TESIS-TI142307

# PENGEMBANGAN MODEL PENJADWALAN *MAINTENANCE* DENGAN MULTIPLE *SWARMS-MODIFIED DISCRETE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (MS-MDPSO) DAN *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* II (RCM II)


**SULUH ELMAN SWARA**
**NRP 2510203204**

**DOSEN PEMBIMBING**
**Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE**
**Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER**
**BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK**
**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI**
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**
**SURABAYA**
**2016**

THESIS-TI142307

# Develolopment of *Maintenance* Scheduling model with *Multiple Swarms-Modified Discrete Particle Swarm Optimization* (MS-MDPSO) and *Reliability-Centered Maintenance II* (RCM II)

**SULUH ELMAN SWARA**
**NRP 2510203204**

**SUPERVISOR**
**Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE**
**Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D.**

**MAGISTER PROGRAM**
**LOGISTIC AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT**
**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**
**SURABAYA**
**2016**

# PENGEMBANGAN MODEL PENJADWALAN *MAINTENANCE* DENGAN *MULTIPLE SWARMS-MODIFIED DISCRETE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (MS-MDPSO) DAN *RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE* II (RCM II)

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar**
**Magister Teknik (MT)**
**di**
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

**Oleh:**
**SULUH ELMAN SWARA**
**NRP 2510 203 204**

**Tanggal Ujian : 14 Januari 2016**
**Periode Wisuda : Maret 2016**

**Disetujui oleh:**

1. **Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE**
   **NIP. 194807101976031002** **(Pembimbing 1)**

2. **Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP**
   **NIP. 196901071994121001** **(Pembimbing 2)**

3. **Nurhadi Siswanto, ST., MSIE., Ph. D.**
   **NIP. 197005231996011001** **(Penguji)**

4. **Erwin Widodo, ST., M. Eng., Dr. Eng.**
   **NIP. 197405171999031002** **(Penguji)**

**Direktur Program Pascasarjana,**

**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D**
**NIP. 19601202 198701 1 001**

**Pengembangan Model Penjadwalan *Maintenance* Dengan *Multiple Swarms-Modified Discrete Particle Swarm Optimization* (MS-MDPSO) dan *Reliability-Centered Maintenance II* (RCM II)**


Nama Mahasiswa : Suluh Elman Swara
NRP : 2510203204
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE
Co-Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP


## ABSTRAK


PT. XYZ merupakan salah satu industri yang proses produksinya banyak menggunakan mesin sebagai pengganti tenaga manusia, yang memiliki kecepatan produksi mencapai 500 *pieces/minute*. Untuk melayani permintaan pasar yang semakin tinggi, mesin-mesin harus bekerja selama 24 jam. Dengan beban kerja mesin seperti itu, akan ada peluang bahwa mesin-mesin produksi tersebut mengalami kerusakan, baik yang sifatnya telah terprediksi ataupun terjadi secara insidental. Untuk mencegah terjadinya *breakdown* sebelum interval perawatan tiba, yang akan mengakibatkan meningkatnya *downtime*, maka perlu dilakukan perencanan penjadwalan perawatan yang optimal.

Pada penelitian ini, perencanaan penjadwalan perawatan akan ditentukan dengan formulasi model matematis, yang fungsi tujuannya adalah meminimasi kuadrat variasi inventori perminggu. Adapun fungsi batasan yang diberlakukan antara lain ketersediaan jumlah produk untuk memenuhi *weekly production plan* yang telah ditentukan oleh perusahaan, ketersediaan tenaga kerja perawatan yang setiap hari hadir dan *standby* di lantai produksi, dan kesesuaian dengan MTTF dan MTTR dari komponen yang menjadi objek aktivitas perawatan. Metode optimasi yang digunakan untuk mencari interval perawatan optimal yang sesuai dengan minimasi fungsi objektif tersebut adalah *multiple swarms-modified discrete particle swarm optimization* (MS_MDPSO), yang dipadukan dengan metode *reliability-centered maintenance II* (RCM II) untuk mementukan strategi perawatan yang sesuai. Hasil penelitian menunjukkan penjadwalan yang diusulkan mampu mengungguli penjadwalan dan strategi *maintenance existing*, dari kriteria *keandalan part* dan kuadrat variasi inventori perminggunya.



Keywords: Penjadwalan perawatan yang optimal, *multiple swarms-modified discrete particle swarm optimization* (MS_MDPSO), *reliability-centered maintenance II(RCM II)*, *Mean time to failure* (MTTF), *Mean time to repair* (MTTR)

**Develolopment of *Maintenance* Scheduling model with *Multiple Swarms-Modified Discrete Particle Swarm Optimization* (MS-MDPSO) and *Reliability-Centered Maintenance II* (RCM II)**


| | |
|---|---|
| Name | : Suluh Elman Swara |
| NRP | : 2510203204 |
| Supervisor | : Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE |
| Co-supervisor | : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP |


## ABSTRACT


PT. XYZ is an industrial manufacture that the production processes using the machine as a substitute for human labor, which has a production speed of up to 500 pieces / minute. To serve the increasing demand, the machines have to work for 24 hours. With that workloads, there will be a probability that the production machines were damaged, either predictable or occurred incidentally. To prevent breakdown before arriving maintenance interval, which will result in increased downtime, it is necessary to planning optimal maintenance scheduling.

In this research, maintenance scheduling will be determined by the formulation of a mathematical model, which objective functions is to minimize the sum of the squares of the inventory in the range of specified period. The function limitations imposed include the availability of the number of products to meet the weekly production plan that has been determined by the company, availability of maintenance labor that stand by every day on the production floor, and conformity with the MTTF and MTTR of components which became the object of maintenance activities. Optimization methods are used to find the optimal maintenance interval, corresponding to the minimization of the objective function is multiple swarms-modified discrete particle swarm optimization (MS_MDPSO), which combined with the reliability-centered maintenance II (RCM II) to determines the appropriate maintenance strategy. The results, solution that generated by the proposed scheduling model is superior to tho the existing model in two performances criteria, the reliability of the parts and the sum of the squares of the inventory.



Keywords: optimal maintenance scheduling, multiple swarms-modified discrete particle swarm optimization (MS_MDPSO), reliability-centered maintenance II(RCM II), Mean time to failure (MTTF), Mean time to repair (MTTR)

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT, karena hanya dengan anugerah-Nya lah Tesis yang berjudul: "Pengembangan Model Penjadwalan *Maintenance* Dengan *Multiple Swarms-Modified Discrete Particle Swarm Optimization* (MS-MDPSO) dan *Reliability-Centered Maintenance* II (RCM II)" ini dapat terselesaikan.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) di Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

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

1. Ibu (Ir. Zuhroni), Ayah (Dr. Ir. Tarmizi, MP.), dan Adik-adik ku tercinta (Amalia Sukma Ridhani, Ahmad Masroni, Laras Husna Aulia, Elmia Kharisma Arsyi), dan keluarga yang tidak henti-hentinya memberi motivasi terhadap penulis selama menempuh studi.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE selaku dosen pembimbing 1 yang telah berkenan memberikan arahan dan bimbingan dengan penuh kesabaran kepada penulis..
3. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP selaku dosen pembimbing 2 dan Kaprodi Pascasarjana Teknik Industri ITS yang sudah memberikan ide dan perhatian yang luar biasa terhadap penulis.
4. Bapak Erwin Widodo, ST., M. Eng., Dr. Eng. selaku Sekprodi Pascasarjana Teknik Industri ITS dan Penguji, yang telah memberikan perhatian, kritik, arahan, dan juga masukan sehingga Tesis ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Nurhadi Siswanto, ST., MSIE., Ph. D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan untuk penyempurnaan Tesis ini.
6. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya yang selalu memberikan motivasi agar penulis segera menyelesaikan studi.

7. Mbak Evi (RBTI) dan Mbak Rahayu yang telah membantu penulis dalam hal akademik selama proses menempuh studi.
8. Lintang Kinanthi yang telah memberikan perhatian dan dorongan selama penulis menyelesaian Tesis.
9. M. Arif Budiman, Riza Auliya Rahman, dan Fiqihesa Putamawa yang telah memberikan ide dalam proses penelitian pada Tesis ini.
10. Rekan-rekan angkatan S2 Mbak Dian, Mbak Dini, Mbak Ita, Mbak Dina, Tiwi, Rurry, Lintang, Ratih, dan Fifi atas segala perhatian dan dorongan selama menempuh studi S2.
11. Pembimbing Lapangan di PT. YXZ Bapak M. Zaenal Yamani, Bapak Bekti, dan Ibu Rini Andriani yang telah membimbing saya selama berada di PT. YXZ.
12. Seluruh staf PT. YXZ yang telah membantu dan mengajarkan banyak hal pada kami selama proses penulisan skripsi ini.
13. Rekan-rekan seperjuangan Pak Agung, Mas Choki (Jumali) Aldi, Hafid, Seta, Isti, Nuni, dan lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, atas segala perhatian dalam menempuh studi dan Tesis.
14. Seluruh rekan-rekan Dosen Teknik Industri Universitas Brawijaya atas motivasi dan toleransinya selama penulis menempuh Tesis.
15. Sahabat-sahabatku Ella, Anes, Gery, Henny, Bayu, Dony, Dian, Cecyl dan lainnya yang banyak memberikan saran dan bantuan moril.
16. Rekan-rekan penghuni Markas Semolowaru 14/23, atas semua motivasi dan hiburan yang diberikan selama penulis menyelesaikan Tesis.

Dengan keterbatasan ilmu yang dimiliki penulis, tentunya Tesis ini membutuhkan banyak kritik dan saran. Semoga Tesis ini dapat memenuhi sebagian kebutuhan referensi yang ada dan kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung semoga mendapatkan imbalan yang sepantasnya dari Allah SWT.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

# DAFTAR ISI


COVER ID ..... i
COVER EN ..... iii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS ..... v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS ..... vii
ABSTRAK ..... ix
ABSTRACT ..... xi
KATA PENGANTAR ..... xiii
DAFTAR ISI ..... xv
DAFTAR GAMBAR ..... xix
DAFTAR TABEL ..... xxi
BAB 1 PENDAHULUAN ..... 1
1. 1 Latar Belakang Masalah ..... 1
1. 2 Rumusan Masalah ..... 4
1. 3 Tujuan Penelitian ..... 4
1. 4 Batasan Masalah ..... 5
1. 5 Asumsi ..... 5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA ..... 7
2. 1 *Maintenance* ..... 7
2. 2 *Reliability Centered Maintenance* ..... 8
2.2. 1 *Sistem Function and Function Failure* ..... 10
2.2. 2 *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) ..... 10
2.2. 3 *Failure Consequences* ..... 11
2.2. 4 *Proactive Task and Initial Interval* ..... 11
2.2. 5 *Default Action* ..... 14
2.2. 6 *Reliability Cenetered Maintenance* II ..... 14
2. 3 Konsep Keandalan ..... 15
2.3. 1 Definisi Keandalan ..... 15
2.3. 2 Fungsi Keandalan ..... 16
2.3. 3 Laju Kerusakan $(\lambda(t))$ ..... 17
2.3. 4 *Mean Time to failure* ..... 18
2.3. 5 Model-Model Distribusi Kegagalan/kerusakan ..... 18
2. 4 Posisi Penelitian ..... 20
2. 5 Model Penelitian Terdahulu ..... 21

2.5. 1 *Modified Discrete Particle Swarm Optimization* ..... 24
2.5. 2 *Multiple swarms-modified discrete particle swarm optimization* (MS-MDPSO) ..... 25
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN ..... 29
3. 1 Metode Penelitian ..... 30
3. 2 Rancangan Penelitian ..... 30
3. 3 Pengumpulan Data ..... 30
3. 4 Formulasi Model ..... 32
3. 5 Pencarian Solusi Model ..... 35
3. 6 Pengolahan Data ..... 37
3.6. 1 Pengolahan Data Kualitatif ..... 37
3.6. 2 Pengolahan Data Kuantitatif ..... 39
3. 7 Analisis Data ..... 40
BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA ..... 41
4. 1 Penentuan Lini Produksi dan Komponen Mesin Kritis ..... 41
4.1. 1 Penentuan Lini Produksi Kritis ..... 41
4.1. 2 Penentuan Komponen Mesin Kritis ..... 42
4.1. 3 Deskripsi Komponen yang Diamati ..... 50
4. 2 Pengumpulan Data ..... 52
4. 3 Pengolahan Data ..... 54
4.3. 1 *Functional Block Diagram (FBD)* ..... 54
4.3. 2 System Function and Function Failure ..... 54
4.3. 3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) ..... 55
4.3. 4 Uji Distribusi Waktu Antar Kerusakan ..... 56
4.3. 5 Uji Distribusi Waktu Lama Perbaikan ..... 57
4.3. 6 Interval Perawatan Optimal ..... 57
4.3. 7 Interval Perawatan Optimal ..... 63
4.3.6. 1 Verifikasi Konstrain Pemenuhan *Demand* ..... 66
4.3.6. 2 Verifikasi Konstrain Interval Pelaksanaan Aktivitas *Maintenance* ..... 69
4.3.6. 3 Verifikasi Konstrain Ketersediaan *Manpower* ..... 71
4.3.6. 4 Verifikasi Konstrain Pelaksanaan Aktivitas *Maintenance* Secara Simultan ..... 72
4.3. 8 Strategi Perawatan dengan *Reliability Centered Maintenance* II ..... 72
4. 4 Perbandingan Penjadwalan dan Strategi *Maintenance Existing* dengan Penjadwalan *Maintenance* yang Diusulkan ..... 74

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....79
5. 1 Kesimpulan .....79
5. 2 Saran .....80
DAFTAR PUSTAKA .....81
LAMPIRAN
BIOGRAFI PENULIS

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *System function* ..... 10
Gambar 2. 2 Kurva *Bathtub-Shaped* ..... 13
Gambar 2. 3 Kurva P-F ..... 13
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian ..... 29
Gambar 3. 2 Algoritma *Multiple Swarms-Modified Discrete Particle Swarm Optimization* ..... 35
Gambar 4. 1 Diagram Pareto Lama Waktu *Breakdown* Mesin Lini *Dental* Robotik Periode Tahun 2006-2008 ..... 42
Gambar 4. 2*Layout* Mesin Lini D12 ..... 46
Gambar 4. 3*Layout* mesin lini D11 ..... 47
Gambar 4. 4 Diagram Pareto Lama *Breakdown Unit Service* Lini D12 Periode Tahun 2006-2008 ..... 48
Gambar 4. 5 Diagram Pareto Lama *Breakdown Unit Service* Lini D11 Periode Tahun 2006-2008 ..... 49
Gambar 4. 6 Aliran Proses Unit Pengisian ..... 51
Gambar 4. 7 *Functional Block Diagram nozzle* lini D12 ..... 54
Gambar 4. 8 Functional block diagram rotary valve, piston, dan nozzle lini D11 54

# DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian ..... 27
Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian ..... 30
Tabel 4. 1 Komponen Kritis *Filling Nozzle* Lini D12 ..... 51
Tabel 4. 2 Komponen Kritis Unit Pengisian Lini D11 ..... 51
Tabel 4. 3 Waktu Antar kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr) Komponen Kritis *Nozzle* Unit Pengisian Lini D12 ..... 52
Tabel 4. 4 Waktu Antar kerusakan (Tf) dan Waktu Perbaikan (Tr) Komponen Kritis Piston, *Rotary Valve* dan *Nozzle* Unit Pengisian Lini D11 ..... 53
Tabel 4. 5 *Function and Function Failure* Komponen Kritis *Nozzle* Unit Pengisian D12 ..... 55
Tabel 4. 6 *Function and Function Failure* Komponen Kritis *Rotary valve,* Piston, dan *Nozzle* Lini D11 ..... 55
Tabel 4. 7 *Failure Mode and Effect Analysis* Komponen Kritis *Nozzle* Lini D12 58
Tabel 4. 8 *Failure Mode and Effect Analysis* Komponen Kritis *Rotary Valve, Piston,* dan *Nozzle*D11 ..... 59
Tabel 4. 9 Uji Distribusi Tf Komponen Kritis *Nozzle* Lini D12 ..... 61
Tabel 4. 10 Uji Distribusi Tf Komponen Kritis Rotary *Valve, Piston*, dan *Nozzle* Lini D11 ..... 61
Tabel 4. 11 MTTF Komponen-komponen Kritis *Nozzle* Lini D12 ..... 61
Tabel 4. 12 MTTF Komponen-komponen Kritis *Rotary Valve*, Piston, dan *Nozzle* Lini D11 ..... 62
Tabel 4. 13 Uji Distribusi Tr Komponen Kritis *Nozzle* Lini D12 ..... 62
Tabel 4. 14 Uji Distribusi Tr Komponen Kritis *Rotary Valve, Piston*, dan *Nozzle* Lini D11 ..... 62
Tabel 4. 15 MTTR Komponen-komponen Kritis *Nozzle* Lini D12 ..... 62
Tabel 4. 16 MTTR Komponen-komponen Kritis *Rotary Valve*, Piston, dan *Nozzle* Lini D11 ..... 63
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Interval Waktu Optimal dengan MS-MDPSO ..... 64
Tabel 4. 18 Jadwal *Maintenance Part* Lini D11 dan Lini D12 ..... 65
Tabel 4. 19 Hasil Verifikasi Konstrain Pemenuhan *Demand* (satuan unit) ..... 67

Tabel 4. 19 Hasil Verifikasi Konstrain Pemenuhan *Demand* (satuan unit) ..... 67
Tabel 4. 20 Interval Antar Aktivitas *Maintenance Part Seal Piston* (SP) ..... 70
Tabel 4. 21 Interval Antar Aktivitas *Maintenance Seal Shut Rod Nozzle* (SSRN) dan *Filter Nozzle* (FN) ..... 70
Tabel 4. 22 Verifikasi Konstrain Ketersediaan *Manpower* Selama 15 Jam ..... 72
Tabel 4. 23 *Failure Consequences* ..... 73
Tabel 4. 24 *Proactive Task and Default Action* ..... 74
Tabel 4. 25 *RCM Decision Worksheet* D12 ..... 75
Tabel 4. 26 *RCM Decision Worksheet* D11 ..... 76
Tabel 4. 27 Performa Penjadwalan *Maintenance Existing* Dengan Penjadwalan *Maintenance* Usulan Dari Segi *Reliability* ..... 77

# BAB 1
# PENDAHULUAN

## 1. 1 Latar Belakang Masalah

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 semakin tinggi, mesin-mesin harus bekerja selama 24 jam. Dengan beban kerja mesin seperti itu, akan ada peluang bahwa mesin-mesin produksi tersebut mengalami kerusakan, baik yang sifatnya telah terprediksi ataupun terjadi secara insidental. Kondisi operasional dari mesin-mesin produksi tersebut akan dipengaruhi faktor-faktor lain yang dapat mempercepat laju kerusakan mesin seperti faktor usia mesin atau komponennya, faktor *skill* operator yang mengoperasikannya, dan lain sebagainya. Penjadwalan dan metode perawatan yang buruk juga dapat mengakibatkan meningkatnya laju kerusakan mesin yang akan berdampak pula terhadap biaya pemeliharaan dan biaya kerugian seperti *lost sales*, akibat tidak sesuainya *cost* yang dikeluarkan untuk aktivitas perawatan mesin produksi dengan hasil dari aktivitas perawatan itu sendiri.

Pada penelitian sebelumnya oleh Swara (2010), objek penelitian meliputi 4 lini produksi yang menggunakan tenaga robot *ultra high speed* dengan *design speed* mencapai 500 *pieces/minute*. Dengan kecepatan produksi tersebut, empat unit lini itu memiliki kapasitas produksi yang paling tinggi diantara lini lainnya, sehingga apabila terjadi *breakdown* pada lini tersebut maka produktivitas proses produksi akan menurun tajam. Berdasarkan hasil pengamatan, permasalahan yang terjadi adalah masih terjadinya mesin rusak sebelum interval perawatan yang dijadwalkan oleh perusahaan. Dapat diambil contoh sebuah *part* yang mengalami

kerusakan sebelum interval perawatan yaitu *Seal Piston*. *Seal Piston* dijadwalkan memiliki interval waktu perawatan setiap 1440 jam. Kondisi penelitian sebelumnya menunjukkan *Seal Piston* seringkali mengalami kerusakan sebelum interval perawatan yang direncanakan oleh perusahaan, dibandingkan dengan kerusakan yang terjadi setelah melewati interval waktu perawatan tersebut. Oleh karena itu diperlukan metode perawatan yang handal dengan interval perawatan yang efektif. Sehingga kemungkinan terjadinya *breakdown* pada mesin dan *downtime* yang terjadi pada lini produksi tersebut 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*.

Pada Swara (2010), interval perawatan didapatkan tanpa mempertimbangkan adanya konstrain. Pada penelitian kali ini, penulis akan mempertimbangkan beberapa konstrain dalam menentukan interval perawatan yang optimum. Solusi yang simultan dari semua aspek baik permasalahan penjadwalan perencanaan dan operasional dengan adanya sistem yang kompleks pada skala waktu yang berbeda, perbedaan ketidakpastian yang terjadi dan problem dimensional, sangat dibutuhkan untuk operasional dari sistem utilitas yang ekonomis dan efisien.

Menurut Yare dan Venayagamoorthy (2010) dalam jurnalnya yang meneliti tentang penjadwalan perawatan untuk generator, tujuan dari penjadwalan perawatan generator adalah untuk menemukan urutan pemadaman dari unit generator pada interval waktu tertentu agar level energi cadangan dapat ter-*maintain*. Dalam kasus yang menjadi objek penelitian kali ini, interval perawatan yang akan direncanakan diharapkan *feasible* dengan tetap mempertahankan produktivitas dari lini produksi, tentunya dengan batasan-batasan seperti level *inventory*, ketersediaan karyawan perawatan, kesesuaian dengan *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time to repair* (MTTR).Tipe penjadwalan seperti ini sangat penting terutama dikarenakan semua aktivitas perencanaan akan terpengaruhi secara langsung oleh keputusan tersebut.

Beberapa metode optimasi seperti teknik Branch and Bound (Edwin dan Curtius, 1990), dynamic programming (Yamayee dan Sidenblad, 1983), dan

integer programming (Dopaz dan Merrill, 1975) adalah beberapa teknik yang telah digunakan untuk mengatasi permasalahan optimasi yang sederhana. Perkiraan dari solusi permasalahan Generator *Maintenance* Schedulling (GMS) yang memiliki beberapa fungsi batasan dapat diatasi dengan konsep optimasi permasalahan yang baru (Billinton dan Abdulwhab, 2003; Satoh dan Nara, 1991; Yellen et al., 1992; Firma dan Legey, 2002). Beberapa dari metode optimasi tersebut termasuk tetapi tidak terbatas pada penerapan pendekatan probabilistik (Billinton dan Abdulwhab, 2003), simulated annealing (Yellen et al., 1992) dan, dan genetic algorithm (GA) (Firma dan Legey, 2002).

Pendekatan PSO yang didasari oleh beberapa bentuk pembagian partikel secara implisist atau eksplisit ke dalam sub-*swarm* disajikan oleh Engelbrecht (2005). Dua pendekatan sub-*swarm* yang diperkenalkan adalah algoritma kompetitif dan kooperatif. Algortima PSO yang kooperatif memiliki beberapa bentuk kerjasama antara sub-*swarm*. Kerjasama ini memiliki tujuan utama untuk pertukaran informasi tentang posisi terbaik yang ditemukan oleh masing-masing grup. Di sisi lain, algoritma PSO kompetitif menghadirkan adanya kompetisi diantara partikel.

Algoritma Multi-phase PSO diperkenalkan oleh Al-Kazemi dan Mohan (2002a, 2002b), membagi *swarm* dari partikel menjadi subgroup, dimana setiap grup menjalankan tugas yang berbeda-beda, atau menjalankan perilaku yang berbeda. Perilaku dari setiap subgroup atau tugas yang dilaksanakan oleh setiap subgroup biasanya akan berbeda sepanjang waktu, tergantung interaksi grup terhadap lingkungannya, grup partikel yang berbeda akan memiliki lintasan yang akan dilanjutkan sepanjang lintasan dengan tujuan yang berbeda dalam fase algoritma yang berbeda pula (Al-Kazemi dan Mohan, 2002a, 2002b).

Kemampuan dari algoritma *discrete* particle *swarm optimization* (DPSO) telah ditingkatkan dengan evolutionary strategies (ESs) untuk menghasilkan sebuah modifikasi dari DPSO (*modified discrete particle swarm optimization*) oleh Yare et al. (2008). Perbandingan secara detail dari DPSO, MDPSO, dan GA dan juga aplikasinya untuk menyelesaikan permasalahan GMS dari sistem tenaga juga disajikan oleh Yare et al. (2008, yang menunjukkan bahwa MDPSO

menghasilkan hasil yang lebih baik daripada DPSO dan GA dalam sistem pengujian yang sama.

Maka dari penjabaran tersebut, penulis ingin mengembangkan model penjadwalan perawatan lini produksi pada PT. XYZ dengan paduan RCM II dan MS-MDPSO, dimana mesin pada lini produksi tersusun secara seri, sehingga beberapa perawatan dari komponen penyusun dimungkinkan ada yang bisa dilakukan secara bersama-sama dan juga terpisah, dengan beberapa batasan seperti ketersediaan karyawan perawatan, ketersediaan *inventory*, kesesuaian dengan MTTF dan MTTR.

## 1. 2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana model penjadwalan perawatan dengan adanya pertimbangan ketersediaan produk untuk memenuhi *demand customer*, ketersediaan karyawan perawatan, dan kesesuaian dengan MTTF dan MTTR dari komponen yang menjadi objek perawatan
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 meminimasi variasi inventori setiap periode?

## 1. 3 Tujuan Penelitian

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

1. Menghasilkan formulasi model matematis penjadwalan aktivitas perawatan dengan pertimbangan ketersediaan produk untuk pemenuhan *demand customer*, ketersediaan karyawan perawatan, dan kesesuaian dengan MTTF dan MTTR dari komponen yang menjadi objek perawatan .
2. Menentukan kebijakan perawatan dengan menggunakan metode RCM II.

3. Menentukan interval perawatan optimal terhadap komponen mesin tersebut, dengan metode optimasi MS-MDPSO

## 1. 4 Batasan Masalah

Dalam melaksanakan perencanaan pemeliharaan mesin-mesin, maka perlu diberikan batasan-batasan agar tidak terlalu melebar pembahasannya. Adapun batasan yang dikaji antara lain

1. Penelitian dilakukan pada perusahaan manufaktur produk perawatan mulut PT. XYZ yang berada di Surabaya Jawa Timur
2. Objek penelitian adalah lini produksi *Dental* yang menggunakan tenaga robotik *ultra high speed* (D10, D11, D12, dan D15) dan komponen-komponen penyusunnya, khususnya pada salah satu lini yang dirasakan paling kritis.

## 1. 5 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. Sparepart dari komponen kritis selalu tersedia dan siap digunakan saat interval perawatan tiba
3. Jumlah kehadiran karyawan konstan, tidak ada yang bolos
4. Kemampuan semua karyawan perawatan sama

# BAB 2
# TINJAUAN PUSTAKA

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

## 2. 1 *Maintenance*

*Maintenance* atau perawatan 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 (Blanchard, 1992:18). 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*

*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 penggunanya (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* 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.

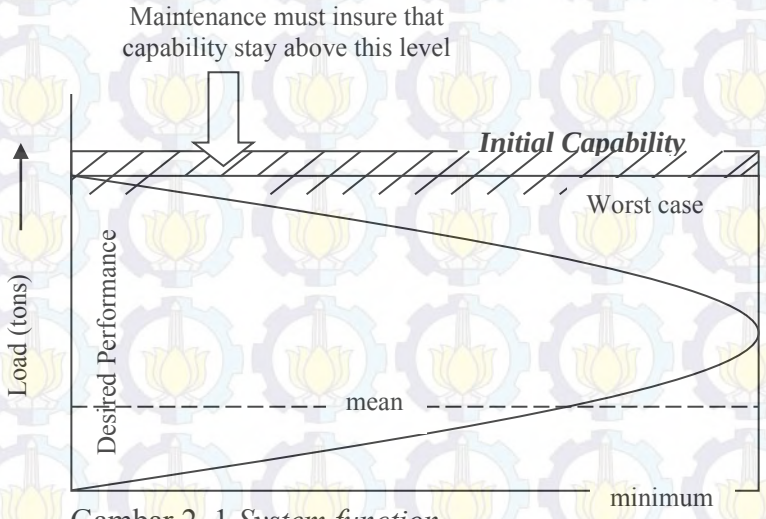
Penelitian tentang *Reliability Centered Maintenance* pada dasarnya berusaha menjawab 7 pertanyaan utama tentang *item* atau peralatan yang diteliti (Moubray, 1997:7). Tujuh pertanyaan tersebut antara lain:

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*

*Sistem function* adalah fungsi dari *item* yang diharapkan oleh *user* tetap berada dalam level kemampuan dari *item* tersebut sejak saat dibuat. Sistem *perawatan* hanya mampu menjaga kondisi *item* tetap berada dibawah *initial capability* dari desain *item. Sistem 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 ketegori 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 kagagalan *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 (*infort 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*)

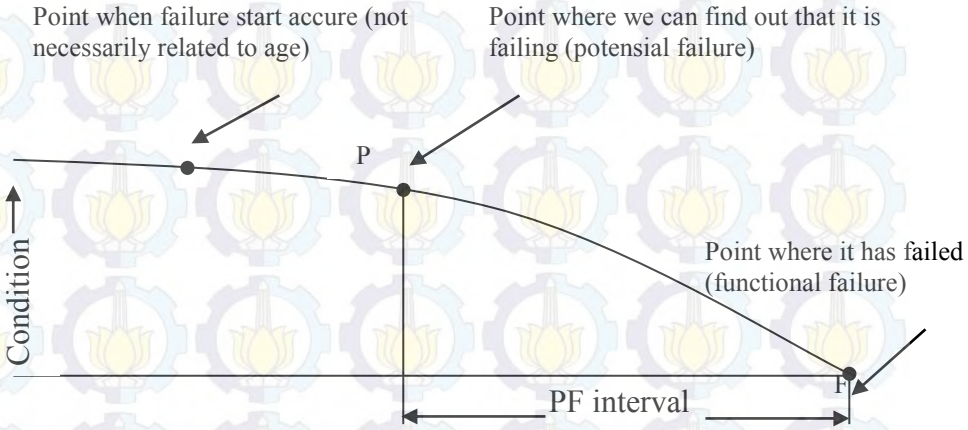
     Kegagalan acak umumnya terjadi pada *item* yang berjalan normal. Laju kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kegagalan yang konstan.
   - Kegagalan Usang (*user-out failure*)

     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 diidentifikasikan 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*

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.

