blow udara* ke dalam *tube* oleh *tube cleaning*

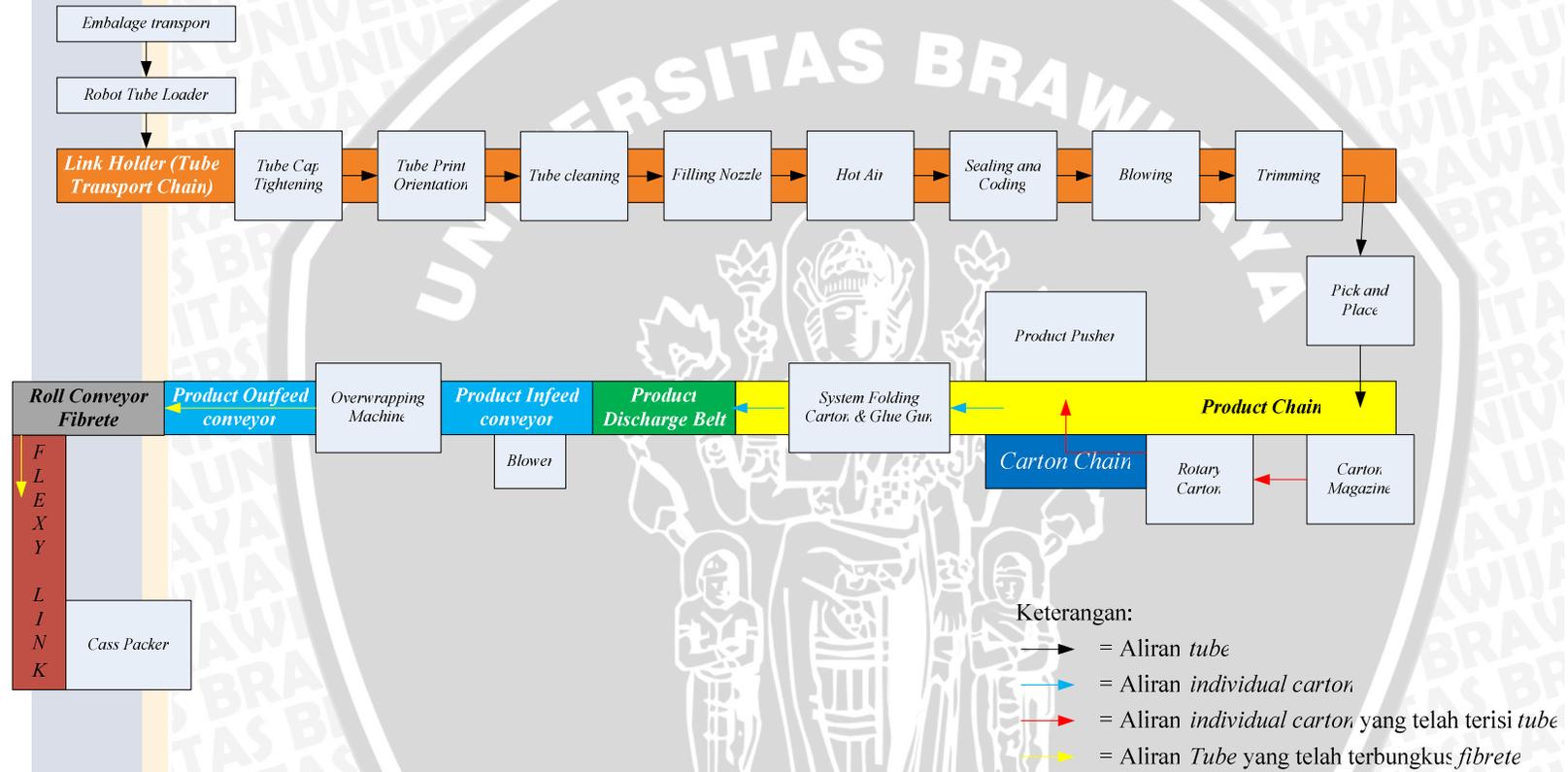
6. Setelah itu dilakukan pengisian pasta dengan menggunakan *filling nozzle*
7. Setelah *tube* terisi dengan pasta, lalu bagian atas *tube* dipanasi oleh *Hot air* untuk selanjutnya dilakukan *sealing* dan pemberian kode (coding) pada bagian *tube* yang telah disealing
8. Setelah melalui proses *sealing* dan *coding*, selanjutnya *tube* didinginkan dengan mekanisme *blow* udara agar nanti pada saat dilakukan proses *trimming* (pemotongan atau perataan bagian *tube* yang telah disealing) tidak menimbulkan serabut
9. Mekanisme *pick and place* akan mengambil *tube* yang telah melewati proses-proses tersebut di atas dari *link holder* dan ditempatkan di atas *product chain*
10. *Product* akan berjalan di atas *product chain*, lalu dimasukkan ke dalam *individual carton* dengan cara didorong oleh *product pusher*. *Individual carton* tersebut ditempatkan oleh *rotary carton* yang diumpan atau disuplai oleh *carton magazine*. Lalu *rotary carton* dengan mekanisme vakum akan mengambil *individual carton* pada *carton magazine* dan membuatnya mengembang, setelah itu baru diletakkan di atas *carton chain*
11. Lalu *individual carton* yang telah terisi dengan *product* ditutup pada kedua sisi depan dan belakangnya dengan mekanisme *system folding carton* dan perekatan tutup dengan menggunakan lem yang ditembakkan oleh *glue gun*.
12. Setelah itu *product* dibawa oleh *product discharge belt* untuk menuju ke *product infeed conveyor*. Selama melewati *product infeed conveyor*, *individual carton* yang telah terisi akan dicek apakah telah terisi dengan *tube* atau tidak dengan meniupkan udara ke arah *individual carton*. Apabila *individual carton* kosong, maka akan tertiuip dan terlempar dari *product infeed conveyor*. Setelah melewati *product infeed conveyor*, *individual carton* akan dibawa oleh *infeed belt* ke dalam mesin *Overwrapping*.
13. *Product* disusun menjadi tiga tingkat dengan mekanisme *stacking*, dimana setiap tingkatnya ada tiga *individual carton*, sehingga *fibrete* film akan terisi oleh 12 *individual carton*.
14. Setelah *carton* tersusun menjadi tiga, maka produk akan didorong masuk ke dalam unit *sealer* untuk membungkus susunan produk dengan menggunakan *plastic film*.

15. Setelah dibungkus dengan *plastic film*, maka produk tersebut akan dibawa oleh *flexi link* menuju *cass packer*. *Cass packer* merupakan mesin untuk memasukkan produk yang telah terbungkus oleh *plastic film* (terisi 12 *pieces* produk) ke dalam *fibrete* (kardus), yang akan diisi dengan 12 produk yang terbungkus *plastic film*. Jadi satu *fibrete* (kardus) berisi $12 \times 12 = 144$ *tube* pasta gigi.

Sedangkan aliran proses produksi pada lini D11 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3, adalah sebagai berikut:

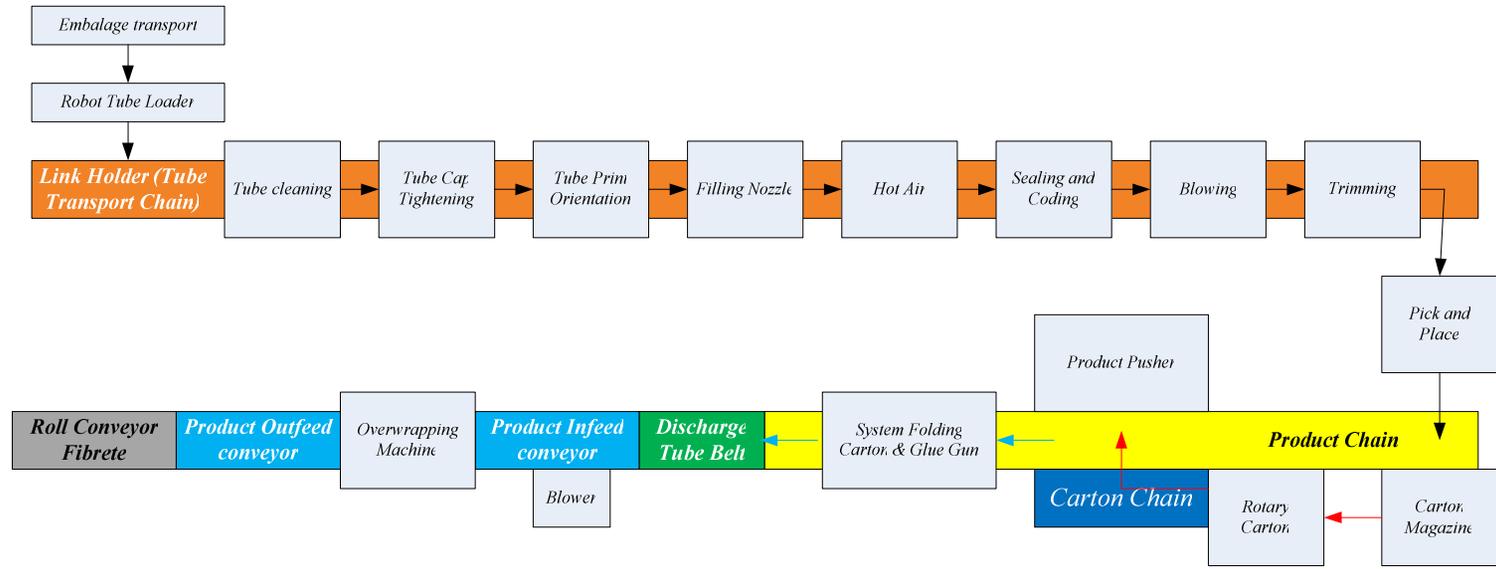
1. *Embalage* yang berisi *tube* kosong diletakkan pada *Carton/Embalage Transport*. *Embalage* adalah kardus, yang berisikan *tube* kosong.
2. *Robot Tube Loader* mengambil *tube* dari *embalage*, lalu memasukkannya ke dalam *link holder* yang terpasang pada *Tube transport chain*
3. Lalu bagian dalam *tube* yang telah terpasang pada *link holder*, dibersihkan bagian dalamnya dari debu dan kotoran dengan sistem *blow* udara ke dalam *tube* oleh *tube cleaning*
4. Setelah itu posisi duduk *tube* dikencangkan oleh *tube cap tightening*
5. Setelah posisi duduk *tube* dikencangkan, lalu tanda strip yang ada di bagian ujung atas produk disenterkan terhadap posisi pengisian pasta dan posisi *sealing*. Fungsi ini dilakukan oleh *tube print (orientation)* dengan menggunakan sensor dan memutar *link holder tube* yang akan disenterkan hingga posisi yang tepat didapatkan
6. Setelah itu dilakukan pengisian pasta dengan menggunakan *filling nozzle*
7. setelah *tube* terisi dengan pasta, lalu bagian atas *tube* dipanasi oleh *Hot air* untuk selanjutnya dilakukan *sealing* dan pemberian kode (*coding*) pada bagian *tube* yang telah disealing
8. Setelah melalui proses *sealing* dan *coding*, selanjutnya *tube* didinginkan dengan mekanisme *blow* udara agar nanti pada saat dilakukan proses *trimming* (pemotongan atau perataan bagian *tube* yang telah disealing) tidak menimbulkan serabut
9. Mekanisme *pick and place* akan mengambil *tube* yang telah melewati proses-proses tersebut di atas dari *link holder* dan ditempatkan di atas *product chain*

10. Produk akan berjalan di atas *product chain*, lalu dimasukkan ke dalam *individual carton* dengan cara didorong oleh *product pusher*. *Individual carton* tersebut ditempatkan oleh *rotary carton* yang diumpan atau disuplai oleh *carton magazine*. *Carton magazine* merupakan tempat dimana *individual carton* ditempatkan dalam jumlah banyak dengan keadaan masih terlipat (belum mengembang). Lalu *rotary carton* dengan mekanisme vakum akan mengambil *individual carton* pada *carton magazine* dan membuatnya mengembang, setelah itu baru diletakkan di atas *carton chain*
11. Lalu *individual carton* yang telah terisi dengan produk ditutup pada kedua sisi depan dan belakangnya dengan mekanisme *system folding carton* dan perekatan tutup dengan menggunakan lem yang ditembakkan oleh *glue gun*.
12. Setelah itu produk dibawa oleh *discharge tube belt* untuk menuju ke *product infeed conveyor*. Selama melewati *product infeed conveyor*, *individual carton* yang telah terisi akan dicek apakah telah terisi dengan *tube* atau tidak dengan meniupkan udara ke arah *individual carton*. Apabila *individual carton* kosong, maka akan tertiuip dan terlempar dari *product infeed conveyor*. Setelah melewati *product infeed conveyor*, *individual carton* akan dibawa oleh *infeed belt* ke dalam mesin *Overwrapping*.
13. Produk disusun menjadi tiga tingkat dengan mekanisme *stacking*, dimana setiap tingkatnya ada tiga *individual carton*, sehingga *fibrete* film akan terisi oleh 12 *individual carton*.
14. Setelah *carton* tersusun menjadi tiga, maka produk akan didorong masuk ke dalam unit *sealer* untuk membungkus susunan produk dengan menggunakan *plastic film*.
15. Selanjutnya produk yang telah terbungkus akan dibawa oleh *product outfeed conveyor*
16. *Roll conveyor fibrete*
17. *Sealer unit*



Gambar 4.2 Layout Mesin Lini D12

Sumber: PT. Unilever Indonesia Tbk., 2009



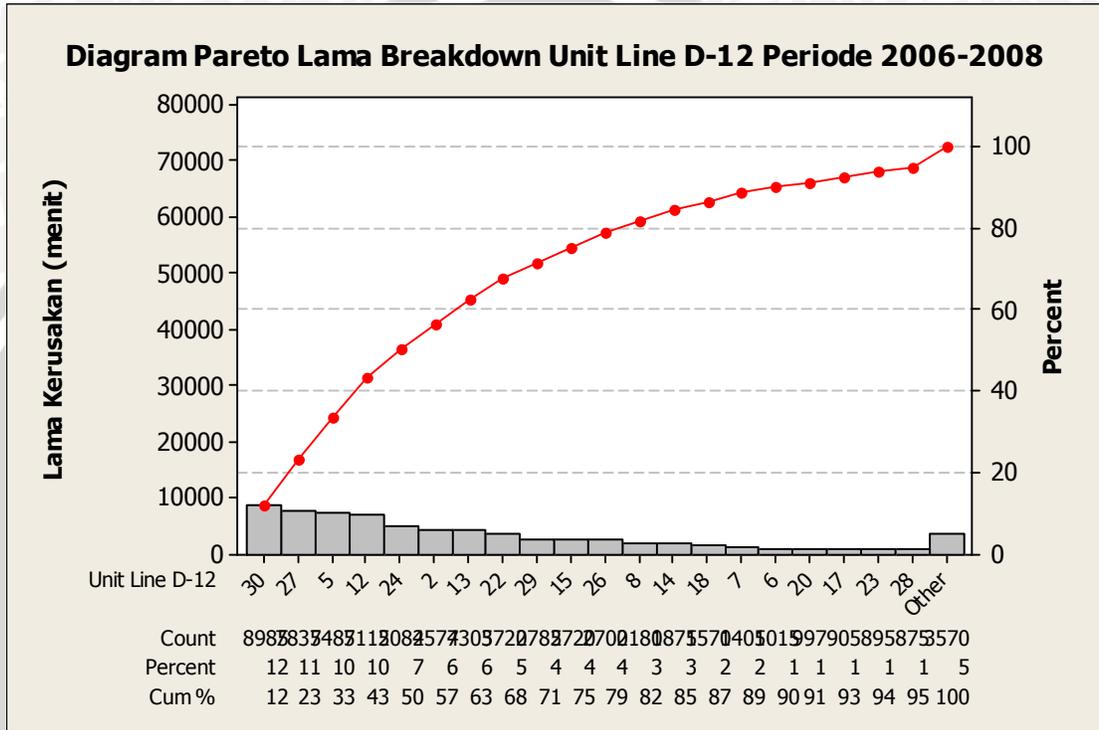
Keterangan:

- ▶ = Aliran tube
- ▶ (blue) = Aliran individual carton
- ▶ (red) = Aliran individual carton yang telah terisi tube

Gambar 4.3 Layout mesin lini D11

Sumber: PT. Unilever Indonesia Tbk., 2009

Setelah mengetahui aliran proses yang terjadi pada lini D12 dan D11 maka selanjutnya adalah membuat diagram pareto dari lama waktu *breakdown* tiap unit *service* pada masing-masing lini kritis. Gambar 4.4 menunjukkan diagram pareto lama *breakdown* unit *service* lini D12 dan Gambar 4.5 menunjukkan diagram pareto lama *breakdown* unit *service* lini D11.

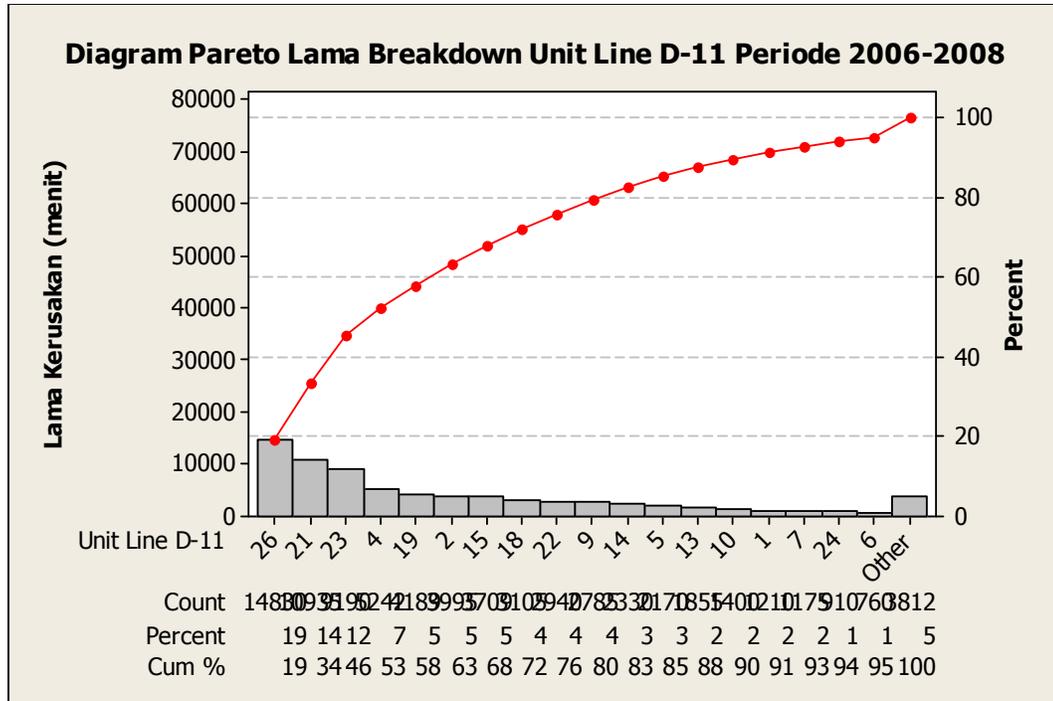


Gambar 4.4 Diagram Pareto Lama *Breakdown Unit Service* Lini D12 Periode Tahun 2006-2008

Sumber: Hasil pengolahan data lama *breakdown* unit *service* lini D12

Keterangan:

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------------|
| 1 Carton Chain | 17 Penggerak m/c & cam-3 |
| 2 Carton magazine | 18 Product chain |
| 3 Case forming | 19 Product discharge |
| 4 Control system cermex | 20 Product pusher wrap |
| 5 Control system-1 | 21 Rotary carton |
| 6 Control system-2 | 22 Sys folding carton/glueing crt |
| 7 Control system-3 | 23 Sys. folding fib & glueing cmx |
| 8 Cutting | 24 System bungkusan |
| 9 Fib. Magazine cermex | 25 Tapping & cutting seal tape fibrete |
| 10 Infeed conveyor | 26 Tube discharge |
| 11 Mek. Penumpukan(stacking) cermex | 27 Tube infeed/robot tube loader |
| 12 Mekanisme penumpukan | 28 Tube print regristration |
| 13 Pelipatan/sealing/coding | 29 Tube transport |
| 14 Pemanas/ sealing | 30 Unit pengisian |
| 15 Penggerak m/c & cam-1 | 31 Pisau wrapp OPP film |
| 16 Penggerak m/c & cam-2 | |



Gambar 4.5 Diagram Pareto Lama *breakdown* Unit Service Lini D11 Periode Tahun 2006-2008

Sumber: Hasil pengolahan data lama *breakdown* unit service lini D11

Keterangan:

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Carton chain 2. Carton magazine 3. Case forming 4. Control system-1 5. Control system-2 6. Control system-3 7. Cutting 8. Infeed conveyor 9. Mekanisme penumpukan 0. Pelipatan/sealing/coding 11. Pemanas/ sealing 12. Penggerak m/c & cam-1 13. Penggerak m/c & cam-2 14. Penggerak m/c & cam-3 | <ol style="list-style-type: none"> 15. Product chain 16. Product discharge 17. Product pusher 18. Rotary carton 19. Sys folding carton/glueing crt 20. Sys folding fib & glueing cermex 21. Sistem bungkus 22. Tube discharge 23. Tube infeed/robot tube loader 24. Tube print regristration 25. Tube transport 26. Unit pengisian 27. Pisau wrapp OPP film |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Dari diagram pareto pada Gambar 4.4 dapat kita lihat bahwa unit *service* yang mengalami *breakdown* paling lama pada lini D12 adalah unit *service* nomer 30 yaitu unit pengisian (*filling*). Sedangkan dari diagram pareto pada Gambar 4.5 unit *service* yang mengalami *breakdown* paling lama pada lini D11 adalah unit *service* nomer 26 yaitu unit pengisian (*filling*). Sehingga objek

yang akan menjadi fokus dalam menentukan kebijakan perawatan adalah unit pengisian baik dari lini D12 dan D11.

