

**PENDEKATAN PEMODELAN *SYSTEM DYNAMICS* SEBAGAI
ANALISIS KEBIJAKAN SISTEM PENJADWALAN DALAM
PROGRAM PERAWATAN MESIN
(STUDI KASUS DI PT. MEGA ANDALAN KALASAN (MAK))**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**



Nama : Fadhil Nur Fuadi

No. Mahasiswa : 10 522 223

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2014

**PENDEKATAN PEMODELAN *SYSTEMDYNAMICS* SEBAGAI
ANALISIS KEBIJAKAN SISTEM PENJADWALAN DALAM
PROGRAM PERAWATAN MESIN
(STUDI KASUS DI PT. MEGA ANDALAN KALASAN(MAK))**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**



Nama : Fadhil Nur Fuadi

No. Mahasiswa : 10 522 223

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2014

LEMBAR PERNYATAAN

Demi Allah, Saya akui karya ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak intelektual maka saya bersedia ijazah yang saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 11 November 2014



Fadhil Nur Fuadi
Fadhil Nur Fuadi
NIM: 10 522 223

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PENDEKATAN PEMODELAN *SYSTEM DYNAMICS* SEBAGAI
ANALISIS KEBIJAKAN SISTEM PENJADWALAN DALAM
PROGRAM PERAWATAN MESIN
(STUDI KASUS DI PT. MEGA ANDALAN KALASAN (MAK))**



(Agus Mansur, ST., M.Eng.Sc.)

(Joko Sulistio, ST., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**PENDEKATAN PEMODELAN *SYSTEM DYNAMICS* SEBAGAI
ANALISIS KEBIJAKAN SISTEM PENJADWALAN DALAM
PROGRAM PERAWATAN MESIN
(STUDI KASUS DI PT. MEGA ANDALAN KALASAN (MAK))
TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh:

Nama : **Fadhil Nur Fuadi**

No. Mhs : **10 522 223**

Telah dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 27 November 2014

Tim Penguji

Agus Mansur, ST., M.Eng.Sc.
Ketua

Yuli Agusti Rochman, ST., M.Eng.
Anggota I

Harwati, ST., MT.
Anggota II

Joko Sulistio, ST., M.Sc.
Anggota III

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Industri
Universitas Islam Indonesia



Yuli Agusti Rochman, ST., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya yang ku tulis ini ku persembahkan pada kedua orangtuaku yang sangat ku sayangi, Bapak Akhmad Khamim dan Ibu Siti Badriyah

Karya ini juga ku persembahkan untuk kakak adikku yang selalu bikin kegaduhan bersama, Afrida Nur Fauzia, Rofie Nurhikmah dan Izzuddin Nur Ridhwan

Juga ku persembahkan untuk Keluarga Laboratorium DELSIM serta semua orang yang telah mendukung dan membantu dalam usahaku

HALAMAN MOTTO

وَأَقِيمُوا الصَّلَاةَ وَآتُوا الزَّكَاةَ وَأَطِيعُوا الرَّسُولَ لَعَلَّكُمْ

تَرْحَمُونَ ﴿٥٦﴾

“Dirikanlah sholat, dan tunaikan zakat, taatlah kepada rasul agar kamu sekalian mendapatkan Rahmat”.

(Q. S. An Nuur: 56)

وَإِذْ تَأَذَّنَ رَبُّكُمْ لَئِنْ شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ وَلَئِنْ

كَفَرْتُمْ إِنَّ عَذَابِي لَشَدِيدٌ ﴿٧﴾

“Niscaya jika kamu sekalian bersyukur, pasti Kami (Alloh) akan menambah (nikmat) kepada kamu sekalian, dan jika kamu sekalian kufur/mengingkari (nikmat-Ku), Maka Sesungguhnya adzab-Ku sangat berat”

(QS. Ibrohim, ayat: 7)

“Mau impianmu terkabul? Maka ceritakanlah pada IBUmu, bikin Tuhanmu terpaksa mengabulkannya”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik serta hidayahnya. Shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat, serta orang-orang yang bertaqwa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pendekatan Pemodelan System Dynamics Sebagai Analisis Kebijakan Sistem Penjadwalan Dalam Program Perawatan Mesin (Studi Kasus Di PT. Mega Andalan Kalasan (MAK))” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Jurusan Teknik Industri untuk menyelesaikan studi Strata-1 pada Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungannya baik secara langsung maupun tidak langsung, dengan penuh rasa syukur penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Kepada Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Kepada Ketua Prodi Teknik Industri serta pengurus Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Agus Mansur, ST., M.Eng.Sc. dan Bapak Joko Sulistio, ST., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bantuan dan arahnya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Kepada kedua orang tuaku Ibu Siti Badriyah serta Bapak Akhmad Khamim selalu memberikan dukungan, doa dan kasih Sayang.
5. Kepada Laboratorium Pemodelan dan Simulasi Industri yang selalu memberikan dukungan dan motivasinya.