### 2.2. 6 *Reliability Cenetered Maintenance* II

Penulis yaitu Moubray dan asosiasinya mulai bekerja dengan penerapan RCM dalam sektor pertambangan dan manufaktur pada awal tahun 1980-an. Mereka menggunakan versi modifikasi sedikit dari diagram Nowlan dan Heap selama tahun 1983-1990. Selama periode tersebut, lingkungan (environment) menjadi lebih dari sekedar isu. Awalnya, fasilitator dianjurkan untuk memperlakukan dampak lingkungan setara dengan dampak keselamatan kerja.

Namun dalam prakteknya, banyak masalah lingkungan yang tidak menimbulkan ancaman langsung terhadap keselamatan yang diabaikan. Lingkungan juga dapat menjadi masalah yang sangat kontroversial yang tidak memberikan lingkungan itu sendiri evaluasi yang subjektif dalam cara yang sama seperti keselamatan kerja.

Hasilnya, pada tahun 1988 Moubray mulai bekerja dengan sejumlah organisasi multi-nasional untuk membangun pendekatan yang lebih presisi terhadap kegagalan yang mengancam lingkungan. Puncaknya adalah dengan penambahan variable E sebagai *environmental consequences* pada diagram keputusan pada tahun 1990.

## 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 :

$$R(t) = P\{T \geq t\} \quad \text{.....(2.1)}$$

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

Jika dirumuskan

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

Dimana :

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

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:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dengan:

$$f(t) \geq 0 \, dan \int_0^\infty f(t)dt = 1$$

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

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad \text{.....(2.4)}$$

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

(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 :

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

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

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

Kemungkinan kondisi dari kegagalan perunit dalam waktu (tingkat kegagalan)

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

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

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

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 :

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

(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 :

$$MTTF = \int_0^\infty tf(t)dt$$

$$= -\int_0^{\infty} t\frac{dR}{dt}dt = -tR(t)\,|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t)dt$$

$$= \int_0^{\infty} R(t)dt \quad \text{.....(2.8)}$$

(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 perawatan karena mudah dalam menangani analisis *failure rate* yang konstan dari suatu *item* terutama perangkat elektronik. Dalam distribusi eksponensial, beberapa persamaan yang digunakan :

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

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

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

   Dengan persamaan (2.8) Maka didapat :

   $$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t}dt = \frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda}\Bigg|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda} \quad \text{.....(2.10)}$$

   (Ebeling, 1997:42)

2. Distribusi Weibull

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

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

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

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

Dan :

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

Maka MTTF distribusi Weibull adalah :

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

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 :

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

MTTF distribusi Log Normal adalah :

$$MTTF = t_{med} \exp\left(s^2 / 2\right) \quad \text{.....(2.16)}$$

(Ebeling 1997:73)

## 2. 4 Posisi Penelitian

Teknik yang terinspirasi dari perilaku mahluk hidup (Bio-Inspired techniques) dan evolutionary techniques telah terbukti menjadi salah satu alat untuk mengatasi permasalahan sistem tenaga (power system) (Lee and El-Sharkawi, 2008). Oleh karena itu, aplikasi tersebut digunakan untuk mengatasi masalah optimasi sistem tenaga seperti GMS, unit komitmen dan permasalahan yang berkaitan dengan ekonomi. Multi-species particle *swarm optimizer* yang disajikan oleh Iwamatsu (2006) mengembangkan Particle *swarm optimizer* (PSO) dengan membagi partikel *swarm* secara leluasa ke dalam beberapa klaster yang disebut species, dalam lokasi pencarian yang multi dimensional. Setiap spesies mengeksplorasi daerah yang berbeda dari ruang pencarian dan mencoba untuk mengetahui global optimal atau lokal optimal dari daerah itu, maka dapat digunakan untuk menemukan semua global minimal dari fungsi multi-modal secara paralel (Iwamatsu, 2006).

Populasi partikel dibagi ke dalam set *swarm* yang saling berinteraksi (Blackwell and Branke, 2006). *Swarm* tersebut berinteraksi secara lokal oleh sebuah parameter pengecualian dan secara global melalui operator anti-konvergen yang baru (Blackwell and Branke, 2006).

Cooperative particle *swarm* optimizer diperkenalkan oleh Van den Bergh and Engelbrecht (2004), dimana perilaku kooperatif digunakan untuk meningkatkan kinerja dari PSO asli secara signifikan, yang dicapai dengan menggunakan beberapa *swarm* untuk mengoptimalkan komponen yang berbeda dari vektor solusi secara bersama-sama.

Optimasi partikel *swarm* diskrit dengan dengan tiga sub-*swarm* (*Three sub-swarm discrete particle swarm optimization algorithm*) diperkenalkan oleh Xu et al. (2006), dimana partikel dibagi menjadi tiga sub-*swarm*. Sub-*swarm* pertama terbaang menuju posisi global *best*, sub-*swarm* kedua terbang dengan

arah yang berlawanan, sementara sub-*swarm* ketiga terbang secara random di sekitar posisi *best* global (Xu et al., 2006).

Strategi yang mengalokasikan jumlah *swarm* yang sesuai yang dibutuhkan untuk mendukung konvergensi dan keragaman criteria diantara *swarm* yang diperkenalkan oleh Yen and Leong (2009). Beberapa *swarm* menurut Yen and Leong (2009) didorong untuk mengeksplorasi bebrapa daerah, dan usaha serta pengetahuan kolektif yang dimiliki oleh *swarm* dikumunikasikan antar *swarm*, maka keragaman didapatkan.

Kemampuan dari algoritma *discrete particle swarm optimization* (DPSO) telah ditingkatkan dengan *evolutionary strategies* (ESs) untuk menghasilkan sebuah modifikasi dari DPSO (*modified discrete particle swarm optimization*) oleh Yare et al. (2008). Perbandingan secara detail dari DPSO, MDPSO, dan GA dan juga aplikasinya untuk menyelesaiakan permasalahan GMS dari sistem tenaga juga disajikan oleh Yare et al. (2008, yang menunjukkan bahwa MDPSO menghasilkan hasil yang lebih baik daripada DPSO dan GA dalam sistem pengujian yang sama. Sehingga membuat penulis untuk mengembangkan model penjadwalan aktivitas perawatan dengan metode optimasi MS-MDPSO dengan dipadukan dengan RCM II sebagai alat bantu pemilihan strategi perawatan. Posisi penelitian ini ditunjukkan Tabel 2.1

## 2. 5 Model Penelitian Terdahulu

Penelitian ini akan mengembangkan model matematis yang digunakan oleh Yare dan Venayagamoorthy (2010). Misalkan $T_i \subset T$ adalah sebuah himpunan dari periode saat perawatan unit $i$ dimulai,$T_i = \{t \in T: e_i \leq t \leq l_i - D_i + 1\}$ untuk setiap i. Tetapkan:

$$X_{it} \begin{cases} 1 \text{ jika unit 1 memulai perawatan pada periode } t \\ 0 \text{ sebaliknya} \end{cases} \qquad (2.17)$$

merupakan indikator mulainya aktivitas perawatan untuk unit $i$ pada periode $t$. Misalkan $S_{it}$ adalah himpunan dari waktu mulainya aktivitas perawatan (*maintenance start time*) pada periode $k$ sedemikian hingga jika perawatan unit $i$ dimulai pada periode k maka unit tersebut akan sedang dalam perawatan pada

periode $t$, $S_{it} = \{k \in T_i: t\text{-}Di + 1 \leq k \leq t\}$. Misalkan $I_t$ adalah himpunan unit yang diperbolehkan untuk mendapatkan perawatan pada periode $t$, $I_t = \{i: t \in T_i\}$.

Fungsi objektif Yare dan Venayagamoorthy (2010) adalah minimasi jumlah kuadrat level energi cadangan bersih (*net reserve level*) pada periode $t$. Minimasi jumlah kuadrat level energy cadangan bersih selama seluruh periode perencanaan opersional akan meningkatkan penurunan pada besarnya variasi dari cadangan energy, dan perencanaan jangka panjang kapasitas cadangan energy yang lebih baik selama adanya perawatan unit pembangkit. Fungsi objektif tersebut digambarkan sebagai berikut:

$$\min_{X_{it}} \left\{ \sum_t \left( \sum_{i \in I_t} P_{it} - \sum_{i \in I_t} \sum_{k \in S_{it}} X_{ik} P_{ik} - L_t \right)^2 \right\} \quad (2.18)$$

Subject to:

$$\sum_{i \in I_t} P_{it} - \sum_{i \in I_t} \sum_{k \in S_{it}} X_{ik} P_{ik} \geq L_t + R \quad \forall t \quad (2.19)$$

$$\sum_{t \in T_i} X_{it} = 1 \quad \forall i \quad (2.20)$$

$$\sum_{i \in I_t} \sum_{k \in S_{it}} X_{ik} M_{ik} \leq AM_t \quad \forall t \quad (2.21)$$

Keterangan notasi:

| | | | |
|---|---|---|---|
| AMt | : ketersediaan tenaga perawatan saat periode t | $P_{it}$ | : kapasitas generator unit ke i pada waktu t |
| $c_1$ dan $c_2$ | : Konstanta kognitif dan aselerasi sosial | PSO | : *particle swarm optimization* |
| D | : Dimensi permasalahan | R | : energi cadangan (*spinning reserve*) |
| $D_i$ | : durasi perawatan untuk unit i | Rand, $rand_1$, $rand_2$ | : bilangan random untuk distribusi uniform pada range [0,1] |
| DPSO | : *discrete particle swarm optimization* | $rand_n$ | : bilangan random distribusi Gaussian dengan mean 0 dan variance 1 |
| $e_i$ | : periode terawal untuk memulai perawatan unit i | $S_{it}$ | : himpunan periode waktu dimulainya perawatan |
| ES | : evolutionary strategy | t | : indeks periode |
| GA | : genetic algorithm | T | : himpunan indeks dari periode pada horizon perencanaan |
| GMS | : *generator maintenance scheduling* | $T_i$ | : himpunan periode saat perawatan unit i dimulai |
| i | : indeks unit generator | $\|V_1\|, \|V_2\|,$ | : sejumlah pelanggaran dari |
| I | : himpunan indeks unit generator | | |
| $L_i$ | : periode terakhir selesainya perawatan unit 1 | | |
| j | : indeks dari n *multiple swarms* | | |

k : langkah waktu diskrit
l : indeks partikel dalam sebuah swarm
$L_t$ : beban demand yang diantisipasi pada periode t
m : ukuran populasi setiap swarm
MDPSO : *modified discrete particle swarm optimization*
MS-MDPSO : *multiple swarm modified discrete particle swarm optimization*
$M_{it}$ : tenaga kerja perawatan yang dibutuhkan oleh unit i pada periode t
Mr : tingkat mutasi
N : jumlah total unit generator/pembangkit
Nc : jumlah pelanggaran konstrain
n : jumlah *multiple swarm*
$P_j^t$ : populasi *swarm* ke j pada waktu t
$P_{jgdc}$ : posisi global *best swarm* ke-j pada dimensi d
$P_{jlbd}$ : posisi terbaik partikel ke-l pada swarm ke-j untuk dimensi d
$P_{ik}$ : kapasitas generator unit i pada waktu start periode k
$dan\ |V_3|$ konstrain terhadap beban kerja generator, *maintenance window*, dan tenaga kerja perawatan
$V_c$ : jumlah pelanggaran konstrain c
$V_{jld}$ : kecepatan partikel l dalam swarm j untuk dimensi d
$ù_{iner}$ : konstanta bobot inersia yang merupakan nilai tetap, menurun secara linier atau berubah secara dinamis
$ù_1, ù_2, dan\ ù_3$ : koefisien pembobotan dari konstrain beban kerja generator, maintenance window, dan tenaga kerja perawatan
$X_{ik}$ : indikator dimulainya perawatan untuk unit i pada periode start time k
$X_{it}$ : indikator dimulainya perawatan untuk unit I pada periode t
$X_{jld}$ : posisi partikel l pada *swarm* j untuk dimensi d

Biaya penalti di persamaan (6) ditambahkan ke persamaan (2.18) jika jadwal perawatan tidak dapat memenuhi batasan kapasitas, interval perawatan, dan ketersediaan kru perawatan.

$$\sum_c^{N_c} ù_c|V_c| = ù_1|V_1| + ù_2|V_2| + ù_3|V_3| \quad (2.22)$$

Koefisien bobot $\omega_1$, $\omega_2$, dan $\omega_3$ dipilih agar gangguan terhadap batasan yang dianggap lebih penting akan menghasilkan penalty yang lebih besar pula, dan sebaliknya. Koefisien dari bobot $\omega_1$, $\omega_2$, dan $\omega_3$ antara 0.2 – 1.2

### 2.5. 1 *Modified Discrete Particle Swarm Optimization*

Algoritma modified discrete particle *swarm* optimization (MDPSO) yang disajikan oleh Engelbrecht (2005) dan Yare et al. (2008) merupakan hasil

peningkatan algoritma *discrete particle swarm optimization* (DPSO) dengan memasukkan *evolutionary strategy* yang didasari oleh operator mutasi, sama dengan yang digunakan pada *genetic algorithm*. Algoritma MDPSO digunakan dalam prosedur *update* kecepatan dan posisi dari partikel *swarm* (Yare et al., 2008)

Misalkan *X* dan *V* adalah berturut-turut koordinat dan kecepatan terbang dari partikel dalam ruang pencarian. Oleh karena itu, partikel *l* direpresentasikan oleh $X_{ld} = (X_{l1}, X_{l2}, \ldots, X_{lN})$ dalam dimensi ruang *d*. Posisi terbaik sebelumnya dari partikel *l* disebut sebagai p*best*, direkam dan direpresentasikan sebagai $P_{lbd} = (P_{lb1}, P_{lb2}, \ldots, P_{lbN})$. Indeks dari partikel terbaik diantara semua p*best* dalam *swarm* disebut sebagai g*best* yang direpresentasikan sebagai $P_{gd}$. Tingkat kecepatan dari partikel *l* direpresentasikan sebagai $V_{ld} = (V_{l1}, V_{l2}, \ldots, V_{lN})$. Posisi dan kecepatan yang baru dari pertikel *l* dalam dimensi *d* ditentukan berdasarkan persamaan update kecepatan dan posisi yang ditunjukkan berturut-turut oleh persamaan (2.23) dan (2.24). Bobot inersia $w_{iner}$ di-*update* dengan persamaan (2.25)

$$V_{ld}(t) = round(w_{iner}V_{ld}(t-1) + c_1 rand_1(P_{lbd}(t-1) - X_{ld}(t-1)) + c_1 rand_1\left(P^*_{gb}(t-1) - X_{ld}(t-1)\right)) \quad (2.23)$$

$$X_{ld} = X_{ld}(t-1) + V_{ld}(t) \quad (2.24)$$

$$w_{iner} = w^{max}_{iner} - \left(\frac{w^{max}_{iner} - w^{min}_{iner}}{iter_{max}}\right) \times iter \quad (2.25)$$

Operator mutasi diperkenalkan ke dalam algoritma DPSO di atas, maka posisi terbaik dari *swarm* dalam dimensi *d* di-*update* dengan persamaan (2.26). Misalkan $P_{gd}$* merupakan partikel yang terpilih dengan angka acak lebh kecil dari tingkat mutasi yang ditentukan seblumnya (untuk tingkat mutasi antara 0 hingga 0,3 atau 0<tingkat mutasi<0.3), maka persamaan mutasinya adalah:

$$P^*_{gd} = P_{gd}(randn(\ ) \times {}^{P_{gd}}/_{2}) \quad (2.26)$$

*d* = 1, 2, …, N adalah dimensi permasalahan

### 2.5. 2 *Multiple swarms-modified discrete particle swarm optimization* (MS-MDPSO)

Beberapa *swarm* dalam MDPSO memilih pemimpin global terbaik untuk memimpin dan mempengaruhi pergerakan mereka menuju solusi terbaik yang bisa dicapai. Pertukaran informasi dalam *swarm* maupun antar *swarm* digambarkan dalam pergerakan multiple *swarm* tersebut. Maka konsep ini menghasilkan perbaikan dalam algoritma *hybrid* yang efisien.

Algoritma MS-MDPSO mengambil keuntungan dengan memaksimalkan manfaat yang muncul dari trade-off kemampuan eksploitasi dari setiap *n* multiple *swarm*s dengan ukuran populasi $m_1, m_2,\ldots, m_j, \ldots, m_n$ (dimana $m_1, m_2,\ldots, m_j, \ldots, m_n = m$) dan kemampuan eksplorasi dari *n* multiple *swarm* yang dilakukan bersama-sama, yang selanjutnya merubah sebuah solusi terbaik global tunggal (single global *best*) dari sebuah himpunan *n* solusi terbaik global (global *best* solution) yang didapatkan oleh *n* multiple *swarm*. Satu solusi terbaik global ysng baru ditemukan ini yang digunakan untuk menghasilkan solusi optimal.

Partikel $X_{jl}^k$(dimana j=1, 2,…,*n* dan *l* = 1, 2, …, *m*) dalam tiap n multiple *swarm*, dengan populasi $P_1^k, P_2^k, \ldots, P_j^k, \ldots, P_n^k$dengan ukuran $m_1, m_2,\ldots, m_j, \ldots, m_n$ dapat dimodelkan dengan waktu diskrit *k* sebagai:

$$P_1^k = \left[X_{11}^k \middle| X_{12}^k \middle| \ldots \middle| X_{1m_1}^k\right],\ P_2^k = \left[X_{21}^k \middle| X_{22}^k \middle| \ldots \middle| X_{2m_2}^k\right]$$

$$P_j^k = \left[X_{j1}^k \middle| X_{j2}^k \middle| \ldots \middle| X_{jm_1}^k\right],\ P_n^k = \left[X_{n1}^k \middle| X_{n2}^k \middle| \ldots \middle| X_{2n}^k\right] \quad (2.27)$$

Dimana $m_1 = m_2 = \ldots = m_j = \ldots = m_n = m$

*Update* kecepatan dan posisi MDPSO yang sebelumnya didapatkan menggunakan persamaan (2.23) dan (2.24) dimodifikasi dan dimasukkan dalam algoritma MS-MDPSO untuk meng-update kecepatan dan posisi partikel di tiap *n* multiple *swarm* dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{jld}(k) = round(w_{iner}V_{jld}(k-1) + c_1 rand_1\left(P_{jlbd}(k-1) - X_{jld}(k-1)\right) + c_2 rand_2\left(P_{jgb}^*(k-1) - X_{jld}(k-1)\right)) \quad (2.28)$$

$$X_{jld}(k) = X_{jld}(k-1) + V_{jld}(k) \quad (2.29)$$

Dengan w = 0.8, $c_1 = 2$, $c_2 = 2$, partikel memiliki kemampuan pencarian yang baik, dan berkumpul di posisi solusi global optimal.

Untuk tingkat mutasi yang berada dalam range ($0 < M_r < 0.3$), persamaan mutasi dari partikel yang terpilih dimodifikasi dari persamaan (2.26), dan diberikan sebagai:

$if\ rand < M_r$

$$P^*_{jgd}(k-1) = P_{jgd}(k-1) + ceil(randn \times P_{jgd}(k-1)/\hat{a}_{gb} \quad (2.30)$$

else

$$P^*_{jgd}(k-1) = P_{jgd}(k-1) \quad (2.31)$$

end

dimana $\beta_{gb}$ dapat dinamis maupun tetap, dan mengendalikan proses mutasi. Proses mutasi meningkatkan diversitas dari populasi dengan cara mencegah partikel bergerak terlalu dekat satu sama lain, sehingga berakibat konvergensi secara prematur ke lokal optima.

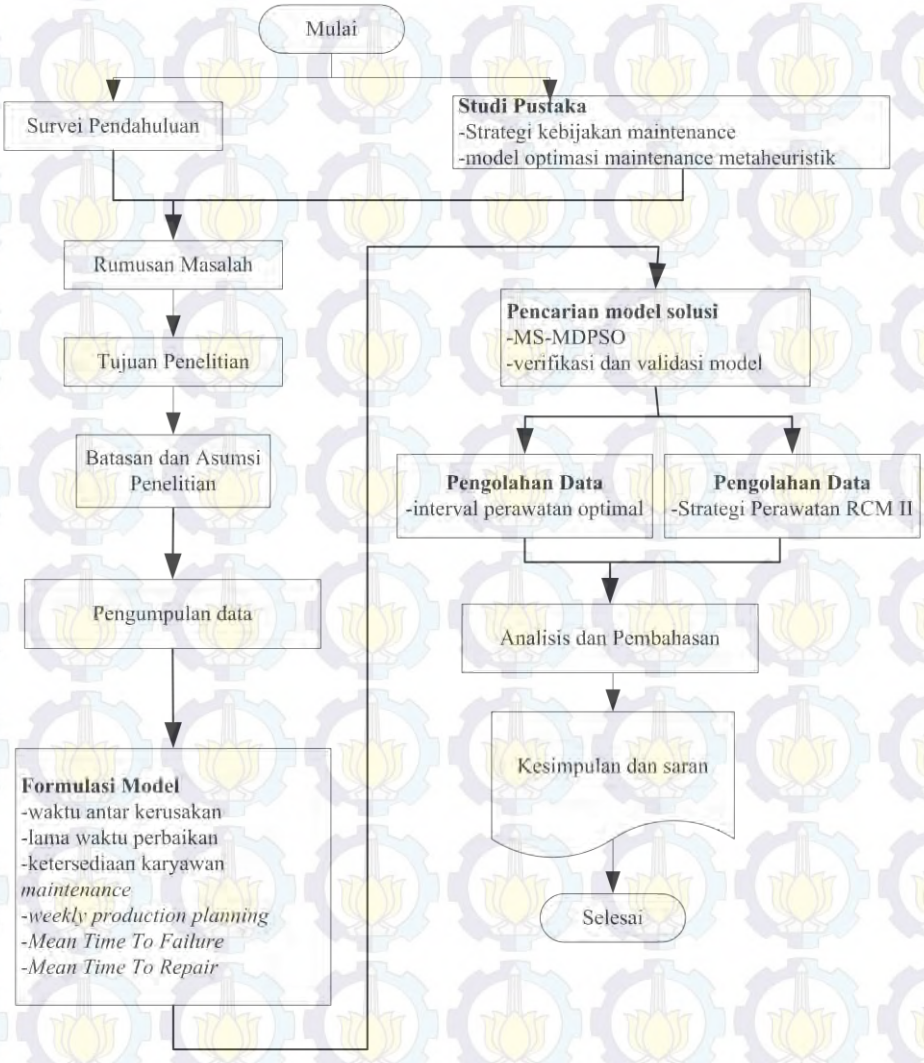
Tabel 2. 1 Posisi Penelitian

| NO | PENULIS | JUDUL | METODE OPTIMASI | | | | STRATEGI PERAWATAN | | | FUNGSI TUJUAN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | GA | SA | PSO | ACO | RCM | PREVENTIVE | LAINNYA | |
| 1 | Yare dan Venayagamoorthy (2010) | Optimal *maintenance* scheduling of generators using multiple *swarm*s-MDPSO framework | | | MS-MDPSO | | | v | | penjadwalan perawatan dengan minimasi variasi persediaan energi cadangan serta biaya penalti |
| 2 | Tomé et al. (2011) | A Simulated Annealing based approach to solve the generator *maintenance* scheduling problem | | v | | | | v | | penjadwalan perawatan generator dengan minimasi biaya pembangkitan selama periode perawatan |
| 3 | Cavory et al. (2001) | Agenetic approach to the scheduling of preventive *maintenance* tasks on a single product manufacturing production line | v | | | | | v | | penjadwalan perawatan pada mesin lini produksi dengan single product dengan maksimasi throughput |
| 4 | Berrichi et al. (2010) | Bi-Objective Ant Colony Optimization approach to optimize production and *maintenance* scheduling | | | | Bi-objective | | v | | minimasi makespan produksi dan minimasi unavailability dari sistem |
| 5 | suresh dan kumarappan (2012) | Hybrid improved binary particle *swarm* optimization approach for generation *maintenance* scheduling problem | | | Hybrid-improved binary | | | v | | minimasi loss of load probability dan minimasi deviasi rasio energi cadangan tahunan |
| 6 | Fetanat dan Shafipour (2011) | Generation *maintenance* scheduling in power systems using ant colony optimization for continuous domains based 0–1 integer programming | | | | v | | v | | minimasi biaya perawatan, dengan kenaikan biaya perawatan apabila terlambat dalam melakukan tindakan perawatan |
| 7 | Yssaad et al. (2014) | Reliability centered *maintenance* optimization for power distribution systems | | | | | v | v | | minimasi biaya perawatan |
| 8 | Li dan Gao (2010) | Study and application of Reliability-centered *Maintenance* considering Radical *Maintenance* | | | | | v | | Radical Mintenance (RM) | penelitian secara mendalam terhadap penyebab kegagalan yang tidak mampu diananlisis dengan RCM |
| 9 | Penelitian ini | Pengembangan model penjadwalan *maintenance* dengan multiple *swarm*s-modified discrete particle *swarm* optimization (MS-MDPSO) dan reliability centered *maintenance* ii (RCM II) | | | MS-MDPSO | | v | v | | Minimasi variasi inventori |

Sumber: Pengolahan

# BAB 3
# METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan langkah-langkah yang diperlukan dalam melaksanakan penelitian ini. Bab ini menguraikan tentang diagram alir penelitian, metode penelitian yang digunakan, rancangan penelitian, alat-alat yang dipergunakan dalam pengambilan dan pengolahan data, dan tahapan metodologi penelitian. Adapun diagram alir penelitian ditunjukkan oleh Gambar 3.1




Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian
Sumber: Pengolahan

## 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 karateristik *variable* dan tujuan penelitian (Saukah, 2000:15). Rancangan penelitian yang dilakukan pada Pabrik PT. XYZ adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Rancangan Penelitian

| Uraian | Proses Perolehan |
|---|---|
| Sumber Data | Data kualitatif dan Data kuantitatif (seperti yang tercantum pada metode penelitian) |
| Rencana Penelitian | Unit *sample* (Lini produksi yang menggunakan mesin robotik) antara lain D10, D11, D12, dan D15 |
| Pengolahan Data | - Penentuan interval perawatan optimal dengan model yang diusulkan, dengan metode optimasi MS-MDPSO.<br>- Penentuan kebijakan perawatan berdasarkan RCM II yang dituangkan dalam RCM II *Decision Worksheet*. |
| Analisis data | Analisis hasil pengolahan data serta analisis tindakan pencegahan yang diusulkan oleh penulis melalui prosedur RCM II *Decision Diagram*. |

Sumber: Pengolahan

## 3. 3 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian dalam tesis 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).

   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 Formulasi Model

Pada tahap ini, dilakukan formulasi model matematis terhadap permasalahan yang akan dipecahkan, yaitu penjadwalan aktivitas perawatan yang optimal dengan menentukan interval perawatan terhadap komponen mesin, dengan fungsi tujuan minimasi variasi inventori dalam rentang periode tertentu. Penjadwalan yang akan dicari solusinya ini mempertimbangkan ketersediaan produk yang akan digunakan untuk memenuhi *demand* yang telah tertuang dalam *weekly production plan* yang telah dibuat oleh perusahaan, ketersediaan tenaga kerja perawatan yang setiap hari hadir dan *standby* di lantai produksi, dan kesesuaian dengan MTTF dan MTTR dari komponen yang menjadi objek aktivitas perawatan karena diharapkan komponen tidak mengalami kegagalan sebelum interval perawatannya tiba.

Pada tahap ini, dikembangkan formulasi model penjadwalan aktivitas maintenance dengan pertimbangan tiga konstrain utama teresbut, dan proses penyelesaiaannya akan menggunakan metode metaheuristik MS-MDPSO. Model ini didasari oleh model yang dikembangkan oleh Yare dan Venayagamoorthy 2010. Adapun model permasalahan yang akan digunakan oleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$Min \left( \sum_{t=1}^{52} \left( \sum_{i=1}^{2} P_i - (X_{it}.P_i) - L_t \right)^2 \right) \quad \text{.....(3.1)}$$

Persamaan 3.1 merupakan fungsi objektif dari perencanaan penjadwalan *maintenance* yang merupakan tujuan utama dari penelitian ini. Fungsi tersebut bertujuan untuk meminimasi kuadrat selisih dari kapasitas produksi dari semua lini produksi tanpa interupsi dikurangi dengan *loss production* akibat dilakukannya proses *maintenance* pada *part* mesin dari lini produksi tertentu. Adapun beberapa fungsi pembatas dari fungsi objektif 3.1 ditunjukkan oleh persamaan 3.2 hingga persamaan 3.5.

$$\sum_{i=1}^{2}(P_i - X_{it}.P_i) \geq L_t \quad \forall t \qquad (3.2)$$

Persamaan 3.2 merupakan fungsi pembatas, yang mengindikasikan bahwa total kapasitas produksi yang tersisa akibat adanya proses *maintenance* terhadap lini produksi i selama waktu k hingga t, harus lebih besar sama dengan rencana produksi pada waktu t. Fungsi ini berperan untuk menjaga agar proses *maintenance* yang dilaksanakan tidak mengganggu proses pemenuhan *demand* pada waktu t.

$$\sum_{j}\sum_{k} XP_{ijk} \geq 1 \quad \forall i \qquad (3.3)$$

untuk $k \leq t$ , $k > t - R_{ij}$ , dan $k > MINTF_{ij}$

Persamaan 3.3 merupakan fungsi pembatas yang menandakan bahwa dalam rentang perencanaan penelitian ini, yaitu selama 52 minggu, harus terlaksana proses *maintenance* untuk minimal satu *part* mesin dari semua lini produksi. Waktu dimulainya proses *maintenance* k memiliki batasan yaitu $k \leq t$ dan $k > t - R_{ij}$ , untuk menjamin bahwa waktu dimulainya proses *maintenance* berada diantara waktu interval tercepat kerusakan terjadi dengan MTTF dari *part* mesin, untuk mencegah kerusakan pada *part* lainnya mengingat system produksi ini tersusun seri, yang akan berdampak pada terjadinya *breakdown* yang terbilang dini untuk part lainnya dan *downtime* yang lebih lama, yang tentunya akan berdampak pada *loss production*.

$$\sum_{i}^{\square}\sum_{j}^{\square} XP_{ijk}.M_{ij} \leq 10 \quad \forall k \quad \text{..... (3.4)}$$

Untuk $j \leq N_i$

Persamaan 3.4 merupakan fungsi pembatas, yang menjamin ketersediaan dari personil *maintenance* saat dilaksanakannya proses *maintenance* lini i untuk part j pada saat waktu k. Ketersediaan personil *maintenance* untuk setiap minggu t adalah 10 orang.

$$\sum_{j=1}^{N(i)}\sum_{k}^{\square}(XP_{ijk} + (N_i.X_{it})) \geq N_i \quad \forall i \quad \text{.....(3.5)}$$

X adalah bilangan biner
XP adalah bilangan biner

Persamaan 3.5 merupakan fungsi pembatas yang memungkinkan bahwa pada saat waktu k dapat dilakukan proses *maintenance* lebih dari 1 *part* dalam 1 lini maupun beberapa part untuk 2 lini secara simultan.