4.1.3 Deskripsi Komponen yang Diamati

Unit *Filling* atau unit pengisian baik pada lini D12 dan D11 memiliki fungsi yang sama. Awalnya pasta dipompakan dari *hopper* (tempat penampung pasta) menuju ke *dosing pump*. Di dalam *dosing pump* terdapat *rotary valve* atau katup yang berputar, yang mengatur masuknya pasta dari *hopper* dan keluarnya pasta meninggalkan *dosing pump* menuju ke *nozzle*. *Rotary valve* digerakkan oleh motor servo. Saat pasta dipompa dari *hopper* menuju *dosing pump*, *rotary valve* bergerak membuka ke arah *hopper* dan menutup saluran menuju *nozzle*. Seketika itu juga piston akan melakukan gerakan tarik (gerakan tarik dan dorong piston digerakkan oleh motor servo), sehingga pasta akan memenuhi *dosing pump* dan silinder piston. Setelah itu *rotary valve* akan berputar kembali menutup saluran menuju *hopper* dan membuka ke arah *nozzle*, seketika itu juga piston akan mendorong pasta yang ada di dalam silinder piston dan *dosing pump* menuju ke *nozzle*. Aliran proses yang terjadi pada unit *service* pengisian atau *filling* dapat dilihat pada Gambar 4.6. Ada 2 jenis mekanisme dalam memotong aliran pasta pada *nozzle* menuju ke *tube*, yaitu:

- a. *Cut off*, dengan memanfaatkan ketajaman *head nozzle* dan *cut off spindle* yang akan saling berhimpit untuk menutup *nozzle*, saat itu juga aliran pasta akan terputus. Mekanisme ini digunakan pada *nozzle* lini D11.
- b. *Blow off*, dengan menggunakan tiupan atau hembusan udara yang keluar dari *blow off spindle* sesaat setelah *stick nozzle* akan bergerak untuk menutup *head nozzle*. Mekanisme ini digunakan pada *nozzle* lini D12.

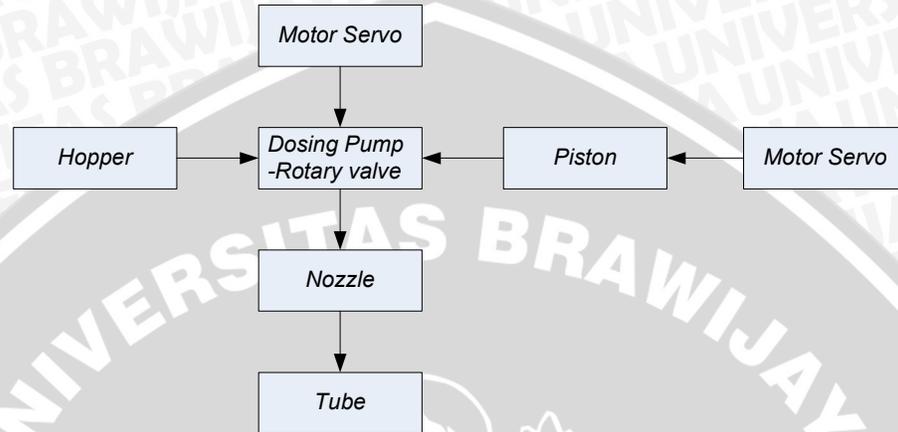
Berikut ini merupakan komponen-komponen kritis yang menjadi fokus penelitian.

1. Unit Pengisian Lini D12

Pada unit pengisian lini D12, masalah terjadi pada komponen *Filling Nozzle* yaitu *nozzle* atau saluran yang berfungsi untuk mengalirkan pasta keluar menuju atau mengisi *tube* yang tertancap pada *link holder*. Tabel 4.1 menunjukkan komponen kritis *filling nozzle* beserta fungsinya.

2. Unit Pengisian Lini D11

Pada unit pengisian lini D11, masalah sering terjadi pada bagian piston, *rotary valve*, dan *nozzle*. Tabel 4.2 menunjukkan komponen kritis unit pengisian D11



Gambar 4.6 Aliran Proses Unit Pengisian
Sumber: Data yang diolah

Tabel 4.1 Komponen Kritis *Filling Nozzle* Lini D12

No	Komponen	Fungsi
1.	<i>Seal Shut Rod Nozzle</i>	Mencegah pasta bocor dan naik ke bagian atas <i>nozzle</i>
2.	<i>Filter Nozzle</i>	Mencegah masuknya pasta ke dalam <i>blow off spindle</i>
3.	<i>Head Nozzle</i>	Lubang tempat keluarnya pasta, bekerja sama dengan ujung <i>blow off nozzle</i> untuk menutup dan memotong aliran pasta

Sumber: Data yang diolah

Tabel 4.2 Komponen Kritis Unit Pengisian Lini D11

No	Komponen	Fungsi
1.	<i>Bushing Rotary Valve</i>	Pengganjal atau pemisah antara <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i> , agar tidak terjadi gesekan langsung antara <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i> , sehingga akan memperpanjang umur dari permukaan dalam <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i>
2.	<i>Shaft Rotary Valve</i>	Menggerakkan <i>rotary valve</i> , sehingga <i>rotary valve</i> bisa membuka dan menutup saluran ke <i>hopper</i> dan saluran ke <i>nozzle</i>
3.	<i>Seal Piston</i>	Mencegah pasta bocor ke bagian belakang piston
4.	<i>Seal Stick Nozzle</i>	Mencegah pasta bocor ke bagian atas <i>nozzle</i>

Sumber: Data yang diolah

4.2 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi data kualitatif dan kuantitatif, yang diperoleh dari data *record* aktivitas *maintenance* dan produksi, hasil wawancara, dan hasil pengolahan. Data kualitatif digunakan untuk menyusun FMEA dan RCM II *Decision Worksheet*. Data kualitatif yang dibutuhkan antara lain:

1. Data fungsi mesin
2. Data kegagalan
3. Data penyebab kegagalan
4. Data efek yang ditimbulkan apabila kegagalan tersebut terjadi

Data kuantitatif diperlukan untuk mengetahui *initial interval* perawatan efektif, yang nantinya akan dimasukkan ke dalam RCM II *Decision Worksheet*.

Data kuantitatif yang dibutuhkan antara lain :

1. Data waktu antar kerusakan mesin (*time to failure*) dan Data waktu perbaikan (*time to repair*), yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3 untuk komponen kritis lini D12 dan Tabel 4.4 untuk komponen kritis lini D11.

Tabel 4.3 Waktu Antar kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr) Komponen Kritis *Nozzle* Unit Pengisian Lini D12

Seal Shut Rod Nozzle		Filter Nozzle		Head Nozzle	
Tf (jam)	Tr (menit)	Tf(jam)	Tr(menit)	Tf(jam)	Tr(menit)
1632	53	6944	30	152	35
576	53	3728	115	160	53
408	30	5864	110	5648	100
4992	80	3200	47	2408	100
1121	30	1536	77	3844	70
1982	60	2344	78	2892	170
1486	60	2840	60	280	30
1865	50		60	3798	65
728	45			3031	60
519	90			4184	60
1701	80				35
1776	50				
995	55				
1804	75				
2021	88				
259	60				
1924	60				
	50				

Sumber: PT. Unilever Indonesia Tbk., 2009

Tabel 4.4 Waktu Antar kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr) Komponen Kritis Piston, Rotary Valve dan Nozzle Unit Pengisian Lini D11

Bushing Rotary Valve		Shaft Rotary Valve		Seal Piston		Seal Stick Nozzle	
Tf (jam)	Tr (menit)	Tf(jam)	Tr(menit)	Tf(jam)	Tr(menit)	Tf(jam)	Tr(menit)
2944	150	2336	165	848	45	504	200
2496	140	632	305	408	74	936	60
1648	150	232	230	440	90	1120	90
3072	84	256	310	888	80	1672	55
3051	150	3268	200	1328	74	456	65
2267	150	1168	150	1256	40	288	45
1429	90	3196	300	1080	40	232	36
3098	100	1384	200	536	40	8	63
1279	120	2547	305	392	50	1792	85
2050	80	3331	300	1104	140	1584	75
2928	150	2560	220	32	50	104	73
	150	2394	250	1296	90	1184	60
		1997	300	232	65	112	53
			300	64	84	48	70
				136	130	160	75
				136	100	16	180
				120	25	200	50
				96	100	1256	130
				992	90	16	135
				2432	60	32	88
				824	110	72	145
				384	130	184	55
				208	110	680	165
				1688	60	736	125
				1848	165	8	100
				2632	87	672	215
				456	60	1772	63
				1464	100	1648	120
				200	67	552	63
				968	60	1591	63
					90	1562	30
						170	60
						507	80
						1476	80
						585	120
						1697	90
							140

Sumber: PT. Unilever Indonesia Tbk., 2009

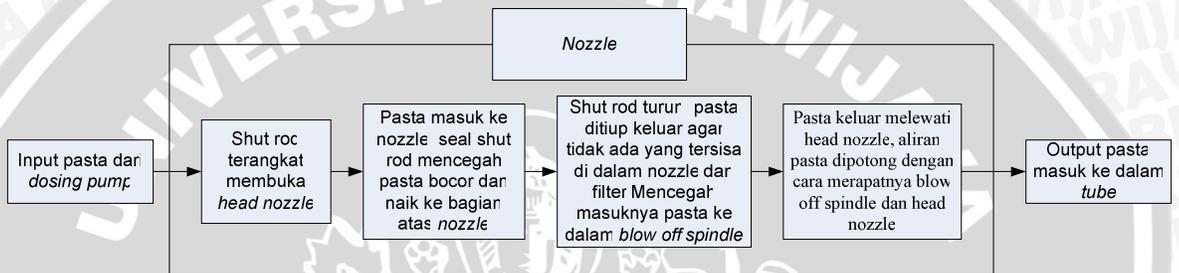
2. Data biaya kegagalan mesin yang meliputi data biaya kerugian produksi (*lost production cost*) , biaya tenaga kerja, biaya penggantian komponen serta biaya perawatan mesin.

4.3. Pengolahan Data

Setelah data terkumpul, data diolah ke dalam bentuk *Functional Block Diagram*, mengidentifikasi *system failure and function failure*, menyusun *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, pengujian distribusi waktu antar kerusakan (Tf) dan waktu lama perbaikan (Tr), menghitung biaya perawatan, menghitung interval perawatan efektif, dan penyusunan RCM II *Decision Worksheet*.

4.3.1. Functional Block Diagram (FBD)

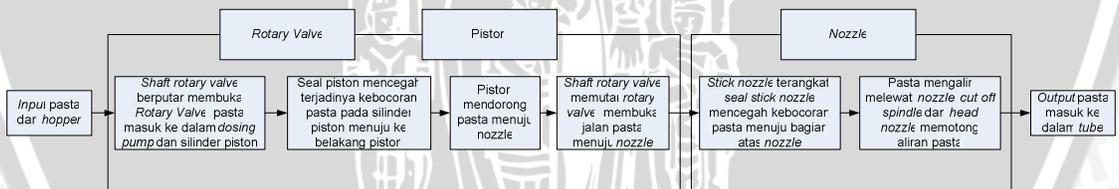
1. Functional Block Diagram dari nozzle unit pengisian lini D12



Gambar 4.7 Functional Block Diagram nozzle lini D12

Sumber: PT. Unilever Indonesia Tbk., 2009

2. Functional Block Diagram dari nozzle unit pengisian lini D11



Gambar 4.8 Functional block diagram rotary valve, piston, dan nozzle lini D11

Sumber : PT. Unilever Indonesia Tbk., 2009

4.3.2 System Function and Function Failure

1. Nozzle Unit Pengisian D12

Function and functional failure dari komponen kritis nozzle unit pengisian D12 yang seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5.

2. Rotary Valve, Piston, dan Nozzle Unit Pengisian D11

System function and functional failure dari komponen kritis rotary valve, piston, dan nozzle ditunjukkan oleh Tabel 4.6.

Tabel 4.5 *Function and Function Failure* Komponen Kritis *Nozzle* Unit Pengisian D12

<i>Function</i>	<i>Function Failure</i>
Mencegah pasta bocor dan naik ke bagian atas <i>nozzle</i>	Gagal menahan pasta yang masuk ke <i>nozzle</i> , sehingga pasta bocor ke bagian atas <i>nozzle</i>
Mencegah masuknya pasta ke dalam <i>blow off spindle</i>	Pasta masuk ke dalam <i>blow off spindle</i> , semburan angin kurang bagus
Lubang tempat keluarnya pasta, bekerja sama dengan ujung <i>blow off nozzle</i> untuk menutup dan memotong aliran pasta	Gagal memotong aliran pasta dengan baik

Sumber: PT. Unilever Indonesia Tbk., 2009

Tabel 4.6 *Function and Function Failure* Komponen Kritis *Rotary valve*, *Piston*, dan *Nozzle* Lini D11

<i>Function</i>	<i>Function Failure</i>
Pengganjal atau pemisah antara <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i> , agar tidak terjadi gesekan langsung antara <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i> , sehingga akan memperpanjang umur dari permukaan dalam <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i>	Gagal menjadi pemisah yang baik, karena <i>bushing</i> aus dan menjadi kocak
Menggerakkan <i>rotary valve</i> , sehingga <i>rotary valve</i> bisa membuka dan menutup saluran ke <i>hopper</i> dan saluran ke <i>nozzle</i>	Gagal memutar <i>rotary valve</i>
Mencegah pasta bocor ke bagian belakang piston	Gagal menahan pasta yang masuk ke dalam silinder piston, sehingga pasta bocor ke bagian belakang piston
Mencegah pasta bocor ke bagian atas <i>nozzle</i>	Gagal menahan pasta yang masuk ke <i>nozzle</i> , sehingga pasta bocor ke bagian atas <i>nozzle</i>

Sumber: PT. Unilever Indonesia Tbk., 2009

4.3.3 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Setelah mengetahui *system function* dan *functional failure* dari komponen kritis dari kedua objek penelitian tersebut, maka dapat disusun *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk mencari penyebab dan efek yang akan ditimbulkan dari kegagalan yang terjadi.

Tabel 4.7 menunjukkan FMEA dari komponen kritis *nozzle* lini D12. Pada salah satu kolom yaitu pada kolom *information reference* terbagi menjadi tiga kolom yaitu F(*function*), FF(*Functional Failure*), dan FM(*Failure Mode*).

Pada baris pertama kolom F tertulis 1, yang artinya fungsi pertama dari komponen-komponen kritis *nozzle* D12 yaitu mencegah pasta bocor dan naik ke bagian atas *nozzle*. Selanjutnya pada baris pertama kolom FF tertulis A yang artinya *function failure* yang dialami oleh *function* 1 yaitu gagal menahan pasta yang masuk ke *nozzle*, sehingga pasta bocor ke bagian atas *nozzle*. Apabila *function* 1 mengalami kegagalan fungsi atau *function failure* lainnya maka akan ditulis B pada baris kedua kolom FF, dengan terlebih dahulu memberikan uraian jenis kegagalan B tersebut pada kolom *Function Failure*. Pada baris pertama kolom FM tertulis angka 1 yang artinya *function* 1 dengan *function failure* A disebabkan oleh *failure mode* 1 yaitu *seal shut rod* aus. Apabila *function* 1 dengan *function failure* 1 bisa disebabkan oleh *failure mode* lainnya, maka kolom FM pada baris kedua akan diberi angka 2 dengan terlebih dahulu memberikan uraian tentang *failure mode* tersebut pada kolom *Failure Mode*, yang artinya F1 dengan FF1 disebabkan oleh FM2. Tapi untuk penelitian ini, pada komponen kritis *nozzle* lini D12 yang ditunjukkan oleh Tabel 4.7 terdiri dari 3 fungsi (*function*) dimana setiap *function* memiliki masing-masing 1 *function failure* dan 1 *failure mode*. Begitu juga perlakuan untuk tabel FMEA untuk komponen kritis *rotary valve*, *piston*, dan *nozzle* D11 yang ditunjukkan oleh Tabel 4.8.

4.3.4 Uji Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Uji distribusi waktu antar kerusakan (T_f) komponen kritis dilakukan untuk mengetahui jenis distribusi apa yang cocok dengan data waktu antar kerusakan yang terjadi. Pengujian distribusi waktu antar kerusakan dari tiap komponen kritis yang menjadi objek penelitian dilakukan dengan bantuan *software* minitab 14. Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 menunjukkan hasil uji distribusi untuk masing-masing komponen kritis lini D12 dan D11 tersebut. Untuk hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2 untuk T_f Komponen kritis Lini D12 dan Lampiran 3 untuk komponen kritis D11.

Pada tabel 4.9 dan 4.10 menunjukkan bahwa distribusi waktu antar kerusakan mengikuti distribusi weibull baik untuk komponen kritis lini D12 maupun komponen kritis lini D11.

Tabel 4.7 *Failure Mode and Effect Analysis* Komponen Kritis *Nozzle* Lini D12

RCM INFORMATION		System : Mechanical	Facilitator :			
WORKSHEET		Subsystem : Nozzle	Auditor :			
Function	Function failure	Failure Mode	Failure Effect	Information Reference		
	Loss of function	(cause of failure)	(what happen when it failure)	F	FF	FM
Mencegah pasta bocor dan naik ke bagian atas <i>nozzle</i>	Gagal menahan pasta yang masuk ke <i>nozzle</i> , sehingga pasta bocor ke bagian atas <i>nozzle</i>	<i>Seal shut rod</i> aus	Adanya kebocoran pasta, sehingga menyebabkan <i>filling tailing</i> .	1	A	1
Mencegah masuknya pasta ke dalam <i>blow off spindle</i>	Pasta masuk ke dalam <i>blow off spindle</i> , semburan angin kurang bagus	Filter <i>blow off spindle</i> aus	Pasta bisa masuk ke dalam <i>spindle</i> , hembusan angin untuk mendorong pasta menjadi kurang bagus sehingga terjadi <i>tailing</i> pada akhir pengisian. <i>Tailing</i> akan menyebabkan proses <i>sealing tube</i> kurang baik atau bocor.	2	A	1
Lubang tempat keluarnya pasta, bekerja sama dengan ujung <i>blow off nozzle</i> untuk menutup dan memotong aliran pasta	Gagal memotong aliran pasta dengan baik	<i>Head nozzle</i> aus	Proses pemotongan aliran pasta menjadi kurang baik karena <i>closing</i> antara <i>blow off spindle</i> dengan <i>head nozzle</i> kurang sempurna menyebabkan <i>filling tailing</i> . <i>Tailing</i> akan menyebabkan proses <i>sealing tube</i> kurang baik atau bocor.	3	A	1

Sumber: Hasil pengolahan data *function*, *function failure*, *failure mode*, dan *failure effect* komponen kritis lini D12

Tabel 4.8 *Failure Mode and Effect Analysis* Komponen Kritis *Rotary Valve, Piston, dan NozzleD11*

RCM INFORMATION		System : Mechanical	Facilitator :	Information Reference		
WORKSHEET		Subsystem : Nozzle,Piston, Rotary valve	Auditor :	F	FF	FM
Function	Function failure	Failure Mode	Failure Effect			
	Loss of function	(cause of failure)	(what happen when it failure)			
Pengganjal atau pemisah antara <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i> , agar tidak terjadi gesekan langsung antara <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i> , sehingga akan memperpanjang umur dari permukaan dalam <i>dosing pump</i> dengan <i>rotary valve</i>	Gagal menjadi pemisah yang baik, karena <i>bushing</i> aus dan menjadi kocak	<i>Bushing rotary valve</i> aus	Gerakan dari <i>rotary valve</i> akan miring dan menyebabkan volume pengisian labil.	1	A	1

Function	Function failure	Failure Mode	Failure Effect	Information Reference		
	Loss of function	(cause of failure)	(what happen when it failure)	F	FF	FM
Menggerakkan <i>rotary valve</i> , sehingga <i>rotary valve</i> bisa membuka dan menutup saluran ke <i>hopper</i> dan saluran ke <i>nozzle</i>	Gagal memutar <i>rotary valve</i>	<i>Shaft rotary valve</i> patah	<i>Rotary valve</i> tidak dapat berputar untuk membuka saluran pasta dari <i>hopper</i> menuju <i>dosing pump</i> dan silinder piston maupun saluran pasta dari <i>dosing pump</i> menuju <i>nozzle</i> , sehingga <i>tube</i> tidak akan terisi pasta, mesin berhenti.	2	A	1
Mencegah pasta bocor ke bagian belakang piston	Gagal menahan pasta yang masuk ke dalam silinder piston, sehingga pasta bocor ke bagian belakang piston	<i>Seal piston</i> aus	Terjadi kebocoran pasta yang masuk ke dalam silinder piston, pasta bocor ke arah belakang piston. Ini menyebabkan volume pengisian yang labil.	3	A	1
Mencegah pasta bocor ke bagian atas <i>nozzle</i>	Gagal menahan pasta yang masuk ke <i>nozzle</i> , sehingga pasta bocor ke bagian atas <i>nozzle</i>	<i>Seal stick nozzle</i> aus	Terjadi kebocoran pasta yang masuk ke dalam <i>nozzle</i> , pasta bocor ke arah atas <i>nozzle</i> . Ini menyebabkan volume pengisian menjadi labil.	4	A	1

Sumber: Hasil pengolahan data *function*, *function failure*, *failure mode*, dan *failure effect* komponen kritis lini D11

Keterangan: F = *Failure*
 FF = *Function Failure*
 FM = *Failure Mode*

Tabel 4.9 Uji Distribusi Tf Komponen Kritis *Nozzle* Lini D12

Nama Part	Komponen Kritis	Jenis Distribusi	Parameter				
			β	η	λ	μ	τ
Nozzle	Seal Shut Rod Nozzle	Weibull	1,59036	1644,15	-	-	-
	Filter Nozzle	Weibull	2,11643	4288,16	-	-	-
	Head Nozzle	Weibull	0,844738	2744,61	-	-	-

Sumber: Hasil uji distribusi data Tf komponen kritis lini D12

Tabel 4.10 Uji Distribusi Tf Komponen Kritis Rotary Valve, Piston, dan Nozzle Lini D11

Nama Part	Komponen Kritis	Jenis Distribusi	Parameter				
			β	η	λ	μ	τ
Rotary Valve	Bushing Rotary Valve	Weibull	3,54947	2647,14	-	-	-
	Shaft Rotary Valve	Weibull	1,29202	2224,02	-	-	-
Piston	Seal Piston	Weibull	1,06019	850,715	-	-	-
Nozzle	Seal Stick Nozzle	Weibull	0,754062	677,549	-	-	-

Sumber: Hasil uji distribusi data Tf komponen kritis lini D11

Tabel 4.11 MTTF Komponen-komponen Kritis *Nozzle* Lini D12

Nama Part	Komponen Kritis	MTTF (jam)
Nozzle	Seal Shut Rod Nozzle	1474,94
	Filter Nozzle	3797,82
	Head Nozzle	2997,69

Sumber: Hasil uji distribusi data Tf komponen kritis lini D12

Tabel 4.12 MTTF Komponen-komponen Kritis Rotary Valve, Piston, dan Nozzle Lini D11

Nama Part	Komponen Kritis	MTTF (jam)
Rotary Valve	Bushing Rotary Valve	2383,54
	Shaft Rotary Valve	2056,63
Piston	Seal Piston	831,412
Nozzle	Seal Stick Nozzle	803,155

Sumber: Hasil uji distribusi data Tf komponen kritis lini D11

4.3.5 Uji Distribusi Waktu Lama Perbaikan

Uji distribusi data waktu lama perbaikan juga dilakukan untuk mendapatkan jenis distribusi yang cocok terhadap waktu lama perbaikan yang terjadi. Tabel 4.13 dan 4.14 akan menunjukkan hasil uji distribusi dari waktu lama perbaikan komponen-komponen kritis yang menjadi objek penelitian ini. Untuk hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 4 untuk komponen kritis D12 dan Lampiran 5 untuk komponen kritis D11.