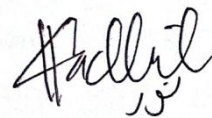
6. Kepada Semua pihak yang telah memberi semangat dan memberi segala masukan dalam menjalankan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan laporan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekeliruan dan kekurangan. Untuk itu penulis menyampaikan permohonan maaf sebelumnya serta sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 27 November 2014

Penulis



Fadhil Nur Fuadi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 8
2.1. Kajian Induktif	8
2.2. Kajian Deduktif	13

2.2.1.	<i>Maintenance</i>	13
2.2.2.	<i>Reliability and Failure</i>	15
2.2.3.	Konsep Sistem	16
2.2.4.	<i>System Thinking</i>	16
2.2.5.	<i>System Dynamics</i>	17
2.2.6.	<i>Causal Loop Diagram</i>	19
2.2.7.	<i>Flow Diagram</i>	21
2.2.8.	Validasi Dan Verifikasi	24
2.2.9.	<i>Seven Tools</i>	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		30
3.1.	Objek Penelitian	30
3.1.1.	Identifikasi masalah dan mendefenisikan tujuan	32
3.1.2.	Membangun model formal.....	33
3.1.3.	Verifikasi	33
3.1.4.	Pengujian kredibilitas model (Validasi)	33
3.1.5.	Analisis model	34
3.1.6.	<i>Design Improvement</i>	34
3.1.7.	Implementasi.....	34
3.1.8.	Data Yang Dibutuhkan	34
3.1.9.	Metode Pengumpulan Data.....	35
3.2.	Pengolahan Data.....	35
3.2.1.	Perancangan model formal	35
3.2.2.	Validasi	36
3.2.3.	Desain eksperimen/ Desain <i>improvement</i>	36

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	37
4.1. Pengumpulan Data	37
4.1.1. Data inventaris Mesin <i>Plant</i> Komponen Logam (KL)	37
4.1.2. Daftar Riwayat Mesin	39
4.1.3. Data Preventive <i>Maintenance</i>	42
4.1.4. Data Corrective <i>Maintenance</i>	53
4.1.5. Data Hasil Produksi	66
4.2. Pengolahan Data.....	69
4.2.1. Pemilihan Mesin	69
4.2.2. Perhitungan <i>Reliability</i>	71
4.2.3. Pembangunan Model	72
4.2.4. Validasi Model.....	94
4.2.5. Desain Eksperimen	106
 BAB V PEMBAHASAN.....	 109
1.1. Analisa Hasil Simulasi Model Awal	109
1.2. Analisa Hasil Model Eksperimen.....	111
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	 113
6.1. Kesimpulan	113
6.2. Saran.....	113
DAFTAR PUSTAKA	114
LAMPIRAN.....	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Kajian Induktif.....	11
Tabel 4. 1 Daftar inventaris mesin pada <i>plant</i> Komponen Logam	37
Tabel 4. 2 Daftar Riwayat Mesin pada <i>Plant</i> Komponen Logam	39
Tabel 4. 3 <i>Preventive Maintenance</i> Tahunan Mesin Bolina.....	42
Tabel 4. 4 <i>Preventive Maintenance</i> Bulanan Mesin Bolina	44
Tabel 4. 5 Jadwal <i>Preventive Maintenance</i> Mesin Bolina.....	47
Tabel 4. 6 <i>Preventive Maintenance</i> Bulanan Mesin PLC.....	48
Tabel 4. 7 <i>Preventive Maintenance</i> PLC	50
Tabel 4. 8 <i>Preventive Maintenance</i> 3 Bulanan Mesin CNC Punch Muratec	52
Tabel 4. 9 <i>Preventive Maintenance</i> 6 Bulanan CNC Punch Muratec	52
Tabel 4. 10 Jadwal <i>Preventive Maintenance</i> CNC Punch Muratec	53
Tabel 4. 11 Tipe <i>Corrective Maintenance</i> Mesin Bolina.....	54
Tabel 4. 12 Tipe <i>Corrective Maintenance</i> Mesin Pipe Laser Cutting	54
Tabel 4. 13 Tipe <i>Corrective Maintenance</i> Mesin Muratec	54
Tabel 4. 14 Riwayat CM Mesin Manual Shears Bolina	55
Tabel 4. 15 Riwayat CM Mesin Pipe Laser Cutter (PLC).....	58
Tabel 4. 16 Riwayat CM Mesin CNC Punch (Muratec)	61
Tabel 4. 17 Output Mesin Bolina Dalam Tiap Minggu Periode 2013.....	66
Tabel 4. 18 Output Mesin Muratec Dalam Setiap Minggu Periode 2013.....	67
Tabel 4. 19 Output Mesin PLC Dalam Tiap Minggu Periode 2013	68
Tabel 4. 20 Data Kerusakan Mesin <i>Plant</i> Komponen Logam.....	69
Tabel 4. 21 Model Boundary Diagram	74
Tabel 4. 22 Pendefinisian Flow Diagram Mesin Bolina.....	78
Tabel 4. 23 Pendefinisian Flow Diagram Mesin Muratec.....	84
Tabel 4. 24 Pendefinisian <i>Flow Diagram</i> Mesin PLC.....	90
Tabel 4. 25 Data Kerusakan Mesin Bolina	102
Tabel 4. 26 Data Kerusakan Mesin Muratec	104
Tabel 4. 27 Data Kerusakan Mesin PLC	105
Tabel 4. 28 Tabel Input Variabel Data Produksi pada Model	107