Keterangan notasi:

i = indeks lini produksi

j = indeks *part* mesin dari lini produksi yang menjadi objek penelitian

k = indeks waktu dimulainya proses *maintenance* pada *part* mesin

$L_t$ = Rencana produksi dari lini produksi pada waktu t (unit/minggu)

$M_{ij}$ = jumlah personil *maintenance* (orang) yang tersedia untuk melaksanakan aktivitas *maintenance* lini produksi untuk part mesin j.

$MINTF_{ij}$ = waktu interval tercepat terjadi kerusakan *part* j pada lini i

$N_i$ = himpunan jumlah *part* mesin dari setiap lini produksi i (unit)

$P_i$ = Produktifitas dari lini produksi i(unit/minggu)

$R_{ij}$ = MTTF dari *part* mesin j pada lini produksi I dalam satuan minggu

$X_{it}$ = variabel keputusan untuk lini produksi i pada waktu t, yang mengalami proses *maintenance*

= 1 apabila lini produksi I mengalami proses *maintenance*,0 sebaliknya

$XP_{ijk}$ = variable keputusan untuk *part* mesin j dari lini produksi i yang mengalami proses *maintenance* pada waktu mulai dilaksanakannya aktivitas *maintenance* k

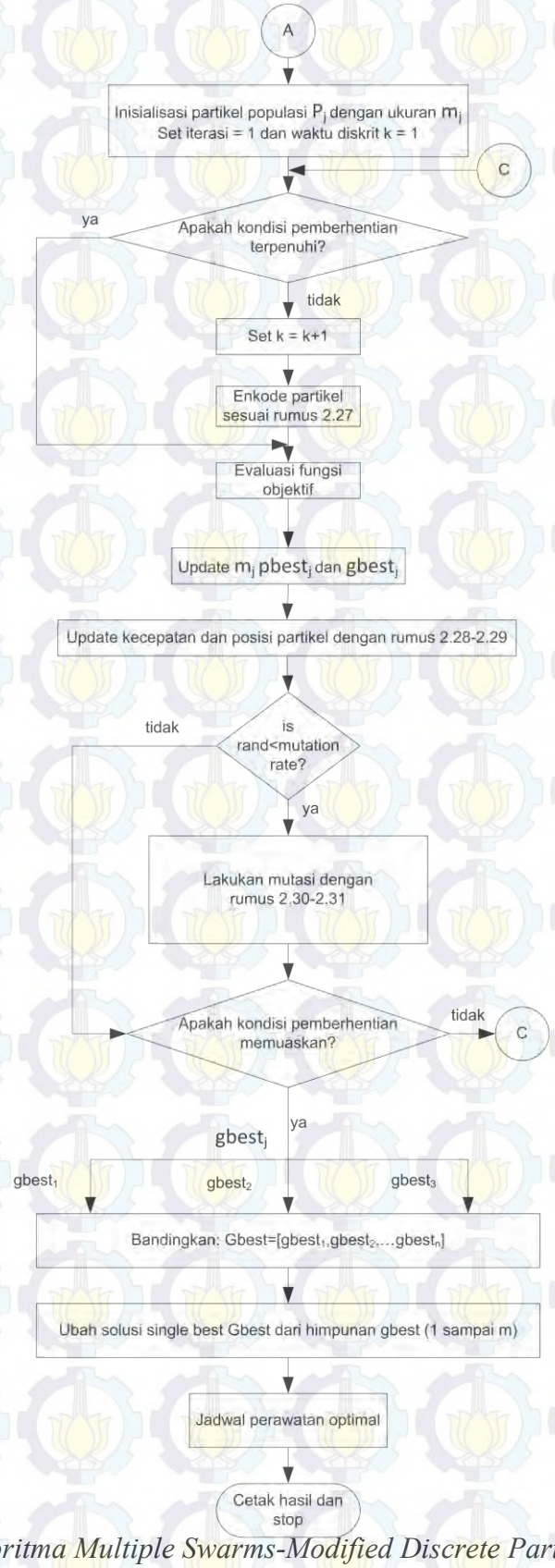
= 1 apabila part mesin j dari lini produksi i mengalami proses *maintenance*, 0 sebaliknya

Adapun alur algoritma dari *Multiple Swarms-Modified Discrete Particle Swarm Optimization* yang dikemukakan oleh Yare dan Venayagamoorthy 2010 ditunjukkan oleh Gambar 3.2.

Gambar 3. 2 Algoritma *Multiple Swarms-Modified Discrete Particle Swarm Optimization*

### 3. 5 Pencarian Solusi Model

Pada tahap ini, akan dilakukan pencarian solusi dari model yang telah diformulasikan pada tahap sebelumnya. Karena formulasi model tersebut merupakan kombinasi variabel dan parameter yang kompleks dan sulit diperoleh, dan memakan banyak waktu dalam perolehannya dengan metode eksak, maka proses perhitungannya menggunakan metode heuristik, dalam hal ini menggunakan metode heuristik MS-MDPSO. Sebelum dilakukan operasi *numeric* untuk mengatasi permasalahan penjadwalan pada penelitian ini, perlu dilakukan uji verifikasi dan validasi terhadap model yang telah dibuat. Uji verifikasi dan validasi dilakukan dengan menguji model dengan menggunakan data dengan sampel kecil untuk melihat apakah output yang dihasilkan logis atau tidak terhadap fungsi objektif, fungsi pembatas, serta secara praktek lapangan.




Gambar 3.2 *Algoritma Multiple Swarms-Modified Discrete Particle Swarm Optimization* (Lanjutan)

### 3. 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 :

### 3.6. 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 mendetesiskan keterhubungan fungsi dari masing-masing komponen dari mesin kritis tersebut. Selain itu detesis 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*. S*ystem 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 Dicission 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 menganalisia 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*.

### 3.6. 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 (Tf) dan waktu antar perbaikan (Tr), 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. Setelah model yang diajukan telah dinyatakan lulus uji verifikasi dan validasi, maka dilakukan operasi numerik dengan menggunakan metode optimasi MS-MDPSO untuk mendapatkan interval perawatan optimal bagi permasalahan penjadwalan aktivitas perawatan untuk komponen yang menjadi objek penelitian ini

## 3. 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.

# BAB 4
# PENGOLAHAN DAN ANALISIS 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

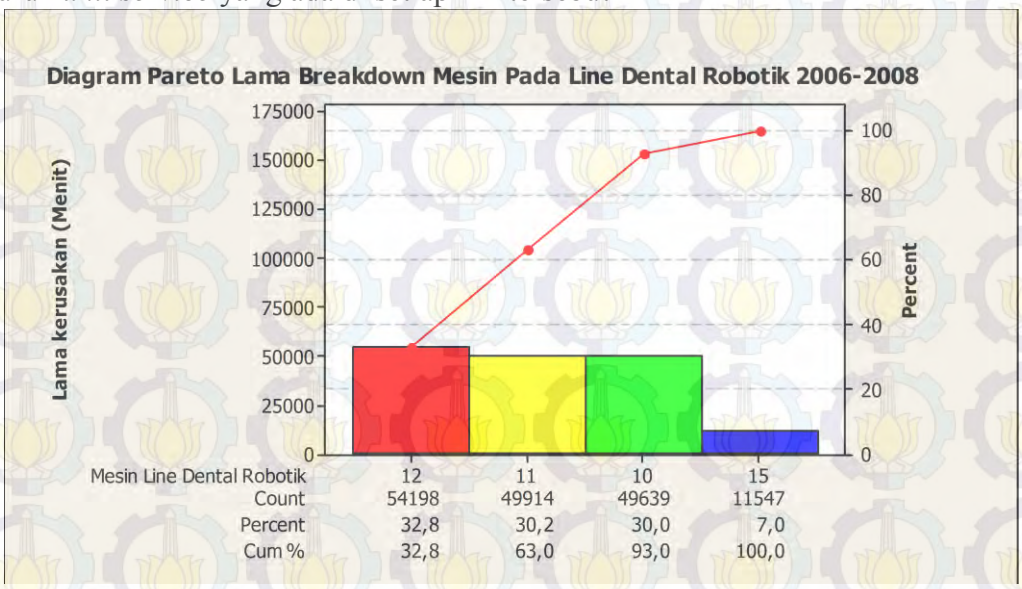
Sesuai dengan batasan masalah yang telah diuraikan pada bab I, maka lini produksi yang akan menjadi fokus penelitian adalah lini produksi *Dental* yang menggunakan tenaga *robotic ultra high speed*, yaitu lini D10, D11, D12, dan D15. Dari keempat lini tersebut akan dicari lini yang memiliki komponen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

### 4.1. 1 Penentuan Lini Produksi Kritis

Untuk menentukan mesin dan komponen kritis yang akan dianalisis dalam menentukan kebijakan perawatan yang optimal, 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*

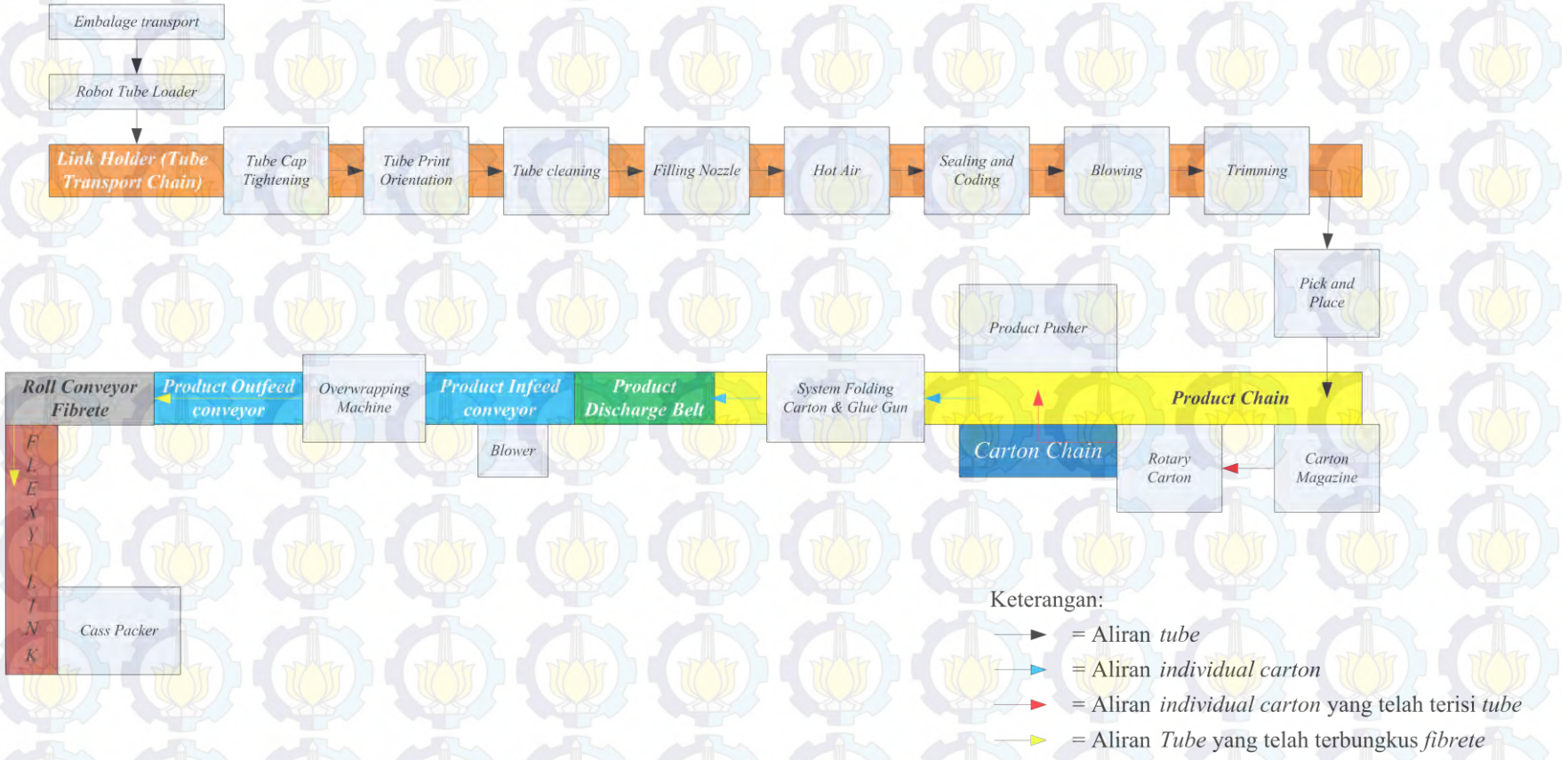
6. Setelah itu dilakukan pengisian pasta dengan menggunakan *filling nozzle*
7. Setelah *tube* terisi dengan pasta, lalu bagian atas *tube* dipanasi oleh *Hot air* untuk selanjutnya dilakukan *sealing* dan pemberian kode (*coding*) pada bagian *tube* yang telah di*sealing*
8. Setelah melalui proses *sealing* dan *coding*, selanjutnya *tube* didinginkan dengan mekanisme *blow* udara agar nanti pada saat dilakukan proses *trimming* (pemotongan atau perataan bagian *tube* yang telah di*sealing*) 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*. *Individua*l *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 tertiup 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 x 12 = 144 *tube* pasta gigi.

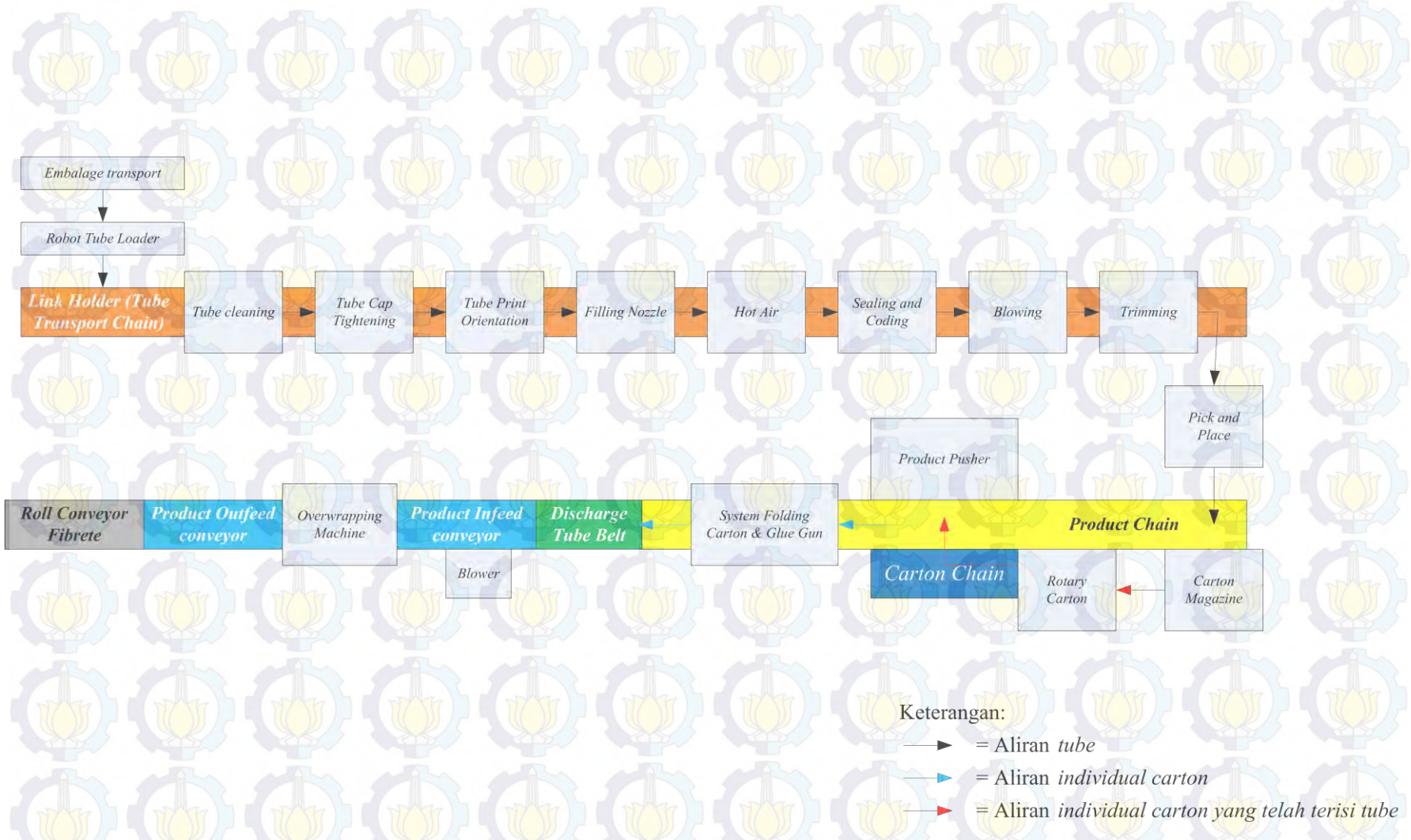
Sedangkan aliran proses produksi pada lini D11 yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3, adalah sebagai berikut:

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 dudukan *tube* dikencangkan oleh *tube cap tightening*
5. 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
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 di*sealing*
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 di*sealing*) 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 tertiup 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*

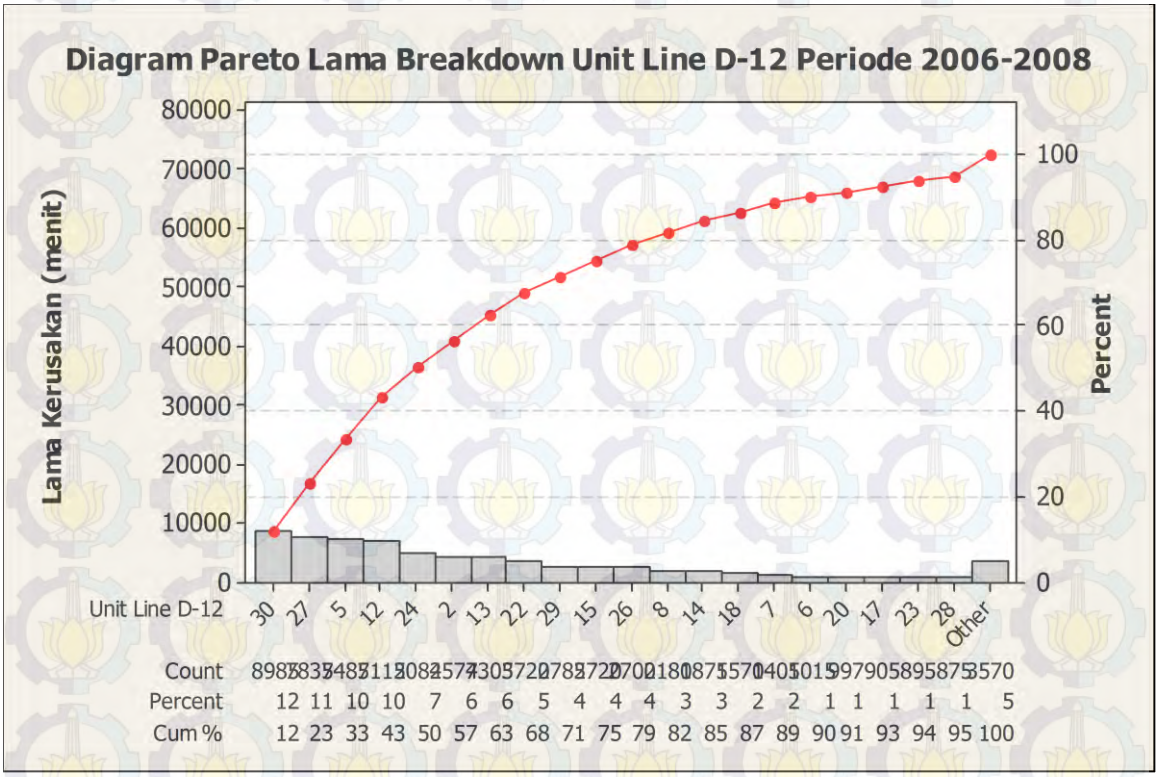



Gambar 4. 2*Layout* Mesin Lini D12
Sumber: PT. XYZ




Gambar 4. 3*Layout* mesin lini D11
Sumber: PT. XYZ

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.

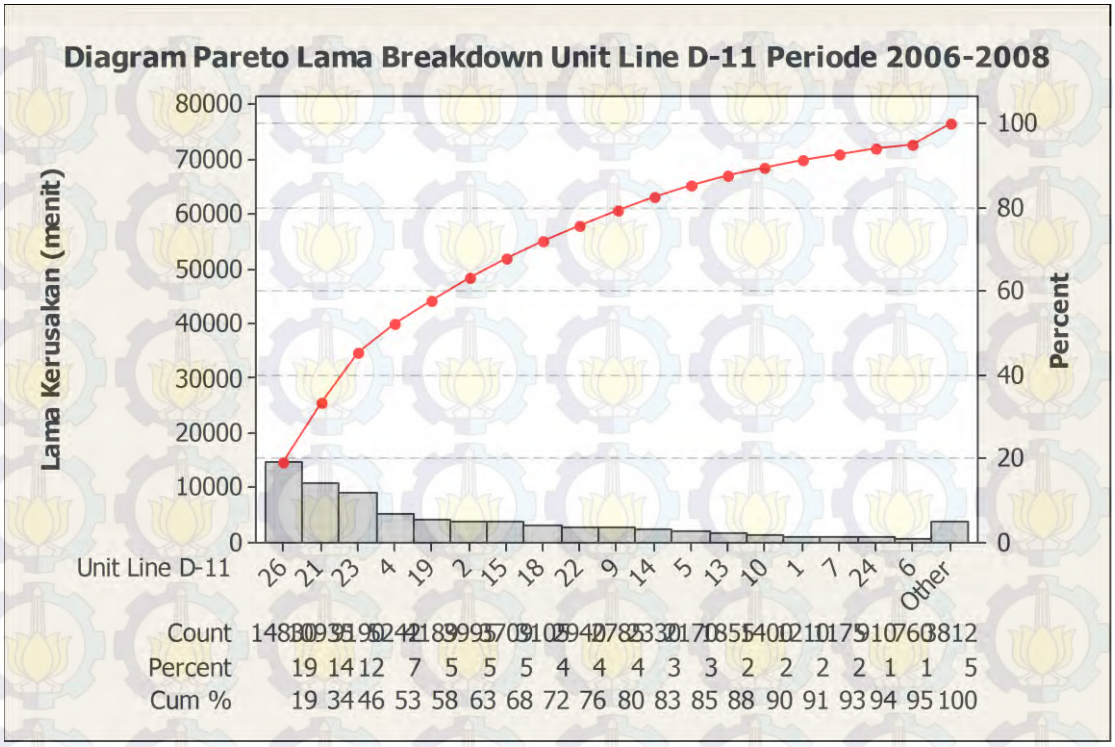



Gambar 4. 4 Diagram Pareto Lama *Breakdown Unit Service* Lini D12 Periode Tahun 2006-2008

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

Keterangan:

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




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:

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
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 bungkusan
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 *sevice* 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 c*ut 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.

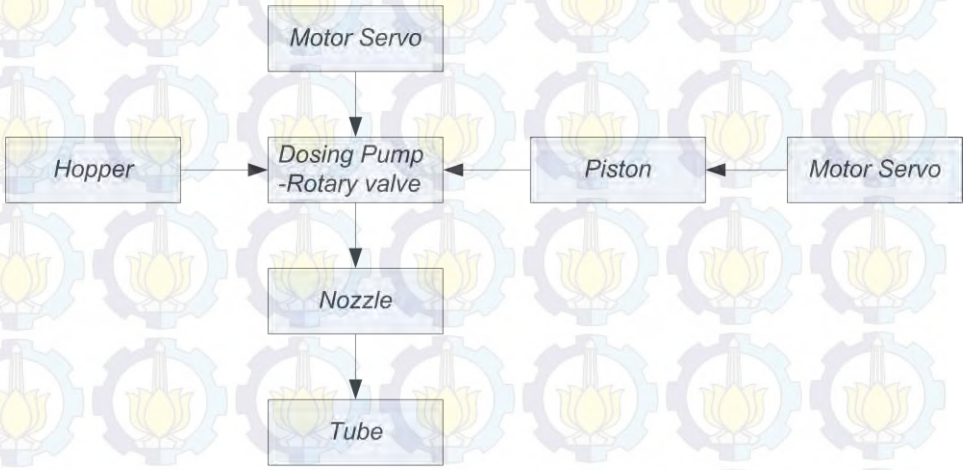
Berikut ini merupakan komponen-komponen kritis yang menjadi fokus penelitian.

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. | *Seal Shut Rod Nozzle* | Mencegah pasta bocor dan naik ke bagian atas *nozzle* |
| 2. | *Filter Nozzle* | Mencegah masuknya pasta ke dalam *blow off spindle* |
| 3. | *Head Nozzle* | Lubang tempat keluarnya pasta, bekerja sama dengan ujung *blow off nozzle* untuk menutup dan memotong aliran pasta |

Sumber: Data yang diolah

Tabel 4. 2 Komponen Kritis Unit Pengisian Lini D11

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

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. XYZ

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. XYZ

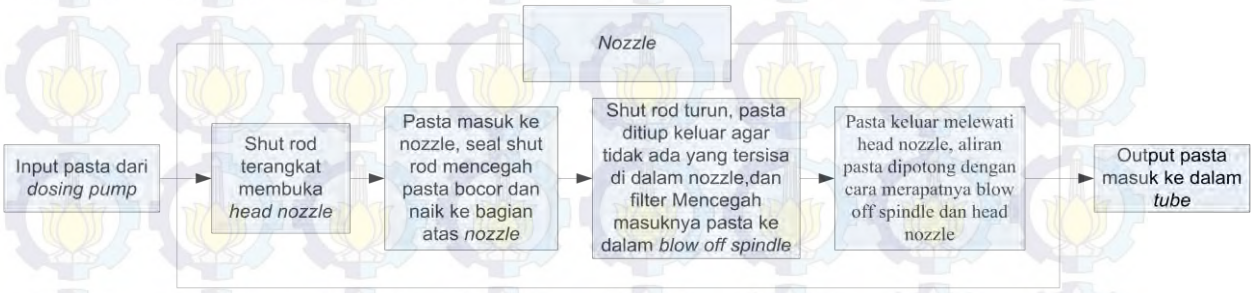
2. Data biaya kegagalan mesin yang meliputi data biaya kerugian produksi (*lost production cost*) , biaya tenaga kerja, biaya penggantian komponen serta biaya perawatan mesin.

## 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 optimal, dan penyusunan RCM II *Decision Worksheet*.

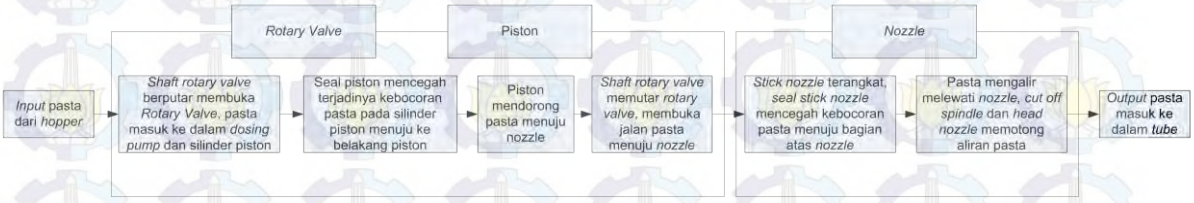
### 4.3. 1 *Functional Block Diagram (FBD)*

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




Gambar 4. 7 *Functional Block Diagram nozzle* lini D12
Sumber: PT. XYZ.

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. XYZ

### 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

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

Sumber: PT. XYZ.

Tabel 4. 6 *Function and Function Failure* Komponen Kritis *Rotary valve,* Piston, dan *Nozzle* Lini D11

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

Sumber: PT. XYZ.

### 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 refference* 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 yng ditunjukkan oleh Tabel 4.8.

### 4.3. 4 Uji Distribusi Waktu Antar Kerusakan

Uji distribusi waktu antar kerusakan (Tf) 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 Tf 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.

### 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.

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 hsil MTTR untuk masing-masing komponen kritis di setiap lini D12 dan D11.

### 4.3. 6 Interval Perawatan Optimal

Setelah mengolah beberapa data kuantitatif diatas, seperti mengolah data antar kerusakan (Tf) menjadi MTTF, data lama waktu proses *maintenance* (Tr) menjadi MTTR, maka tahap selanjutnya adalah mencari interval perawatan optimal dengan menggunakan algoritma MS-MDPSO. Dalam proses perhitungan ini akan menggunakan bantuan software MATLAB versi 2010a, dimana *coding* atau *syntax* dapat dilihat pada lampiran laporan ini.

Sebelum memulai proses perhitungan, perlu diketahui bahwa dalam proses ini akan dilakukan konversi satuan waktu, dari satuan minggu ke satuan jam. Ini dilakukan karena rasio besar antara waktu antar kerusakan dengan waktu proses *maintenance*. Begitu juga rasio antara kapasitas produksi mesin dengan waktu proses *maintenance*. Rasio yang besar ini mengharuskan konversi satuan waktu dari minggu ke jam dengan alasan yang logis, karena apabila diputuskan-

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 Refference | | |
| | Loss of function | (cause of failure) | (what happen when it failure) | F | FF | FM |
| Mencegah pasta bocor dan naik ke bagian atas *nozzle* | Gagal menahan pasta yang masuk ke *nozzle*, sehingga pasta bocor ke bagian atas *nozzle* | *Seal shut rod* aus | Adanya kebocoran pasta, sehingga menyebabkan *filling tailing*. | 1 | | 1 |
| Mencegah masuknya pasta ke dalam *blow off spindle* | Pasta masuk ke dalam *blow off spindle*, semburan angin kurang bagus | Filter *blow off spindle* aus | Pasta bisa masuk ke dalam *spindle,* hembusan angin untuk mendorong pasta menjadi kurang bagus sehingga terjadi *tailing* pada akhir pengisian. *Tailing* akan menyebabkan proses *sealing tube* kurang baik atau bocor. | 2 | | 1 |
| Lubang tempat keluarnya pasta, bekerja sama dengan ujung *blow off nozzle* untuk menutup dan memotong aliran pasta | Gagal memotong aliran pasta dengan baik | *Head nozzle* aus | Proses pemotongan aliran pasta menjadi kurang baik karena *closing* antara *blow off spindle* dengan *head nozzle* kurang sempurna menyebabkan *filling tailing*. *Tailing* akan menyebabkan proses *sealing tube* kurang baik atau bocor. | 3 | | 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 *Nozzle*D11

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

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

untuk melakukan *maintenance part* mesin pada suatu minggu ke t, maka akan dilakukan proses *maintenance* terhadap *part* tersebut dengan durasi waktu satuan minggu. Tentunya, tidak masuk akal untuk membulatkan angka waktu atau durasi proses *maintenance* yang maksimum nilainya hanya 4,1944 jam (*Shaft Rotary Valve*) menjadi satu minggu, yang artinya durasi *maintenance* sudah selesai dalam kurun waktu 4,1944 jam, setelah itu lini produksi *idle*.