Tabel 4.13 Uji Distribusi Tr Komponen Kritis *Nozzle* Lini D12

Nama Part	Komponen Kritis	Jenis Distribusi	Parameter				
			β	η	λ	μ	τ
Nozzle	Seal Shut Rod Nozzle	Weibull	3,86137	65,4193	-	-	-
	Filter Nozzle	Weibull	2,49936	81,7711	-	-	-
	Head Nozzle	Lognormal	-	-	-	4,13090	0,551092

Sumber: Hasil uji distribusi data Tr komponen kritis lini D12

Tabel 4.14 Uji Distribusi Tr Komponen Kritis *Rotary Valve, Piston, dan Nozzle* Lini D11

Nama Part	Komponen Kritis	Jenis Distribusi	Parameter				
			β	η	λ	μ	τ
Rotary Valve	Bushing Rotary Valve	Weibull	4,76838	137,045	-	-	-
	Shaft Rotary Valve	Weibull	4,77723	274,818	-	-	-
Piston	Seal Piston	Lognormal	-	-	-	4,30832	0,441613
Nozzle	Seal Stick Nozzle	Lognormal	-	-	-	4,41198	0,479627

Sumber: Hasil uji distribusi data Tr komponen kritis lini D11

Setelah mendapatkan distribusi yang cocok, selanjutnya adalah mencari nilai *Mean Time to Repair* (MTTR) yaitu rata-rata lama waktu perbaikan. Nilai MTTR didapatkan dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 14. Tabel 4.15 dan 4.16 menunjukkan hasil MTTR untuk masing-masing komponen kritis di setiap lini D12 dan D11.

Tabel 4.15 MTTR Komponen-komponen Kritis *Nozzle* Lini D12

Nama Part	Komponen Kritis	MTTR (menit)	MTTR (jam)
Nozzle	Seal Shut Rod Nozzle	59,1781	0,9863
	Filter Nozzle	72,5521	1,2092
	Head Nozzle	72,4394	1,2073

Sumber: Hasil uji distribusi data Tr komponen kritis lini D12

Tabel 4.16 MTTR Komponen-komponen Kritis *Rotary Valve*, Piston, dan *Nozzle* Lini D11

Nama Part	Komponen Kritis	MTTR (menit)	MTTR (jam)
<i>Rotary Valve</i>	<i>Bushing Rotary Valve</i>	125,485	2,0914
	<i>Shaft Rotary Valve</i>	251,664	4,1944
<i>Piston</i>	<i>Seal Piston</i>	81,9272	1,3655
<i>Nozzle</i>	<i>Seal Stick Nozzle</i>	92,4812	1,5414

Sumber: Hasil uji distribusi data Tr komponen kritis lini D11

4.3.6 Biaya Perawatan

Biaya perawatan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan.

1. Biaya Kegagalan (Cf)

Biaya kegagalan adalah biaya yang dikeluarkan apabila terjadi kerusakan pada item atau komponen mesin produksi. Biaya kegagalan terdiri dari biaya atau harga komponen yang mengalami kerusakan (Cr), biaya kerugian produksi atau *lost production cost* (Co), dan biaya tenaga kerja *maintenance* yang melaksanakan perbaikan terhadap kerusakan yang terjadi (Cw). Rumus dari biaya kegagalan ditunjukkan oleh rumus 2.20.

Biaya kerugian produksi atau *lost production cost* merupakan biaya yang diakibatkan oleh terhentinya proses produksi akibat kerusakan mesin yang terjadi. Biaya kerugian produksi adalah hasil perkalian antara kecepatan produksi mesin (*pieces/hour*) dengan harga produk per *pieces*. Lini D12 memiliki kecepatan produksi 27.000 *pieces/jam*, sedangkan lini D11 25.313 *pieces/jam*. Lini D12 dan D11 digunakan untuk memproduksi Pepsodent ukuran 75 gr dengan harga Rp. 2.531. Maka biaya kerugian produksi untuk lini D12 dan D11 adalah:

- Co D12 = Kecepatan produksi (*pieces/hour*) x harga produk (Rp/*pieces*)
 $= 27.000 \times 2.531$
 $= \text{Rp. } 68.337.000 \text{ per jam}$
- Co D11 = 25.313 x 2.531
 $= \text{Rp. } 64.067.203 \text{ per jam}$

Untuk biaya tenaga kerja *maintenance* (Cw), perlu diketahui bahwa tiap *shift* kerja diisi oleh 2 tenaga kerja *maintenance*, kecuali *shift* pagi sebanyak 8 orang yang terdiri dari 2 orang tenaga kerja *maintenance shift* dan 6 orang tenaga kerja *corrective* dan *preventive maintenance*. Diasumsikan bahwa semua tenaga kerja *maintenance* memiliki kemampuan yang sama sehingga memiliki gaji yang

sama. Dalam 1 bulan terdiri dari 25 hari kerja, dan tiap *shift* terdiri dari 8 jam kerja. Sehingga jumlah jam kerja tenaga kerja *maintenance* dalam 1 bulan adalah $25 \times 8 = 200$ jam/bulan. Gaji yang didapatkan adalah Rp. 1.000.000/bulan, maka gaji tenaga kerja *maintenance* dalam jam adalah $\frac{Rp.1.000.000}{200 \text{ jam}} = Rp.5000$ per jam.

Berikut ini cara dalam menghitung biaya kegagalan untuk *seal shut rod nozzle*:

$$\begin{aligned} C_f &= C_r + MTTR(C_o + C_w) \\ &= 50000 + 0,9863 (68337000 + 5000) \\ &= \text{Rp. } 67.455.828,50 \text{ per siklus} \end{aligned}$$

Tabel 4.17 menunjukkan seluruh biaya kegagalan dari setiap komponen kritis pada lini D12 dan D11

2. Biaya Perawatan (C_M)

Biaya perawatan merupakan biaya yang digunakan untuk merawat komponen seperti penggunaan *grease* (pelicin), penggantian mur dan baut, dan lain-lain. Tabel 4.18 menunjukkan biaya perawatan yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk masing-masing komponen kritis. Berikut ini merupakan cara dalam menghitung biaya perawatan komponen *seal shut rod nozzle*:

$$\begin{aligned} C_M &= MTTR (\text{Konsumsi perjam} + C_o) \\ &= 0,9863 (1644,605 + 68337000) \\ &= \text{Rp. } 67.401.545,83 \text{ per siklus} \end{aligned}$$

4.3.7 Interval Perawatan Efektif

Setelah mendapatkan jenis distribusi dari waktu antar kerusakan dan waktu lama perbaikan, biaya kegagalan dan biaya perawatan, dengan menggunakan rumus 2.19 maka interval waktu perawatan efektif bisa didapatkan. Berikut ini perhitungan untuk interval perawatan efektif dari *Bushing rotary valve* dan *Seal stick nozzle*.

$$\begin{aligned} TM \text{ Bushing rotary valve} &= \eta \times \left[\frac{C_M}{C_F (\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \\ &= 2647,14 \times \left[\frac{67401545,83}{67455828,50 (3,54947 - 1)} \right]^{\frac{1}{3,54947}} \\ &= 2033,225587 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$TM \text{ Seal stick nozzle} = 677,549x \left[\frac{98751210,87}{98812903,67 (0,754062 - 1)} \right]^{0,754062}$$

= operasi perhitungan *error*, karena nilai operasi yang berada di dalam tanda kurung bernilai minus dan tidak bisa dipangkatkan dengan $\frac{1}{0,754062}$. Sehingga MTTF bisa dipertimbangkan sebagai interval perawatan efektif. Begitu juga dengan hasil perhitungan TM untuk *head nozzle*, dimana MTTF dapat dipertimbangkan sebagai interval perawatan efektif.

Setelah interval perawatan efektif didapatkan (TM) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.19, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah *reliability* dan total biaya perawatan dari masing-masing *part* semakin tinggi atau sebaliknya. Untuk menguji *reliability* dari *part* menggunakan rumus 2.12 yaitu

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

, sedangkan untuk mengetahui *total cost* menggunakan rumus 2.18 yaitu

$$TC = \frac{C_F}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_M}{TM}$$

Tabel 4.17 Biaya Kegagalan Komponen-komponen Kritis

Nama komponen	Cr (Rp)	Co (Rp/jam)	Jumlah tenaga <i>maintenance</i> yang dibutuhkan (orang)	Cw (rupiah/jam)	MTTR	(Cf)
<i>Seal Shut Rod Nozzle</i>	50000	68337000	1	5000	0,9863	67455828,50
<i>Filter Nozzle</i>	40000	68337000	1	5000	1,2092	82679260,30
<i>Head Nozzle</i>	125000	68337000	1	5000	1,2073	82635891,25
<i>Bushing Rotary Valve</i>	80000	64067203	1	5000	2,0914	134081673,22
<i>Shaft Rotary Valve</i>	300000	64067203	1	5000	4,1944	269044448,26
<i>Seal Piston</i>	60000	64067203	1	5000	1,3655	87547603,16
<i>Seal Stick Nozzle</i>	55000	64067203	1	5000	1,5414	98812903,67

Sumber: Hasil pengolahan Biaya kegagalan

Tabel 4.18 Biaya Perawatan Komponen-komponen Kritis

Nama komponen	Perawatan yang dilakukan	Harga (Rp/unit)	Konsumsi perbulan (Kg)	Konsumsi perjam (Rp/jam)	Co (Rp/jam)	MTR	Biaya perawatan (Rp/siklus)
<i>Seal Shut Rod Nozzle</i>	Pemberian grease	328921	0.4	1644.605	68337000	0,9863	67401545.83
<i>Filter Nozzle</i>	Pemberian seal tape	1500	1	7.5	68337000	1,2092	82633223.36
<i>Head Nozzle</i>	Pemberian seal tape	1500	1	7.5	68337000	1,2073	82504863.68
<i>Bushing Rotary Valve</i>	Pemberian grease	328921	0.4	1644.605	64067203	2,0914	133992592
<i>Shaft Rotary Valve</i>	Pemberian grease	328921	0.5	1644.605	64067203	4,1944	268726925.3
<i>Seal Piston</i>	Pemberian grease	328921	0.5	1644.605	64067203	1,3655	87481898.71
<i>Seal Stick Nozzle</i>	Pemberian grease	328921	0.4	1644.605	64067203	1,5414	98751210.87

Sumber: Hasil pengolahan biaya perawatan

Tabel 4.19 Interval Perawatan Efektif Komponen-komponen Kritis

Nama komponen	β	η	C_M (Rp/siklus)	C_F (Rp/siklus)	TM (jam)
<i>Seal Shut Rod Nozzle</i>	1,59036	1644,15	67401545.83	67455828,50	2288.973
<i>Filter Nozzle</i>	2,11643	4288,16	82633223.36	82679260,30	4069.646
<i>Head Nozzle</i>	0,844738	2744,61	82504863.68	82635891,25	2997.69 (MTTF)
<i>Bushing Rotary Valve</i>	3,54947	2647,14	133992592	134081673,22	2033.226
<i>Shaft Rotary Valve</i>	1,29202	2224,02	268726925.3	269044448,26	5761.064
<i>Seal Piston</i>	1,06019	850,715	87481898.71	87547603,16	12040.99
<i>Seal Stick Nozzle</i>	0,754062	677,549	98751210.87	98812903,67	803.155 (MTTF)

Sumber: Hasil pengolahan biaya kegagalan, biaya perawatan, dan parameter distribusi

Untuk *part seal shut rod nozzle*, *total cost maintenance* (TC_{To}) dan *reliability* $R(To)$ untuk interval waktu perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$TC_{To} = \frac{C_F}{\eta^\beta} To^{\beta-1} + \frac{C_M}{To}$$

$$= \frac{67455828,50}{1644,15^{1,59036}} 1440^{1,59036-1} + \frac{67401545,83}{1440}$$

$$= \text{Rp. } 84745,62 \text{ per jam}$$

$$R(T_0) = e^{-\left(\frac{T_0}{\eta}\right)^\beta}$$

$$= 2,718282 \left(\frac{1440}{1644,15}\right)^{1,59036}$$

$$= 0,444905$$

Sedangkan untuk *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* $R(TM)$ untuk interval waktu perawatan hasil rancangan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$TC_{TM} = \frac{C_F}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_M}{TM}$$

$$= \frac{67455828,50}{1644,15^{1,59036}} 2288,973^{1,59036-1} + \frac{67401545,83}{2288,973}$$

$$= \text{Rp. } 79324,57 \text{ per jam}$$

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

$$= 2,718282 \left(\frac{2288,973}{1644,15}\right)^{1,59036}$$

$$= 0,184055376$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa $TC_{T_0} > TC_{TM}$, terjadi penurunan sebesar Rp. 84745,62 per jam – Rp. 79324,57 per jam = Rp. 5421,05 per jam yang dalam persentasi sebesar 6,39%. Ini berbanding lurus dengan *reliability*, dimana $R(T_0) > R(TM)$ yaitu dari 0,444905 menjadi 0,184055376, terjadi penurunan *reliability* sebesar 58,63%. Ternyata interval waktu perawatan hasil rancangan (TM) untuk *part seal shut rod nozzle* dapat menurunkan *total cost* perawatan tapi menurunkan *reliability* cukup tajam, sehingga TM tidak dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan yang efektif. Karena TM tidak memberikan hasil yang lebih baik, maka MTTF dari *seal shut rod nozzle* dapat dipertimbangkan untuk menjadi interval waktu efektif, tapi sebelumnya perlu dilakukan pengujian perhitungan terlebih dahulu.

$$TC_{MTTF} = \frac{C_F}{\eta^\beta} MTTF^{\beta-1} + \frac{C_M}{MTTF}$$

$$= \frac{67455828,50}{1644,15^{1,59036}} 1474,94^{1,59036-1} + \frac{67401545,83}{1474,94}$$

= Rp. 84177,59 per jam

$$\begin{aligned} R(\text{MTTF}) &= e^{-\left(\frac{\text{MTTF}}{\eta}\right)^\beta} \\ &= 2,718282 \left(\frac{1474,94}{1644,15}\right)^{1,59036} \\ &= 0,431119205 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi penurunan *total cost* perawatan sebesar Rp. 84745,62 per jam – Rp. 84177,59 per jam = Rp. 568,03 per jam. Tapi dari sisi *reliability* tidak terjadi peningkatan, bahkan *reliability* turun menjadi 0,444905-0,431119205 = 0,013785795. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa interval waktu perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan oleh perusahaan ($T_o = 1440$) masih lebih baik dibandingkan dengan interval waktu perawatan hasil perancangan. Ini dikarenakan *reliability* dari *part seal shut rod nozzle* masih lebih tinggi apabila menggunakan interval waktu perawatan perusahaan dibandingkan dengan *reliability* dari interval waktu perawatan hasil rancangan dan juga MTTF, walaupun *total cost* perawatan yang dihasilkan oleh interval waktu perancangan dan MTTF bisa lebih rendah dibandingkan dengan interval waktu perawatan perusahaan. *Reliability* lebih diutamakan atau menjadi fokus yang lebih penting dibandingkan dengan *total cost* perawatan karena apabila *reliability* rendah maka akan semakin besar kemungkinan suatu *part* untuk mengalami kegagalan dalam menjalankan fungsinya. Kegagalan ini akan menyebabkan kerugian sebesar *cost of failure* (Cf). Untuk *part seal shut rod nozzle*, *cost of failure* (Cf) atau biaya kegagalan yang akan ditanggung perusahaan jauh lebih besar dibandingkan dengan *total cost* perawatan, sehingga *reliability* menjadi fokus yang lebih utama dibandingkan dengan *total cost* perawatan. Hal serupa juga berlaku untuk *part filter nozzle* dan *head nozzle*, dimana T_o masih lebih baik dari interval waktu perawatan hasil perancangan yaitu TM dan MTTF.

Untuk *part filter nozzle*, *total cost maintenance* (TC_{T_o}) dan *reliability* $R(T_o)$ untuk interval waktu perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$TC_{T_o} = \frac{C_F}{\eta^\beta} T_o^{\beta-1} + \frac{C_M}{T_o}$$

$$= \frac{82679260,3}{4288,16^{2,116430}} 720^{2,116430-1} + \frac{82633223,36}{720}$$

$$= \text{Rp. } 117398,4 \text{ per jam}$$

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

$$= 2,718282 \left(\frac{720}{4288,16}\right)^{2,116430}$$

$$= 0,977357$$

Sedangkan untuk *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* $R(TM)$ untuk interval waktu perawatan hasil rancangan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$TC_{TM} = \frac{C_F}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_M}{TM}$$

$$= \frac{82679260,3}{4288,16^{2,116430}} 4069,646^{2,116430-1} + \frac{82633223,36}{4069,646}$$

$$= \text{Rp. } 38492 \text{ per jam}$$

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

$$= 2,718282 \left(\frac{4069,646}{4288,16}\right)^{2,116430}$$

$$= 0,408520378$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa $TC_{T_o} > TC_{TM}$, terjadi penurunan sebesar Rp. 117398,4 per jam – Rp. 38492 per jam = Rp. 78906,4 per jam yang dalam persentasi sebesar 67,21%. Ini berbanding lurus dengan *reliability*, dimana $R(T_o) > R(TM)$ yaitu dari 0,977357 menjadi 0,408520378, terjadi penurunan *reliability* sebesar 58,2%. Ternyata interval waktu perawatan hasil rancangan (TM) untuk *part filter nozzle* dapat menurunkan *total cost* perawatan tapi menurunkan *reliability*, sehingga TM tidak dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan yang efektif. Karena TM tidak memberikan hasil yang lebih baik, maka MTTF dari *part filter nozzle* dapat dipertimbangkan untuk menjadi interval waktu efektif, tapi sebelumnya perlu dilakukan pengujian perhitungan terlebih dahulu.

$$TC_{MTTF} = \frac{C_F}{\eta^\beta} MTTF^{\beta-1} + \frac{C_M}{MTTF}$$

$$= \frac{82679260,3}{4288,16^{2,116430}} 3797,82^{2,116430-1} + \frac{82633223,36}{3797,82}$$

$$= \text{Rp. } 38594,45 \text{ per jam}$$

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

$$= 2,718282 \left(-\frac{3797,82}{4288,16}\right)^{2,116430}$$

$$= 0,461455876$$

Dari hasil perhitungan *total cost* perawatan dan *reliability* dengan menggunakan MTTF sebagai interval waktu perawatan didapatkan *total cost* perawatan yang lebih murah tetapi dengan *reliability* yang lebih rendah dari hasil penerapan T_o . Maka T_o masih lebih baik daripada TM dan MTTF sehingga dapat diajukan menjadi interval waktu perawatan efektif.

Untuk *part head nozzle*, *total cost maintenance* (TC_{T_o}) dan *reliability* $R(T_o)$ untuk interval waktu perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\text{TC}_{T_o} = \frac{C_F}{\eta^\beta} T_o^{\beta-1} + \frac{C_M}{T_o}$$

$$= \frac{82635891,2}{2744,61^{0,844738}} 2880^{0,844738-1} + \frac{82504863,68}{2880}$$

$$= \text{Rp. } 58531,7 \text{ per jam}$$

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

$$= 2,718282 \left(-\frac{2880}{2744,61}\right)^{0,844738}$$

$$= 0,35292$$

Sedangkan untuk *total cost maintenance* (TC_{MTTF}) dan *reliability* $R(\text{MTTF})$ untuk interval waktu perawatan hasil rancangan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\text{TC}_{\text{MTTF}} = \frac{82635891,2}{2744,61^{0,844738}} 2997,69^{0,844738-1} + \frac{82504863,68}{2997,69}$$

$$= \text{Rp. } 57221,73 \text{ per jam}$$

$$\begin{aligned}
 R(\text{MTTF}) &= e^{-\left(\frac{\text{MTTF}}{\eta}\right)^\beta} \\
 &= 2,718282 \left(\frac{2997,69}{2744,61}\right)^{0,844738} \\
 &= 0,340495141
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa $\text{TC}_{\text{To}} > \text{TC}_{\text{MTTF}}$, terjadi penurunan sebesar Rp. 58531,7 per jam – Rp. 57221,73 per jam = Rp. 1309,37 per jam yang dalam persentasi sebesar 2,24%. Ini berbanding lurus dengan *reliability*, dimana $R(\text{To}) > R(\text{MTTF})$ yaitu dari 0,35292 menjadi 0,340495141, terjadi penurunan *reliability* sebesar 3,52%. Ternyata interval waktu perawatan hasil rancangan dimana untuk part *head nozzle* ini menggunakan MTTF untuk dapat menurunkan *total cost* perawatan tapi menurunkan *reliability*, sehingga MTTF tidak dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan yang efektif. Maka To untuk *head nozzle* masih lebih baik dibandingkan dengan MTTF.