Tabel 4. 9 Uji Distribusi Tf Komponen Kritis *Nozzle* Lini D12

| Nama *Part* | Komponen Kritis | Jenis Distribusi | Parameter | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | β | η | $\lambda$ | μ | $\tau$ |
| *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 | $\lambda$ | μ | $\tau$ |
| *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) | TF MINIMUM (jam) |
|---|---|---|---|
| *Nozzle* | *Seal Shut Rod Nozzle* | 1474,94 | 259 |
| | *Filter Nozzle* | 3797,82 | 1536 |
| | *Head Nozzle* | 2997,69 | 152 |

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) | TF MINIMUM (jam) |
|---|---|---|---|
| *Rotary Valve* | *Bushing Rotary Valve* | 2383,54 | 1279 |
| | *Shaft Rotary Valve* | 2056,63 | 232 |
| *Piston* | *Seal Piston* | 831,412 | 32 |
| *Nozzle* | *Seal Stick Nozzle* | 803,155 | 8 |

Sumber: Hasil uji distribusi data Tf komponen kritis lini D11

Tabel 4. 13 Uji Distribusi Tr Komponen Kritis *Nozzle* Lini D12

| Nama *Part* | Komponen Kritis | Jenis Distribusi | Parameter | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | β | η | $\lambda$ | μ | $\tau$ |
| *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 | $\lambda$ | μ | $\tau$ |
| *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

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) |
|---|---|---|---|
| *Rotary Valve* | *Bushing Rotary Valve* | 125,485 | 2,0914 |
| | *Shaft Rotary Valve* | 251,664 | 4,1944 |
| *Piston* | *Seal Piston* | 81,9272 | 1,3655 |
| *Nozzle* | *Seal Stick Nozzle* | 92,4812 | 1,5414 |

Sumber: Hasil uji distribusi data Tr komponen kritis lini D11

### 4.3. 7 Interval Perawatan Optimal

Setelah mengolah beberapa data kuantitatif diatas, seperti mengolah data antar kerusakan (Tf) menjadi MTTF, data lama waktu proses *maintenance* (Tr) menjadi MTTR, maka tahap selanjutnya adalah mencari interval perawatan optimal dengan menggunakan algoritma MS-MDPSO. Dalam proses perhitungan ini akan menggunakan bantuan software MATLAB versi 2010a, dimana *coding* atau *syntax* dapat dilihat pada lampiran laporan ini.

Sebelum memulai proses perhitungan, perlu diketahui bahwa dalam proses ini akan dilakukan konversi satuan waktu, dari satuan minggu ke satuan jam. Ini dilakukan karena rasio besar antara waktu antar kerusakan dengan waktu proses *maintenance*. Begitu juga rasio antara kapasitas produksi mesin dengan waktu proses *maintenance*. Rasio yang besar ini mengharuskan konversi satuan waktu dari minggu ke jam dengan alasan yang logis, karena apabila diputuskan untuk melakukan *maintenance part* mesin pada suatu minggu ke t, maka akan dilakukan proses *maintenance* terhadap *part* tersebut dengan durasi waktu satuan minggu. Tentunya, tidak masuk akal untuk membulatkan angka waktu atau durasi proses *maintenance* yang maksimum nilainya hanya 4,1944 jam (*Shaft Rotary Valve*) menjadi satu minggu, yang artinya durasi *maintenance* sudah selesai dalam kurun waktu 4,1944 jam, setelah itu lini produksi *idle*.

Selain konversi satuan waktu tersebut, perlu dipaparkan kondisi permasalahan yang dihadapi. Kondisi tersebut dapat dilihat pada potongan *coding* MATLAB proses perhitungan yang sudah dirancang sebagai berikut.

```
%============================Deklarasi Permasalahan
m=30; %m=dimensi partikel swarm
max_iter=100;
T=8736; %T=horizon waktu
```

```
jml_lini=2;
jml_part=7;
MINTF=[1279 232 32 8 259 1536 152];
MTTF=[2384  2057    832 804 1475    3798    2998];
MTTR=[3 5   2   2   1   2   2];
M=[3 3 3 2 2 1 1]; %M=manpower
max_M=10;
```

Kondisi di atas memperlihatkan bahwa proses perhitungan akan menggunakan jumlah partikel sebanyak 30 partikel/*swarm*. Jumlah *swarm* yang akan digunakan adalah 5 *swarm*. Tentunya semakin banyak *swarm* dan partikel yang digunakan akan semakin baik pula hasilnya dalam menjangkau seluruh *problem space,* dengan konsekuensi waktu perhitungan yang lebih lama. Rentang waktu perhitungan menggunakan 8736 jam, atau sama dengan 1 tahun. Parameter MINTF adalah minimum waktu antar kerusakan dari *part*, berturut-turut mulai dari *part* D11 hingga D12. M adalah kebutuhan *manpower* untuk melaksanakan proses *maintenance*. Sedangkan parameter max_m adalah maksimum jumlah ketersediaan *manpower* setiap jam. Adapun replikasi perhitungan pada penelitian ini menggunakan 10 replikasi, dengan jumlah iterasi maksimum adalah 100. Tabel 4.17 menunjukkan hasil 10 replikasi dengan menggunakan unit komputer yang berbeda-beda (menggunakan 10 unit computer, masing-masing computer melakukan 1 replikasi) dari proses perhitungan interval *maintenance* pada penelitian ini.

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Interval Waktu Optimal dengan MS-MDPSO

| REPLIKASI | GLOBAL BEST (unit$^2$) | NOMOR *SWARM* | DURASI PERHITUNGAN (JAM) |
|---|---|---|---|
| 1 | 264672010890729 | 2 | 7.3824 |
| 2 | 264672010890729 | 2 | 7.7664 |
| 3 | 264672010890729 | 2 | 7.6368 |
| 4 | 264672010890729 | 2 | 7.7856 |
| 5 | 264672010890729 | 2 | 7.5792 |
| 6 | 264672010890729 | 2 | 7.3944 |
| 7 | 264672010890729 | 2 | 7.368 |
| 8 | 264672010890729 | 2 | 7.4184 |
| 9 | 264672010890729 | 2 | 7.4136 |
| 10 | 264672010890729 | 2 | 7.2648 |

Dari Tabel 4.17 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan menghasilkan nilai global *best* yang sama. Global *best* disini menggunakan kriteria dari model

yang dapat dilihat pada persamaan 3.1. Tabel 4.18 menunjukkan jadwal *maintenance* dari masing-masing *part* hasil perhitungan menggunakan MS-MDPSO. Tabel tersebut merupakan hasil konversi variabel keputusan yang awalnya berupa matriks bilangan biner, sesuai dengan konstrain model ($X_{ijk}$)

Tabel 4. 18 Jadwal *Maintenance Part* Lini D11 dan Lini D12

| LINI | *PART* | JADWAL *MAINTENANCE* (JAM) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D11 | ***Bushing Rotary Valve*** | 1348 | 2689 | 4036 | 5377 | 6722 | 8068 | | | | | | |
| | ***Shaft Rotary Valve*** | 5 | 337 | 676 | 1010 | 1345 | 1684 | 2022 | 2353 | 2689 | 3028 | 3361 | 3697 |
| | | 4033 | 4372 | 4705 | 5044 | 5378 | 5719 | 6052 | 6388 | 6626 | 6892 | 7130 | 7394 |
| | | 7730 | 8067 | 8401 | | | | | | | | | |
| | ***Seal Piston*** | 169 | 337 | 506 | 676 | 841 | 1009 | 1177 | 1211 | 1345 | 1513 | 1681 | 1852 |
| | | 2017 | 2189 | 2223 | 2355 | 2391 | 2522 | 2689 | 2727 | 2857 | 3025 | 3362 | 3396 |
| | | 3533 | 3698 | 3865 | 3899 | 4033 | 4070 | 4104 | 4203 | 4238 | 4372 | 4407 | 4539 |
| | | 4573 | 4708 | 4874 | 5041 | 5076 | 5212 | 5377 | 5545 | 5714 | 5748 | 5784 | 5885 |
| | | 5919 | 6052 | 6088 | 6122 | 6217 | 6256 | 6386 | 6421 | 6458 | 6556 | 6590 | 6624 |
| | | 6892 | 6930 | 6964 | 7058 | 7093 | 7128 | 8070 | 8104 | 8403 | 8437 | 8475 | 8569 |
| | | 8605 | | | | | | | | | | | |
| | ***Seal Stick Nozzle*** | 11 | 30 | 175 | 338 | 505 | 675 | 687 | 842 | 1010 | 1178 | 1188 | 1202 |
| | | 1212 | 1345 | 1358 | 1513 | 1523 | 1535 | 1686 | 1696 | 1850 | 1863 | 1874 | 1884 |
| | | 2018 | 2028 | 2038 | 2186 | 2196 | 2207 | 2217 | 2227 | 2353 | 2363 | 2373 | 2384 |
| | | 2394 | 2700 | 2710 | 2720 | 2858 | 2868 | 2878 | 3365 | 3375 | 3386 | 3396 | 3530 |
| | | 3541 | 3551 | 3563 | 3865 | 3875 | 3890 | 3900 | 3911 | 4034 | 4048 | 4058 | 4068 |
| | | 4080 | 4092 | 4102 | 4112 | 4201 | 4215 | 4226 | 4236 | 4369 | 4383 | 4393 | 4403 |
| | | 4414 | 4538 | 4549 | 4559 | 4569 | 4580 | 4594 | 5715 | 5725 | 5735 | 5746 | 5758 |
| | | 5769 | 5779 | 5881 | 5892 | 5902 | 5912 | 5924 | 6051 | 6062 | 6072 | 6083 | 6093 |
| | | 6103 | 6113 | 6125 | 6218 | 6229 | 6241 | 6252 | 6268 | 6385 | 6398 | 6410 | 6425 |
| | | 6436 | 6446 | 6456 | 6466 | 6553 | 6563 | 6575 | 6585 | 6595 | 6606 | 6615 | 6625 |
| | | 6890 | 6901 | 6911 | 6921 | 6937 | 6951 | 6962 | 6973 | 7057 | 7067 | 7079 | 7089 |
| | | 7099 | 7109 | 7119 | 7130 | 8401 | 8416 | 8428 | 8442 | 8454 | 8465 | 8477 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| **D12** | ***Seal Shut Rod Nozzle*** | 337 | 673 | 1683 | 2017 | 2353 | 3026 | 3361 | 3697 | 4033 | 4369 | 4706 | 5041 |
| | | 5377 | 5720 | 6051 | 6386 | 6647 | 6909 | 7169 | 7561 | 7897 | 8233 | 8570 | |
| | ***Filter Nozzle*** | 1539 | 3194 | 4733 | 6385 | 8068 | | | | | | | |
| | ***Head Nozzle*** | 170 | 339 | 507 | 675 | 841 | 1009 | 1179 | 1345 | 1514 | 1682 | 1849 | 2019 |
| | | 2185 | 2353 | 2522 | 2691 | 2858 | 3027 | 3194 | 3362 | 3530 | 3698 | 3870 | 4033 |
| | | 4201 | 4370 | 4537 | 4707 | 4874 | 5041 | 5209 | 5547 | 5713 | 5881 | 6217 | 6385 |
| | | 6553 | 6721 | 6889 | 7057 | 7225 | 7399 | 8065 | 8403 | 8570 | | | |

Setelah mendapatkan jadwal *maintenance* dari setiap *part*, maka perlu dilakukan verifikasi apakah jadwal tersebut tidak melanggar ketiga konstrain yang telah ditetapkan, yang ditunjukkan oleh persamaan 3.2 hingga 3.5.

### 4.3.6. 1 Verifikasi Konstrain Pemenuhan *Demand*

Pada sub bab ini akan dibahas verifikasi konstrain pemenuhan *demand* yang ditunjukkan oleh persamaan 3.2. Proses verifikasi perhitungan manual akan menggunakan bantuan *spreadsheet* Microsoft excel dengan beberapa *cell* yang telah diberikan formula untuk mempermudah proses perhitungan manual. Solusi yang dihasilkan oleh MS-MDPSO, yaitu variabel keputusan tindakan *maintenance* berupa matriks bilangan biner, akan menjadi input pada *spreadsheet*. Variabel keputusan biner tersebut masih dalam satuan jam (total 8736 jam), yang nantinya akan dikonversi menjadi minggu untuk menyesuaikan target pemenuhan *demand* yang memiliki satuan minggu. Tabel 4.19 menunjukkan hasil verifikasi konstrain pemenuhan *demand*.

Drari Tabel 4.19 kita dapat melihat bahwa pada kolom kedua, Total Selisih Mingguan, merupakan selisih dari kapasitas produksi kedua lini tanpa interupsi,dikurangi dengan *loss capacity* akibat adanya aktivitas *maintenance* yang direncanakan sesuai solusi MS-MDPSO. Pada kolom *Inventory*,memiliki nilai positif, yang menandakan bahwa kapasitas yang tersisa yang ditunjukkan oleh kolom dua mampu memenuhi *demand* setiap minggunya. Maka solusi bisa diterima dari sudut kosntrain ini.

Tabel 4. 19 Hasil Verifikasi Konstrain Pemenuhan *Demand* (satuan unit)

| MINGGU | TOTAL SELISIH MINGGUAN | | *DEMAND* | | *INVENTORY* (SELISIH-*DEMAND*) | | KUADRAT *INVENTORY* (SELISIH-*DEMAND*) | | TOTAL SELISIH KUADRAT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D11 | D12 | D11 | D12 | D11 | D12 | D11 | D12 | |
| 1 | 3138750 | 3548250 | 2109168 | 1404000 | 1029582 | 2144250 | 1.06004E+12 | 4.59781E+12 | 2.64672E+14 |
| 2 | 3321000 | 3548250 | 2774448 | 2471040 | 546552 | 1077210 | 2.98719E+11 | 1.16038E+12 | |
| 3 | 3300750 | 3526875 | 2836800 | 3110400 | 463950 | 416475 | 2.1525E+11 | 1.73451E+11 | |
| 4 | 3341250 | 3548250 | 2937600 | 2851200 | 403650 | 697050 | 1.62933E+11 | 4.85879E+11 | |
| 5 | 3240000 | 3526875 | 2594880 | 2747520 | 645120 | 779355 | 4.1618E+11 | 6.07394E+11 | |
| 6 | 3341250 | 3548250 | 2937600 | 3110400 | 403650 | 437850 | 1.62933E+11 | 1.91713E+11 | |
| 7 | 3280500 | 3548250 | 2692800 | 3110400 | 587700 | 437850 | 3.45391E+11 | 1.91713E+11 | |
| 8 | 3199500 | 3548250 | 1958400 | 2851200 | 1241100 | 697050 | 1.54033E+12 | 4.85879E+11 | |
| 9 | 3240000 | 3548250 | 2448000 | 2851200 | 792000 | 697050 | 6.27264E+11 | 4.85879E+11 | |
| 10 | 3280500 | 3505500 | 2448000 | 2332800 | 832500 | 1172700 | 6.93056E+11 | 1.37523E+12 | |
| 11 | 3219750 | 3548250 | 2692800 | 69696 | 526950 | 3478554 | 2.77676E+11 | 1.21003E+13 | |
| 12 | 3199500 | 3548250 | 1958400 | 1036800 | 1241100 | 2511450 | 1.54033E+12 | 6.30738E+12 | |
| 13 | 3159000 | 3526875 | 2203200 | 1555200 | 955800 | 1971675 | 9.13554E+11 | 3.8875E+12 | |
| 14 | 3118500 | 3548250 | 1468800 | 1555200 | 1649700 | 1993050 | 2.72151E+12 | 3.97225E+12 | |
| 15 | 3098250 | 3548250 | 1468800 | 2851200 | 1629450 | 697050 | 2.65511E+12 | 4.85879E+11 | |
| 16 | 3361500 | 3548250 | 2937600 | 1555200 | 423900 | 1993050 | 1.79691E+11 | 3.97225E+12 | |
| 17 | 3138750 | 3548250 | 1713600 | 1814400 | 1425150 | 1733850 | 2.03105E+12 | 3.00624E+12 | |
| 18 | 3260250 | 3548250 | 2301120 | 2332800 | 959130 | 1215450 | 9.1993E+11 | 1.47732E+12 | |
| 19 | 3260250 | 3526875 | 2692800 | 3110400 | 567450 | 416475 | 3.22E+11 | 1.73451E+11 | |
| 20 | 3402000 | 3548250 | 2937600 | 1814400 | 464400 | 1733850 | 2.15667E+11 | 3.00624E+12 | |
| 21 | 3159000 | 3526875 | 1713600 | 1814400 | 1445400 | 1712475 | 2.08918E+12 | 2.93257E+12 | |
| 22 | 3199500 | 3548250 | 1958400 | 1555200 | 1241100 | 1993050 | 1.54033E+12 | 3.97225E+12 | |

| MINGGU | TOTAL SELISIH MINGGUAN | | *DEMAND* | | *INVENTORY* (SELISIH-*DEMAND*) | | KUADRAT *INVENTORY* (SELISIH-*DEMAND*) | | TOTAL SELISIH KUADRAT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D11 | D12 | D11 | D12 | D11 | D12 | D11 | D12 | |
| 23 | 3300750 | 3526875 | 2529504 | 2419200 | 771246 | 1107675 | 5.9482E+11 | 1.22694E+12 | |
| 24 | 3179250 | 3548250 | 1305792 | 2366352 | 1873458 | 1181898 | 3.50984E+12 | 1.39688E+12 | |
| 25 | 2916000 | 3548250 | 44352 | 2592000 | 2871648 | 956250 | 8.24636E+12 | 9.14414E+11 | |
| 26 | 3159000 | 3548250 | 1497600 | 1555200 | 1661400 | 1993050 | 2.76025E+12 | 3.97225E+12 | |
| 27 | 3037500 | 3526875 | 1468800 | 1296000 | 1568700 | 2230875 | 2.46082E+12 | 4.9768E+12 | |
| 28 | 3098250 | 3548250 | 1224000 | 1555200 | 1874250 | 1993050 | 3.51281E+12 | 3.97225E+12 | |
| 29 | 3300750 | 3484125 | 2203200 | 2592000 | 1097550 | 892125 | 1.20462E+12 | 7.95887E+11 | |
| 30 | 3361500 | 3548250 | 1958400 | 2073600 | 1403100 | 1474650 | 1.96869E+12 | 2.17459E+12 | |
| 31 | 3219750 | 3548250 | 2016000 | 2073600 | 1203750 | 1474650 | 1.44901E+12 | 2.17459E+12 | |
| 32 | 3361500 | 3548250 | 2260800 | 2246400 | 1100700 | 1301850 | 1.21154E+12 | 1.69481E+12 | |
| 33 | 3280500 | 3569625 | 2203200 | 2592000 | 1077300 | 977625 | 1.16058E+12 | 9.55751E+11 | |
| 34 | 3361500 | 3548250 | 2448000 | 2505600 | 913500 | 1042650 | 8.34482E+11 | 1.08712E+12 | |
| 35 | 2916000 | 3526875 | 262656 | 2339136 | 2653344 | 1187739 | 7.04023E+12 | 1.41072E+12 | |
| 36 | 3118500 | 3548250 | 1444176 | 2281680 | 1674324 | 1266570 | 2.80336E+12 | 1.6042E+12 | |
| 37 | 2916000 | 3569625 | 367776 | 3063024 | 2548224 | 506601 | 6.49345E+12 | 2.56645E+11 | |
| 38 | 3138750 | 3548250 | 1232208 | 1725408 | 1906542 | 1822842 | 3.6349E+12 | 3.32275E+12 | |
| 39 | 2875500 | 3548250 | 0 | 136800 | 2875500 | 3411450 | 8.2685E+12 | 1.1638E+13 | |
| 40 | 2895750 | 3526875 | 0 | 0 | 2895750 | 3526875 | 8.38537E+12 | 1.24388E+13 | |
| 41 | 3341250 | 3548250 | 2774448 | 2471040 | 566802 | 1077210 | 3.21265E+11 | 1.16038E+12 | |
| 42 | 2895750 | 3526875 | 0 | 0 | 2895750 | 3526875 | 8.38537E+12 | 1.24388E+13 | |
| 43 | 2916000 | 3526875 | 0 | 0 | 2916000 | 3526875 | 8.50306E+12 | 1.24388E+13 | |
| 44 | 3402000 | 3548250 | 2774448 | 2471040 | 627552 | 1077210 | 3.93822E+11 | 1.16038E+12 | |

| MINGGU | TOTAL SELISIH MINGGUAN | | *DEMAND* | | *INVENTORY* (SELISIH-*DEMAND*) | | KUADRAT *INVENTORY* (SELISIH-*DEMAND*) | | TOTAL SELISIH KUADRAT |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D11 | D12 | D11 | D12 | D11 | D12 | D11 | D12 | |
| 45 | 3300750 | 3548250 | 2448000 | 2592000 | 852750 | 956250 | 7.27183E+11 | 9.14414E+11 | |
| 46 | 3402000 | 3569625 | 2937600 | 3110400 | 464400 | 459225 | 2.15667E+11 | 2.10888E+11 | |
| 47 | 3300750 | 3591000 | 2203200 | 3024000 | 1097550 | 567000 | 1.20462E+12 | 3.21489E+11 | |
| 48 | 3402000 | 3569625 | 2332800 | 2937600 | 1069200 | 632025 | 1.14319E+12 | 3.99456E+11 | |
| 49 | 3260250 | 3505500 | 1814400 | 2592000 | 1445850 | 913500 | 2.09048E+12 | 8.34482E+11 | |
| 50 | 3402000 | 3569625 | 2332800 | 2937600 | 1069200 | 632025 | 1.14319E+12 | 3.99456E+11 | |
| 51 | 2976750 | 3548250 | 489024 | 2073600 | 2487726 | 1474650 | 6.18878E+12 | 2.17459E+12 | |
| 52 | 3321000 | 3548250 | 1684800 | 2246400 | 1636200 | 1301850 | 2.67715E+12 | 1.69481E+12 | |

### 4.3.6. 2 Verifikasi Konstrain Interval Pelaksanaan Aktivitas *Maintenance*

Selanjutnya akan dilakukan verifikasi dari konstrain 3.3. Proses ini dilakukan dengan melihat selisih atau interval antar aktivitas *maintenance* masing-masing *part* dari solusi yang dihasilkan. Angka selisih didapatkan dari proses penghitungan menggunakan Tabel 4.18. Setelah melalui proses perhitungan, solusi sudah sesuai dengan konstraiN 3.3. Setiap *part* pasti mendapat jadwal untuk *maintenance*, dan interval antar aktivitas *maintenance* sesuai berada pada waktu antar kerusakan minimum (MINTF) dengan MTTF. Salah satu hasil perhitungannya ditunjukkan oleh Tabel 4.20 dan 4.21

Tabel 4. 20 Interval Antar Aktivitas *Maintenance Part Seal Piston* (SP)

| *MAINTENANCE* KE | JAM KE | INTERVAL | *MAINTENANCE* KE | JAM KE | INTERVAL | *MAINTENANCE* KE | JAM KE | INTERVAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 168 | 28 | 3899 | 134 | 55 | 6386 | 35 |
| 2 | 169 | 168 | 29 | 4033 | 37 | 56 | 6421 | 37 |
| 3 | 337 | 169 | 30 | 4070 | 34 | 57 | 6458 | 98 |
| 4 | 506 | 170 | 31 | 4104 | 99 | 58 | 6556 | 34 |
| 5 | 676 | 165 | 32 | 4203 | 35 | 59 | 6590 | 34 |
| 6 | 841 | 168 | 33 | 4238 | 134 | 60 | 6624 | 268 |
| 7 | 1009 | 168 | 34 | 4372 | 35 | 61 | 6892 | 38 |
| 8 | 1177 | 34 | 35 | 4407 | 132 | 62 | 6930 | 34 |
| 9 | 1211 | 134 | 36 | 4539 | 34 | 63 | 6964 | 94 |
| 10 | 1345 | 168 | 37 | 4573 | 135 | 64 | 7058 | 35 |
| 11 | 1513 | 168 | 38 | 4708 | 166 | 65 | 7093 | 35 |
| 12 | 1681 | 171 | 39 | 4874 | 167 | 66 | 7128 | 942 |
| 13 | 1852 | 165 | 40 | 5041 | 35 | 67 | 8070 | 34 |
| 14 | 2017 | 172 | 41 | 5076 | 136 | 68 | 8104 | 299 |
| 15 | 2189 | 34 | 42 | 5212 | 165 | 69 | 8403 | 34 |
| 16 | 2223 | 132 | 43 | 5377 | 168 | 70 | 8437 | 38 |
| 17 | 2355 | 36 | 44 | 5545 | 169 | 71 | 8475 | 94 |
| 18 | 2391 | 131 | 45 | 5714 | 34 | 72 | 8569 | 36 |
| 19 | 2522 | 167 | 46 | 5748 | 36 | 73 | 8605 | |
| 20 | 2689 | 38 | 47 | 5784 | 101 | | | |
| 21 | 2727 | 130 | 48 | 5885 | 34 | | | |
| 22 | 2857 | 168 | 49 | 5919 | 133 | | | |
| 23 | 3025 | 337 | 50 | 6052 | 36 | | | |
| 24 | 3362 | 34 | 51 | 6088 | 34 | | | |
| 25 | 3396 | 137 | 52 | 6122 | 95 | | | |
| 26 | 3533 | 165 | 53 | 6217 | 39 | | | |
| 27 | 3698 | 167 | 54 | 6256 | 130 | | | |
| 28 | 3865 | 34 | | | | | | |

Tabel 4. 21 Interval Antar Aktivitas *Maintenance Seal Shut Rod Nozzle* (SSRN) dan *Filter Nozzle* (FN)

| *MAINTENANCE* KE | *SSRN* JAM KE- | INTERVAL | *MAINTENANCE* KE | *FN* JAM KE- | INTERVAL |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 336 | 1 | 1 | 1538 |
| 2 | 337 | 336 | 2 | 1539 | 1655 |
| 3 | 673 | 1010 | 3 | 3194 | 1539 |
| 4 | 1683 | 334 | 4 | 4733 | 1652 |
| 5 | 2017 | 336 | 5 | 6385 | 1683 |
| 6 | 2353 | 673 | 6 | 8068 | |
| 7 | 3026 | 335 | | | |
| 8 | 3361 | 336 | | | |
| 9 | 3697 | 336 | | | |

| *MAINTENANCE* KE | ***SSRN* JAM KE-** | **INTERVAL** | *MAINTENANCE* KE | ***FN* JAM KE-** | **INTERVAL** |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 4033 | 336 | | | |
| 11 | 4369 | 337 | | | |
| 12 | 4706 | 335 | | | |
| 13 | 5041 | 336 | | | |
| 14 | 5377 | 343 | | | |
| 15 | 5720 | 331 | | | |
| 16 | 6051 | 335 | | | |
| 17 | 6386 | 261 | | | |
| 18 | 6647 | 262 | | | |
| 19 | 6909 | 260 | | | |
| 20 | 7169 | 392 | | | |
| 21 | 7561 | 336 | | | |
| 22 | 7897 | 336 | | | |
| 23 | 8233 | 337 | | | |
| 24 | 8570 | | | | |

Dari Tabel 4.20 dan 4.21 dapat dilihat bahwa interval antar aktivitas sesuai dengan konstrain. Apabila dilihat lebih detail,frekuensi interval yang paling sering muncul berkisar di batas bawah dari interval konstrain. Hal ini logis terjadi karena model penjadwalan ini menggunakan kriteria minimasi inventori. Maka semakin tinggi frekuensi *maintenance* akan membuat produktifitas lini produksi menurun,dan berdampak menurunnya inventori. Interval aktivitas *maintenance* semua *part* dapat dilihat pada Lampiran 7.

### 4.3.6. 3 Verifikasi Konstrain Ketersediaan *Manpower*

Konstrain selanjutnya yang akan diverifikasi adalah konstrain 3.4, ketersediaan *manpower*. Sama halnya dengan proses verifikasi beberapa konstrain sebelumnya, proses ini menggunakan bantuan *spreadsheet* excel. Setelah dilakukan proses verifikasi, solusi sudah sesuai dengan konstrain ini. Sebagai sampel, Tabel 4.22 memperlihatkan proses verifikasi konstrain ketersediaan *manpower* selama 15 jam operasional.

Tabel 4. 22 Verifikasi Konstrain Ketersediaan *Manpower* Selama 15 Jam

| JAM | LINI D11 | | | | LINI D12 | | | KEBUTUHAN *MANPOWER* | | | | | | | TOTAL | STATUS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *PART* | | | | | | | *PART* | | | | | | | | |
| | *BRV* | *SRV* | *SP* | *SSN* | *SSRN* | *FN* | *HN* | *BRV* | *SRV* | *SP* | *SSN* | *SSRN* | *FN* | *HN* | | |
| | | | | | | | | *3* | *3* | *3* | *2* | *2* | *1* | *1* | | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 8 | OK |
| 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 9 | OK |
| 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | OK |
| 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | OK |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | OK |
| 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | OK |
| 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | OK |
| 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | OK |
| 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | OK |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | OK |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | OK |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | OK |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | OK |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | OK |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | OK |

### 4.3.6. 4 Verifikasi Konstrain Pelaksanaan Aktivitas *Maintenance* Secara Simultan

Konstrain terakhir yang akan diverifikasi adalah konstrain 3.5, diperbolehkannya aktivitas *maintenance* yang terjadi secara simultan antar *part* atau antar lini. Jadi memungkinkan bahwa kedua lini akan off untuk melakukan aktivitas *maintenance*. Dari Tabel 3.20 dan Tabel 3.21 dapat dilihat bahwa ketiga *part* yang berbeda lini tersebut memulai proses *maintenance* di jam yang sama yaitu jam ke-1. Maka konstrain ini pun dinyatakan terpenuhi.

## 4.3. 8 Strategi Perawatan dengan *Reliability Centered Maintenance* II

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, RCM *decission 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. Pemetaan dimulai dengan menjawab pertanyaan pada pojok kiri atas RCM II *decision diagram*. Misalnya untuk *information refference* 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 4.23 berisi tentang penjelasan dari setiap *failure consequences* yang terdapat pada RCM II *decision diagram*.

Tabel 4. 23 *Failure Consequences*

| Failure Consequences | Keterangan | |
|---|---|---|
| | Yes | No |
| Kolom H (*Hidden Failure*) | *Failure mode* diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal | *Failure mode* tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal |
| Kolom S (*Safety*) | *Failure mode* berdampak pada keselamatan kerja operator | *Failure mode* tidak berdampak pada keselamatan kerja operator |
| Kolom E (*Environment*) | *Failure mode* berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan | *Failure mode* tidak berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan |
| Kolom O (*Operational*) | *Failure mode* berdampak pada *output* produksi | *Failure mode* tidak berdampak pada *output* 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 4.24. 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. 24 *Proactive Task and Default Action*

| Proactive task | Persyaratan kondisi |
|---|---|
| Kolom $H_1/S_1/O_1/N_1$ *Scheduled on Condition task* | • Apakah potensial *failure (PF interval)* dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal?<br>• Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan? |
| Kolom $H_2/S_2/O_2/N_2$ *Scheduled Restoration task* | • Dapat diidentifikasikan umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan<br>• Mayoritas dari *item* dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua *item*) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan.<br>• Memperbaiki dengan subsistem yang tahan terhadap kegagalan tersebut |
| Kolom $H_3/S_3/O_3/N_3$ *Scheduled Discard task* | • Dapat diidentifikasikan umur dimana *item* tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan<br>• Mayoritas dari *item* dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua *item*) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan. |
| Kolom $H_4$ *Scheduled Failure Finding task* | *Hidden failure* dapat dicegah bila *failure mode* dapat dideteksi secara teknis |
| Kolom $H_5$ *Redesign* | *Hidden failure* dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan *design* pada mesin |
| Kolom $S_4$ *Combination task* | *Safety effect* dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar *proactive task* 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 4.25 dan 4.26 berturut-turut untuk RCM II *decision worksheet* lini D12 dan D11.

## 4. 4 Perbandingan Penjadwalan dan Strategi *Maintenance Existing* dengan Penjadwalan *Maintenance* yang Diusulkan

Setelah mengetahui solusi penjadwalan *maintenance* yang dihasilkan oleh model yang diusulkan sudah bisa diterima dari segi konstrain dan logis, Maka berikutnya perlu untuk melakukan perbandingan performa terhadap solusi tersebut terhadap penjadwalan *existing* yang diberlakukan oleh perusahaan. Akan digunakan dua kriteria untuk menghitung performa dari kedua penjadwalan tersebut. Pertama, adalah *reliability* atau keandalan dari part itu sendiri. Rumus perhitungan *reliability* dari part menggunakan rumus 2.12, dengan mengganti t dengan TM untuk interval aktivitas *maintenance* usulan dan T0 untuk interval aktivitas *maintenance* dari-

Tabel 4. 25 *RCM Decision Worksheet* D12

| **RCM II DECISSION WORKSHEET** | | | **SYSTEM : *Mechanical*** | | | | | | | | | | Facillitator : | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **SUB-SYSTEM : *Nozzle* Lini D12** | | | | | | | | | | Auditor : | | |
| **Information reference** | | | **Consequence evaluation** | | | | **$H_1$ / $S_1$ / $O_1$** | **$H_2$ / $S_2$ / $O_2$** | **$H_3$ / $S_3$ / $O_3$** | **Default Action** | | | **Propose task** | **Initial Interval** | **Can be done by** |
| **F** | **FF** | **FM** | **H** | **S** | **E** | **O** | **$N_1$** | **$N_2$** | **$N_3$** | **$H_4$** | **$H_5$** | **$S_4$** | | | |
| 1 | A | 1 | Y | T | T | Y | Y | | | | | | *Scheduled on condition task*. Perlu dilakukan pemeriksaan secara periodik pada saat interval perawatan efektif. Periksa apakah terjadi *filling tailing* dan juga lihat bagian atas *stick nozzle* apakah terjadi kebocoran pasta. | Tabel 4.18 | Mekanik |
| 2 | A | 1 | Y | T | T | Y | Y | | | | | | *Scheduled on condition task*. Melakukan pemeriksaan pada saat interval perawatan efektif, apakah terjadi *tailing* pada *nozzle* pada saat proses *filling*. | Tabel 4.18 | Mekanik |
| 3 | A | 1 | Y | T | T | Y | Y | | | | | | *Scheduled on condition task.* Melakukan pemerikasaan apakah terjadi *filling tailing*, dan juga membuka *head nozzle* apakah permukaan bagian dalam sudah mengalami keausan atau belum. | Tabel 4.18 | Mekanik |

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

Tabel 4. 26 *RCM Decision Worksheet* D11

| **RCM II DECISSION WORKSHEET** | | | **SYSTEM : *Mechanical*** | | | | | | | | | | Facillitator : | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **SUB-SYSTEM : *Nozzle*,Piston, *Rotary valve* D11** | | | | | | | | | | Auditor : | | |
| **Information reference** | | | **Consequence evaluation** | | | | **$H_1$ $H_2$ $H_3$ / $S_1$ $S_2$ $S_3$ / $O_1$ $O_2$ $O_3$** | | | **Default Action** | | | **Propose task** | **Initial Interval** | **Can be done by** |
| **F** | **FF** | **FM** | **H** | **S** | **E** | **O** | **$N_1$** | **$N_2$** | **$N_3$** | **$H_4$** | **$H_5$** | **$S_4$** | | | |
| 1 | A | 1 | T | | | | T | T | Y | | | | *Scheduled discard task*. Melakukan penggantian pada *part bushing rotary valve* pada saat interval perawatan efektif. | Tabel 4.18 | Mekanik |
| 2 | A | 1 | Y | T | T | Y | Y | | | | | | *Scheduled on condition task*. Melakukan pemeriksaan pada *shaft rotary valve* apakah telah mengalami keausan yang berpotensi akan meyebabkan patahnya *shaft*, memerlukan penggantian atau tidak pada interval waktu perawatan efektif. | Tabel 4.18 | Mekanik |
| 3 | A | 1 | Y | T | T | Y | Y | | | | | | *Scheduled on condition task.* Periksa apakah tejadi *filling* yang labil pada *tube* dan juga adanya kebocoran pasta pada bagian belakang piston. Periksa apakah permukaan karet *Seal Piston* telah mengalami goresan yang parah atau tidak, dan juga elastisitas dari *Seal Piston*, karena akan semakin mudah rusak apabila telah kehilangan elastisitasnya. | Tabel 4.18 | Mekanik |
| 4 | A | 1 | Y | T | T | Y | Y | | | | | | *Scheduled on condition task.* Periksa apakah terjadi volume *filling* labil, lihat apakah karet *Seal Stick Nozzle* telah mulai rusak atau tidak. Lakukan pergantian bila diperlukan. | Tabel 4.18 | Mekanik |

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

jadwal *existing*. Kolom kedua dan ketiga merupakan parameter *shape* dan *scale* dari distribusi weibull yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan 4.10. Pada kolom TM, masing-masing part memiliki 2 nilai. Nilai tersebut merupakan interval minimum dan maksimum dari jadwal usulan. Tidak perlu menghitung semua *reliability* dari setiap aktivitas, karena angka *reliability* tersebut pasti berada pada interval TM minimum dan TM maksimum.

Tabel 4. 27 Performa Penjadwalan *Maintenance Existing* Dengan Penjadwalan *Maintenance* Usulan Dari Segi *Reliability*

| Nama komponen | β | η | TM (jam) | T0 (jam) | R TM | R (T0) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Seal Shut Rod Nozzle* | 1.590360 | 1644.15 | 260 | 1440 | 0.94816006 | 0.444904752 |
| | | | 1010 | | 0.630822023 | |
| *Filter Nozzle* | 2.116430 | 4288.16 | 1538 | 720 | 0.892113151 | 0.977357047 |
| | | | 1683 | | 0.870972735 | |
| *Head Nozzle* | 0.844738 | 2744.61 | 163 | 2880 | 0.912044102 | 0.352920025 |
| | | | 666 | | 0.739094396 | |
| *Bushing Rotary Valve* | 3.549470 | 2647.14 | 1341 | 2880 | 0.914416973 | 0.259536755 |
| | | | 1347 | | 0.913111204 | |
| *Shaft Rotary Valve* | 1.292020 | 2224.020 | 238 | 2880 | 0.945803472 | 0.247466965 |
| | | | 341 | | 0.915143323 | |
| *Seal Piston* | 1.060190 | 850.72 | 34 | 1440 | 0.967610757 | 0.174265458 |
| | | | 942 | | 0.328204593 | |
| *Seal Stick Nozzle* | 0.754062 | 677.55 | 9 | 2160 | 0.962283493 | 0.09098448 |
| | | | 1271 | | 0.200490022 | |

Dari Tabel 4.27 dapat dilihat bahwa solusi penjadwalan usulan mendominasi penjadwalan *existing* dari kriteria *reliability part*. Ini membuktikan solusi penjadwalan yang diusulkan lebih baik dibandingkan dengan penjadwalan *existing*.

Untuk kriteria performa kuadrat selisih inventori, yang merupakan fungsi tujuan dari model yang diusulkan pada penelitian, jadwal *maintenance* usulan memiliki selisih kuadrat inventori sebesar 264.672.010.890.729 unit$^2$, yang dapat dilihat pada Tabel 4.19. Sedangkan untuk jadwal *existing*,setelah memasukkan T0 sebagai input pada *spreadsheet* excel yang ditunjukkan oleh Tabel 4.19, dihasilkan selisih kuadrat inventori sebesar 307.140.215.847.354 unit$^2$, dimana nilai ini lebih besar dibandingkan dengan selisih kuadrat inventori

pada jadwal usulan. Maka solusi dari model penjadwalan aktivitas *maintenance* yang diusulkan kembali lebih baik daripada model penjadwalan *existing*.

# BAB 5
# KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dibahas kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan eksperimen dan analisis pada penelitian ini dan saran yang dapat digunakan bahan acuan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, maupun untuk memperbaiki performa dari metode yang akan mempengaruhi hasil yang tentunya akan lebih baik lagi.

## 5. 1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model penjadwalan aktivitas *maintenance* dengan pertimbangan ketersediaan produk untuk pemenuhan *demand customer*, ketersediaan *manpower*, dan keksesuaian dengan MTTF dan MTTR dari *part* mesin produksi, dengan fungsi tujuan meminimasi total kuadrat inventori berhasil dikembangkan. Ini dibuktikan dengan dihasilkannya solusi yang optimal dan sesuai dengan ketiga pertimbangan konstrain tersebut. Selain itu, model ini juga memiliki kelebihan lain dibanding dengan model yang dijadikan acuan pengembangan, yaitu adanya pertimbangan susunan seri dan paralel dari part yang menjadi objek *maintenance*. Model penjadwalan aktivitas *maintenance* usulan pada penelitian ditunjukkan oleh persamaan 3.1 hingga persamaan 3.5.
2. Kebijakan RCM II dari masalah penjadwalan ini telah disusun sesuai dengan prosedur pada RCM II Decision Diagram pada Lampiran 8. Pada prakteknya, strategi maintenance yang dilakukan oleh perusahaan bersifat *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. Namun dengan menggunakan RCM II, strategi yang diusulkan akan lebih beragam dan spesifik. Pada part lini D11 (*Bushing Rotary Valve, Shaft Rotary Valve, Seal Piston*, dan *Seal Stick Nozzle*) memiliki strategi antara *scheduled discard task* dan *scheduled on condition task*. Strategi *maintenance* yang akan dilakukan

pada masing-masing *part* selengkapnya ditunjukkan oleh Tabel 4.25 dan Tabel 4.26.

3. Metode MS-MDPSO berhasil memberikan solusi yang minimum terhadap fungsi objektif yaitu minimasi total kuadrat variasi inventori setiap periode. Adapun solusi yang menunjukkan jadwal *maintenance* dari setiap *part* ditunjukkan oleh Tabel 4.18. Dengan menggunakan model *existing*, *Reliability* dari *part* berkisar antara 9%-97,74%, sedangkan dengan menggunakan model usulan berkisar antara 20,05%-96,76%. Untuk kriteria variasi inventori, model *existing* memberikan hasil sejumlah 307.140.215.847.354 unit$^2$, sedangkan dengan model usulan memberikan hasil sejumlah 264.672.010.890.729 unit$^2$ . Hasil selengkapnya dari perbandingan performa dari model *existing* dengan model usulan dapat dilihat pada Tabel 4.27.

## 5. 2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan serangkaian penelitian ini antara lain:

1. Perlu ditambahkan variabel kecepatan produksi sebagai variabel keputusan. Hal ini berkaitan dengan fungsi tujuan yaitu minimasi inventori.
2. Penambahan unsur biaya sebagai fungsi tujuan, yang akan membuat model ini menjadi model dengan fungsi objektif ganda (*bi-objective*). Penambahan fungsi biaya ini untuk menyeimbangkan solusi dari fungsi objektif minimasi inventori. Pada dasarnya, fungsi objektif minimasi inventori akan berusaha untuk menghasilkan solusi jadwal *maintenance* dengan frekuensi yang tinggi, yang berbanding lurus dari segi biaya. Semakin tinggi frekuensi aktivitas *maintenance* maka akan semakin tinggi pula biayanya. Padahal tujuan dari fungsi biaya adalah minimasi.
3. Model penjadwalan dengan pertimbangan distribusi data yang sesuai dengan data histori dari kerusakan. Dalam penelitian ini, distribusi yang digunakan adalah distribusi weibull. Distribusi weibull hanya digunakan untuk menentukan MTTF dan MTTR saja, tidak dilibatkan dalam algoritma pencarian solusi di dalam *syntax* pemrograman MATLAB dan MS-MDPSO

# DAFTAR PUSTAKA


Aderson, Ronald T. dan Neri, Lewis. (1990). "*RCM Management and Engineering Methods"*. London: Elsevier Applien Science

Al-Kazemi, B., Mohan, C.K., (2002a). "*Multi-phase discrete particle swarm optimiza- tion"*. *Proceedings of the International Workshop on Frontiers in Evolutionary Algorithms*, 622–625.

Al-Kazemi, B., Mohan, C.K., (2002b). *"Multi-phase generalization of the particle swarm optimization algorithm"*. *Proceedings of the IEEE Congress on Evolu- tionary Computation*, 489–494

Arikunto, Suhasimi. (2002). "*Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek, edisi Revisi V"*. Jakarta : Penerbit Reneka Cipta

Billinton, R., Abdulwhab, A., (2003). *"Short-term generating unit maintenance in a deregulated power system using a probabilistic approach"*. *IET Proceedings— Generation, Transmission and Distribution* 150 (4), 463–468

Blanchard, Benjamin S. (1995). "*Logistics Engineering and Management"*. New Jersey: Prentice Hall International Series in Industrial and system Engineering

Blackwell, T., Branke, J., (2006). *"Multiswarms, exclusion, and anti-convergence in dynamic environments"*. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 10 (4), 459–472.

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

Dopaz, J.F., Merrill, H.M., (1975). "*Optimal generator scheduling using integer programming"*. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* PAS-94, 1537–1545.

Ebeling, E, Charles.(1997). "*an Introduction to Reliability and Maintainability Engineering"*. Singapore

Engelbrecht, A.P., (2005*). "Fundamentals of computational swarm intelligence, The Artrium"*. John Wiley & Sons Ltd, Southern Gate, Chichester, West Sussex, England

Firma, H.T., Legey, L.F.L., (2002). *"Generation expansion: an iterative genetic algorithm approach". IEEE Transactions on Power Systems* 17 (3), 901–906.

Iwamatsu, M., (2006). *"Multi-species particle swarm optimizer for multimodal function optimization". IEICE Transactions on Information Systems* E89D (3), 1181–1187

Lee, K.Y., El-Sharkawi, M.A., (2008). "*Modern heuristic optimization techniques: theory and applications to power systems". IEEE Press*, 445 Hoes Lane, Piscataway, New Jersey, pp. 354–359

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

Satoh, T., Nara, K., (1991). "*Maintenance scheduling by using simulated annealing method". IEEE Transactions on Power Systems* 6, 850–857.

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

Swara, Suluh Elman. (2010). *Penerapan Reliability Centered Maintenance (RCM II) Dalam Perencanaan Aktivitas Dan IntervalPerawatan Yang Efektif*. Tesis Sarjana, Universitas Brawijaya, Malang

Van den Bergh, F., Engelbrecht, A.P., (2004). "*A cooperative approach to particle swarm optimization". IEEE Transactions on Evolutionary Computation* 8 (3), 225–239

Xu, Y., Chen, G., Yu, J., (2006). *"Three sub-swarms discrete particle swarm optimization algorithm". In: IEEE Proceedings on International Conference on Information Acquisition*, Welhai, Shandong, China, August, pp. 1224–1228.

Yamayee, Z.A., (1982). "*Maintenance scheduling: description, literature survey, and interface with overall operations scheduling". IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems PAS*-101, 2770–2779.

Yare, Y., Venayagamoorthy, G.K., Aliyu, U.O., (2008). "*Optimal generator maintenance scheduling using a modified discrete PSO". IET Journal on Generation, Transmission and Distribution* 2 (6), 834–846

Yare, Y., Venayagamoorthy, G.K., (2010). *Optimal Maintenance Scheduling of Generators Using Multiple Swarms-MDPSO Framework*. *Engineering Application of Artificial Inteligence*, Vol. 23, No. 6, hal. 895-910

Yellen, J., Al-khamis, T.M., Vermuri, S., Lemonidis, L., (1992). *"A decomposition approach to unit maintenance scheduling". IEEE Transactions on Power Systems* 7, 726–733.

Yen, G.G., Leong, W.F., (2009). *"Dynamic multiple swarms in multiobjective particle swarm optimization". IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 39 (4), 890–911.

# LAMPIRAN 1

Spesifikasi dan Kapasitas Mesin Tahun 2008

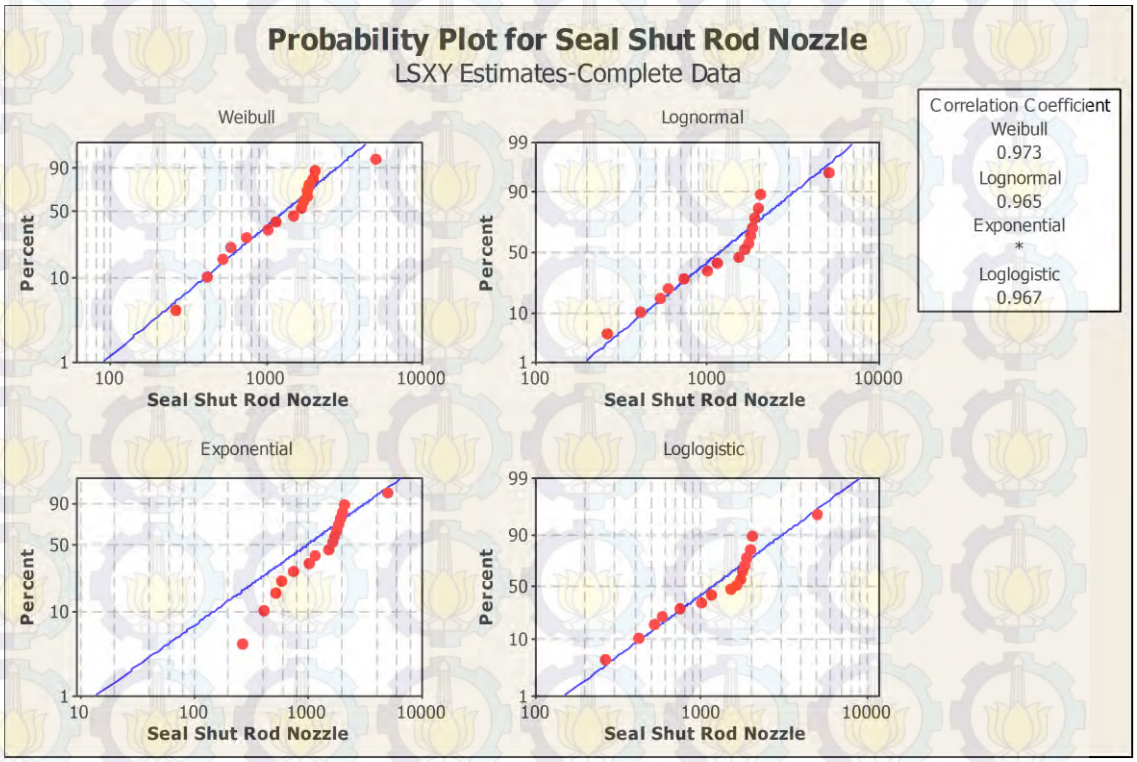
## Lampiran 1: Spesifikasi dan kapasitas mesin tahun 2008

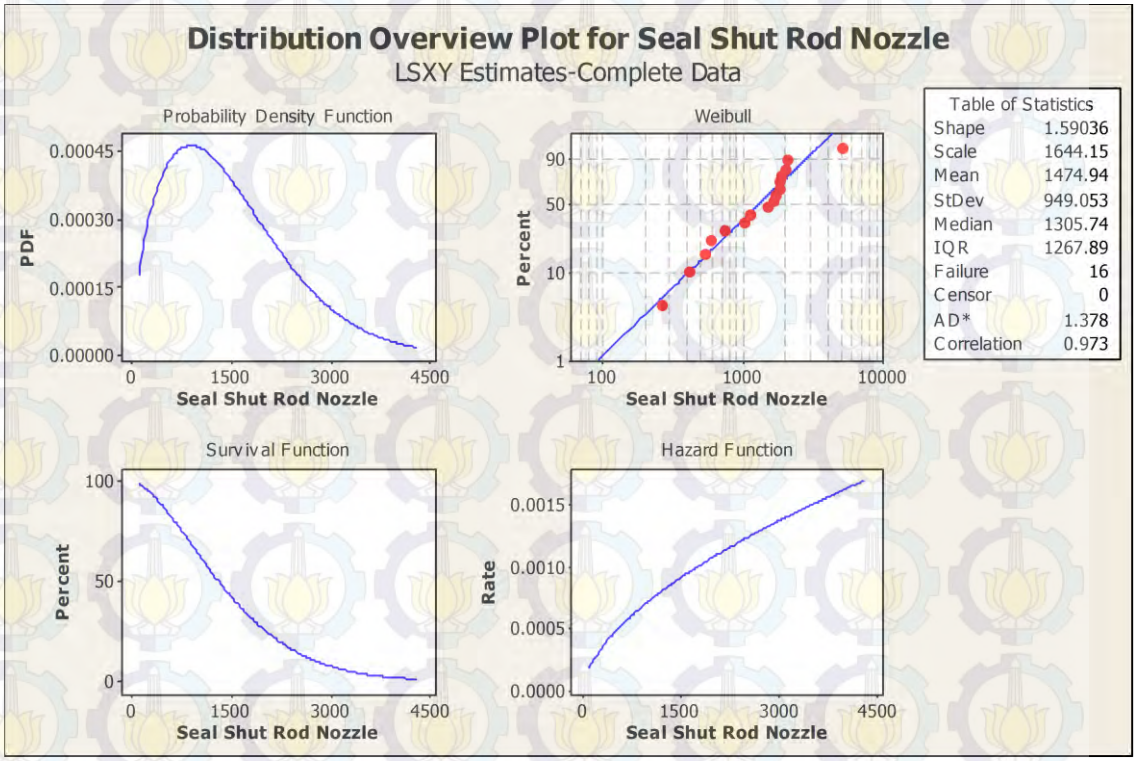
| Line Identifier | | PACK DENTAL L03 | PACK DENTAL L04 | PACK DENTAL L05 | PACK DENTAL L06 | PACK DENTAL L07 | PACK DENTAL L08 | PACK DENTAL L09 | PACK DENTAL L10 | PACK DENTAL L11 | PACK DENTAL L12 | PACK DENTAL L13 | PACK DENTAL L14 | PACK DENTAL L15 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **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

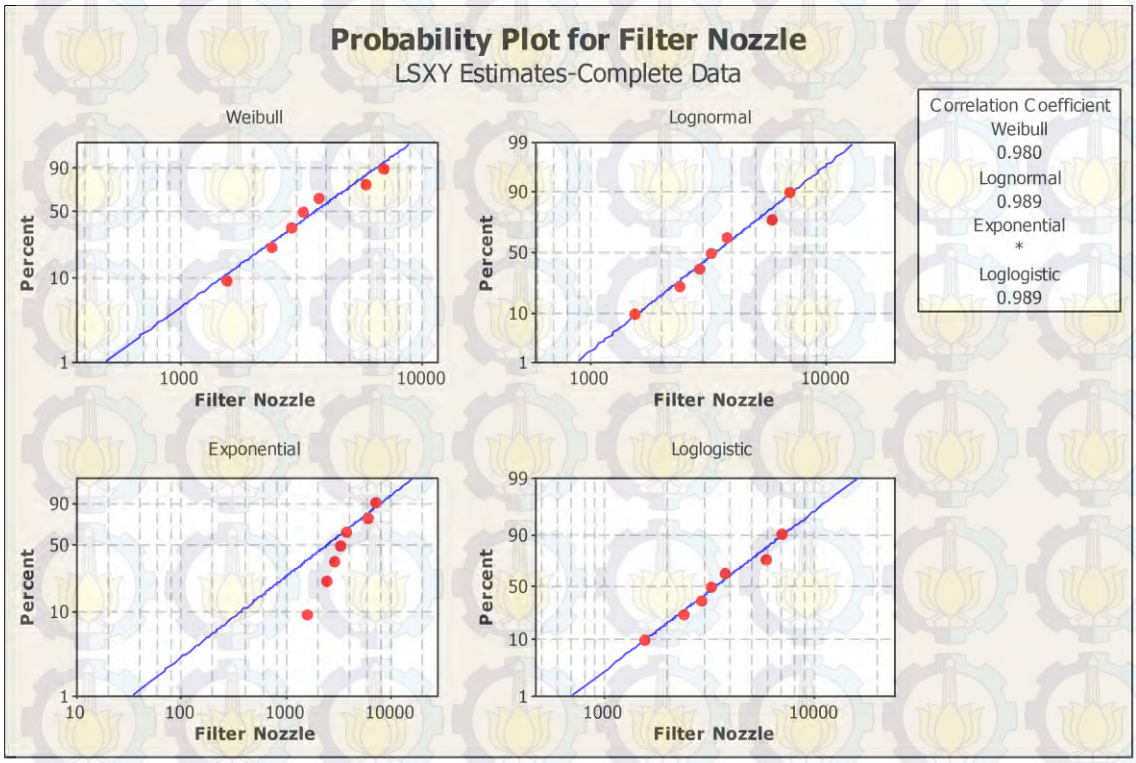
Hasil Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (Tf)
Komponen Kritis Lini D12 Dengan Bantuan *Software*
Minitab 14

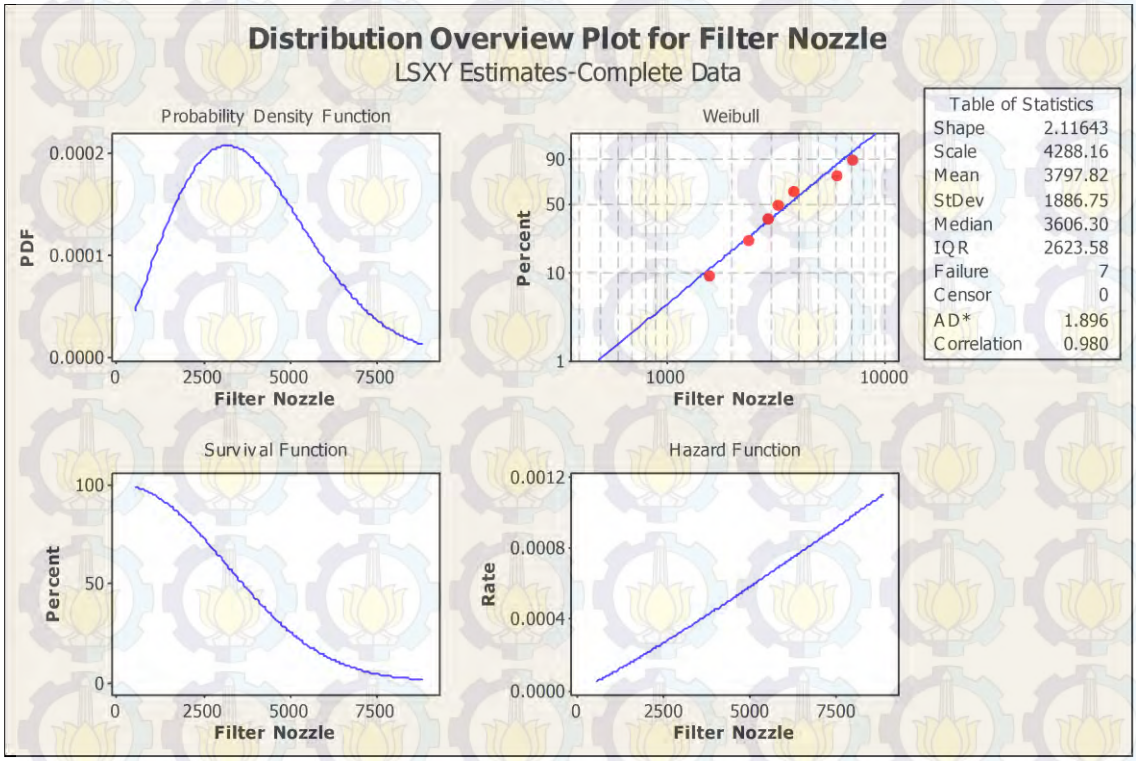
**Lampiran 2: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D12 dengan bantuan *software* Minitab 14**