Untuk part *bushing rotary valve*, *total cost maintenance* (TC_{To}) dan *reliability* $R(\text{To})$ untuk interval waktu perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{TC}_{\text{To}} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} \text{To}^{\beta-1} + \frac{C_M}{\text{To}} \\
 &= \frac{134081673}{2647,14^{3,549470}} 2880^{3,549470-1} + \frac{133992592}{2880} \\
 &= \text{Rp. } 109322,8 \text{ per jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R(\text{To}) &= e^{-\left(\frac{\text{To}}{\eta}\right)^\beta} \\
 &= 2,718282 \left(\frac{2880}{2647,14}\right)^{3,549470} \\
 &= 0,259537
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* $R(\text{TM})$ untuk interval waktu perawatan hasil rancangan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{TC}_{\text{TM}} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} \text{TM}^{\beta-1} + \frac{C_M}{\text{TM}} \\
 &= \frac{134081673}{2647,14^{3,549470}} 2033,26^{3,549470-1} + \frac{133992592}{2033,26} \\
 &= \text{Rp. } 91750,58 \text{ per jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R(TM) &= e^{-\left(\frac{TM}{\eta}\right)^\beta} \\
 &= 2,718282 \left(-\frac{2033,26}{2647,14}\right)^{3,549470} \\
 &= 0,675719121
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa $TC_{T_0} > TC_{TM}$, terjadi penurunan sebesar Rp. 109322,8 per jam – Rp. 91750,58 per jam = Rp. 17572,22 per jam yang dalam persentasi sebesar 16,07%. Ini berbanding terbalik dengan *reliability*, dimana $R(T_0) < R(TM)$ yaitu dari 0,259537 menjadi 0,675719121, terjadi peningkatan *reliability* sebesar 160,3558%. Ternyata interval waktu perawatan hasil rancangan (TM) untuk *part bushing rotary valve* dapat menurunkan *total cost* perawatan dan meningkatkan *reliability*, sehingga TM dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan yang efektif.

Untuk *part shaft rotary valve*, *total cost maintenance* (TC_{T_0}) dan *reliability* $R(T_0)$ untuk interval waktu perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 TC_{T_0} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} T_0^{\beta-1} + \frac{C_M}{T_0} \\
 &= \frac{269044448}{2.224,020^{1,292020}} 2880^{1,292020-1} + \frac{268726925}{2880} \\
 &= \text{Rp. } 223764,5 \text{ per jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R(T_0) &= e^{-\left(\frac{T_0}{\eta}\right)^\beta} \\
 &= 2,718282 \left(-\frac{2880}{2224,20}\right)^{1,292020} \\
 &= 0,247467
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* $R(TM)$ untuk interval waktu perawatan hasil rancangan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 TC_{TM} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_M}{TM} \\
 &= \frac{269044448}{2.224,020^{1,292020}} 5761,064^{1,292020-1} + \frac{268726925}{5761,064} \\
 &= \text{Rp. } 206378,8 \text{ per jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R(TM) &= e^{-\left(\frac{TM}{\eta}\right)^\beta} \\
 &= 2,718282 \left(-\frac{5761,064}{2224,20}\right)^{1,292020} \\
 &= 0,032699957
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa $TC_{T_0} > TC_{T_M}$, terjadi penurunan sebesar Rp. 223764,5 per jam – Rp. 206378,8 per jam = Rp. 17385,7 per jam yang dalam persentasi sebesar 7,77%. Ini berbanding lurus dengan *reliability*, dimana $R(T_0) > R(TM)$ yaitu dari 0,247467 menjadi 0,032699957, terjadi penurunan *reliability* sebesar 86,79%. Ternyata interval waktu perawatan hasil rancangan (TM) untuk *part shaft rotary valve* dapat menurunkan *total cost* perawatan tapi menurunkan *reliability*, sehingga TM tidak dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan yang efektif. Karena TM tidak memberikan hasil yang lebih baik, maka MTTF dari *part shaft rotary valve* dapat dipertimbangkan untuk menjadi interval waktu efektif, tapi sebelumnya perlu dilakukan pengujian perhitungan terlebih dahulu.

$$\begin{aligned}
 TC_{MTTF} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} MTTF^{\beta-1} + \frac{C_M}{MTTF} \\
 &= \frac{269044448}{2.224,020^{1,292020}} 2056,63^{1,292020-1} + \frac{268726925}{2056,63} \\
 &= \text{Rp. 248903 per jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R(MTTF) &= e^{-\left(\frac{MTTF}{\eta}\right)^\beta} \\
 &= 2,718282 \left(-\frac{2056,63}{2224,20}\right)^{1,292020} \\
 &= 0,405009449
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan *total cost* perawatan dari Rp. 223764,5 per jam menjadi 248903 atau peningkatan sebesar Rp. 25138,5 per jam. Tapi dari sisi *reliability* tidak terjadi peningkatan, *reliability* meningkat dari 0,247467 menjadi 0,405009449, peningkatan sebesar 63,66%. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa interval waktu perawatan untuk *part shaft rotary valve* dengan menggunakan MTTF dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan efektif. Ini dikarenakan *reliability* menjadi fokus yang lebih utama dibandingkan *total*

cost perawatan. Hal seperti ini yaitu digunakannya MTTF sebagai interval waktu perawatan efektif terjadi pada *part seal piston* dan *seal stick nozzle*.

Untuk *part seal piston*, *total cost maintenance* (TC_{To}) dan *reliability* $R(To)$ untuk interval waktu perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} TC_{To} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} To^{\beta-1} + \frac{C_M}{To} \\ &= \frac{87547603,2}{850,72^{1,060190}} 1440^{1,060190-1} + \frac{87481898,71}{1440} \\ &= \text{Rp. } 166974,3 \text{ per jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(To) &= e^{-\left(\frac{To}{\eta}\right)^\beta} \\ &= 2,718282 \left(\frac{1440}{850,72}\right)^{1,060190} \\ &= 0,174265 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk *total cost maintenance* (TC_{TM}) dan *reliability* $R(TM)$ untuk interval waktu perawatan hasil rancangan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} TC_{TM} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_M}{TM} \\ &= \frac{87547603,2}{850,72^{1,060190}} 12040,99^{1,060190-1} + \frac{87481898,71}{12040,99} \\ &= \text{Rp. } 127972,1 \text{ per jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(TM) &= e^{-\left(\frac{TM}{\eta}\right)^\beta} \\ &= 2,718282 \left(\frac{12040,99}{850,72}\right)^{1,060190} \\ &= 0,000000062 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa $TC_{To} > TC_{TM}$, terjadi penurunan sebesar Rp. 166974,3 per jam – Rp. 127972,1 per jam = Rp. 39002,2 per jam yang dalam persentasi sebesar 23,36%. Ini berbanding lurus dengan *reliability*, dimana $R(To) > R(TM)$ yaitu dari 0,174265 menjadi 0,000000062, terjadi penurunan *reliability* sebesar 99,99%. Ternyata interval waktu perawatan hasil rancangan (TM) untuk *part seal piston* dapat menurunkan *total cost* perawatan tapi menurunkan *reliability*, sehingga TM tidak dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan yang

efektif. Karena TM tidak memberikan hasil yang lebih baik, maka MTTF dari *part seal piston* dapat dipertimbangkan untuk menjadi interval waktu efektif, tapi sebelumnya perlu dilakukan pengujian perhitungan terlebih dahulu.

$$\begin{aligned} TC_{\text{MTTF}} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} MTTF^{\beta-1} + \frac{C_M}{MTTF} \\ &= \frac{87547603,2}{850,72^{1,060190}} 831,41^{1,060190-1} + \frac{87481898,71}{831,41} \\ &= \text{Rp. } 207989,4 \text{ per jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(\text{MTTF}) &= e^{-\left(\frac{MTTF}{\eta}\right)^\beta} \\ &= 2,718282 \left(\frac{831,41}{850,72}\right)^{1,060190} \\ &= 0,376830238 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan *total cost* perawatan dan *reliability* dengan menggunakan MTTF sebagai interval waktu perawatan didapatkan *total cost* perawatan yang lebih tinggi tetapi dengan *reliability* yang lebih tinggi pula dari hasil penerapan T_o dan TM. Maka MTTF dapat diajukan menjadi interval waktu perawatan efektif.

Untuk *part seal stick nozzle*, *total cost maintenance* (TC_{T_o}) dan *reliability* $R(T_o)$ untuk interval waktu perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} TC_{T_o} &= \frac{C_F}{\eta^\beta} T_o^{\beta-1} + \frac{C_M}{T_o} \\ &= \frac{98812903,7}{677,55^{0,754062}} 2160^{0,754062-1} + \frac{98751210,87}{2160} \\ &= \text{Rp. } 155376,1 \text{ per jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R(T_o) &= e^{-\left(\frac{T_o}{\eta}\right)^\beta} \\ &= 2,718282 \left(\frac{2160}{677,55}\right)^{0,754062} \\ &= 0,090984 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk *total cost maintenance* (TC_{MTTF}) dan *reliability* $R(\text{MTTF})$ untuk interval waktu perawatan hasil rancangan berturut-turut adalah sebagai berikut

$$TC_{MTTF} = \frac{C_F}{\eta^\beta} MTTF^{\beta-1} + \frac{C_M}{MTTF}$$

$$= \frac{98812903,7}{677,55^{0,754062}} 803,155^{0,754062-1} + \frac{98751210,87}{803,155}$$

$$= \text{Rp. } 262818,9 \text{ per jam}$$

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

$$= 2,718282 - \left(\frac{803,155}{677,55}\right)^{0,754062}$$

$$= 0,320835731$$

Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa $TC_{To} < TC_{MTTF}$, terjadi peningkatan dari Rp. 155376,1 per jam menjadi Rp. 262818,9 per jam, yang dalam persentasi sebesar 40,88%. Sedangkan untuk *reliability*, terjadi peningkatan dimana $R(To) < R(MTTF)$ yaitu dari 0,090984 menjadi 0,320835731, terjadi peningkatan *reliability* sebesar 252,6442%. Ternyata interval waktu perawatan dengan menggunakan MTTF untuk *part seal stick nozzle* dapat meningkatkan *reliability*, sehingga MTTF dapat diajukan sebagai interval waktu perawatan yang efektif. Tabel 4.20 berikut ini merupakan interval waktu perawatan efektif (TM) yang dapat diajukan pada perusahaan.

Tabel 4.20 Interval Perawatan Efektif Komponen-komponen Kritis yang Dapat Diajukan Untuk Perusahaan

Nama komponen	β	η	C_M (Rp/siklus)	C_F (Rp/siklus)	TM (jam)
Seal Shut Rod Nozzle	1,59036	1644,15	67401545.83	67455828,50	1440
Filter Nozzle	2,11643	4288,16	82633223.36	82679260,30	720
Head Nozzle	0,844738	2744,61	82504863.68	82635891,25	2880
Bushing Rotary Valve	3,54947	2647,14	133992592	134081673,22	2033.226
Shaft Rotary Valve	1,29202	2224,02	268726925.3	269044448,26	2056,63
Seal Piston	1,06019	850,715	87481898.71	87547603,16	831,41
Seal Stick Nozzle	0,754062	677,549	98751210.87	98812903,67	803.155

Sumber: Data yang diolah

4.3.8 RCM II *Decision Worksheet*

Seperti yang telah diuraikan pada sub bab 3.4.6.1.4, RCM *decision diagram* terdiri dari 5 bagian utama, yaitu:

1. *Failure Consequences*

Pemetaan atau penentuan *failure consequences* dilakukan menggunakan RCM II *decision diagram*. Lembar RCM II *decision diagram* dapat dilihat pada Lampiran 6. Pemetaan dimulai dengan menjawab pertanyaan pada pojok kiri atas RCM II *decision diagram*. Misalnya untuk *information reference* 1-A-1, “apakah operator mengetahui jenis kegagalan dalam kondisi normal?”, jawabannya adalah “ya”, maka pada kolom H dalam RCM Decision Worksheet ditulis Y dan dilanjutkan ke pertanyaan berikutnya sesuai arahan dari RCM II *decision diagram*, sehingga nanti akan didapatkan jenis tindakan perawatan yang sesuai dengan penyebab terjadinya kegagalan/kerusakan. Tabel 4.21 berisi tentang penjelasan dari setiap *failure consequences* yang terdapat pada RCM II *decision diagram*.

Tabel 4.21 *Failure Consequences*

Failure Consequences	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 <i>output</i> produksi	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada <i>output</i> produksi

Sumber: Moubray, 1997:203

2. *Proactive Task and Default Action*

Penjelasan tentang komponen-komponen *proactive task and default action* yang terdapat pada RCM II *decision diagram* ditunjukkan oleh Tabel 4.22. Apabila aktivitas *proactive task and default action* tidak dapat mengatasi atau mengantisipasi kegagalan yang terjadi maka aktivitas perawatan digolongkan kedalam *no scheduled maintenance* dimana tindakan *redesign* terhadap peralatan perlu dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya kegagalan.

3. Propose Task

4. Initial Interval

5. Can be done

Tabel 4.22 Proactive Task and Default Action

Proactive task	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 subsistem 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 : John Moubray, 1997:205

Berikut ini merupakan RCM II *decission worksheet* komponen-komponen kritis yang menjadi fokus utama penelitian ini, ditunjukkan oleh Tabel 4.23 dan 4.24 berturut-turut untuk RCM II *decission worksheet* lini D12 dan D11.

Tabel 4.23 RCM Decision Worksheet D12

RCM II DECISION WORKSHEET			SYSTEM : <i>Mechanical</i>									Facillitator :				
			SUB-SYSTEM : <i>Nozzle Lini D12</i>									Auditor :				
Information reference			Consequence evaluation				H ₁	H ₂	H ₃	Default Action				Propose task	Initial Interval	Can be done by
							S ₁	S ₂	S ₃							
F	FF	FM	H	S	E	O	O ₁	O ₂	O ₃	H ₄	H ₅	S ₄				
1	A	1	Y	T	T	Y	Y						<i>Scheduled on condition task.</i> Perlu dilakukan pemeriksaan secara periodik pada saat interval perawatan efektif. Periksa apakah terjadi <i>filling tailing</i> dan juga lihat bagian atas <i>stick nozzle</i> apakah terjadi kebocoran pasta.	1440	Mekanik	
2	A	1	Y	T	T	Y	Y						<i>Scheduled on condition task.</i> Melakukan pemeriksaan pada saat interval perawatan efektif, apakah terjadi <i>tailing</i> pada <i>nozzle</i> pada saat proses <i>filling</i> .	720	Mekanik	
3	A	1	Y	T	T	Y	Y						<i>Scheduled on condition task.</i> Melakukan pemerikasaan apakah terjadi <i>filling tailing</i> , dan juga membuka <i>head nozzle</i> apakah permukaan bagian dalam sudah mengalami keausan atau belum.	2880	Mekanik	

Sumber : Hasil pemetaan dengan menggunakan RCM II *Decision Diagram* untuk komponen kritis lini D12

Tabel 4.24 RCM Decision Worksheet D11

RCM II DECISION WORKSHEET			SYSTEM : Mechanical										Facilitator :		
			SUB-SYSTEM : Nozzle,Piston, Rotary valve D11										Auditor :		
Information reference			Consequence evaluation				H ₁	H ₂	H ₃	Default Action			Propose task	Initial Interval	Can be done by
							S ₁	S ₂	S ₃						
F	FF	FM	H	S	E	O	O ₁	O ₂	O ₃	H ₄	H ₅	S ₄			
1	A	1	T				T	T	Y				Scheduled discard task. Melakukan penggantian pada part <i>bushing rotary valve</i> pada saat interval perawatan efektif.	2033,226	Mekanik
2	A	1	Y	T	T	Y	Y						Scheduled on condition task. Melakukan pemeriksaan pada <i>shaft rotary valve</i> apakah telah mengalami keausan yang berpotensi akan menyebabkan patahnya <i>shaft</i> , memerlukan penggantian atau tidak pada interval waktu perawatan efektif.	2056,63	Mekanik
3	A	1	Y	T	T	Y	Y						Scheduled on condition task. Periksa apakah terjadi <i>filling</i> yang labil pada <i>tube</i> dan juga adanya kebocoran pasta pada bagian belakang piston. Periksa apakah permukaan karet <i>seal</i> piston telah mengalami goresan yang parah atau tidak, dan juga elastisitas dari <i>seal</i> piston, karena akan semakin mudah rusak apabila telah kehilangan elastisitasnya.	831,41	Mekanik
4	A	1	Y	T	T	Y	Y						Scheduled on condition task. Periksa apakah terjadi volume <i>filling</i> labil, lihat apakah karet <i>seal stick nozzle</i> telah mulai rusak atau tidak. Lakukan pergantian bila diperlukan.	803,16	Mekanik

Sumber : Hasil pemetaan dengan menggunakan RCM II Decision Diagram untuk komponen kritis lini D11

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil dari pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan dan dijabarkan pada bab sebelumnya (Bab IV). Pembahasan dilakukan pada Penentuan Lini Produksi dan Komponen Mesin Kritis, *Functional Block Diagram*, *system function and function failure*, *Failure Mode and Effect Analysis*, Total Biaya Perawatan dan Interval Perawatan Efektif, dan *RCM Decision Worksheet*.

5.1 Pembahasan Penentuan Lini Produksi dan Komponen Mesin Kritis

Data yang diolah adalah lama waktu *breakdown* dari setiap lini produksi dental robotik (D10, D11, D12, D15) karena lama waktu *breakdown* dapat dijadikan acuan, dimana semakin tinggi waktu *breakdown* mesin maka akan semakin tinggi pula kerugian akibat *loss-production* yang disebabkan oleh berhentinya kegiatan produksi karena mesin rusak, dan tentunya akan semakin mengurangi efisiensi produksi dari lini produksi tersebut. Dengan menggunakan diagram pareto, maka didapatkan lini produksi kritis beserta komponen-komponen kritisnya yaitu lini D12 dengan komponen kritis antara lain *seal shut rod nozzle*, *filter nozzle*, dan *head nozzle*, dan lini D11 dengan komponen-komponen kritis antara lain *bushing rotary valve*, *shaft rotary valve*, *seal stick nozzle*, dan *seal piston*.

5.2 Pembahasan *Functional Block Diagram (FBD)*

3. *Functional Block Diagram* dari *nozzle* unit pengisian lini D12

Dari *functional block diagram* pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa masing-masing unit *service* tersusun secara seri. Apabila terjadi gangguan pada salah satu unit *service* pada sistem *nozzle* ini akan mempengaruhi kerja dari unit *service* yang lainnya pada sistem tersebut, yang terjadi adalah adanya produk cacat yang dihasilkan yaitu volume yang labil atau tidak sesuai dengan toleransi yang telah ditentukan oleh perusahaan. Dampak lainnya adalah apabila terjadi *filling tailing* akibat *head nozzle* yang aus, maka akan mempengaruhi unit *service sealing*, hasil *sealing* tidak akan bagus, terjadi kebocoran pada *tube* pada bagian yang terkena proses *sealing*. Oleh

karena itu dibutuhkan aktivitas *maintenance* atau perawatan yang dapat lebih meningkatkan *reliability* dari komponen-komponen unit *service* tersebut.

4. *Functional Block Diagram* dari *nozzle* unit pengisian lini D11

Dari diagram yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa susunan unit *service* adalah seri, apabila salah satu terganggu maka proses berikutnya yang melibatkan unit *service* lain akan terganggu juga. Contohnya adalah apabila *shaft rotary valve* aus maka proses *filling* akan terganggu karena volume pengisian akan labil, maka terjadi produk cacat. Apabila *shaft rotary valve* patah maka satu rangkaian mesin pada lini D11 akan berhenti mendadak, yang tentunya akan mengakibatkan *lost production*. Oleh karena itu dibutuhkan aktivitas perawatan yang dapat meningkatkan *reliability* dari komponen unit *service* tersebut.

5.3 Pembahasan *Failure Mode and Effect Analysis*

Dari tabel *failure mode and effect analysis* di atas, *failure mode* yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi pada *part* kritis yang menjadi bahan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kegagalan yang disebabkan oleh usia pakai dari *part* (*lifetime condition*). Kegagalan ini diakibatkan oleh *failure rate* (kecepatan kerusakan) dari komponen yang naik. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai parameter bentuk (β) > 1 pada komponen dengan jenis distribusi weibull. Laju kerusakan akan semakin meningkat sesuai dengan pertambahan usia dari komponen tersebut.
2. Kegagalan yang disebabkan oleh kelalaian operator yang tidak memperhatikan munculnya tanda-tanda bahwa suatu *part* sedang mengalami kegagalan fungsi. Sebagai contoh *seal stick nozzle* yang aus akan mengakibatkan bocornya pasta ke bagian atas *nozzle*. Kejadian ini kurang mendapat perhatian dari operator mesin, hanya dibersihkan saja, tidak mendapat tindakan pencegahan atau melapor ke bagian *engineering*. Kelalaian ini juga disebabkan karena kurang dalamnya pemahaman operator tentang mesin yang sedang mereka jalankan.
3. Penggunaan *spare part* imitasi atau *spare part* yang kualitasnya lebih rendah dari *spare part* yang asli. Ini akan berdampak pada *lifetime part* yang lebih singkat, yang akhirnya akan mengganggu *plan maintenance* yang telah disusun oleh

perusahaan. Dengan kualitas yang lebih rendah maka akan semakin rendah pula *reliability* dari *part* tersebut sehingga akan semakin besar dan peluang *part* tersebut untuk mengalami kegagalan saat menjalankan fungsinya, tentunya dalam waktu yang lebih singkat pula dibandingkan dengan *sparepart* asli.

4. Kelalaian tenaga kerja *maintenance* dalam melakukan perbaikan terhadap *part* yang mengalami kerusakan. Ini dapat dilihat dari data interval waktu antar kerusakan (Tf), dimana setelah dilakukan perbaikan ternyata *part* hanya bisa bertahan selama 8 atau 16 jam (perhatikan Tf *seal stick nozzle*).
5. Kegagalan yang disebabkan kejadian diluar kondisi normal (*accident condition*). Kejadian ini merupakan kejadian diluar aktivitas produksi (*unpredictable condition*) dan tidak dapat diperhitungkan sebelumnya oleh operator, seperti *stock* cadangan *sparepart* habis sehingga mesin terpaksa tetap menggunakan *sparepart* yang telah mulai mengalami kerusakan.