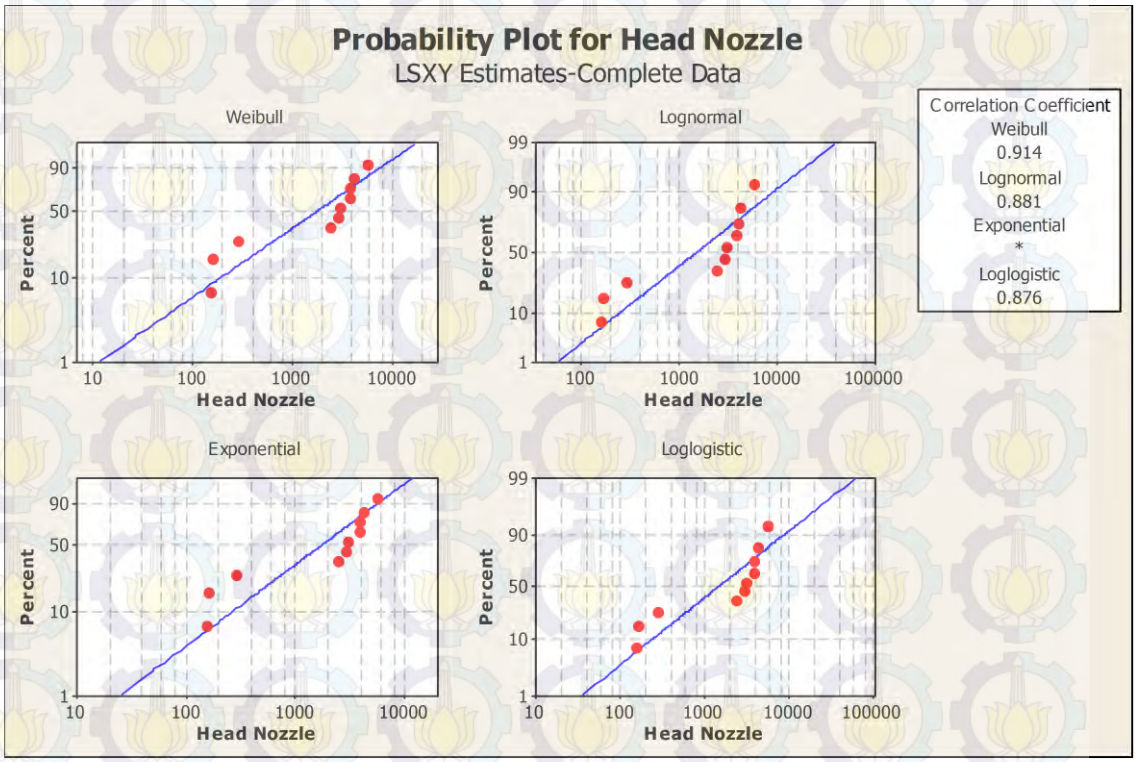



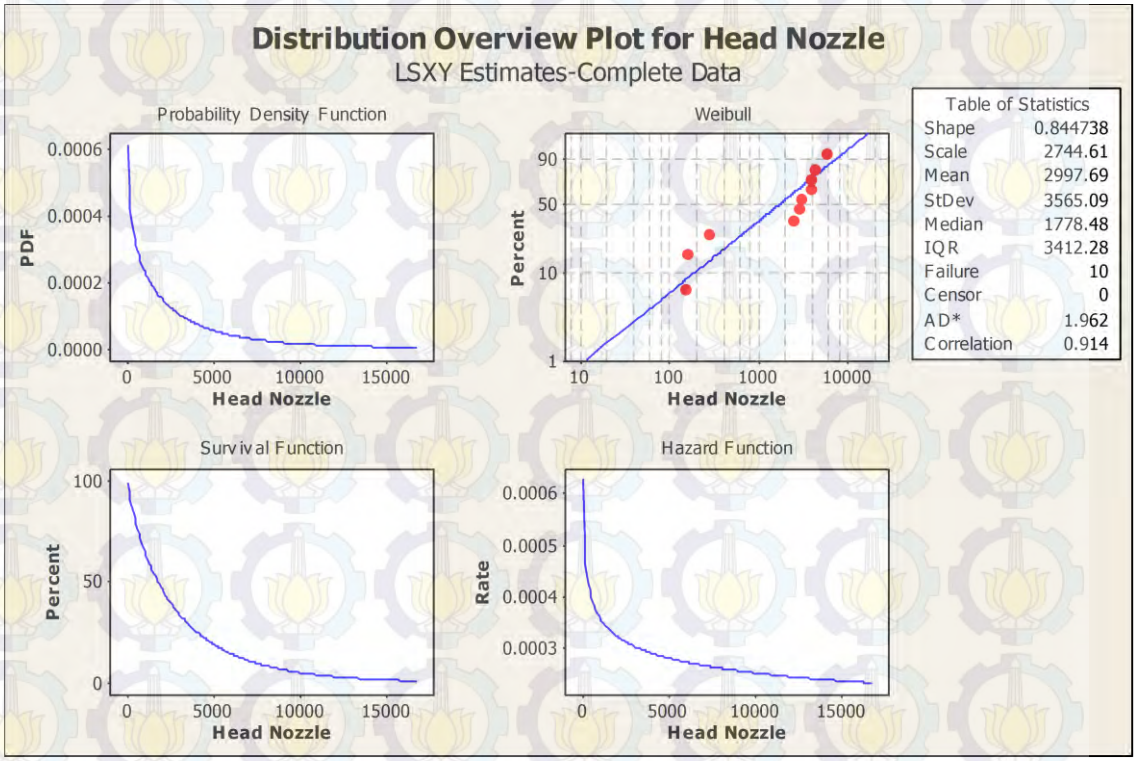
**Lampiran 2: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D12 dengan bantuan *software* Minitab 14 (lanjutan)**



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

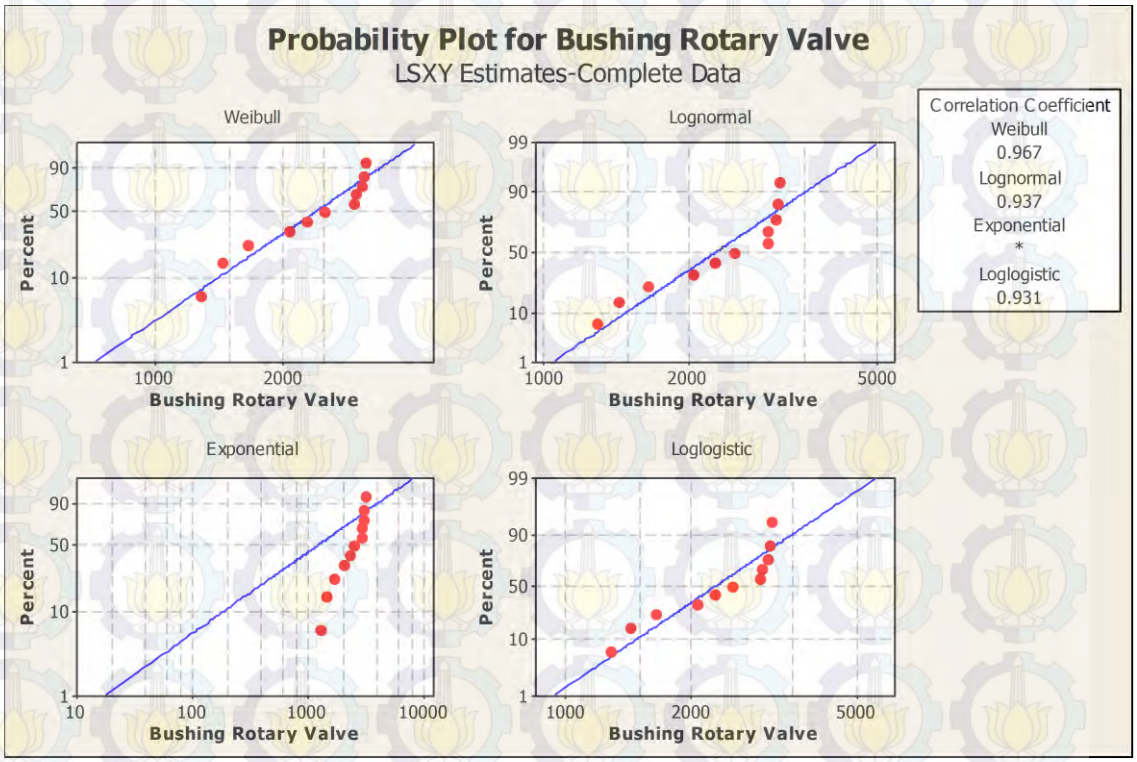


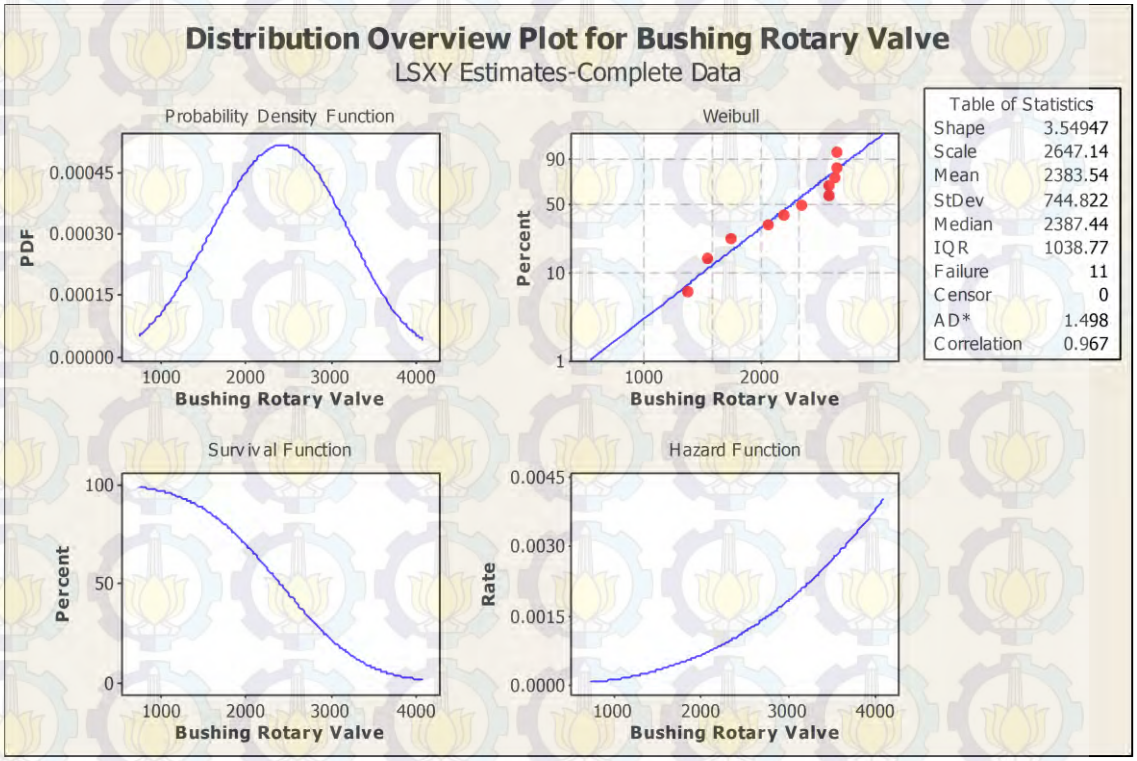



# LAMPIRAN 3

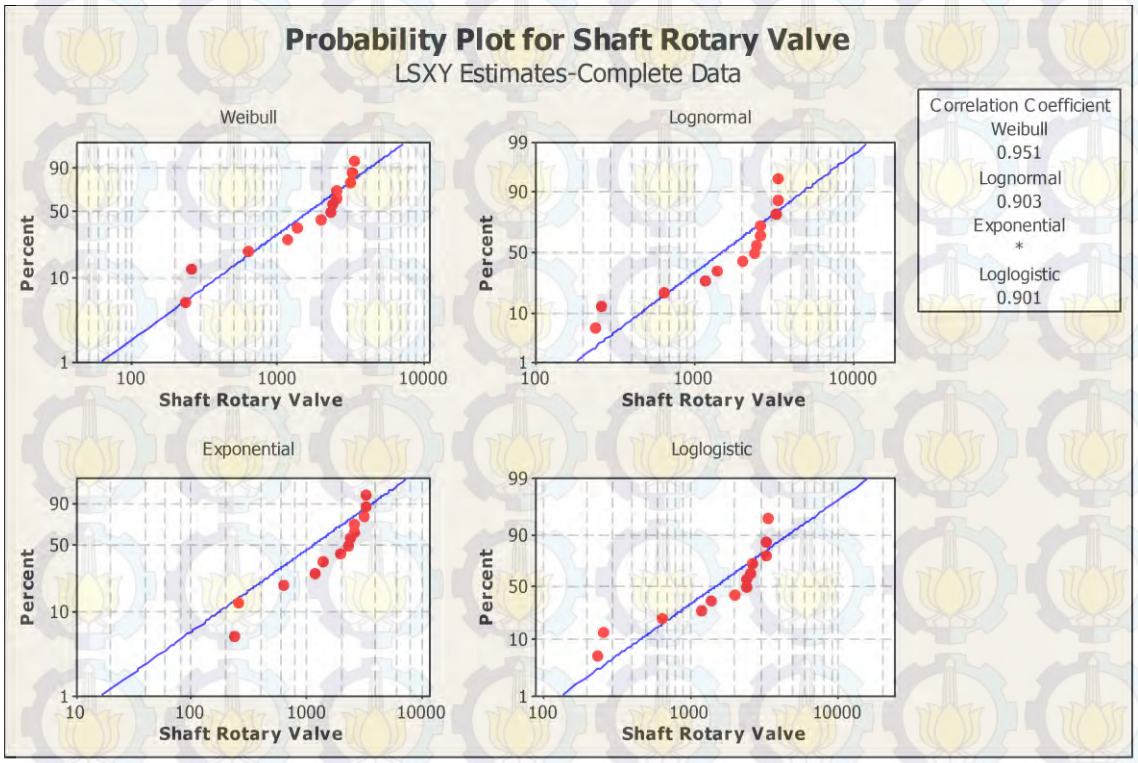
Hasil Distribusi Data Waktu Antar Kerusakan (Tf)
Komponen Kritis Lini D11 Dengan Bantuan *Software*
Minitab 14

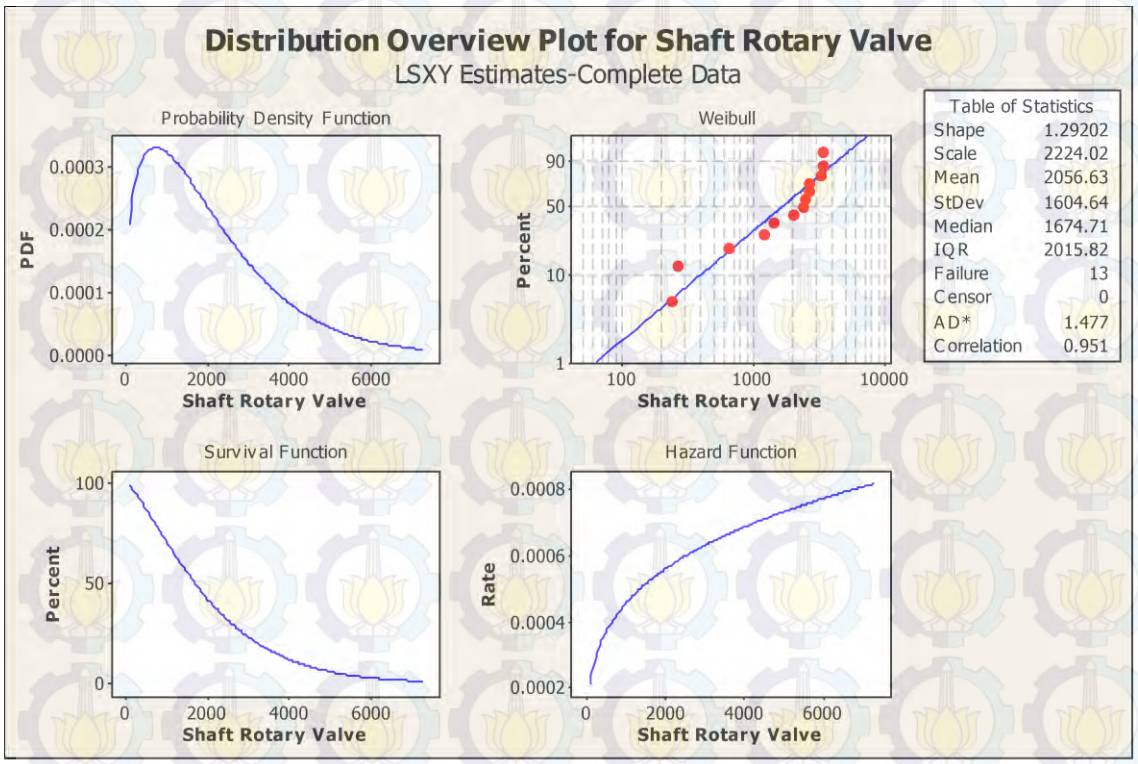
**Lampiran 3: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D11 dengan bantuan *software* Minitab 14**



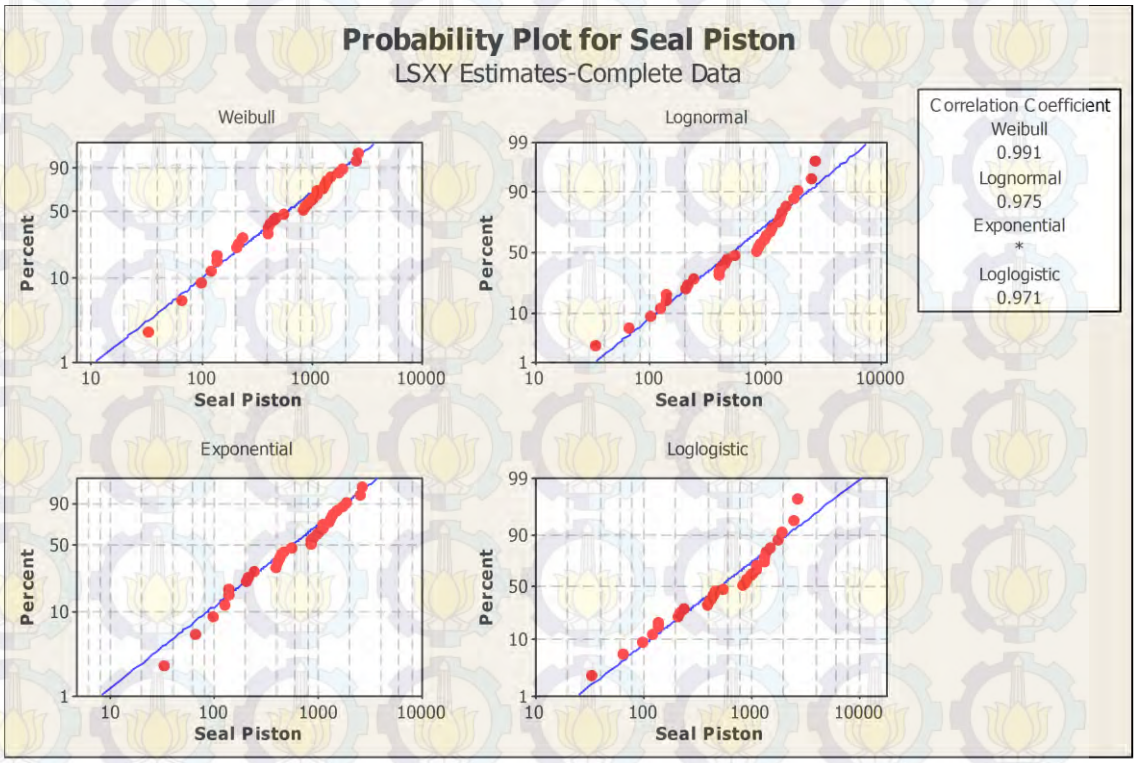



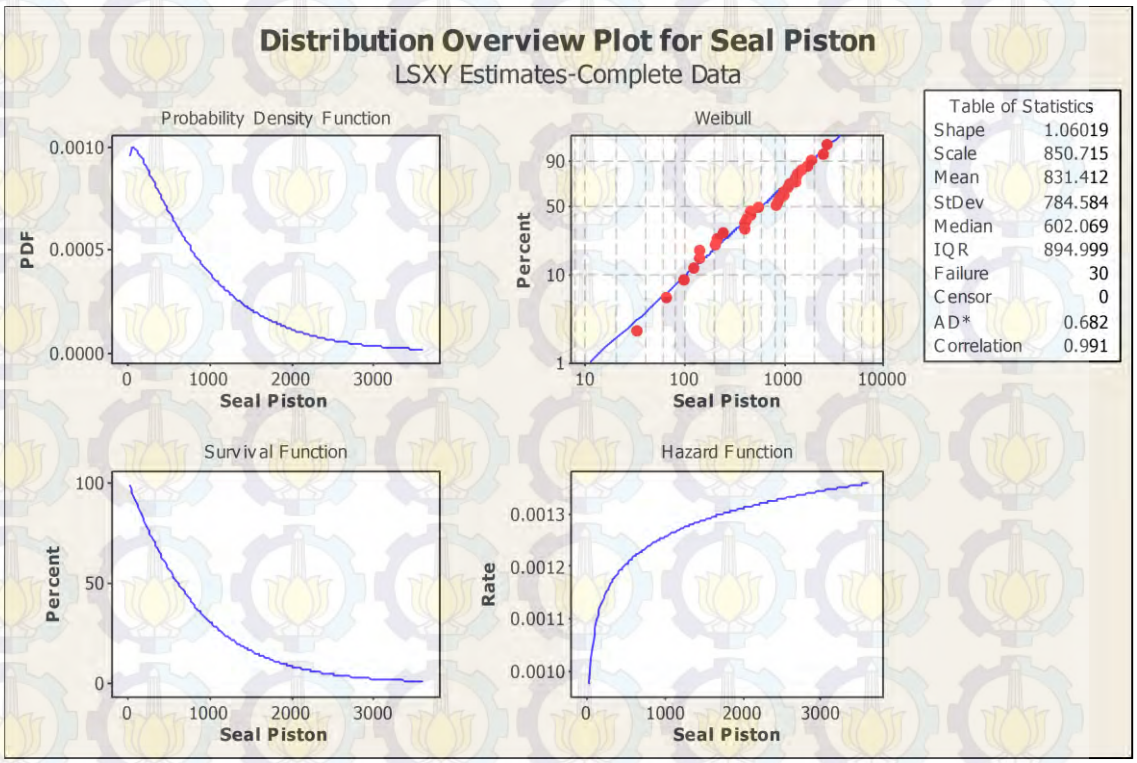
**Lampiran 3: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D11 dengan bantuan *software* Minitab 14 (lanjutan)**



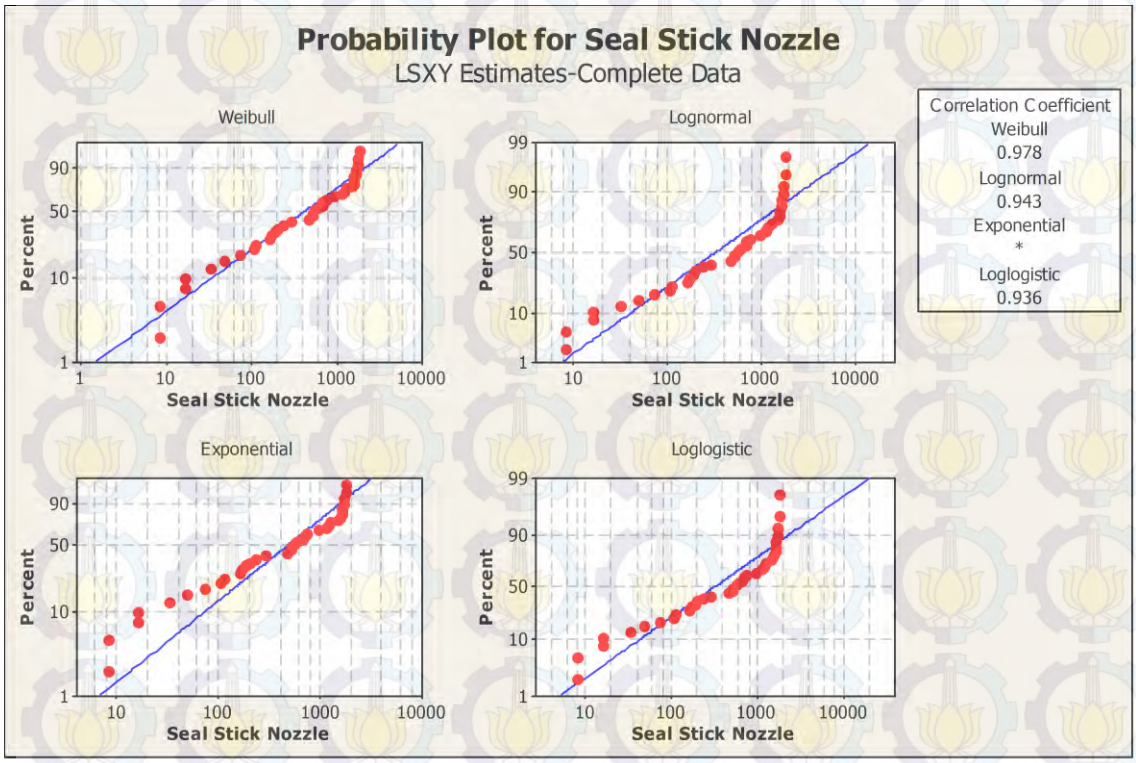



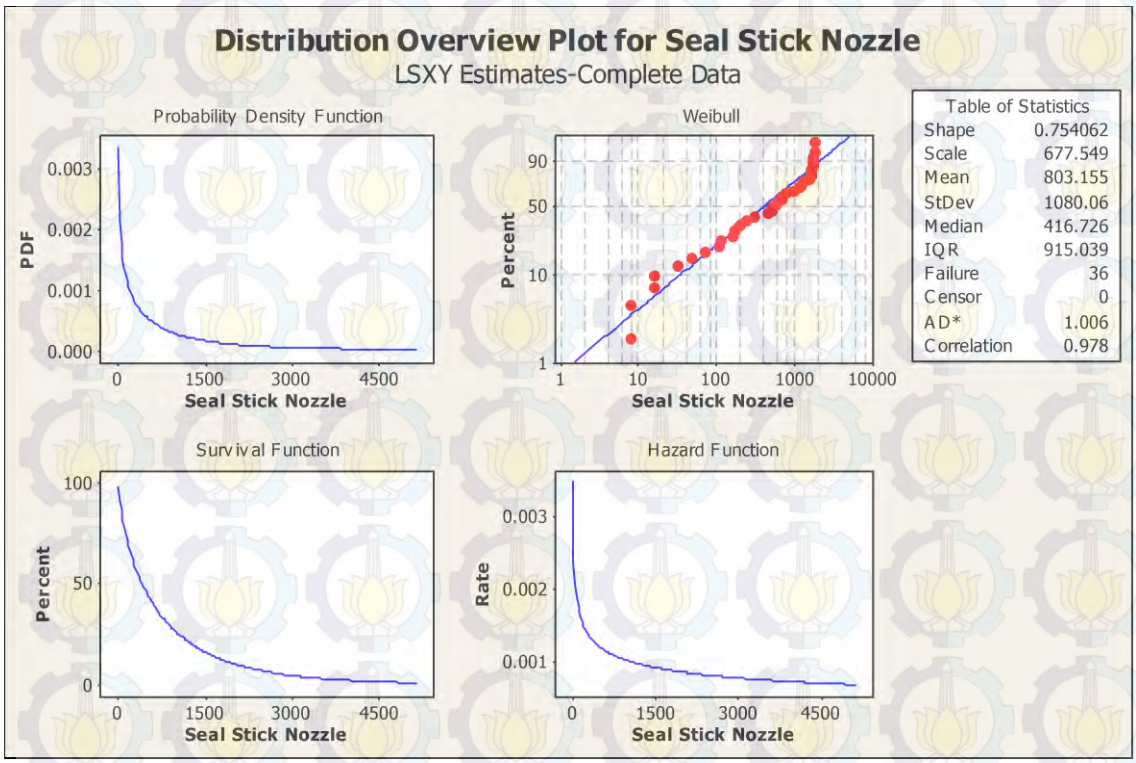
**Lampiran 3: Hasil distribusi data waktu antar kerusakan (Tf) komponen kritis lini D11 dengan bantuan *software* Minitab 14 (lanjutan)**



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

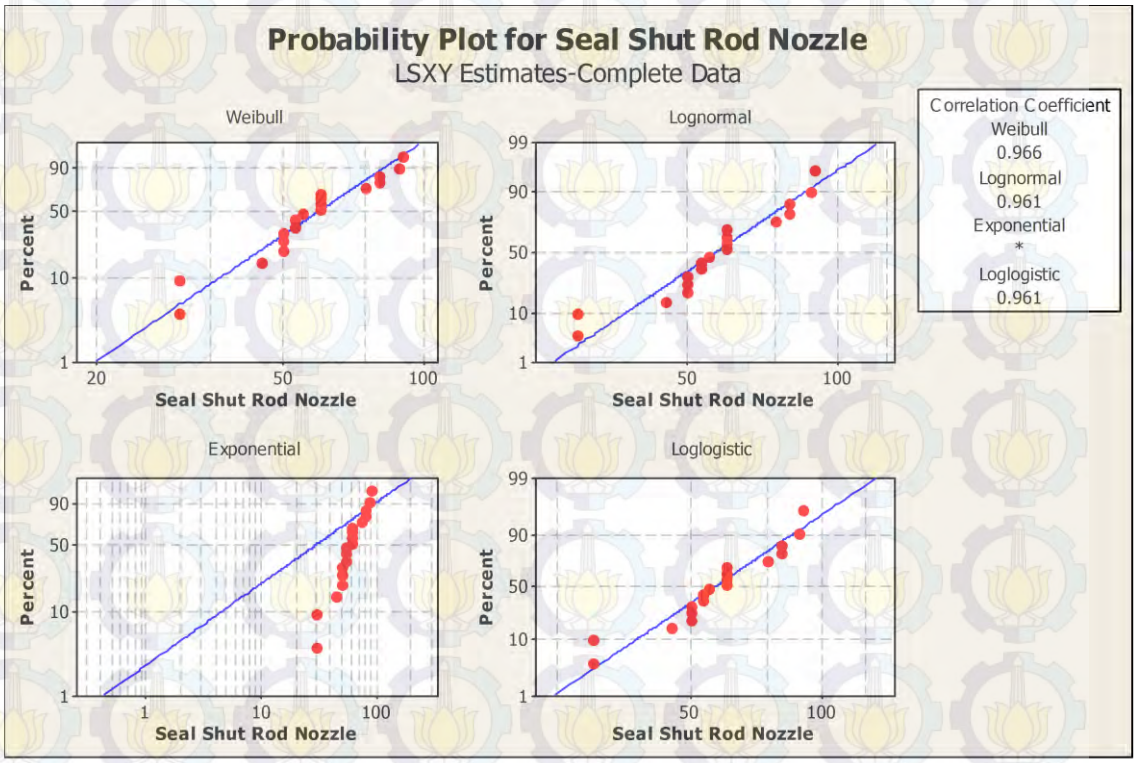


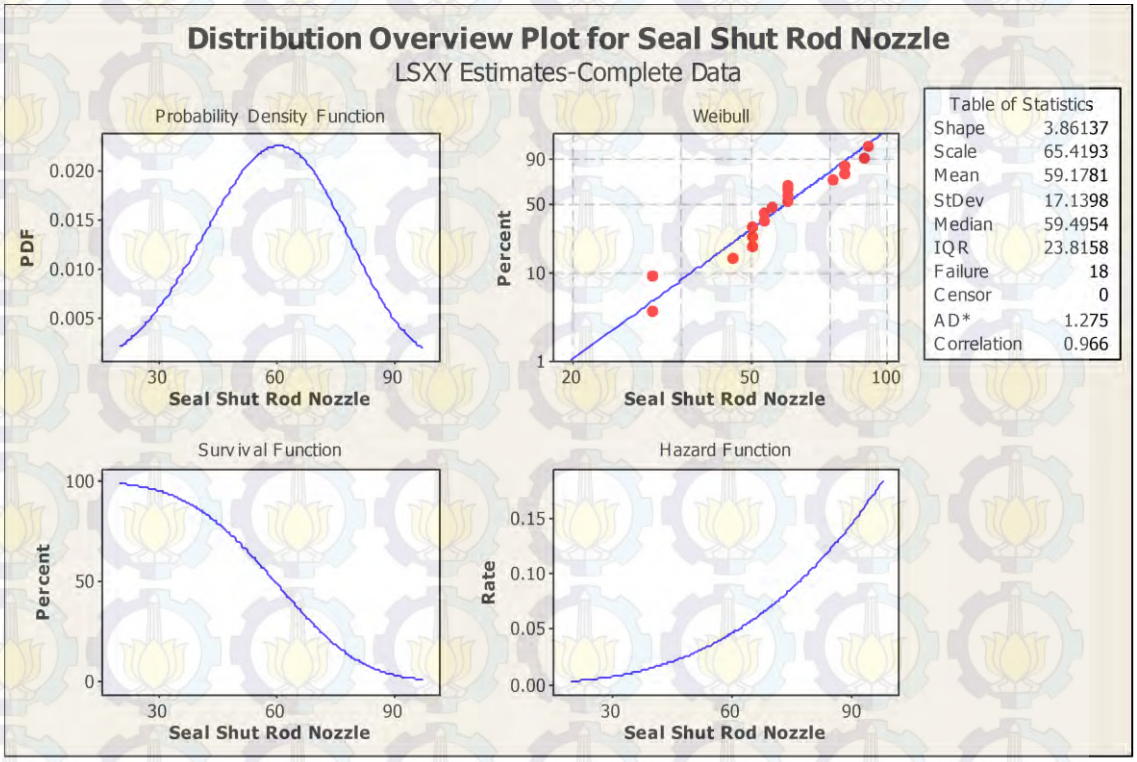



# LAMPIRAN 4

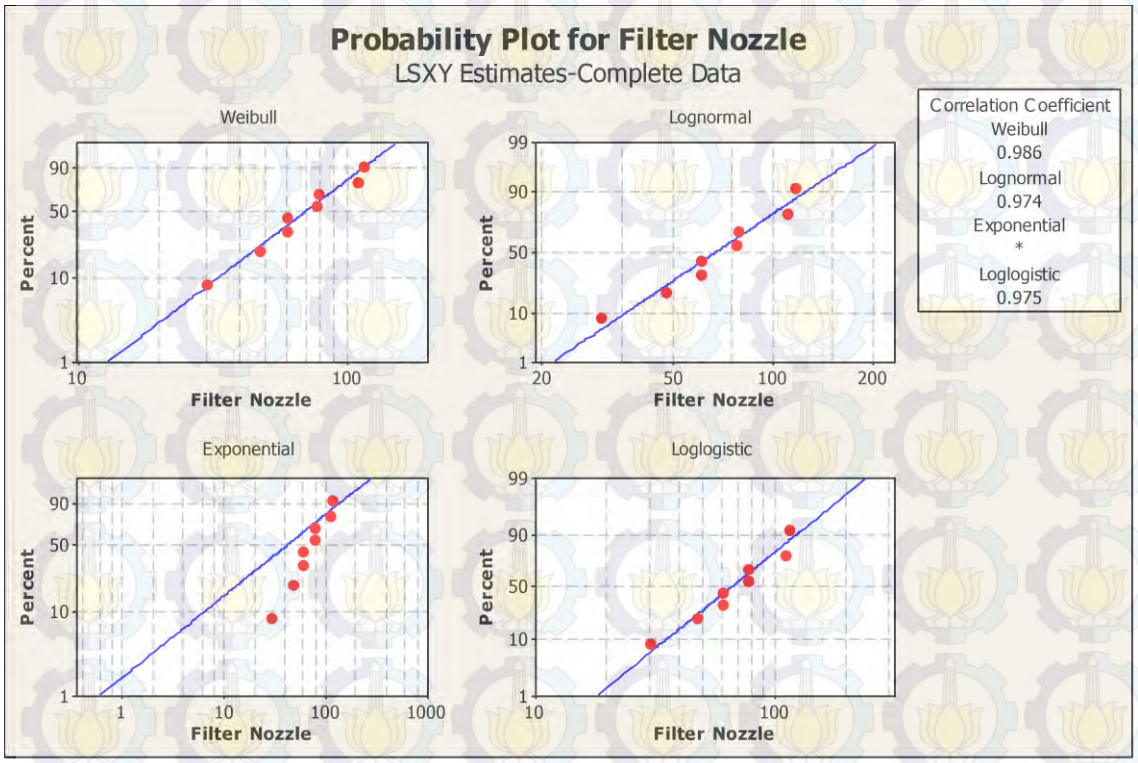
Hasil Distribusi Data Lama Waktu Perbaikan (Tr)
Komponen Kritis Lini D12 Dengan Bantuan *Software*
Minitab 14

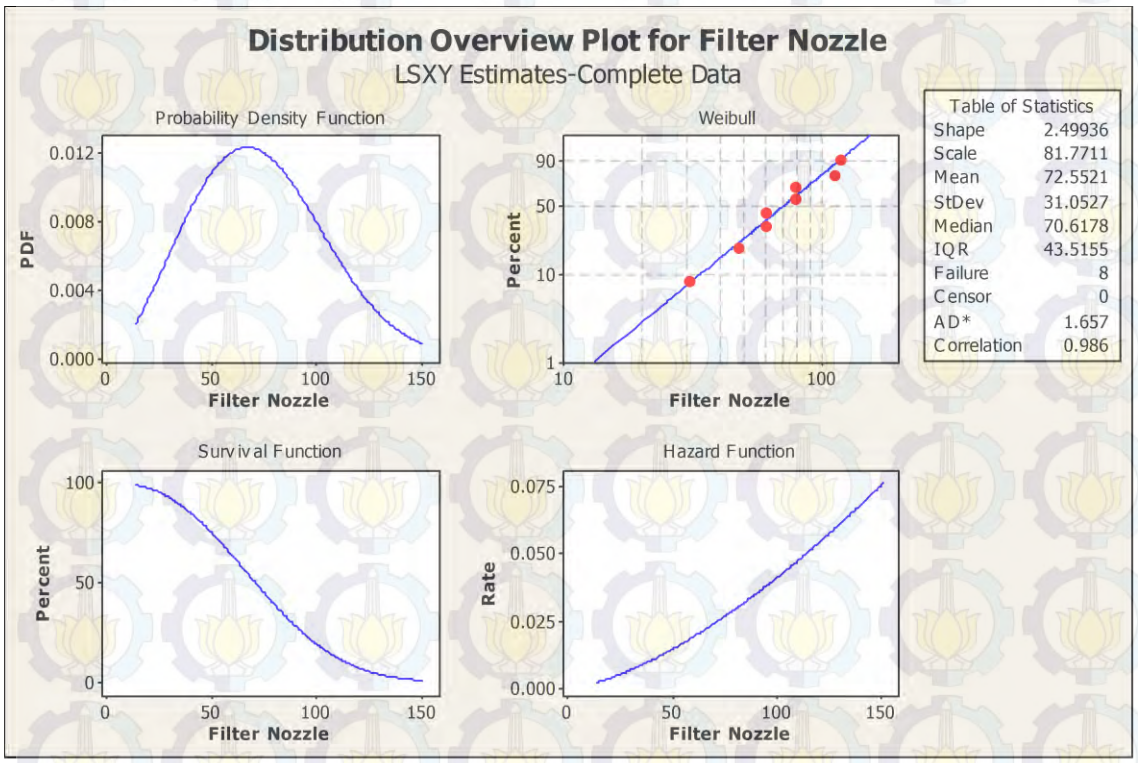
**Lampiran 4: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D12 dengan bantuan *software* Minitab 14**



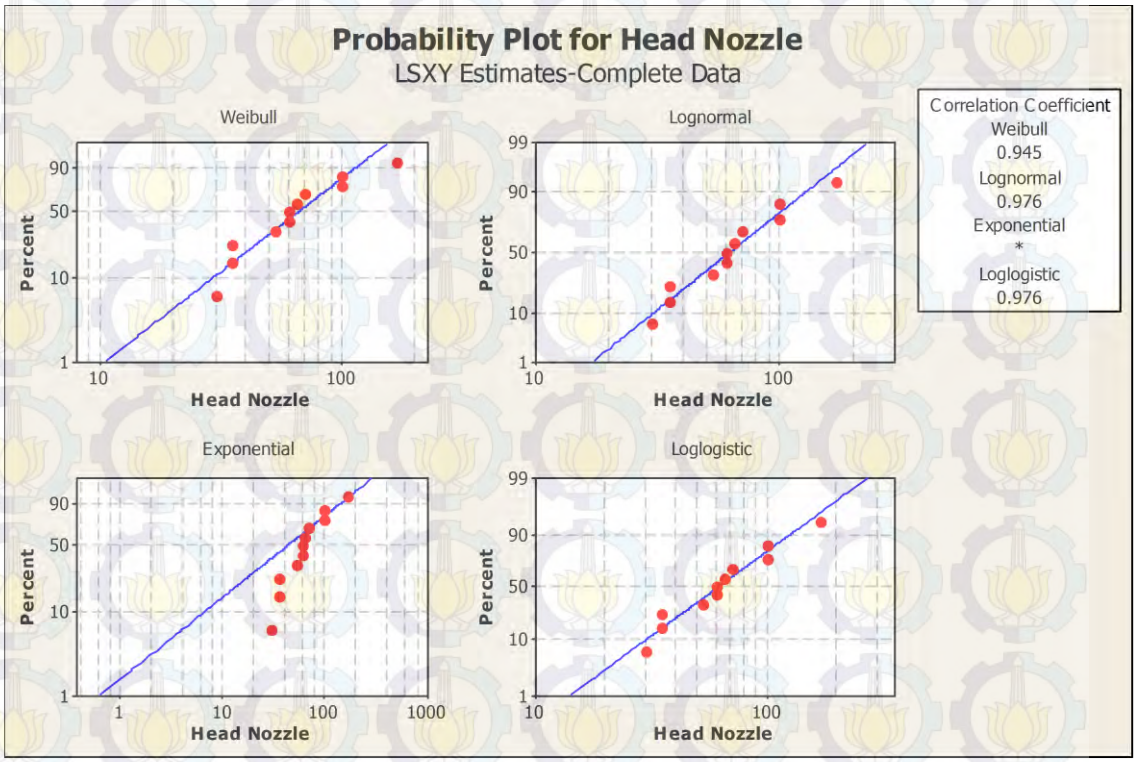



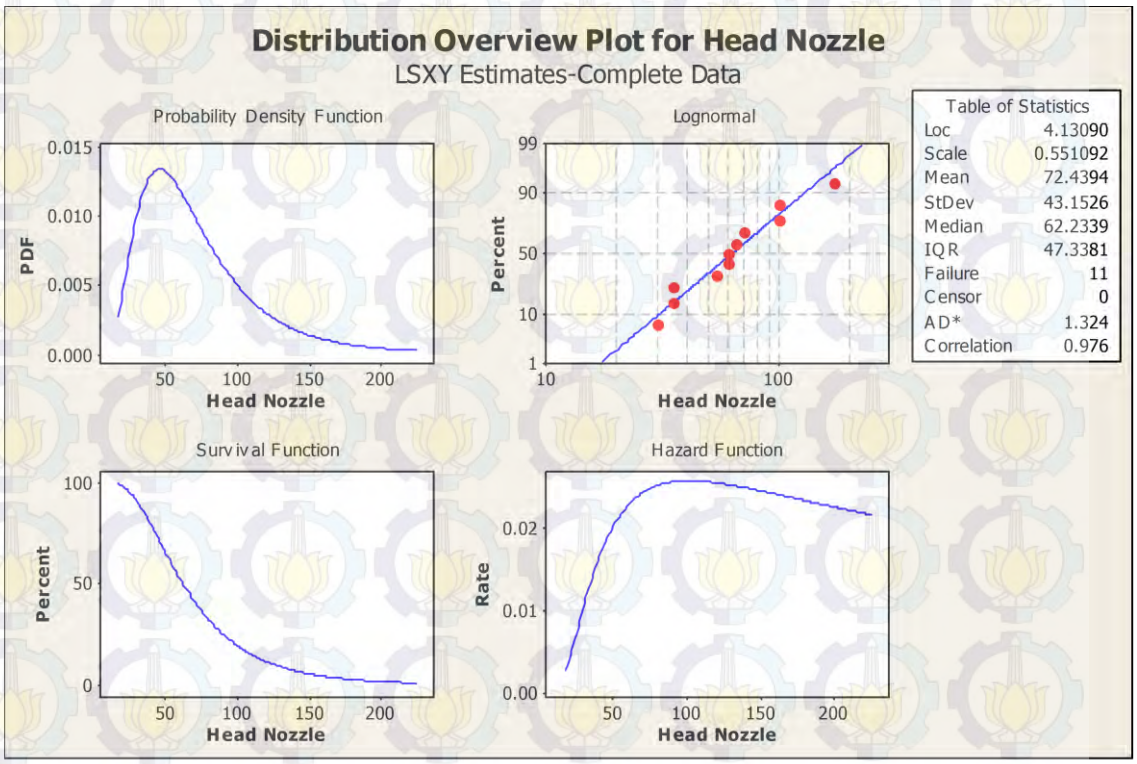
**Lampiran 4: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D12 dengan bantuan *software* Minitab 14 (lanjutan)**



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

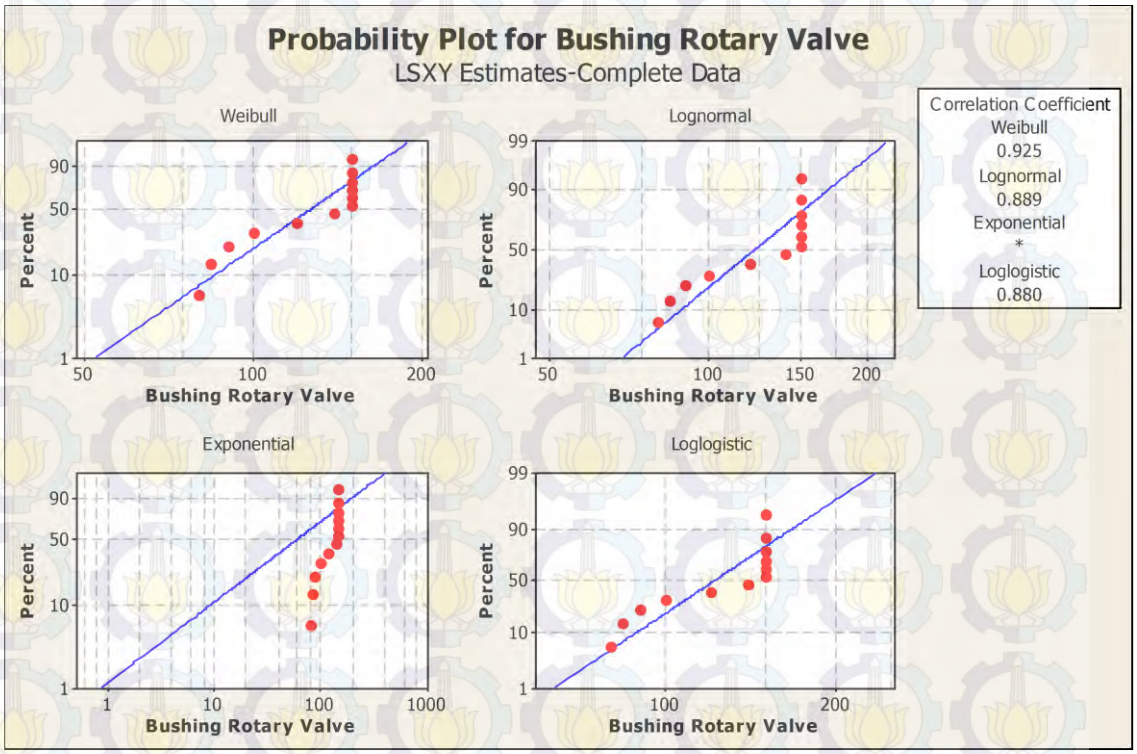


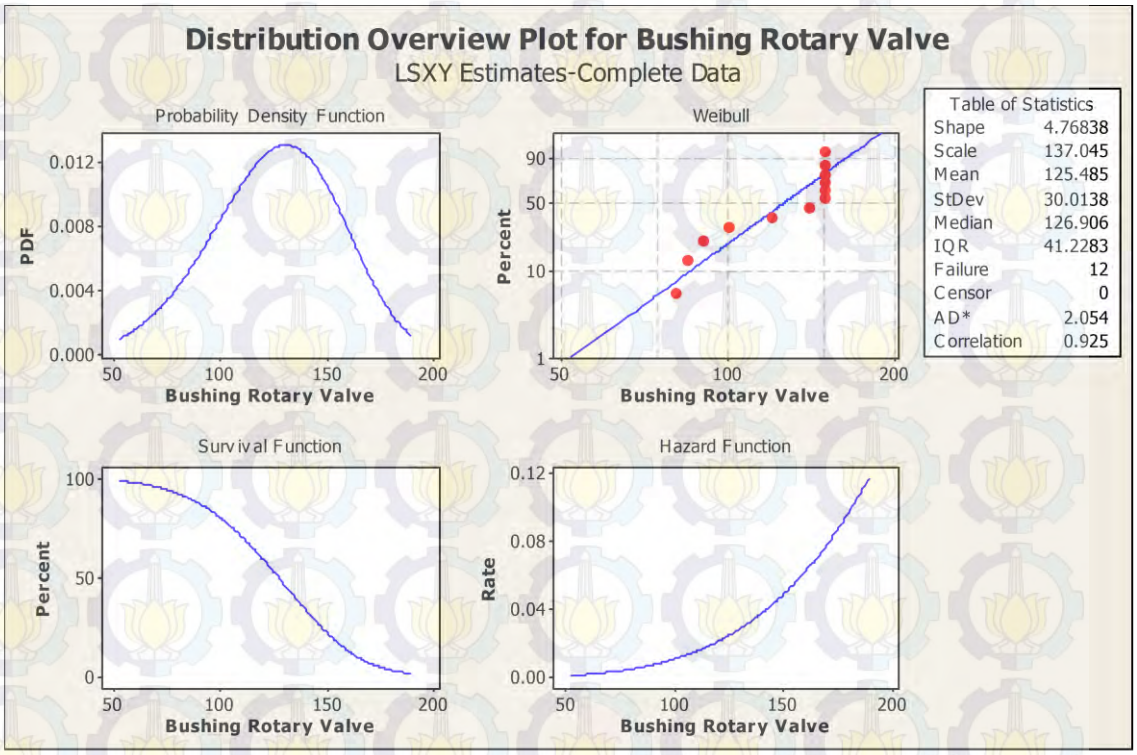



# LAMPIRAN 5

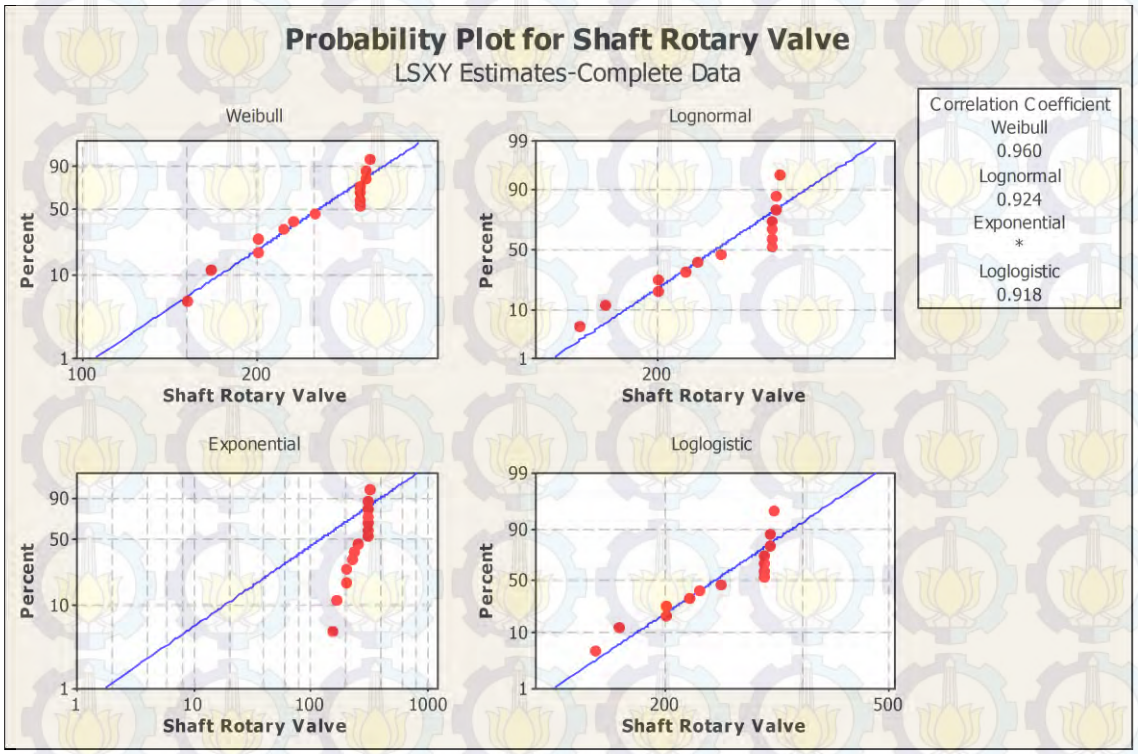
Hasil Distribusi Data Lama Waktu Perbaikan (Tr)
Komponen Kritis Lini D11 Dengan Bantuan *Software*
Minitab 14

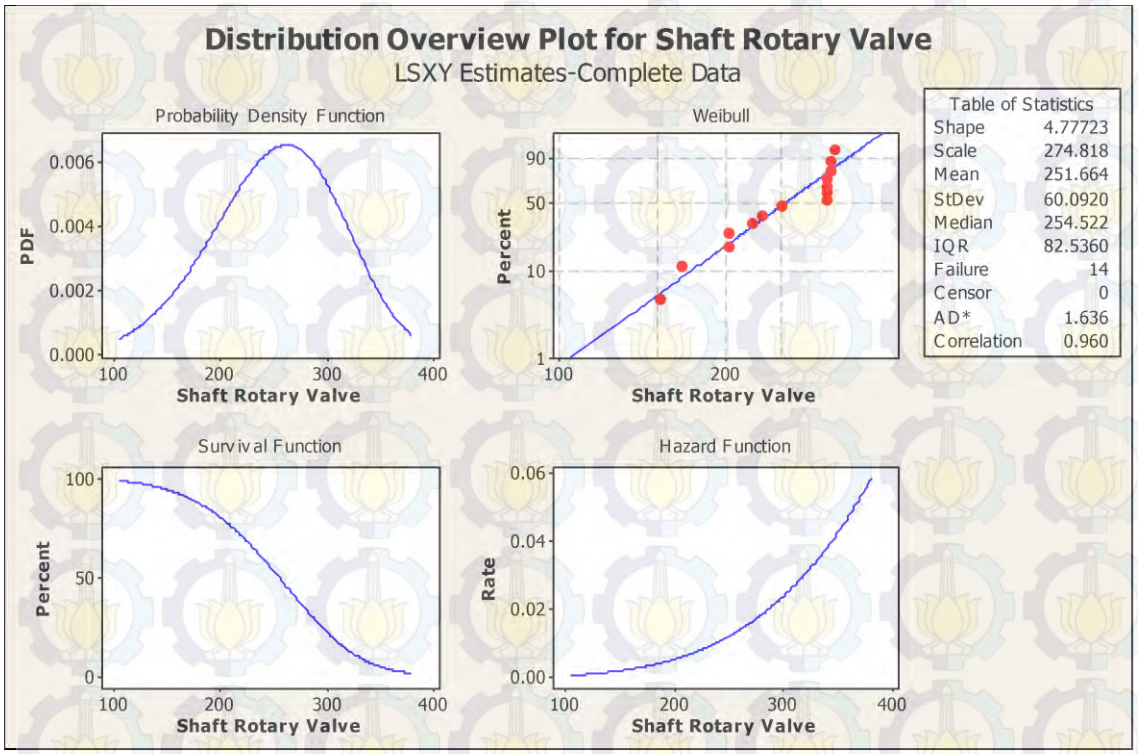
**Lampiran 5: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D11 dengan bantuan *software* Minitab 14**



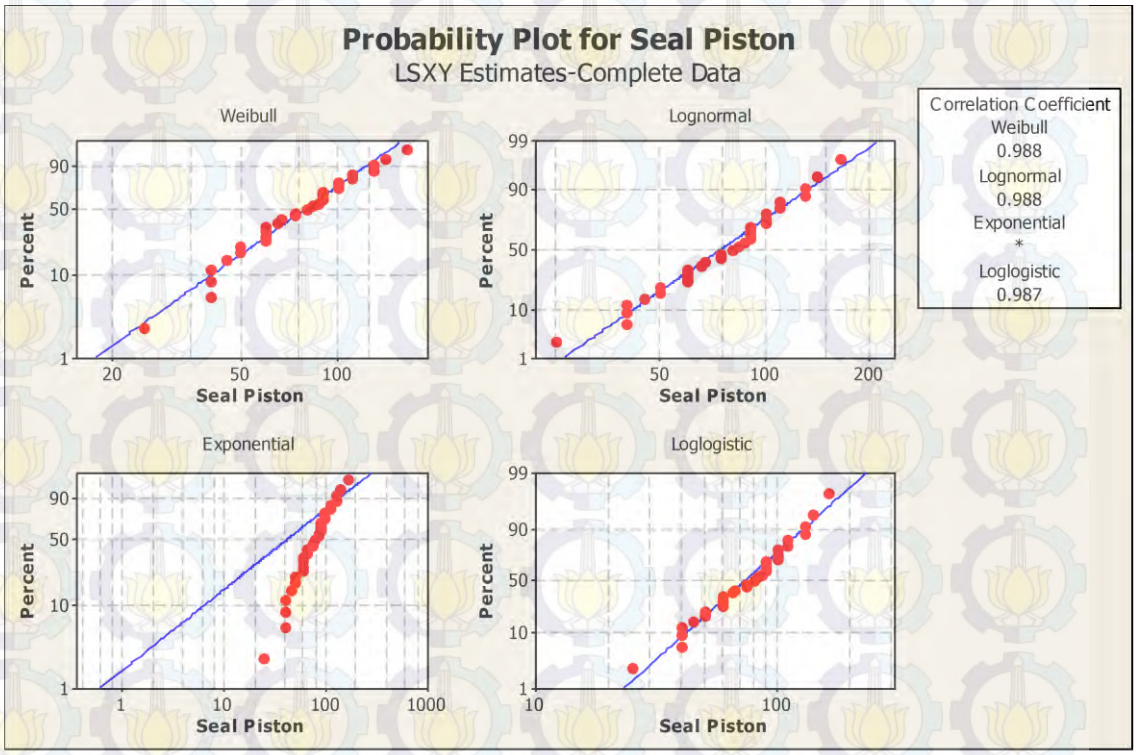



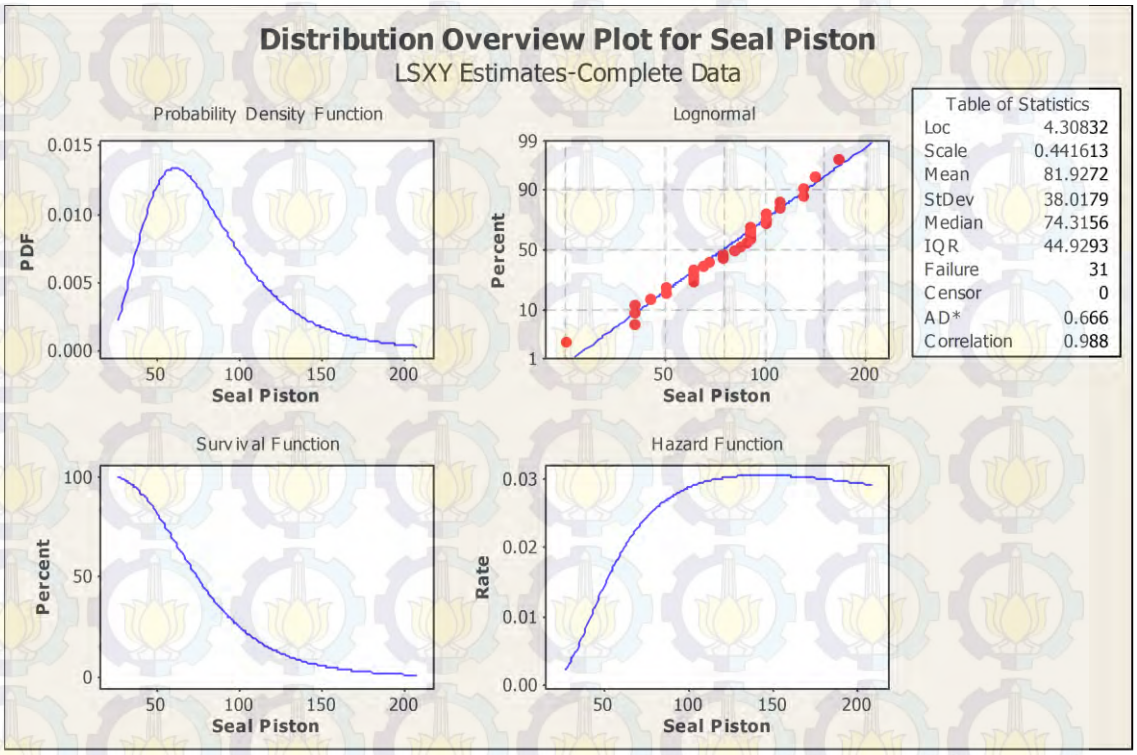
**Lampiran 5: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D11 dengan bantuan *software* Minitab 14 (lanjutan)**