Berdasarkan efek yang ditimbulkan oleh kegagalan fungsi tersebut, dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Kegagalan yang dapat berdampak berhentinya mesin produksi dalam 1 lini produksi. Seperti contoh patahnya *shaft rotary valve* yang mengakibatkan muncul peringatan dari mesin yang bersangkutan dengan terlebih dahulu berhenti mendadak secara otomatis. Kegagalan ini akan berdampak kerugian yaitu *lost production* yang diakibatkan *downtime* mesin.
2. Kegagalan yang dapat berdampak produk cacat. Seperti contoh, *filling tailing* yang disebabkan oleh *head nozzle* yang aus akan mengakibatkan proses *sealing* menjadi kurang bagus sehingga *tube* bocor. Sudah jelas bahwa produk tersebut akan *reject*. Contoh lain adalah volume *filling labil* yang diakibatkan *seal piston* aus. Apabila volume yang terisi pada *tube* tidak sesuai dengan toleransi yang ditetapkan oleh perusahaan maka produk tersebut *reject*. Kejadian volume yang labil tidak diketahui secara langsung oleh operator. Kejadian ini diketahui setelah operator menimbang *tube* satu jam sekali untuk sampel volume.

5.4 Pembahasan Total Biaya Perawatan dan Interval Perawatan Efektif

Untuk komponen kritis *seal shut rod nozzle*, setelah melakukan perhitungan dengan menggunakan Interval Perawatan Efektif (TM) dan MTTF ternyata menurunkan Total Biaya Perawatan (TC) dan menurunkan *reliability*, sehingga interval perawatan yang sekarang sedang dilaksanakan oleh perusahaan (T_o) diusulkan sebagai interval perawatan efektif karena tingkat *reliability* yang lebih tinggi dibandingkan dengan penerapan TM dan MTTF. *Reliability* lebih diutamakan atau menjadi fokus yang lebih penting dibandingkan dengan *total cost* perawatan karena apabila *reliability* rendah maka akan semakin besar kemungkinan suatu *part* untuk mengalami kegagalan dalam menjalankan fungsinya. Kegagalan ini akan menyebabkan kerugian sebesar *cost of failure* (C_f). Untuk *part seal shut rod nozzle*, *cost of failure* (C_f) atau biaya kegagalan yang akan ditanggung perusahaan jauh lebih besar dibandingkan dengan *total cost* perawatan, sehingga *reliability* menjadi fokus yang lebih utama dibandingkan dengan *total cost* perawatan. Hal serupa juga berlaku untuk *part filter nozzle* dan *head nozzle*, dimana T_o masih lebih baik dari interval waktu perawatan hasil perancangan yaitu TM dan MTTF.

Sedangkan untuk *Bushing Rotary Valve*, TM bisa diusulkan sebagai interval perawatan efektif karena berhasil meningkatkan *reliability* dari komponen tersebut dan juga menurunkan total biaya perawatan (TC). Untuk komponen kritis *seal stick nozzle*, *shaft rotary valve*, dan *seal piston* MTTF dapat dipertimbangkan sebagai interval perawatan efektif karena meningkatkan *reliability* dari komponen tersebut walaupun harus sedikit meningkatkan total biaya perawatan (TC). Ini disebabkan *reliability* menjadi fokus utama dibandingkan dengan total biaya perawatan (TC). Interval perawatan efektif yang dapat diajukan untuk perusahaan dapat dilihat pada Tabel 4.20.

5.5 Pembahasan RCM Decision Worksheet

Dari dua Tabel RCM II *Decision worksheet* (Tabel 4.24 dan Tabel 4.25), efek dari kegagalan yang terjadi mengakibatkan konsekuensi kerugian *operational capability*, dimana terjadi kerugian akibat *lost production* dan *product reject*. Aktivitas perawatan yang diambil adalah *scheduled on condition task*, untuk *part seal shut rod nozzle*, *filter nozzle*, *head nozzle*, *shaft rotary valve*, *seal piston* dan *seal stick nozzle*. Untuk *seal shut rod nozzle*, *filter nozzle* dan *head nozzle*, efek yang ditimbulkan adalah *filing tailing*,

sehingga operator harus jeli dalam melihat ujung *head nozzle* pada saat proses *filling* apakah terjadi *tailing*, dan juga melihat hasil *sealing* apakah ada yang bocor atau tidak. Dua hal tersebut dapat dilakukan sebagai inspeksi untuk melihat apakah terjadi kegagalan pada ketiga *part* tersebut selain dengan cara membongkarnya. Apabila terjadi keausan pada *part* tersebut, dilakukan *replacement* atau penggantian terhadap *part* tersebut pada interval waktu efektif. Sedangkan untuk *shaft rotary valve, seal piston dan seal stick nozzle* selain dengan cara membongkar dan melihat adanya kebocoran pasta, kegagalan tidak dapat langsung diketahui sebelum dilakukan *sampling* dengan mengambil beberapa *tube* produk setiap satu jam sekali untuk dilakukan penimbangan apakah terjadi volume *filling* yang labil, tentunya dengan menggunakan SPC (*Statistical proses control*), yakni proses pencegahan yang didasarkan atas variasi kualitas produk yang dihasilkan.

Untuk *part bushing rotary valve* memiliki dampak kegagalan yang memiliki konsekuensi *hidden failure* (kerusakan yang tersembunyi) dan berdampak *filling* labil, sehingga sangat dibutuhkan SPC untuk melihat variasi kualitas produk dari segi volume. Aktivitas yang diperlukan untuk *part* ini adalah *scheduled discard task*, yaitu tindakan *replacement* atau penggantian pada saat atau batas umur *part* tersebut. Dengan diketahuinya laju penurunan keandalan *part* maka tindakan pencegahan kegagalan dapat dilakukan. Laju penurunan keandalan *part* yang berdistribusi kerusakan weibull dengan bentuk parameter (β)>1. Hal tersebut mengindikasikan bahwa *part* memasuki masa *wear out* dimana tingkat potensial *failure* tinggi. Untuk mencegahnya maka diperlukan upaya-upaya untuk mengembalikan kondisi komponen sebelum mengalami *fail state condition*. Karena mengalami pengikisan atau aus maka *part* ini tidak bisa diperbaiki dan harus diganti. *Scheduled discard task* pada dasarnya merupakan teknik *preventive maintenance* untuk mencegah terjadinya kegagalan di tengah produksi. Teknik *Scheduled discard task* merupakan teknik penggantian komponen pada interval perawatannya tanpa memandang kondisi *item* tersebut rusak/baik. Hal itu dilakukan dengan pertimbangan beban biaya dan laju kerusakan *item* karena biaya resiko akibat kerusakan akan lebih besar apabila dibandingkan dengan beban biaya perawatan.

Tabel 5.1 Perbandingan Antara *Total Cost Maintenance* dan *Reliability* Aktual Perusahaan Dengan Interval Waktu Perawatan Efektif Hasil Rancangan

Nama komponen	TM	To	TC TM	TC To	R	R	Penurunan	Kenaikan
	(jam)	(jam)	(Rp/jam)	(Rp/jam)	TM	(To)	TC (%)	R (%)
<i>Seal Shut Rod Nozzle</i>	1440	1440	84745,6	84745,6	0,4449	0,4449	0	0
<i>Filter Nozzle</i>	720	720	117398	117398	0,97736	0,97736	0	0
<i>Head Nozzle</i>	2880	2880	58531,7	58531,7	0,35292	0,35292	0	0
<i>Bushing Rotary Valve</i>	2033,23	2880	91750,6	109323	0,67572	0,25954	16,07384	160,3558
<i>Shaft Rotary Valve</i>	2056,63	2880	248903	223764	0,40501	0,24747	-11,2346 (meningkat)	63,66002
<i>Seal Piston</i>	831,41	1440	207989	166974	0,37683	0,17427	-24,5639 (meningkat)	116,2336
<i>Seal Stick Nozzle</i>	803,155	2160	262819	155376	0,32084	0,09098	-69,1503 (meningkat)	252,6442

Sumber: Hasil pengolahan interval perawatan efektif dan interval perawatan perusahaan



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan menjelaskan kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian, dimana kesimpulan tersebut menguraikan jawaban dari rumusan masalah yang dituliskan berdasarkan hasil kajian. Bab ini juga berisi beberapa saran yang diajukan oleh penulis.

6.1 Kesimpulan

1. Dari data lama *breakdown* 4 lini mesin produksi robotik tahun 2006-2008 dan data lama *breakdown* unit *service* Lini D12 dan D11 yang diakibatkan oleh terjadinya *mechanical breakdown*, dari hasil pengolahan data sebelumnya diketahui terdapat 2 lini produksi robotik yang memiliki komponen kritis yang membutuhkan perhatian antara lain:
 - 1) Unit *Filling/Pegisian* lini D12 terdapat 3 *part* kritis yaitu: *seal shut rod nozzle*, *filter nozzle*, dan *head nozzle*
 - 2) Unit *Filling/Pengisian* lini D11 terdapat 4 *part* kritis: *bushing rotary valve*, *shaft rotary valve*, *seal piston*, dan *seal stick nozzle*
2. Berdasarkan pemetaan yang telah dilakukan pada RCM II *decision diagram*, didapatkan kebijakan perawatan yang tepat untuk setiap *part* kritis antara lain sebagai berikut:
 - 1) Unit *filling* lini D12
 - a. *Seal shut rod nozzle*: konsekuensi kegagalan yang terjadi berdampak pada kategori operasional, membutuhkan jenis perawatan *scheduled on condition task* dengan melihat gejala kegagalan yang terjadi dan bisa diamati secara visual seperti ada atau tidaknya pasta yang bocor di bagian atas *nozzle*, cek apakah terjadi *tailing* pada ujung *nozzle*. Langkah terakhir tentunya juga dengan membongkar *part* tersebut pada interval waktu efektif. Ganti *part* bila terjadi kerusakan.
 - b. *Filter nozzle*: konsekuensi kegagalan berdampak operasional, membutuhkan aktivitas perawatan *scheduled on condition task*, dengan melihat apakah muncul gejala kegagalan seperti *tailing* yang terjadi pada ujung *nozzle* dan proses *trimming* yang kurang sempurna pada

interval waktu perawatan efektif. Apabila terjadi kerusakan dilakukan pergantian.

- c. *Head nozzle*: konsekuensi kegagalan berdampak operasional, dibutuhkan *scheduled on condition task* pada interval perawatan efektif. Periksa apakah terjadi *tailing* pada ujung *nozzle* dan proses *trimming* yang kurang bagus sehingga menyebabkan adanya *tube* yang masih bocor. Lakukan pergantian bila terjadi kerusakan.

2) Unit *filling* lini D11

- a. *Bushing rotary valve*: konsekuensi kegagalan berdampak *hidden failure* (kerusakan tersembunyi). Selain dengan cara membongkar, deteksi kegagalan menggunakan SPC (*Statistical Process Control*) dengan sampel volume *tube* tiap jamnya karena volume *filling* labil tidak kasat mata. *Scheduled discard task* merupakan aktivitas yang tepat untuk *part* ini, karena gejala kegagalan yang tak kasat mata dan harga *part* yang murah.
- b. *Shaft rotary valve*: konsekuensi kegagalan berdampak operasional, mesin langsung berhenti dan memberi peringatan pada saat *shaft rotary valve* patah. *Scheduled on condition task* pada interval waktu perawatan efektif tepat untuk *part* ini. Selain membongkar *part*, SPC digunakan sebagai alat untuk menguji variasi volume produk yang terjadi akibat *filling* labil yang ditimbulkan oleh ausnya *shaft rotary valve*.
- c. *Seal piston*: konsekuensi kegagalan berdampak operasional, *scheduled on condition task* pada interval waktu efektif dipilih sebagai aktivitas perawatan. Periksa apakah pasta bocor ke arah belakang piston, dan SPC bisa digunakan sebagai alat untuk menguji volume *filling* yang labil.
- d. *Seal stick nozzle*: konsekuensi kegagalan berdampak operasional, *Scheduled on condition task* dipilih sebagai aktivitas perawatan pada interval waktu efektif. Periksa apakah terjadi kebocoran pasta pada bagian atas *stick nozzle* yang menandakan *seal stick nozzle* aus. Selain itu SPC digunakan untuk menguji variasi volume pada *tube* yang labil.

3. Interval waktu perawatan yang efektif untuk masing-masing *part* kritis antara lain sebagai berikut:

- 1) Interval waktu perawatan yang efektif (TM) untuk unit *filling* lini D12 adalah sebagai berikut:
 - a. *Seal shut rod nozzle*: TM = 2288,97 jam, total *cost* perawatan dan *reliability* tetap
 - b. *Filter nozzle*: TM = 4069,65 jam, total *cost* dan *reliability* tetap
 - c. *Head nozzle*: TM = 2997,69 jam, total *cost* dan *reliability* tetap
- 2) Interval waktu perawatan yang efektif (TM) untuk unit *filling* lini D11 adalah sebagai berikut:
 - a. *Bushing rotary valve*: TM = 2033,23 jam, total *cost* menurun 16,07384% dan *reliability* meningkat 160,3558%
 - b. *Shaft rotary valve*: TM = 2056,63 jam, total *cost* meningkat 11,2346%, dan *reliability* meningkat 63,66002 %
 - c. *Seal piston*: TM = 831,41 jam, total *cost* meningkat 24,5639% dan *reliability* meningkat 116,2336%
 - d. *Seal stick nozzle*: TM = 803,155 jam, total *cost* meningkat 69,1503% dan *reliability* meningkat 252,6442%

6.2 Saran

1. Operator harus meningkatkan kedisiplinan dan detail dalam *record* data kerusakan yang sedang terjadi, yang meliputi jam terjadinya kerusakan, jenis kerusakan yang terjadi, penyebab kerusakan, *part* yang mengalami kerusakan, lama waktu penanganan hingga mesin kembali bekerja seperti semula. Dengan *record* yang disiplin dan detail akan menghasilkan penjadwalan dengan menggunakan RCM II ini menjadi lebih akurat.
2. Data *record* yang telah dipindahkan ke dalam komputer harus disimpan dengan baik, dengan cara *back up* menggunakan alat penyimpan data seperti DVD-R, sebagai data masa lalu (*history document*) yang sewaktu-waktu dapat digunakan untuk analisa atau peramalan penjadwalan *maintenance* yang baru.
3. Mengembangkan penelitian serupa dengan menambahkan *tools* atau parameter lain untuk membantu pendekatan terhadap RCM yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aderson, Ronald T. dan Neri, Lewis. 1990. *RCM Management and Engineering Methods*. London: Elsevier Applien Science
- Arikunto, Suhasimi. 2002. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek, edisi Revisi V*. Jakarta : Penerbit Reneka Cipta
- Blanchard, Benjamin S. 1995. *Logistics Engineering and Management*. New Jersey: Prentice Hall International Series in Industrial and system Engineering
- Budiarto, Eko. 2003. *Metodologi Penelitian Kedokteran: Sebuah Pengantar*. Jakarta: EGC
- Dhillon, B.S. 1999. *Engineering Maintainability*. London: Elsevier Science & Technology Books
- Dhillon, B. S. 2006. *Maintainability, maintenance, and reliability for engineers*. Boca Raton, Fl: 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, John. 1997. *Reliability Centered Maintainance, Second Edition*. New York: Industrial Press Inc.
- Narbuko, Cholid dan Achmadi, Abu. 2004. *Metodologi Penelitian*. Jakarta: PT. Bumi Aksara
- Nazir, M. 2005. *Metodologi Penelitian*. Bogor: Ghalia Indonesia
- Saukah, Ali. 2000. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Malang: UM Press
- Smith, M Anthony. 1993. *Reliability Centered Maintainance*. McGraw Hill, Inc
- Stephens, Mahew P. 2004. *Productivity and Reliability Based Management*. New Jersey: Pearson Prentice Hall



LAMPIRAN 1
Spesifikasi dan Kapasitas Mesin Tahun 2008

Lampiran 1: Spesifikasi dan kapasitas mesin tahun 2008

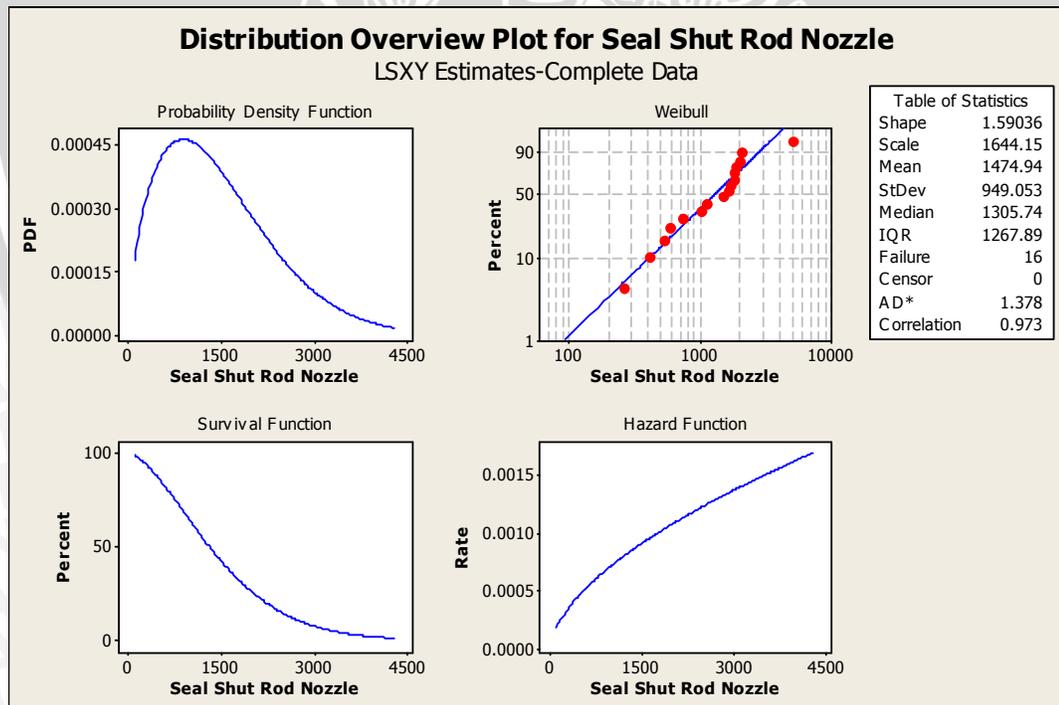
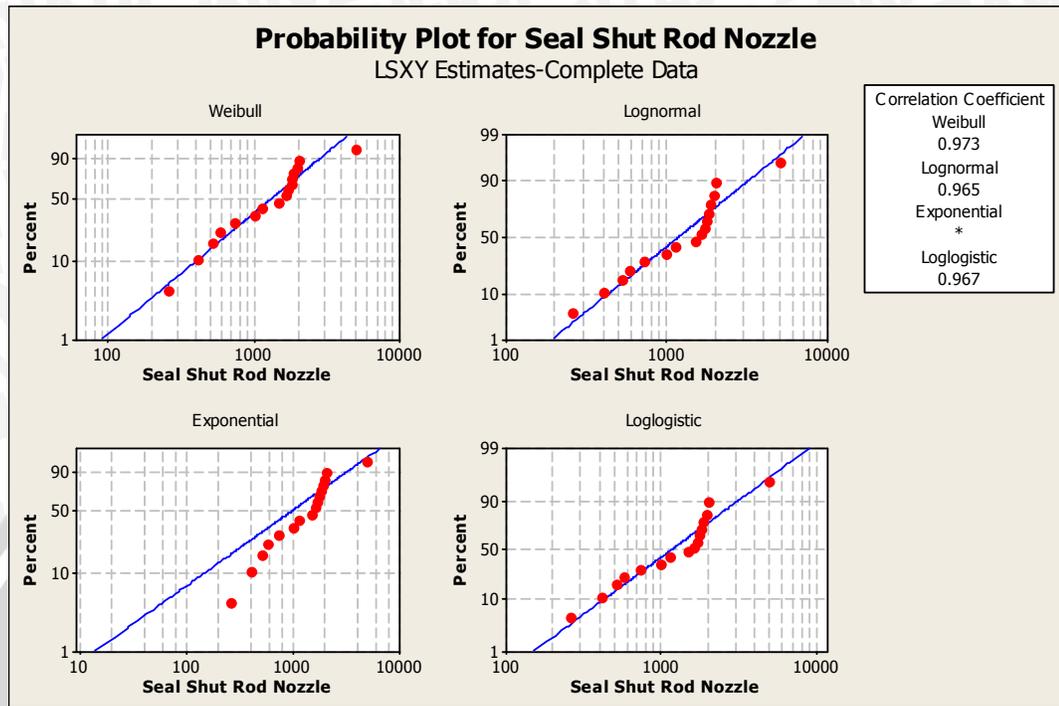
Line Identifier		PACK DENTAL L03	PACK DENTAL L04	PACK DENTAL L05	PACK DENTAL L06	PACK DENTAL L07	PACK DENTAL L08	PACK DENTAL L09	PACK DENTAL L10	PACK DENTAL L11	PACK DENTAL L12	PACK DENTAL L13	PACK DENTAL L14	PACK DENTAL L15	
Machine Identifier		LD03/NM-2002	LD04/NM-2002	LD05/NM-2002	LD06/IWKA-TFS30	LD07/IWKA-TFS303	LD08/IWKA-TFS303	LD09/IWKA-TFS30	LD10/NM-3002	LD11/NM-5002	LD12/IWKA-TFS806	LD13/IWKA-TU200	LD14/IWKA-TU51	LD15/IWKA-TFS806	
Product Type		DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	DENT	TOTAL
Packaging Type															
Design Speed	pcs/min	128,47	125,75	118,86	135,84	250,00	275,00	140,00	225,00	421,88	450,00	150,00	150,00	450,00	2.884,29
Volume Produced - Good Product	'000 pcs	25.775,78	27.131,98	21.211,27	36.107,16	41.091,70	64.559,23	44.185,58	46.775,57	80.060,26	100.209,79	25.789,10	23.568,19	137.231,86	673.697,47
Volume Produced - Good Product	ton(kltr)	3.325,88	2.303,05	2.681,24	6.106,45	3.089,65	4.487,77	8.384,98	5.338,82	6.006,95	7.521,93	647,02	590,39	10.292,39	60.776,52
Volume Produced - Off Spec Product	'000 pcs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



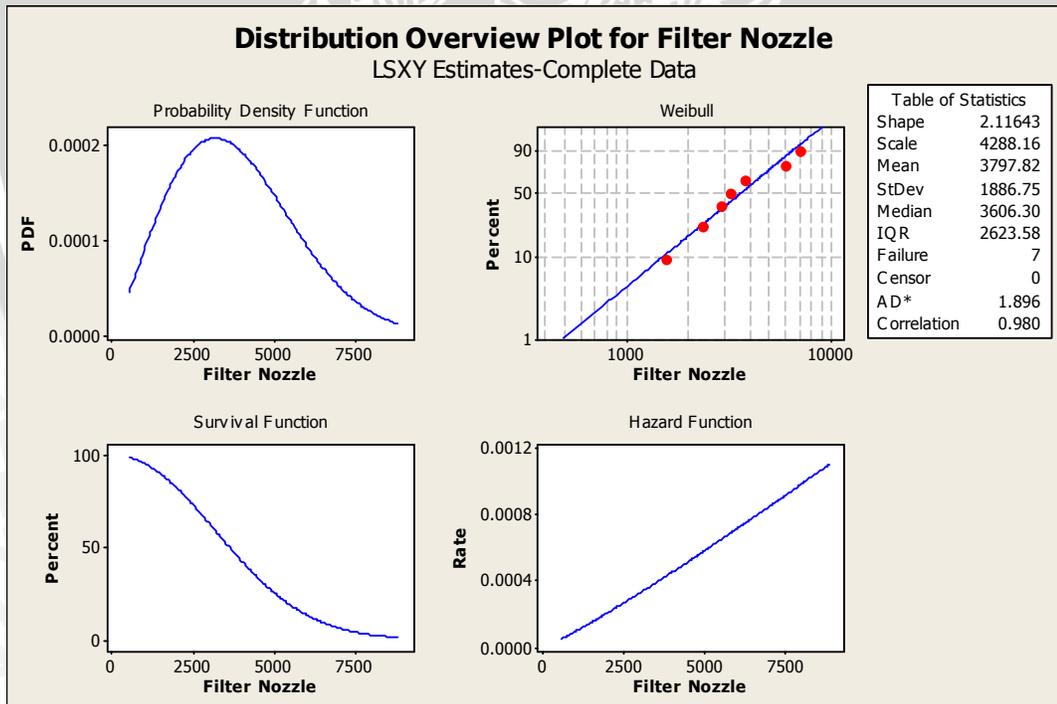
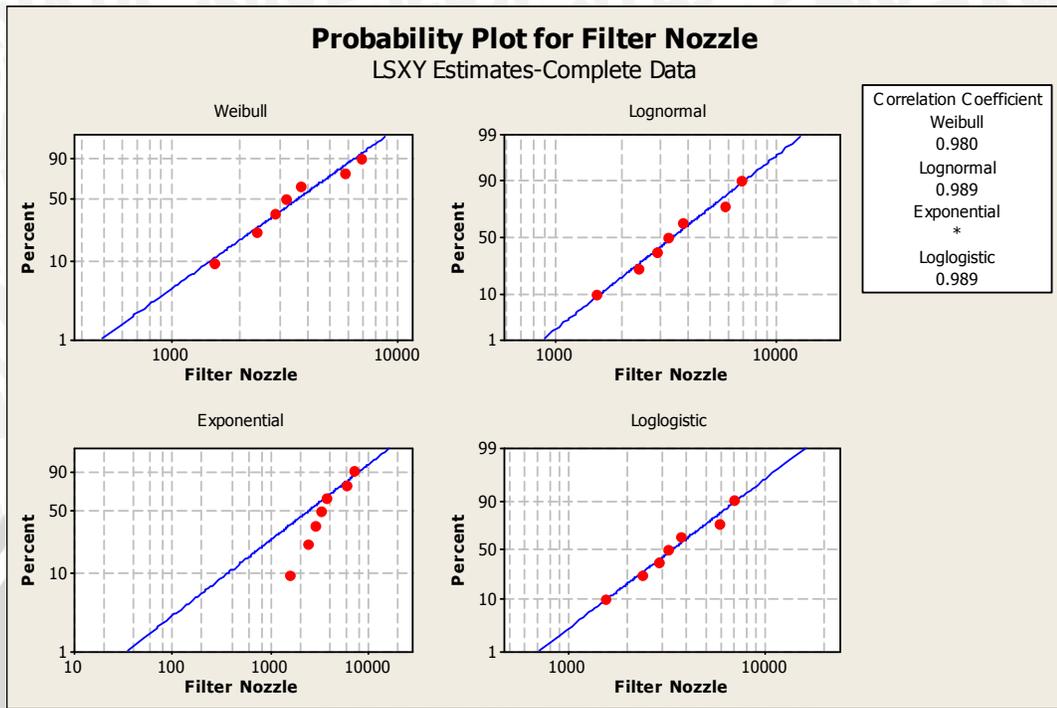
LAMPIRAN 2

Hasil Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (Tf)
Komponen Kritis Lini D12 Dengan Bantuan *Softwatre*
Minitab 14

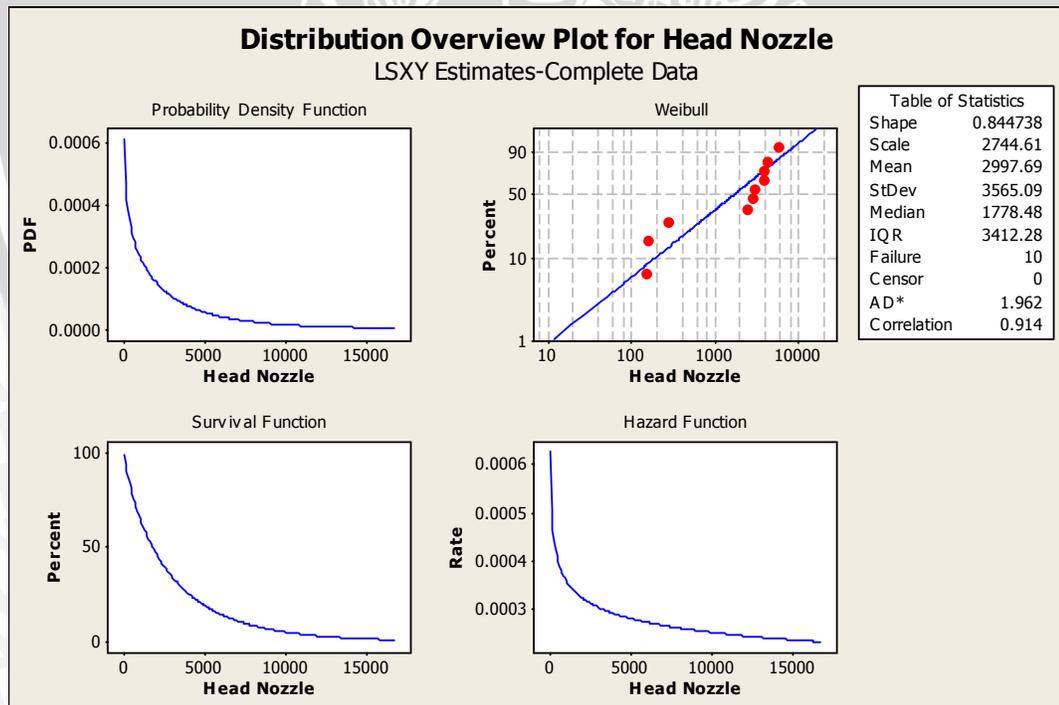
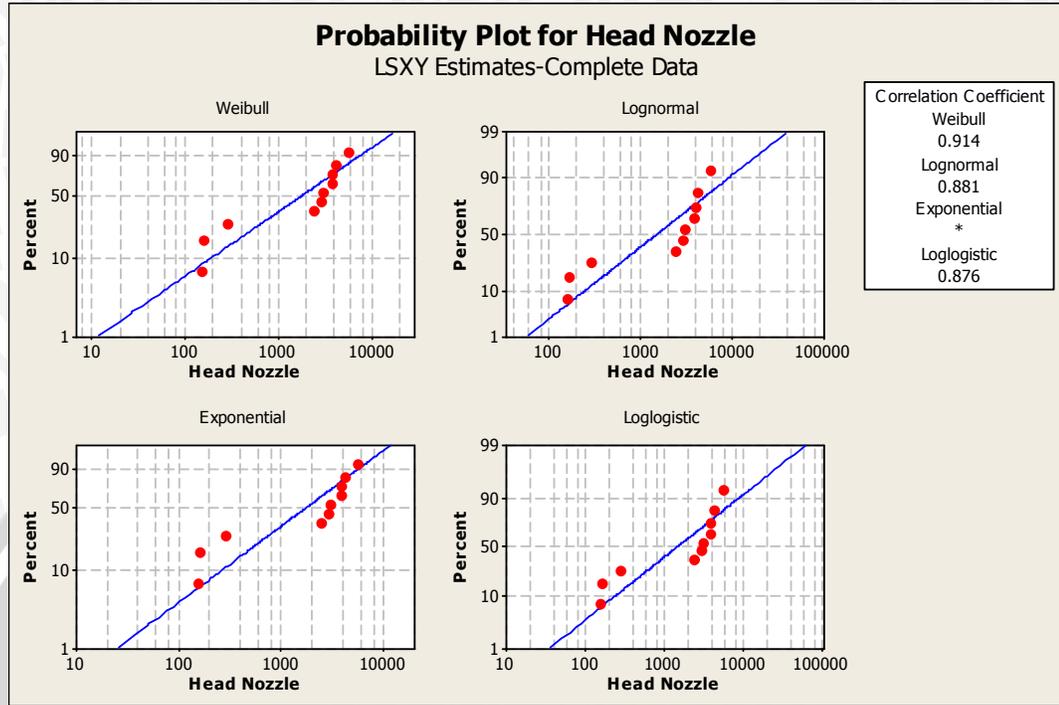
Lampiran 2: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D12 dengan bantuan software Minitab 14



Lampiran 2: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D12 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)



Lampiran 2: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D12 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)



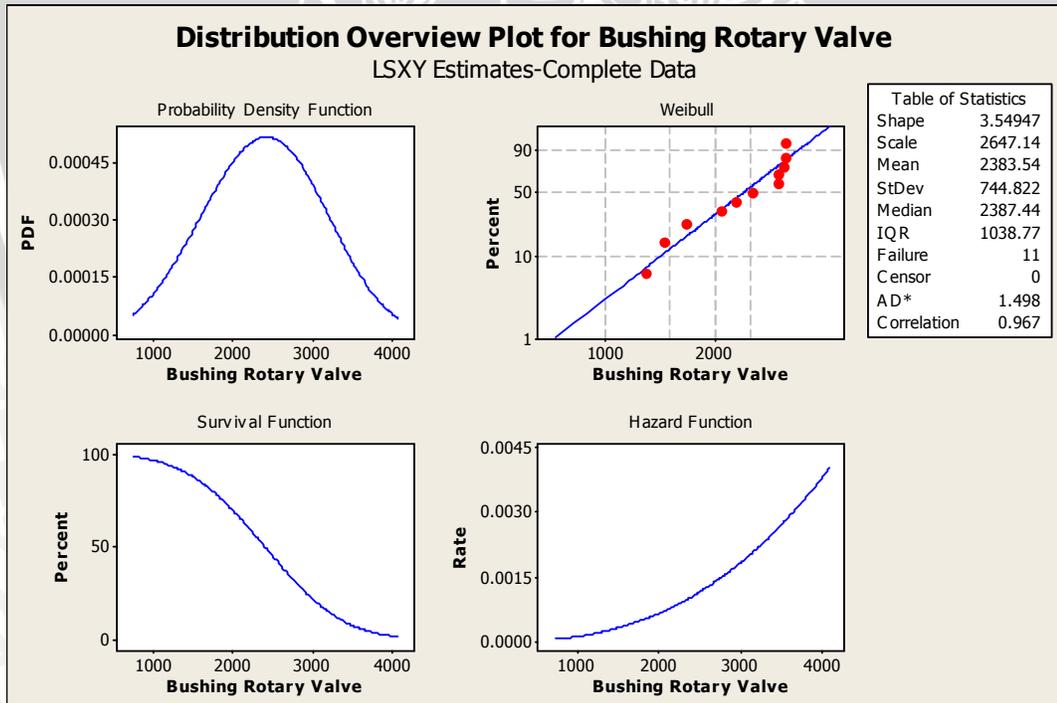
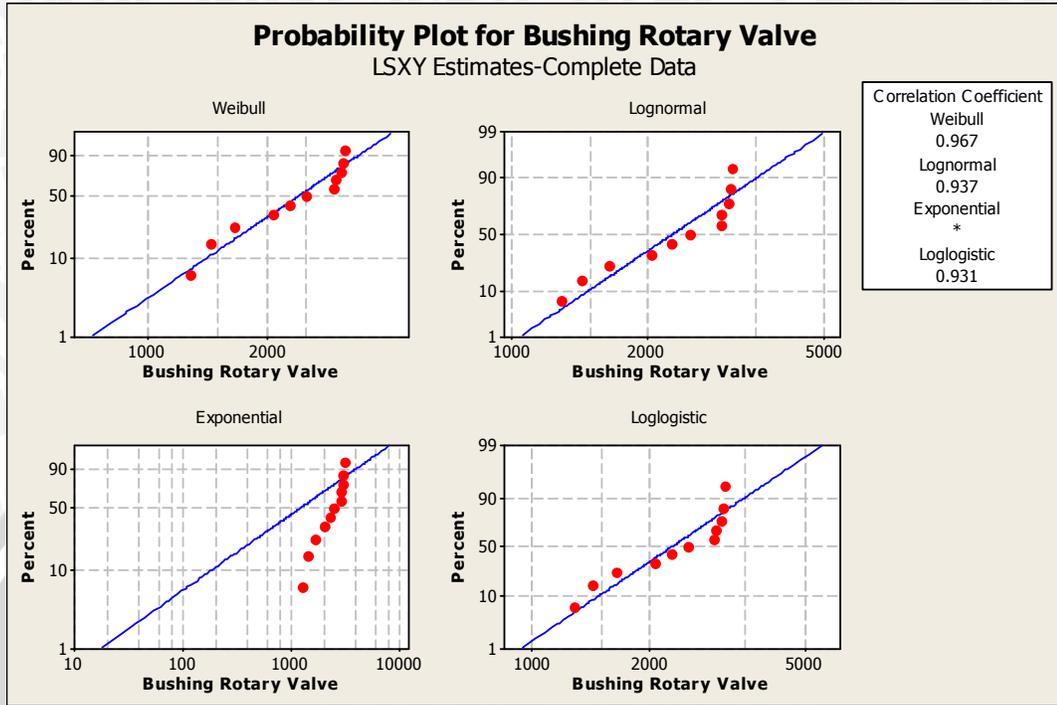
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 3

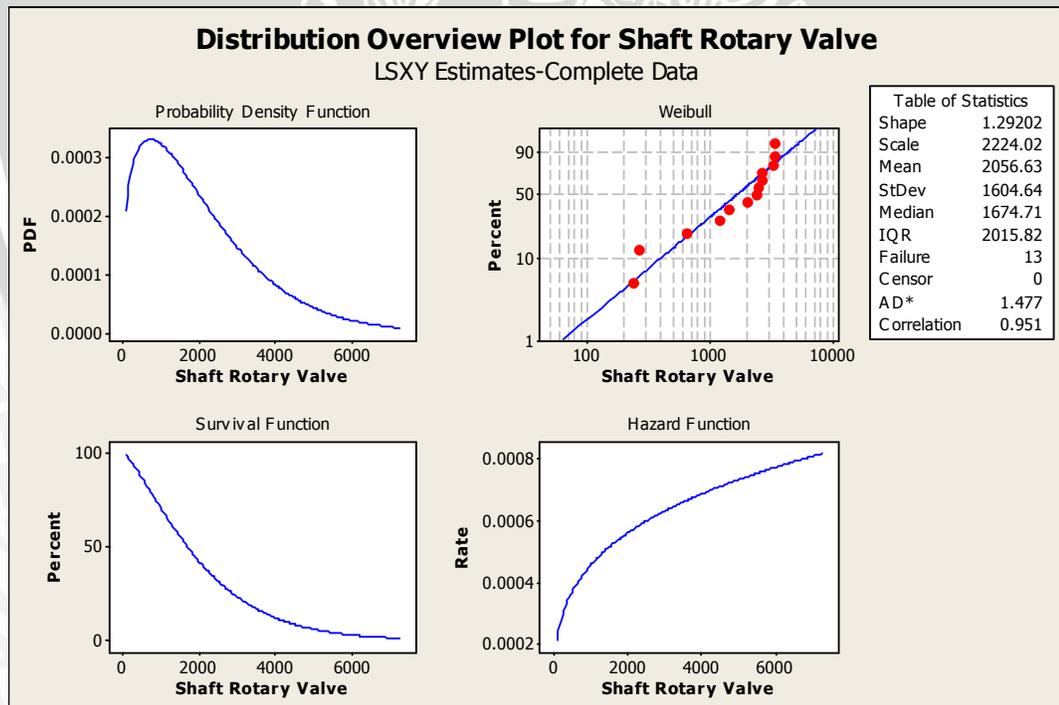
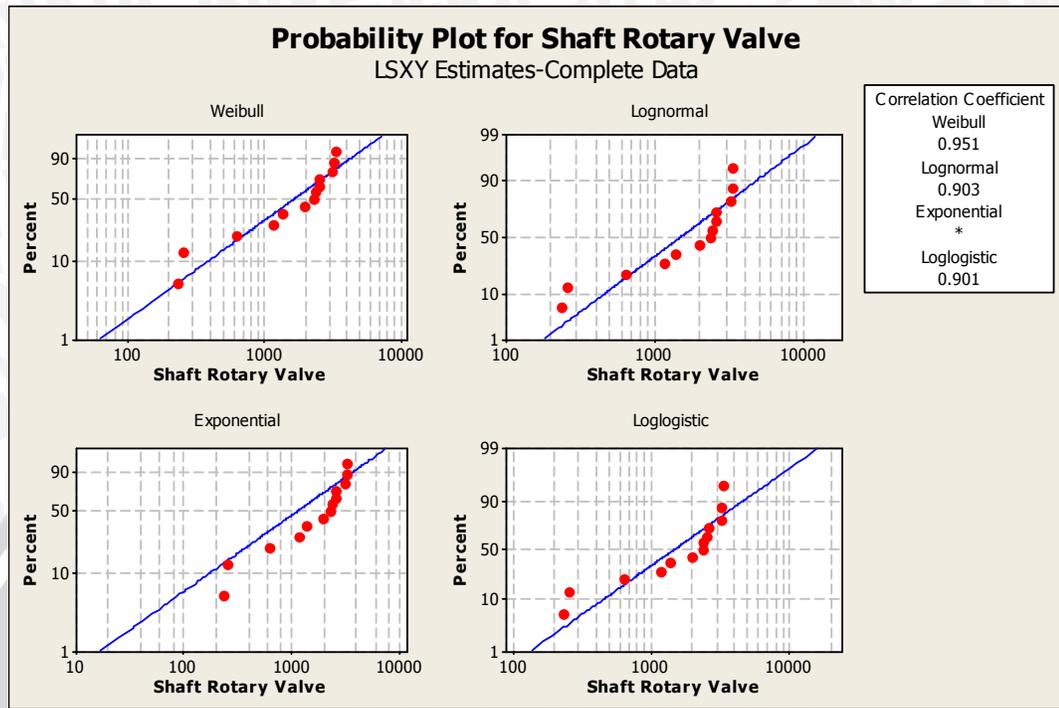
Hasil Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (Tf)
Komponen Kritis Lini D11 Dengan Bantuan *Softwatre*
Minitab 14



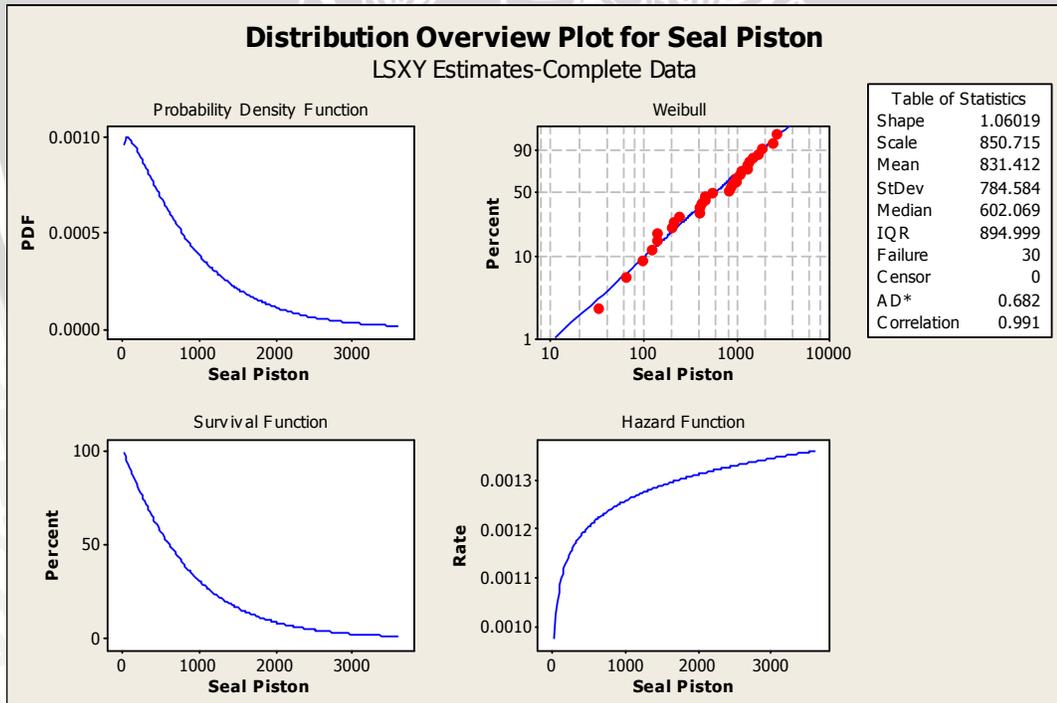
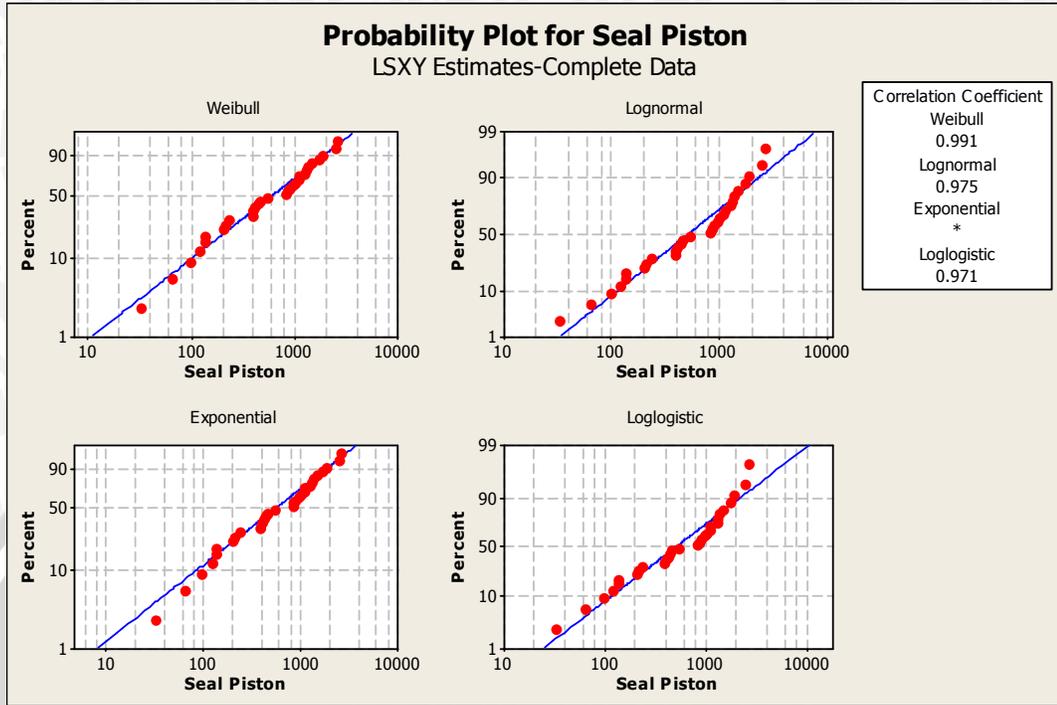
Lampiran 3: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D11 dengan bantuan software Minitab 14