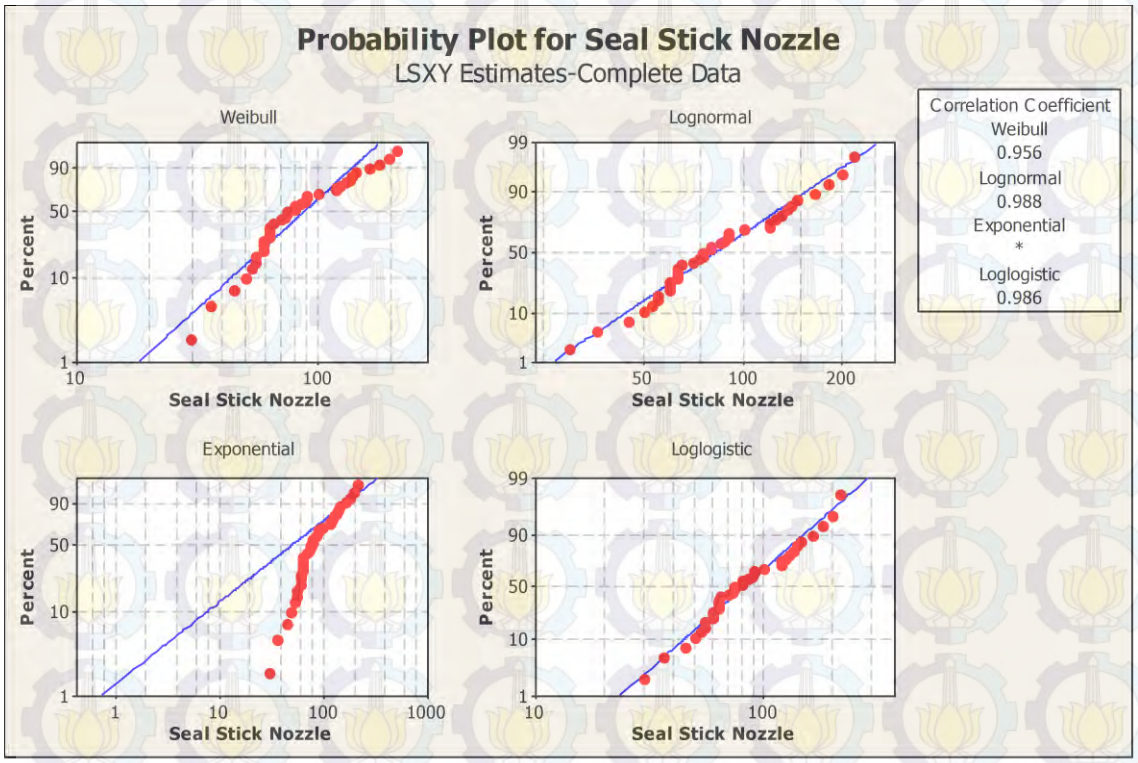



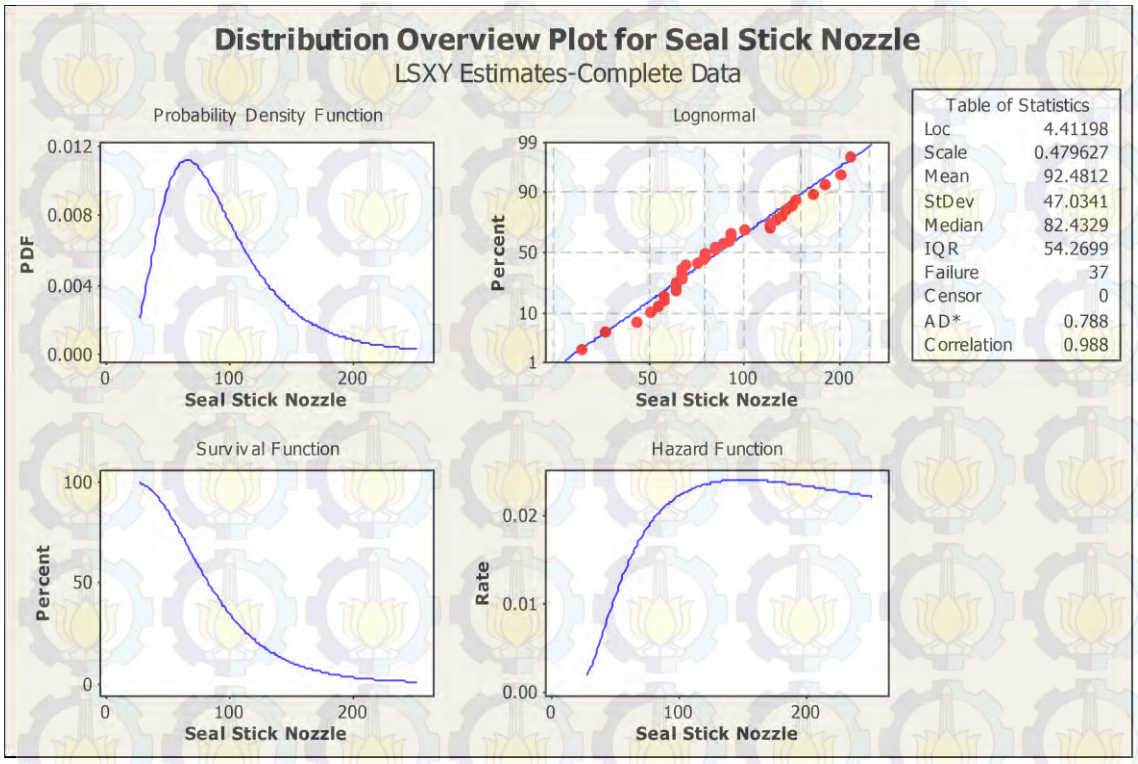
**Lampiran 5: Hasil distribusi data lama waktu perbaikan (Tr) komponen kritis lini D11 dengan bantuan *software* Minitab 14 (lanjutan)**



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



# LAMPIRAN 6

Coding MATLAB Formulasi Model dan MS-MDPSO

```
%============================Deklarasi Permasalahan
m=30; %m=dimensi partikel swarm
max_iter=100;
T=8736; %T=horizon waktu
jml_lini=2;
jml_part=7;
idx_part=[4,7]; %indeks part maksimal dalam urutan i
MINTF=[1279 232 32 8 259 1536 152];
MTTF=[2384  2057    832 804 1475    3798    2998];
MTTR=[3 5   2   2   1   2   2];
M=[3 3 3 2 2 1 1]; %M=manpower
max_M=10;
target_prod=[2109168    2774448 2836800 2937600 2594880 2937600
2692800 1958400 2448000 2448000 2692800 1958400 2203200 1468800
1468800 2937600 1713600 2301120 2692800 2937600 1713600 1958400
2529504 1305792 44352   1497600 1468800 1224000 2203200 1958400
2016000 2260800 2203200 2448000 262656  1444176 367776  1232208 0
0   2774448 0   0   2774448 2448000 2937600 2203200 2332800
1814400 2332800 489024  1684800
    1404000 2471040 3110400 2851200 2747520 3110400 3110400
2851200 2851200 2332800 69696   1036800 1555200 1555200 2851200
1555200 1814400 2332800 3110400 1814400 1814400 1555200 2419200
2366352 2592000 1555200 1296000 1555200 2592000 2073600 2073600
2246400 2592000 2505600 2339136 2281680 3063024 1725408 136800  0
2471040 0   0   2471040 2592000 3110400 3024000 2937600 2592000
2937600 2073600 2246400
    ];
kap=[20250,21375]; %kapasitas maksimal per i
for t=1:52
    for a=1:jml_lini
        min_jprod_lini(a,t)=ceil(target_prod(a,t)/kap(a));
        max_jperbaikan_lini(a,t)=168-min_jprod_lini(a,t);
    end
end

%================================MS-MDPSO
mulai=now;
n_swarm=5;
for swarm=1:n_swarm
    %---------------------Inisialisasi Iterasi
    w_iner=0.8;
    w_max=w_iner;
    w_min=w_iner;
    c1=2;
    c2=2;
    iter=0;
    V=randn(T,jml_part,m);
    Pbest=[];
    X_best=[];
    jdwl_best=[];
    Gbest=[];

    P_gen=rand(T,jml_part,m); %generasi partikel untuk dijadikan X

    while iter<=max_iter
        for t=1:T
            for i=1:jml_part
```

```
                for l=1:m
                    if P_gen(t,i,l)<0.5
                        X(t,i,l)=0;
                    else
                        X(t,i,l)=1; %0 jika dijadwalkan produksi,
1 jika maintenance
                    end
                end
            end
        end
        for t=1:T
            for l=1:m
                a=1;
                xa=1;
                while a<=jml_lini

jdwl_perbk_lini(t,a,l)=sum(sum((X(t,xa:idx_part(a),l))));
                    xa=xa+idx_part(a);
                    a=a+1;
                end
            end
        end


    %-------------------------Cek hari max maintenance
        for l=1:m
            a=1;
            aa=1;
            while a<=jml_lini
                t_=1;
                tt=1;
                ttt=1;
                while t_<=T
                    while tt<=(t_+24*7-1)
                        JML=sum(jdwl_perbk_lini(t_:tt,a,l));
                        if JML<max_jperbaikan_lini(a,ttt)
                            tt=tt+1;
                        else

X(tt,aa:idx_part(a),l)=zeros(1,idx_part(a)-aa+1);
                            tt=tt+1;
                        end
                    end
                    t_=t_+24*7;
                    tt=1;
                    ttt=ttt+1;
                    JML=0;
                end
                aa=aa+idx_part(a);
                a=a+1;
            end
        end

    %-------------------------Cek MTTF
        for l=1:m
            a=1; %a=counter indeks part i
            while a<=jml_part;
```

```
                cek_t=1;
                penghit=MINTF(a);
                while cek_t<=T
                    if X(cek_t,a,l)==1;
                        for o=cek_t:(cek_t+(MTTR(a)-1))
                            X(o,a,l)=1;
                        end
                        for
p=(cek_t+MTTR(a)):(cek_t+MTTR(a)+(MINTF(a)-1))
                            X(p,a,l)=0;
                        end
                        cek_t=cek_t+MTTR(a)+MINTF(a);
                        penghit=MINTF(a);
                    else
                        if X(cek_t,a,l)==0;
                            penghit=penghit+1;
                            if penghit>MTTF(a)
                                X(cek_t,a,l)=1;
                                penghit=MINTF(a);
                                cek_t=cek_t-1;
                            end
                        cek_t=cek_t+1;
                        end
                    end
                end
                a=a+1;
            end
        end
        X(T+1:size(X,1),:,:)=[];

    %------------------Cek MTTR dan ketersediaan manpower

        Cek_M=zeros(m,T);
        for l=1:m
            a=1;
            while a<=jml_part;
                cek_t=1;
                penghit2=0;
                while cek_t<=T
                    if X(cek_t,a,l)==1;
                        cek_t2=1;
                        penghit=0;
                        while cek_t2<=MTTR(a)
                            if Cek_M(l,cek_t+cek_t2-1)+M(a)<max_M;
                                penghit=penghit+1;
                                cek_t2=cek_t2+1;
                            else
                                penghit=0;
                                cek_t2=cek_t2+1;
                            end
                            if cek_t+cek_t2>T
                                break
                            end
                        end
                        if penghit==MTTR(a)
                            if a<=idx_part(1)
                                aa=1;
```

```
                        else
                            aa=2;
                        end
                        if
penghit2<=max_jperbaikan_lini(aa,ceil(cek_t/168))
                            Cek_M(l,cek_t:cek_t+MTTR(a)-
1)=Cek_M(l,cek_t:cek_t+MTTR(a)-1)+M(a);
                            X(cek_t:cek_t+MTTR(a)-1,a,l)=1;
                            if
ceil(cek_t/168)==ceil((cek_t+MTTR(a))/168)
                                penghit2=penghit2+1;
                            else
                                penghit2=0;
                            end
                        else
                            X(cek_t:cek_t+MTTR(a)-1,a,l)=0;
                            if
ceil(cek_t/168)~=ceil((cek_t+MTTR(a))/168)
                                penghit2=0;
                            end
                        end
                        cek_t=cek_t+MTTR(a)-1;
                    else
                        if cek_t+cek_t2>T
                            X(cek_t:T,a,l)=0;
                        else
                            X(cek_t:cek_t+MTTR(a)-1,a,l)=0;
                        end
                        if
ceil(cek_t/168)~=ceil((cek_t+MTTR(a))/168)
                            penghit2=0;
                        end
                        cek_t=cek_t+MTTR(a)-1;
                    end

                    cek_t=cek_t+1;
                else
                    cek_t=cek_t+1;
                end
            end
            a=a+1;
        end
    end


    %-------------Penghitungan jadwal produksi per lini
    jdwl_prod=zeros(T,jml_lini,m);
    for l=1:m
        a=1;
        t=1;
        xa=1;
        while t<=T
            while a<=jml_lini
                if sum(X(t,xa:idx_part(a),l))==0
                    jdwl_prod(t,a,l)=kap(a);
                end
                xa=xa+idx_part(a);
```

```
                    a=a+1;
                end
                t=t+1;
                a=1;
                xa=1;
            end
        end

    %---------------------------Konversi Jadwal Produksi Mingguan
        jdwl_prod_ming=zeros(ceil(T/(24*7)),jml_lini,m);
        for l=1:m
            i=1;
            t=1; %t=t dalam satuan jam
            t_ming=1; %t_ming=t dalam satuan mingguan
            while t<=T
                while i<=jml_lini
jdwl_prod_ming(t_ming,i,l)=sum(jdwl_prod(t:t+(24*7-1),i,l));
                    i=i+1;
                end
                t_ming=t_ming+1;
                t=t+(24*7);
                i=1;
            end
        end
        jdwl_prod_ming;

    %---------------------Penghitungan Fungsi Tujuan
        for l=1:m;
            selisih(:,:,l)=jdwl_prod_ming(:,:,l)-target_prod';
            f_obj(l)=sum(sum(selisih(:,:,l).^2));
            if iter==0
                Pbest(iter+1,l)=f_obj(l);
                X_best(:,:,l)=X(:,:,l);
                jdwl_best(:,:,l)=jdwl_prod_ming(:,:,l);
            elseif f_obj(l)<=Pbest(iter,l)%polaritas negatif
                Pbest(iter+1,l)=f_obj(l);
                X_best(:,:,l)=X(:,:,l);
                jdwl_best(:,:,l)=jdwl_prod_ming(:,:,l);
            else
                Pbest(iter+1,l)=Pbest(iter,l);
            end
        end

        [Gbest,idx]=min(Pbest(iter+1,:));
        Gbest_iter(iter+1)=Gbest;
        Glob_best=X_best(:,:,idx);
        Jad_best=jdwl_best(:,:,idx);

        iter=iter+1;
        V=round(w_iner*V+c1*rand(1)*(X_best-
X)+c2*rand(1)*(repmat(Glob_best,[1,1,m])-X));
        X=X+V;
        w_iner_lama=w_iner;
        w_iner=w_max-((w_max-w_min)/max_iter*iter);
        if w_iner_lama < w_iner
            w_max=w_iner;
```

```
        elseif w_iner_lama > w_iner
            w_min=w_iner;
        end
    %-------------------------Mutasi
        Mr=rand(T,jml_part,m); %Mr=Operator Mutasi
        for t=1:T
            for i=1:jml_part
                for l=1:m
                    if Mr(t,i,l)<0.3
X(t,i,l)=X(t,i,l)+ceil(randn(1)*X(t,i,l)/2);
                    end
                end
            end
        end
    end
    Gbest_(swarm)=Gbest;
    Glob_best_(:,:,swarm)=Glob_best;
    Jad_best_(:,:,swarm)=Jad_best;
end
[G_best_all,idx_swarm]=min(Gbest_)
X_best_all=Glob_best_(:,:,idx_swarm)
Jad_best_all=Jad_best_(:,:,idx_swarm)
selesai=now;
waktu_hit=selesai-mulai
```

# LAMPIRAN 7

Interval Aktivitas *Maintenance* Seluruh *Part*

Interval Aktivitas *Maintenance Bushing Rotary Valve*

| ***Maintenance* Ke** | **Jam Ke-** | **Interval (Jam)** |
|---|---|---|
| 1 | 1348 | 1341 |
| 2 | 2689 | 1347 |
| 3 | 4036 | 1341 |
| 4 | 5377 | 1345 |
| 5 | 6722 | 1346 |
| 6 | 8068 | |

Interval Aktivitas *Maintenance Shaft Rotary Valve*

| ***Maintenance* Ke** | **Jam Ke-** | **Interval (Jam)** |
|---|---|---|
| 1 | 5 | 332 |
| 2 | 337 | 339 |
| 3 | 676 | 334 |
| 4 | 1010 | 335 |
| 5 | 1345 | 339 |
| 6 | 1684 | 338 |
| 7 | 2022 | 331 |
| 8 | 2353 | 336 |
| 9 | 2689 | 339 |
| 10 | 3028 | 333 |
| 11 | 3361 | 336 |
| 12 | 3697 | 336 |
| 13 | 4033 | 339 |
| 14 | 4372 | 333 |
| 15 | 4705 | 339 |
| 16 | 5044 | 334 |
| 17 | 5378 | 341 |
| 18 | 5719 | 333 |
| 19 | 6052 | 336 |
| 20 | 6388 | 238 |
| 21 | 6626 | 266 |
| 22 | 6892 | 238 |
| 23 | 7130 | 264 |
| 24 | 7394 | 336 |
| 25 | 7730 | 337 |
| 26 | 8067 | 334 |
| 27 | 8401 | |

Interval Aktivitas *Maintenance Seal Piston*

| *Maintenance* Ke | Jam Ke | Interval | *Maintenance* Ke | Jam Ke | Interval | *Maintenance* Ke | Jam Ke | Interval |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 168 | 28 | 3899 | 134 | 55 | 6386 | 35 |
| 2 | 169 | 168 | 29 | 4033 | 37 | 56 | 6421 | 37 |
| 3 | 337 | 169 | 30 | 4070 | 34 | 57 | 6458 | 98 |
| 4 | 506 | 170 | 31 | 4104 | 99 | 58 | 6556 | 34 |
| 5 | 676 | 165 | 32 | 4203 | 35 | 59 | 6590 | 34 |
| 6 | 841 | 168 | 33 | 4238 | 134 | 60 | 6624 | 268 |
| 7 | 1009 | 168 | 34 | 4372 | 35 | 61 | 6892 | 38 |
| 8 | 1177 | 34 | 35 | 4407 | 132 | 62 | 6930 | 34 |
| 9 | 1211 | 134 | 36 | 4539 | 34 | 63 | 6964 | 94 |
| 10 | 1345 | 168 | 37 | 4573 | 135 | 64 | 7058 | 35 |
| 11 | 1513 | 168 | 38 | 4708 | 166 | 65 | 7093 | 35 |
| 12 | 1681 | 171 | 39 | 4874 | 167 | 66 | 7128 | 942 |
| 13 | 1852 | 165 | 40 | 5041 | 35 | 67 | 8070 | 34 |
| 14 | 2017 | 172 | 41 | 5076 | 136 | 68 | 8104 | 299 |
| 15 | 2189 | 34 | 42 | 5212 | 165 | 69 | 8403 | 34 |
| 16 | 2223 | 132 | 43 | 5377 | 168 | 70 | 8437 | 38 |
| 17 | 2355 | 36 | 44 | 5545 | 169 | 71 | 8475 | 94 |
| 18 | 2391 | 131 | 45 | 5714 | 34 | 72 | 8569 | 36 |
| 19 | 2522 | 167 | 46 | 5748 | 36 | 73 | 8605 | |
| 20 | 2689 | 38 | 47 | 5784 | 101 | | | |
| 21 | 2727 | 130 | 48 | 5885 | 34 | | | |
| 22 | 2857 | 168 | 49 | 5919 | 133 | | | |
| 23 | 3025 | 337 | 50 | 6052 | 36 | | | |
| 24 | 3362 | 34 | 51 | 6088 | 34 | | | |
| 25 | 3396 | 137 | 52 | 6122 | 95 | | | |
| 26 | 3533 | 165 | 53 | 6217 | 39 | | | |
| 27 | 3698 | 167 | 54 | 6256 | 130 | | | |
| 28 | 3865 | 34 | | | | | | |

Interval Aktivitas *Maintenance Seal Stick Nozzle*

| ***Maintenance* Ke** | **Jam Ke** | **Interval** | ***Maintenance* Ke** | **Jam Ke** | **Interval** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 10 | 40 | 2710 | 10 |
| 2 | 11 | 19 | 41 | 2720 | 138 |
| 3 | 30 | 145 | 42 | 2858 | 10 |
| 4 | 175 | 163 | 43 | 2868 | 10 |
| 5 | 338 | 167 | 44 | 2878 | 487 |
| 6 | 505 | 170 | 45 | 3365 | 10 |
| 7 | 675 | 12 | 46 | 3375 | 11 |
| 8 | 687 | 155 | 47 | 3386 | 10 |
| 9 | 842 | 168 | 48 | 3396 | 134 |
| 10 | 1010 | 168 | 49 | 3530 | 11 |
| 11 | 1178 | 10 | 50 | 3541 | 10 |
| 12 | 1188 | 14 | 51 | 3551 | 12 |
| 13 | 1202 | 10 | 52 | 3563 | 302 |
| 14 | 1212 | 133 | 53 | 3865 | 10 |
| 15 | 1345 | 13 | 54 | 3875 | 15 |
| 16 | 1358 | 155 | 55 | 3890 | 10 |
| 17 | 1513 | 10 | 55 | 3900 | 11 |
| 18 | 1523 | 12 | 56 | 3911 | 123 |
| 19 | 1535 | 151 | 57 | 4034 | 14 |
| 20 | 1686 | 10 | 58 | 4048 | 10 |
| 21 | 1696 | 154 | 59 | 4058 | 10 |
| 22 | 1850 | 13 | 60 | 4068 | 12 |
| 23 | 1863 | 11 | 61 | 4080 | 12 |
| 24 | 1874 | 10 | 62 | 4092 | 10 |
| 25 | 1884 | 134 | 63 | 4102 | 10 |
| 26 | 2018 | 10 | 64 | 4112 | 89 |
| 27 | 2028 | 10 | 65 | 4201 | 14 |
| 28 | 2038 | 148 | 66 | 4215 | 11 |
| 29 | 2186 | 10 | 67 | 4226 | 10 |
| 30 | 2196 | 11 | 68 | 4236 | 133 |
| 31 | 2207 | 10 | 69 | 4369 | 14 |
| 32 | 2217 | 10 | 70 | 4383 | 10 |
| 33 | 2227 | 126 | 71 | 4393 | 10 |
| 34 | 2353 | 10 | 72 | 4403 | 11 |
| 35 | 2363 | 10 | 73 | 4414 | 124 |
| 36 | 2373 | 11 | 74 | 4538 | 11 |
| 37 | 2384 | 10 | 75 | 4549 | 10 |
| 38 | 2394 | 306 | 76 | 4559 | 10 |
| 39 | 2700 | 10 | 77 | 4569 | 11 |

| *Maintenance* Ke | Jam Ke | Interval | *Maintenance* Ke | Jam Ke | Interval |
|---|---|---|---|---|---|
| 78 | 4580 | 14 | 118 | 6606 | 9 |
| 79 | 4594 | 1121 | 119 | 6615 | 10 |
| 80 | 5715 | 10 | 120 | 6625 | 265 |
| 81 | 5725 | 10 | 121 | 6890 | 11 |
| 82 | 5735 | 11 | 122 | 6901 | 10 |
| 83 | 5746 | 12 | 123 | 6911 | 10 |
| 84 | 5758 | 11 | 124 | 6921 | 16 |
| 85 | 5769 | 10 | 125 | 6937 | 14 |
| 86 | 5779 | 102 | 126 | 6951 | 11 |
| 87 | 5881 | 11 | 127 | 6962 | 11 |
| 88 | 5892 | 10 | 128 | 6973 | 84 |
| 89 | 5902 | 10 | 129 | 7057 | 10 |
| 90 | 5912 | 12 | 130 | 7067 | 12 |
| 91 | 5924 | 127 | 131 | 7079 | 10 |
| 92 | 6051 | 11 | 132 | 7089 | 10 |
| 93 | 6062 | 10 | 133 | 7099 | 10 |
| 94 | 6072 | 11 | 134 | 7109 | 10 |
| 95 | 6083 | 10 | 135 | 7119 | 11 |
| 96 | 6093 | 10 | 136 | 7130 | 1271 |
| 97 | 6103 | 10 | 137 | 8401 | 15 |
| 98 | 6113 | 12 | 138 | 8416 | 12 |
| 99 | 6125 | 93 | 139 | 8428 | 14 |
| 100 | 6218 | 11 | 140 | 8442 | 12 |
| 101 | 6229 | 12 | 141 | 8454 | 11 |
| 102 | 6241 | 11 | 142 | 8465 | 12 |
| 103 | 6252 | 16 | 143 | 8477 | |
| 104 | 6268 | 117 | | | |
| 105 | 6385 | 13 | | | |
| 106 | 6398 | 12 | | | |
| 107 | 6410 | 15 | | | |
| 108 | 6425 | 11 | | | |
| 109 | 6436 | 10 | | | |
| 110 | 6446 | 10 | | | |
| 111 | 6456 | 10 | | | |
| 112 | 6466 | 87 | | | |
| 113 | 6553 | 10 | | | |
| 114 | 6563 | 12 | | | |
| 115 | 6575 | 10 | | | |
| 116 | 6585 | 10 | | | |
| 117 | 6595 | 11 | | | |

Interval Aktivitas *Maintenance Seal Shut Rod Nozzle*

| ***Maintenance* Ke** | **Jam Ke** | **Interval** |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 336 |
| 2 | 337 | 336 |
| 3 | 673 | 1010 |
| 4 | 1683 | 334 |
| 5 | 2017 | 336 |
| 6 | 2353 | 673 |
| 7 | 3026 | 335 |
| 8 | 3361 | 336 |
| 9 | 3697 | 336 |
| 10 | 4033 | 336 |
| 11 | 4369 | 337 |
| 12 | 4706 | 335 |
| 13 | 5041 | 336 |
| 14 | 5377 | 343 |
| 15 | 5720 | 331 |
| 16 | 6051 | 335 |
| 17 | 6386 | 261 |
| 18 | 6647 | 262 |
| 19 | 6909 | 260 |
| 20 | 7169 | 392 |
| 21 | 7561 | 336 |
| 22 | 7897 | 336 |
| 23 | 8233 | 337 |
| 24 | 8570 | |

Interval Aktivitas *Maintenance Filter Nozzle*

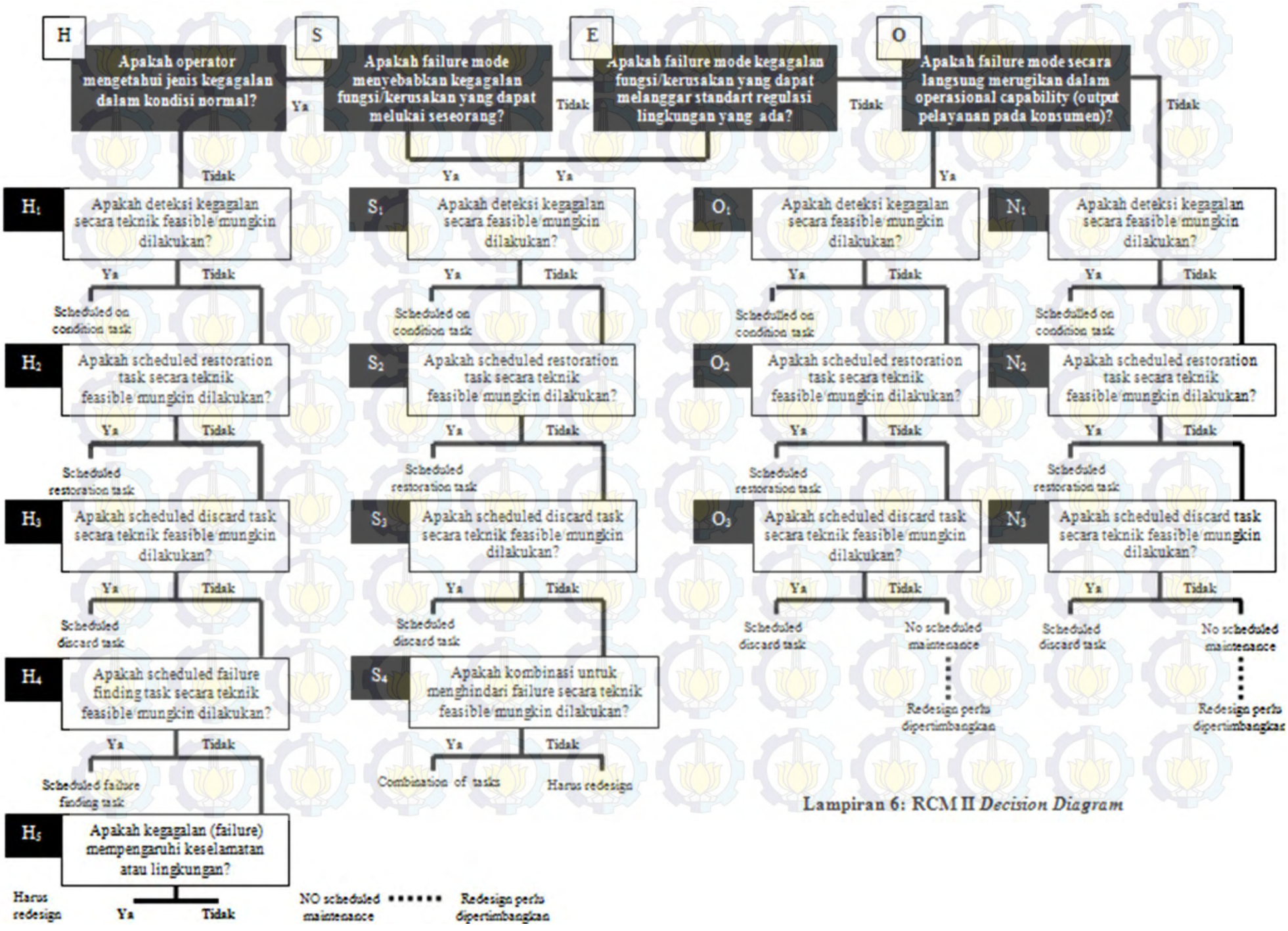
| ***Maintenance* Ke** | **Jam Ke** | **Interval** |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1538 |
| 2 | 1539 | 1655 |
| 3 | 3194 | 1539 |
| 4 | 4733 | 1652 |
| 5 | 6385 | 1683 |
| 6 | 8068 | |

Interval Aktivitas *Maintenance Head Nozzle*

| ***Maintenance* Ke** | **Jam Ke** | **Interval** | ***Maintenance* Ke** | **Jam Ke** | **Interval** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 170 | 169 | 24 | 4033 | 168 |
| 2 | 339 | 168 | 25 | 4201 | 169 |
| 3 | 507 | 168 | 26 | 4370 | 167 |
| 4 | 675 | 166 | 27 | 4537 | 170 |
| 5 | 841 | 168 | 28 | 4707 | 167 |
| 6 | 1009 | 170 | 29 | 4874 | 167 |
| 7 | 1179 | 166 | 30 | 5041 | 168 |
| 8 | 1345 | 169 | 31 | 5209 | 338 |
| 9 | 1514 | 168 | 32 | 5547 | 166 |
| 10 | 1682 | 167 | 33 | 5713 | 168 |
| 11 | 1849 | 170 | 34 | 5881 | 336 |
| 12 | 2019 | 166 | 35 | 6217 | 168 |
| 13 | 2185 | 168 | 36 | 6385 | 168 |
| 14 | 2353 | 169 | 37 | 6553 | 168 |
| 15 | 2522 | 169 | 38 | 6721 | 168 |
| 16 | 2691 | 167 | 39 | 6889 | 168 |
| 17 | 2858 | 169 | 40 | 7057 | 168 |
| 18 | 3027 | 167 | 41 | 7225 | 174 |
| 19 | 3194 | 168 | 42 | 7399 | 666 |
| 20 | 3362 | 168 | 43 | 8065 | 338 |
| 21 | 3530 | 168 | 44 | 8403 | 167 |
| 22 | 3698 | 172 | 45 | 8570 | |
| 23 | 3870 | 163 | | | |

# LAMPIRAN 8

RCM II Decision Diagram




Lampiran 6: RCM II *Decision Diagram*

# BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Kota Mataram pada tanggal 18 Agustus 1987. Lahir dari pasangan yang sangat berbahagia Dr. Ir. Tarmizi, MP. dan Ir. Zuhroni. Menempuh pendidikan SD di SDN 1 Karang Jangkong, SMPN 1 Mataram, SMAN 1 Mataram, dan menempuh kuliah Sarjana di Teknik Industri Universitas Brawijaya Malang. Setelah lulus S1, penulis langsung melanjutkan pendidikan ke jenjang Magister pada konsentrasi Manajemen Logistik dan rantai pasok di Pascasarjana Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bersamaan dengan pendidikan Magister tersebut, penulis bekerja sebagai asisten dosen di jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya Malang. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: suluh_elmanswara@hotmail.com.