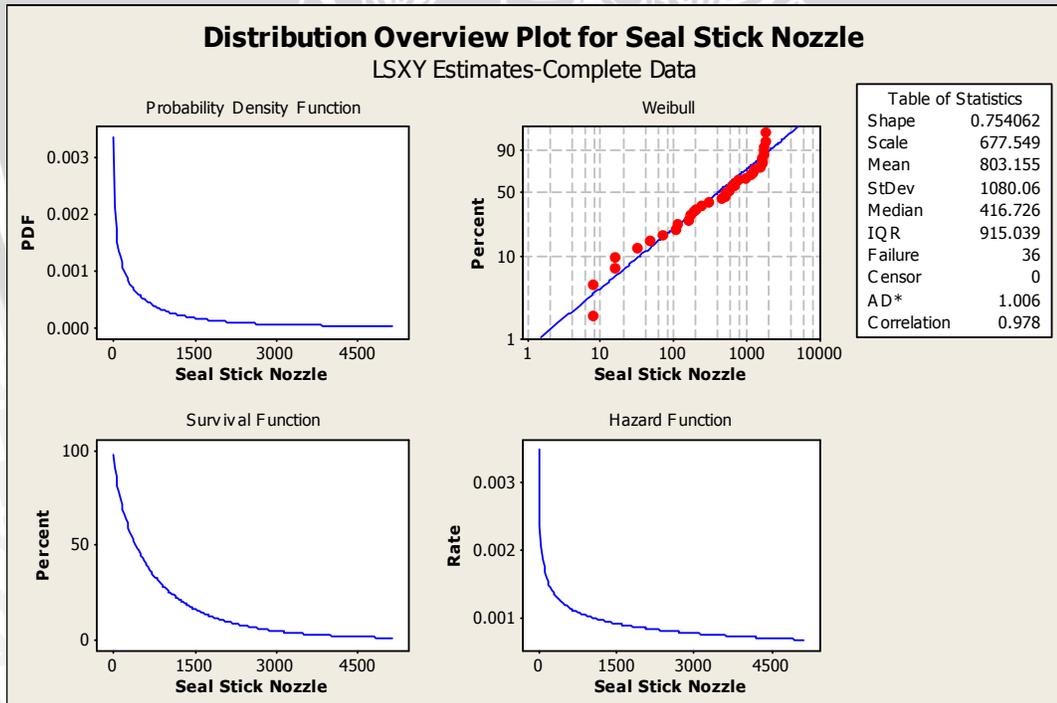
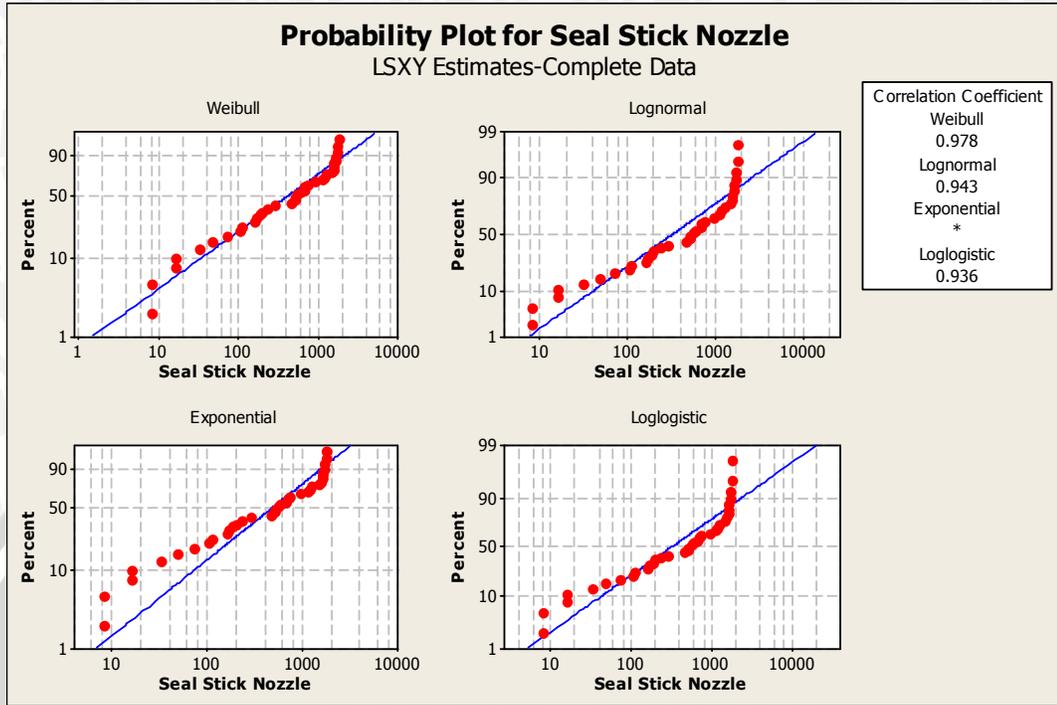
Lampiran 3: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D11 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)



Lampiran 3: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D11 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)



Lampiran 3: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D11 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)

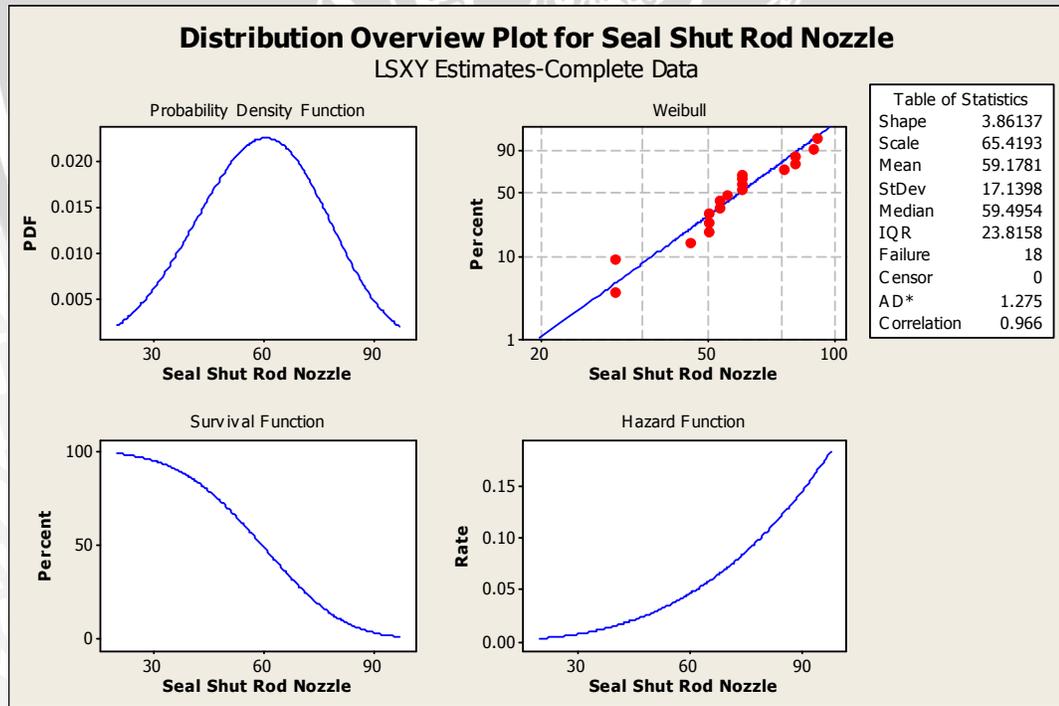
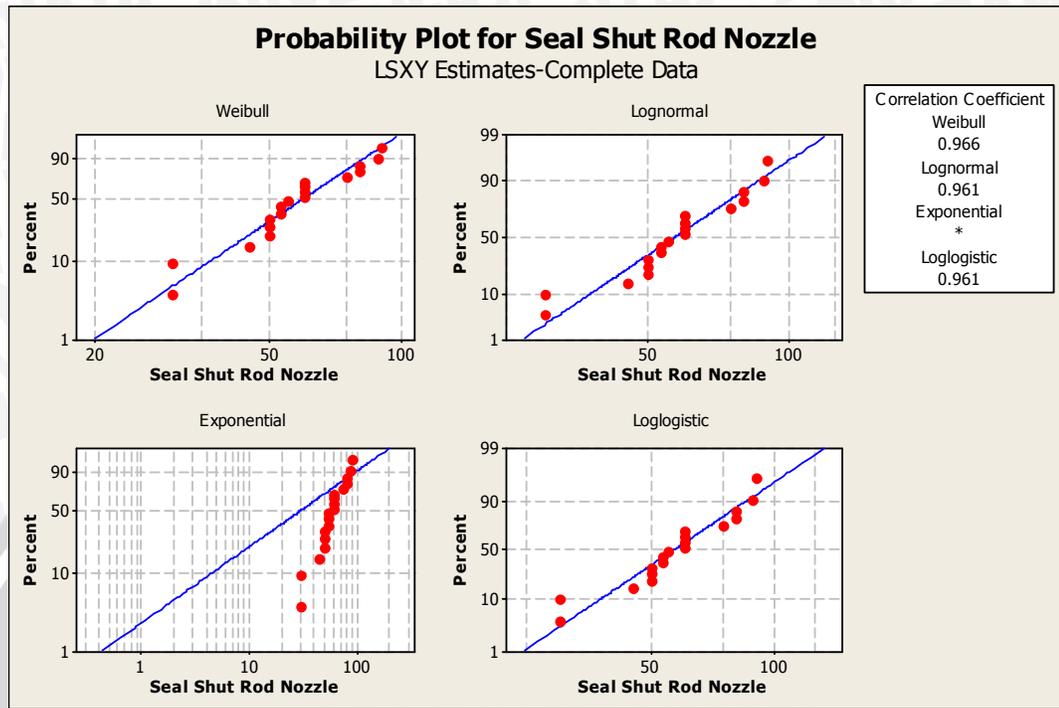




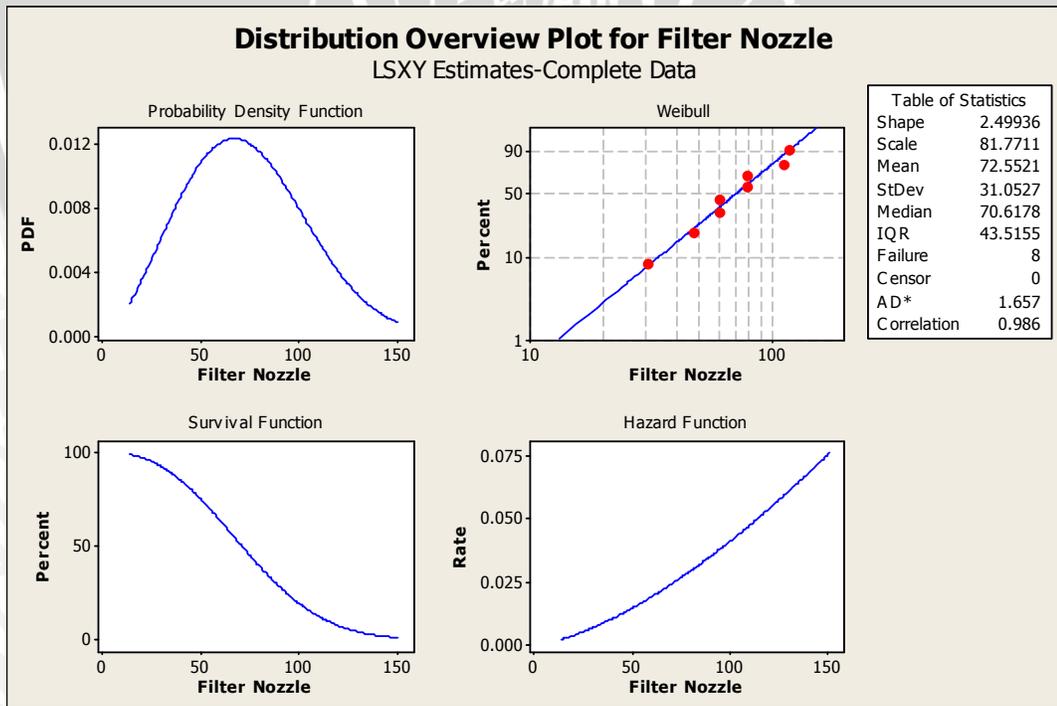
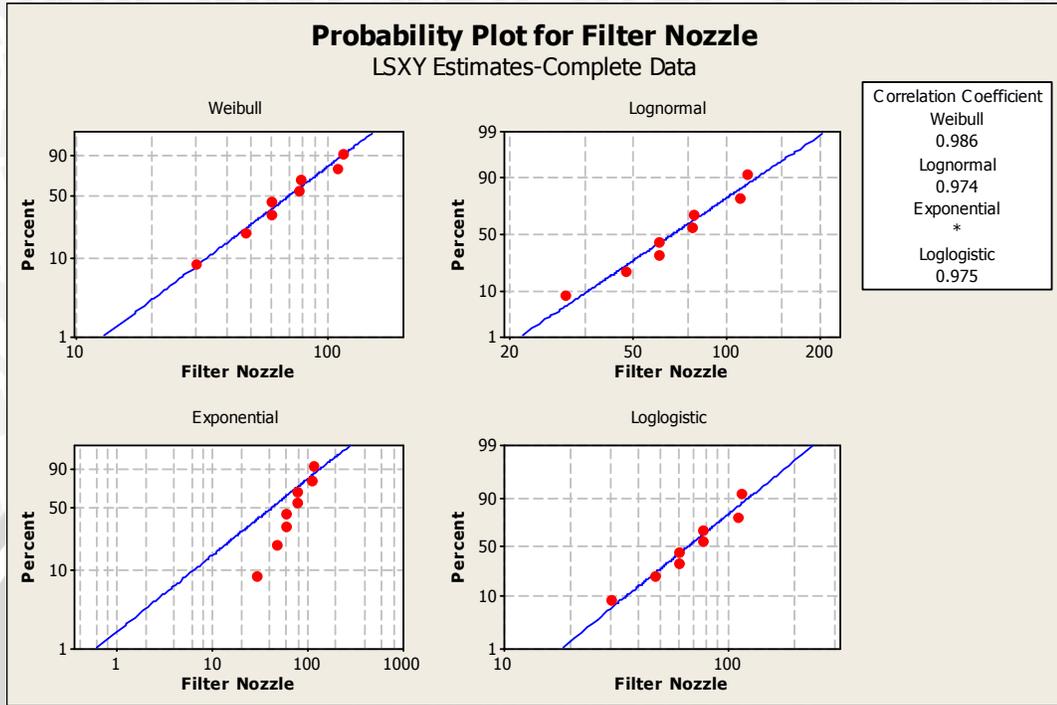
LAMPIRAN 4

Hasil Distribusi Data Lama Waktu Perbaikan (Tr)
Komponen Kritis Lini D12 Dengan Bantuan *Softwatre*
Minitab 14

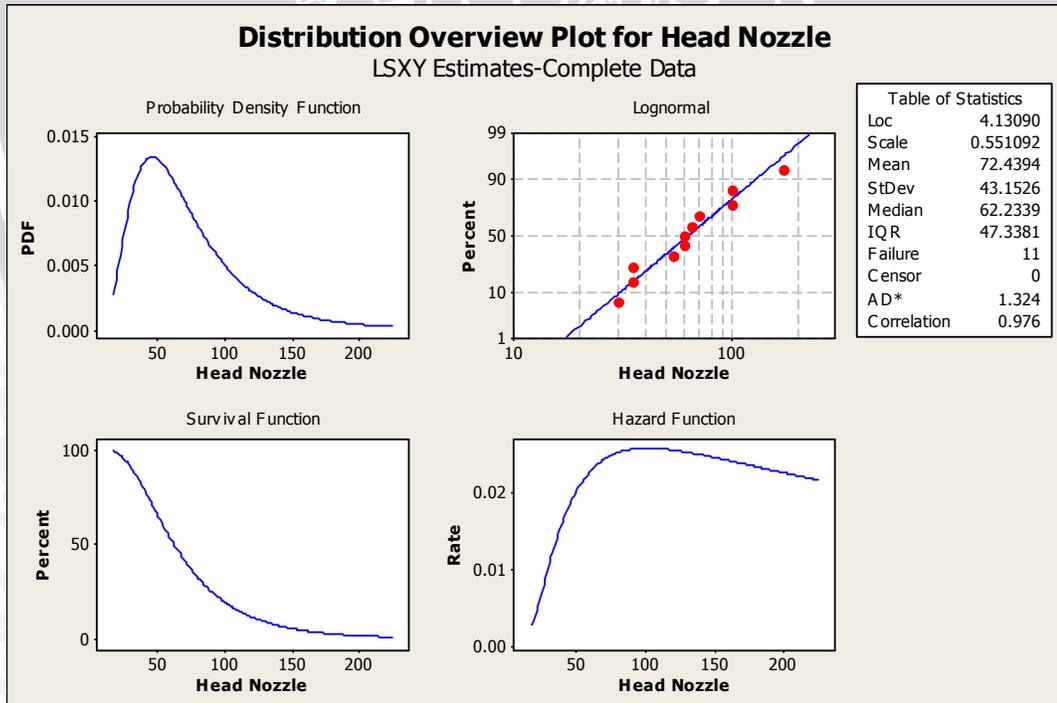
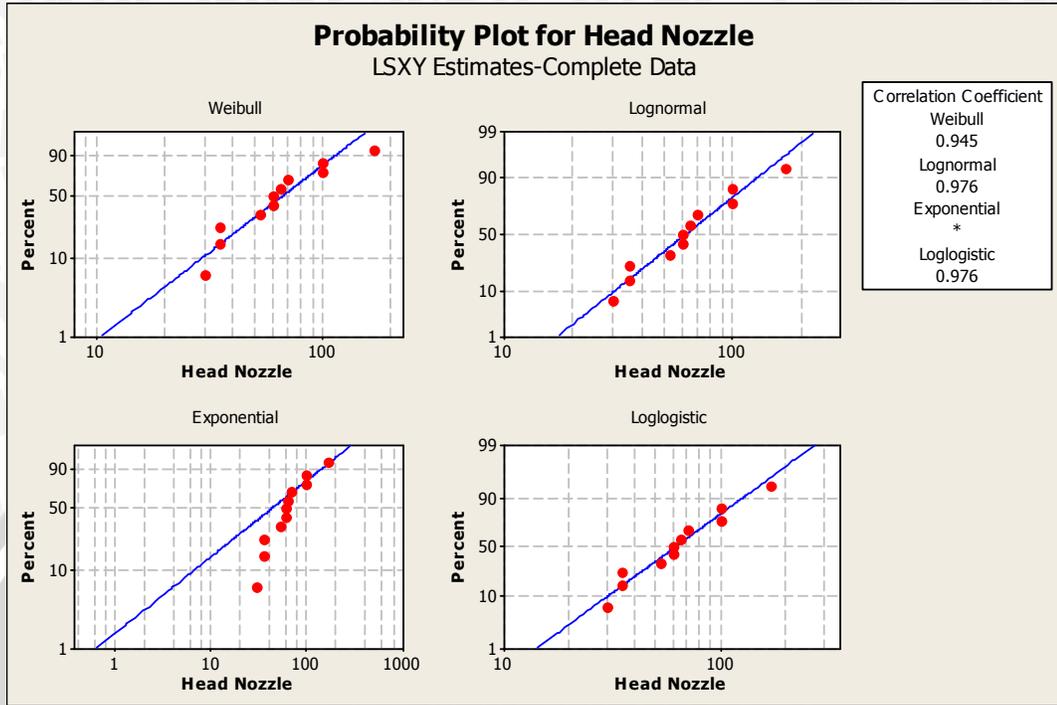
Lampiran 4: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D12 dengan bantuan software Minitab 14



Lampiran 4: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D12 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)



Lampiran 4: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D12 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)



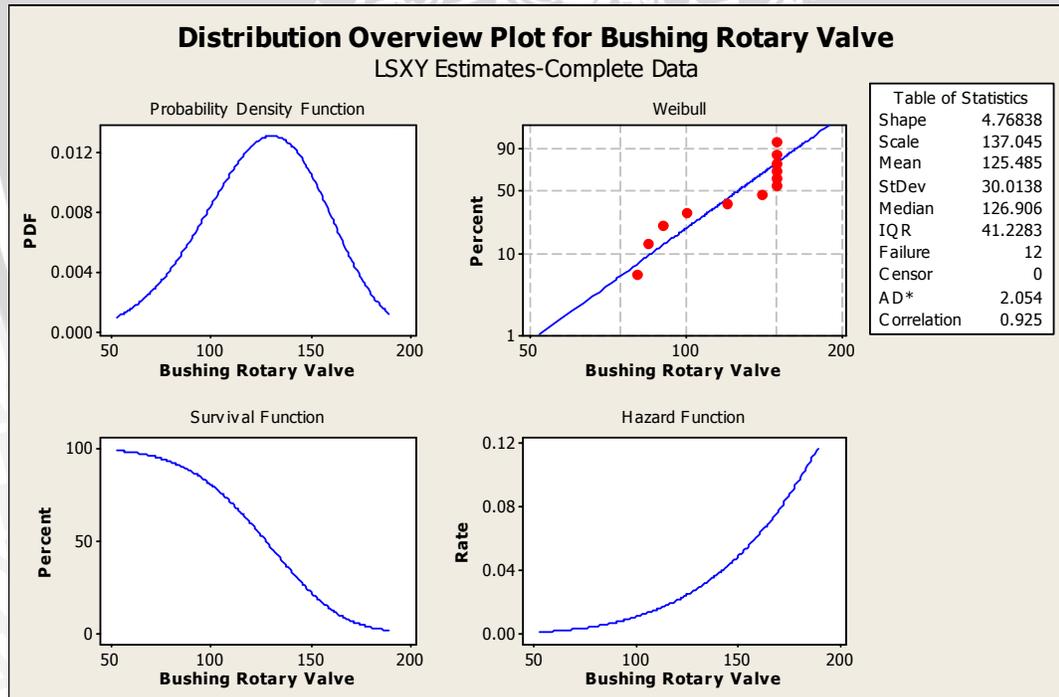
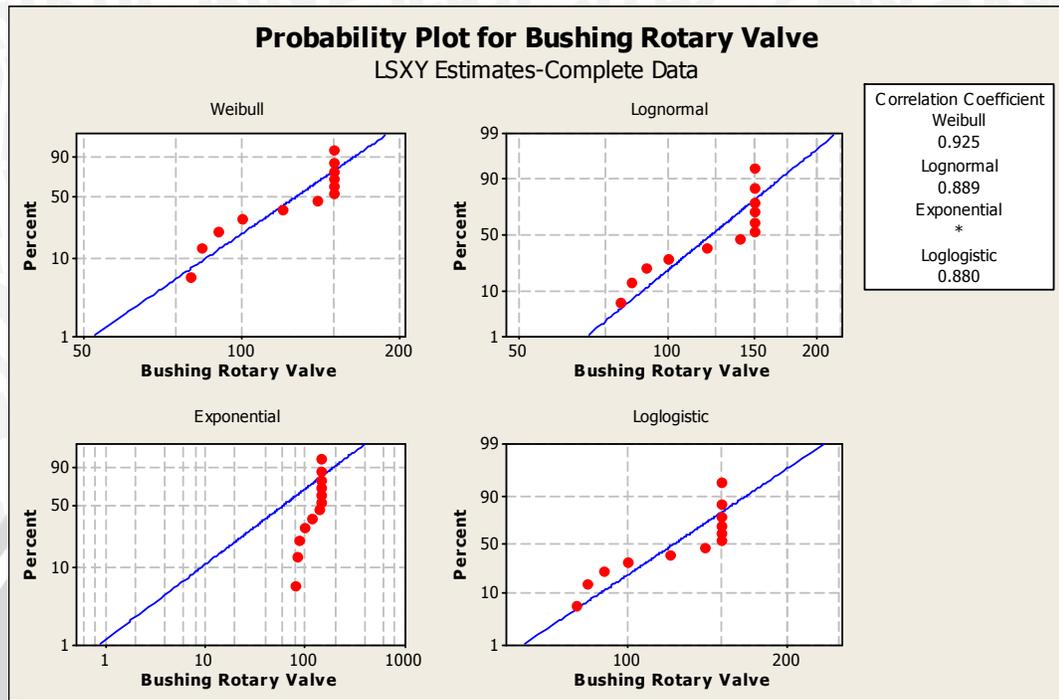


UNIVERSITAS BRAWIJAYA

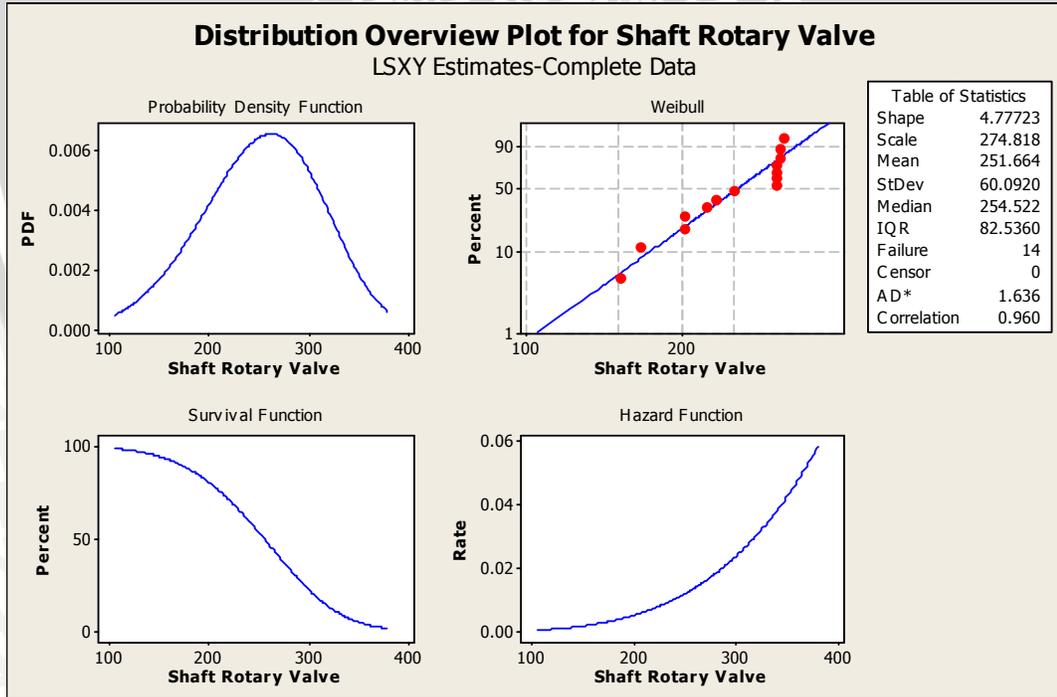
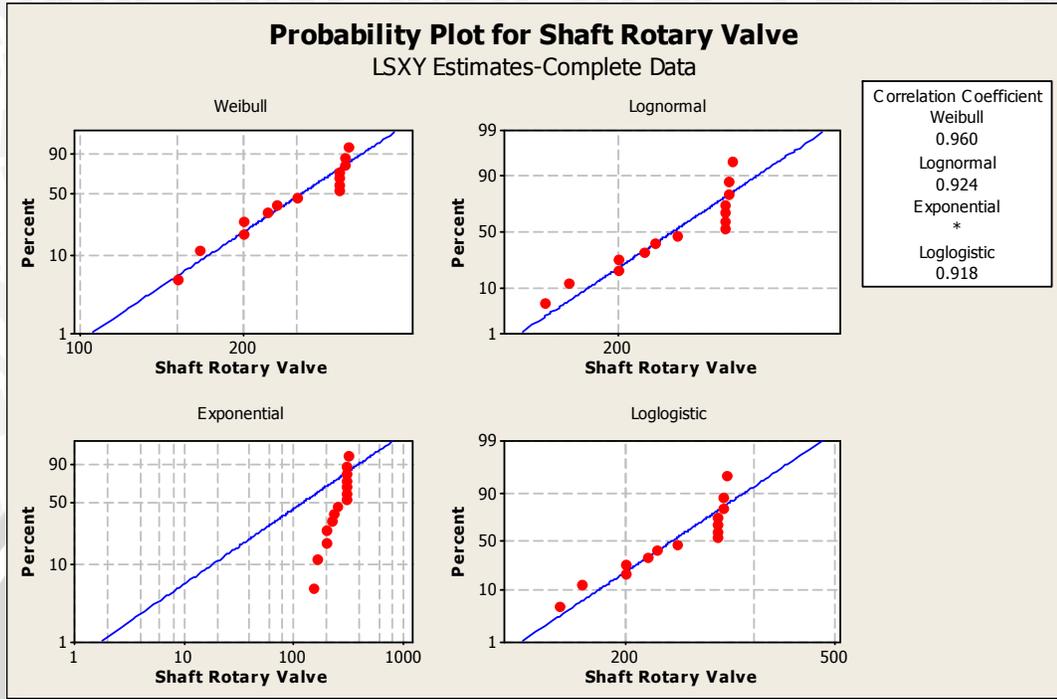
LAMPIRAN 5

Hasil Distribusi Data Lama Waktu Perbaikan (Tr)
Komponen Kritis Lini D11 Dengan Bantuan *Softwatre*
Minitab 14

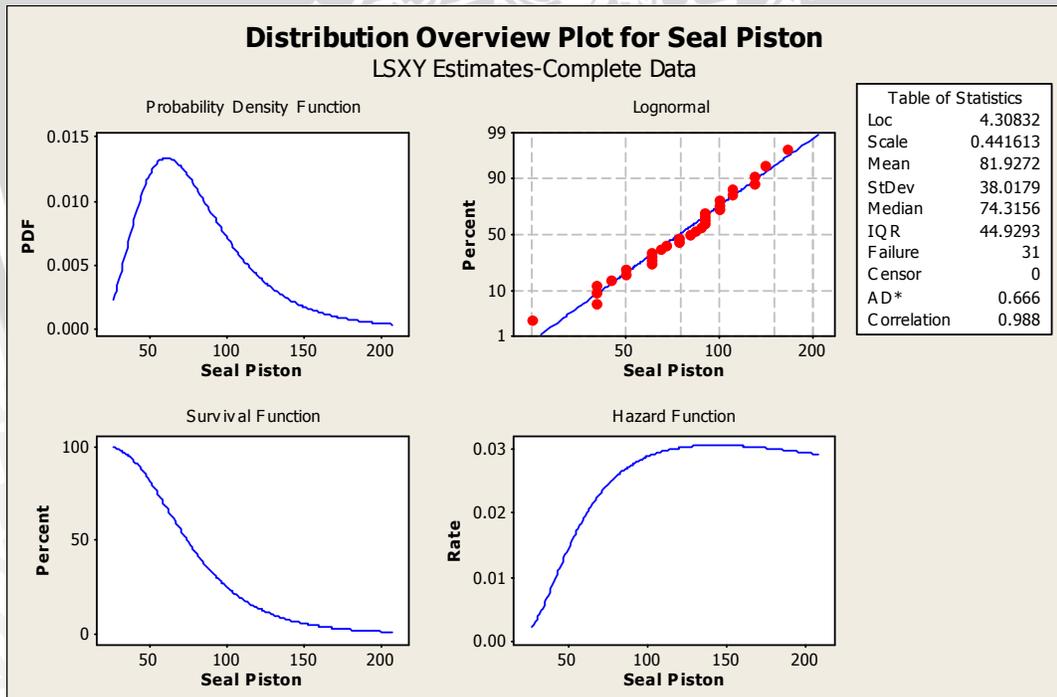
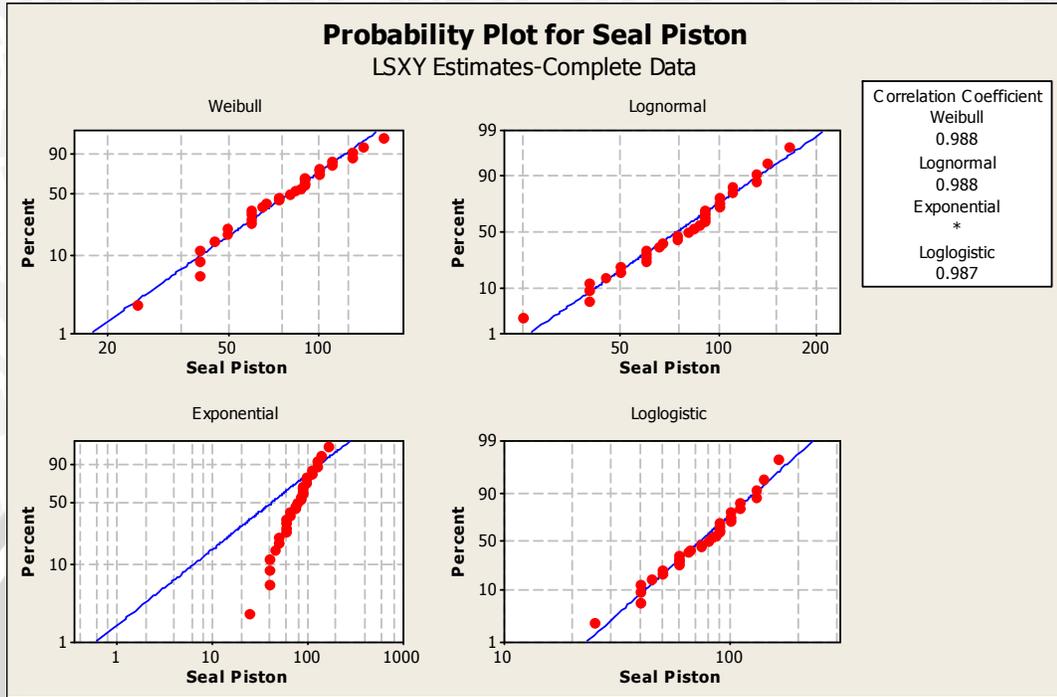
Lampiran 5: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D11 dengan bantuan software Minitab 14



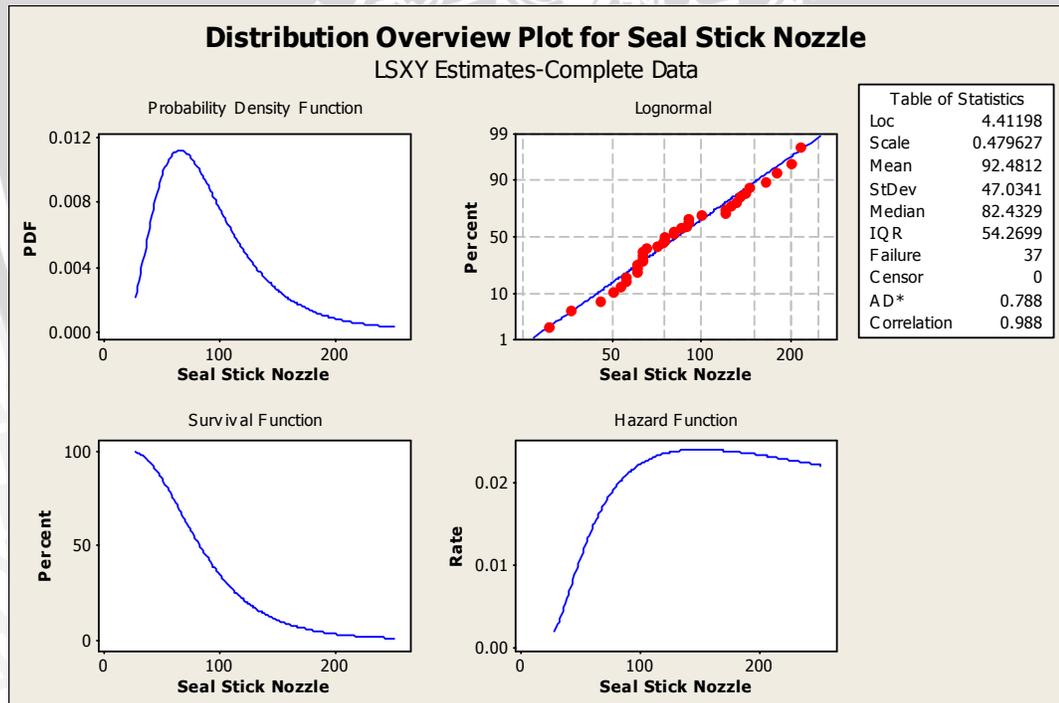
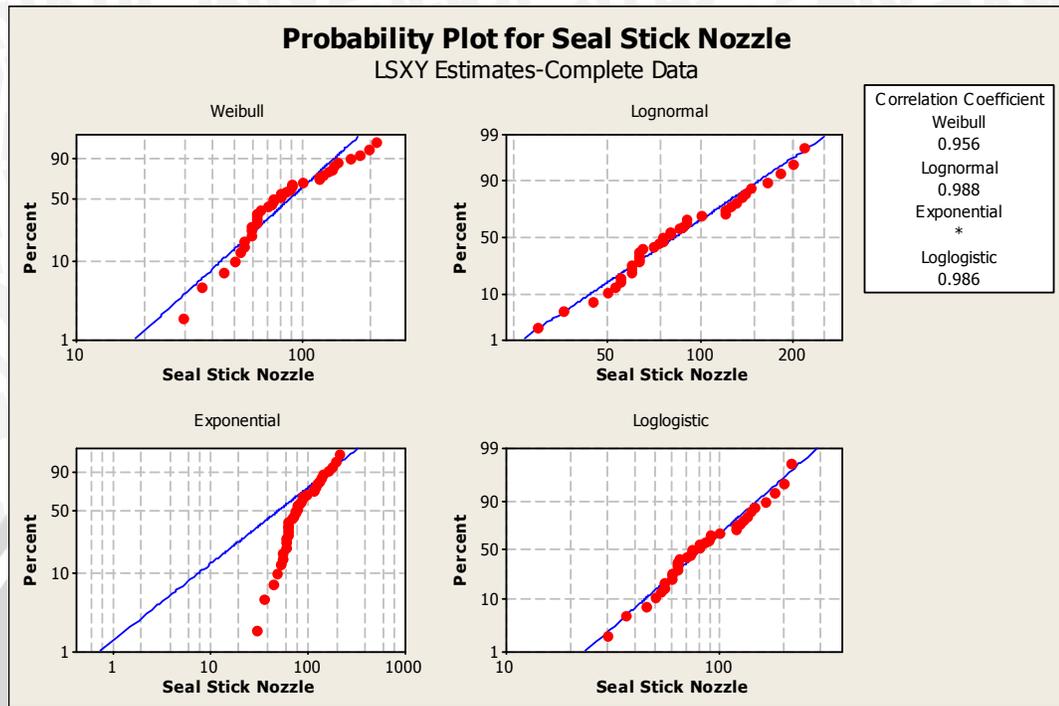
Lampiran 5: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D11 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)



Lampiran 5: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D11 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)

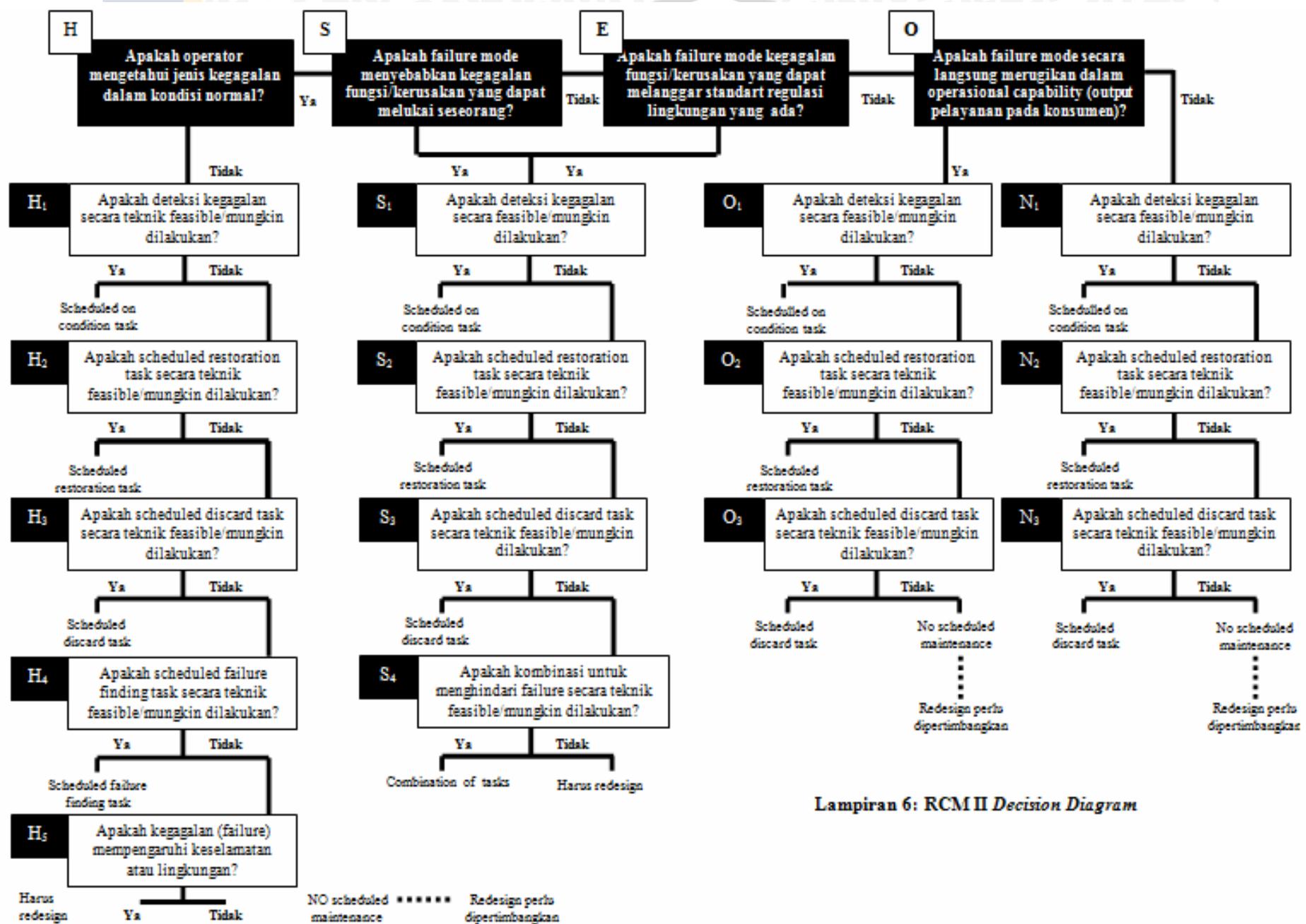


Lampiran 5: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D11 dengan bantuan software Minitab 14 (lanjutan)





LAMPIRAN 6
RCM II Decision Diagram



Lampiran 6: RCM II Decision Diagram