Tabel 4. 29 Perubahan Nilai <i>Failure Rate</i>	111
Tabel 4. 30 Perubahan Jumlah Kerusakan.....	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 Konsep Strategi <i>maintenance</i> yang baik	14
Gambar 2 2 Empat Tingkat Berpikir	17
Gambar 2 3 Diagram Keterkaitan kausal sederhana.....	20
Gambar 2 4 Diagram Kausal Pengisian Air dalam Gelas.....	21
Gambar 2 5 Simbol <i>Level</i>	22
Gambar 2 6 Simbol <i>rate</i>	23
Gambar 2 7 Simbol <i>Auxillary</i>	23
Gambar 2 8 Simbol <i>Constant</i>	23
Gambar 2 9 Gambar <i>Link</i>	24
Gambar 2 10 Tingkat Kepercayaan Model berbanding cost	24
Gambar 3 1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4. 1 Diagram Pareto Data Kerusakan Mesin.....	70
Gambar 4. 2 Diagram Sub-System Kejadian <i>Failure Rate</i>	73
Gambar 4. 3 Causal Loop Diagram <i>Maintenance</i> PT MAK	75
Gambar 4. 4 <i>Flow Diagram</i> Mesin Bolina	78
Gambar 4. 5 Grafik <i>Failure Rate</i> Mesin Bolina	83
Gambar 4. 6 Grafik Alokasi <i>Manhours</i> mesin Bolina	83
Gambar 4. 7 Grafik Alokasi <i>Part</i> Mesin Bolina	83
Gambar 4. 8 Flow Diagram Mesin Muratec.....	84
Gambar 4. 9 Grafik <i>Failure Rate</i> Mesin Muratec	89
Gambar 4. 10 Grafik Alokasi <i>Manhours</i> Mesin Muratec	89
Gambar 4. 11 Grafik Alokasi <i>Part</i> Mesin Muratec.....	89
Gambar 4. 12 Flow Diagram Mesin PLC	90
Gambar 4. 13 Grafik <i>Failure Rate</i> Mesin PLC	94
Gambar 4. 14 Grafik Alokasi <i>Manhours</i> Mesin PLC	94
Gambar 4. 15 Grafik Alokasi <i>Part</i> Mesin PLC	94
Gambar 4. 16 Grafik <i>Failure Rate</i> Mesin Bolina (produksi = 0)	96
Gambar 4. 17 Grafik <i>Failure Rate</i> Mesin Muratec (produksi = 0)	96
Gambar 4. 18 Grafik <i>Failure Rate</i> Mesin PLC (produksi = 0).....	96

Gambar 4. 19 Perilaku Produksi Mesin Bolina	97
Gambar 4. 20 Perilaku Produksi Mesin Muratec	97
Gambar 4. 21 Perilaku Produksi Mesin PLC.....	97
Gambar 4. 22 Perilaku <i>Failure</i> Mesin Bolina.....	98
Gambar 4. 23 Perilaku <i>Failure</i> Mesin Muratec	98
Gambar 4. 24 Perilaku <i>Failure</i> Mesin PLC.....	98
Gambar 4. 25 Pola <i>Failure Rate</i> Mesin Bolina	99
Gambar 4. 26 Pola <i>Failure Rate</i> Mesin PLC.....	99
Gambar 4. 27 Pola <i>Failure Rate</i> Mesin Muratec	99
Gambar 4. 28 Tes Homogenitas Mesin Bolina.....	103
Gambar 4. 29 Tes Homogenitas Mesin Muratec.....	105
Gambar 4. 30 Tes Homogenitas Mesin PLC	106
Gambar 4. 31 <i>Failure Rate</i> Desain Eksperimen Mesin Bolina	108
Gambar 4. 32 <i>Failure Rate</i> Desain Eksperimen Mesin Muratec.....	108
Gambar 4. 33 <i>Failure Rate</i> Desain Eksperimen Mesin PLC.....	108

ABSTRAK

Pelaksanaan *maintenance* memiliki peran penting dalam optimasi sistem produksi suatu perusahaan. Dalam *maintenance* terdapat struktur penyusun yang terdiri dari manajemen penjadwalan, manajemen *resource* dan manajemen ketersediaan *sparepart*. Pada PT. MAK, struktur yang berjalan menunjukkan perilaku tingginya *failure rate* di akhir tahun. Sehingga menimbulkan kerusakan lebih sering terjadi di akhir tahun. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan proses pengelolaan manajemen penyusun struktur *maintenance* PT. MAK. Dengan mengetahui struktur *maintenance* maka akan diperoleh penyebab yang mampu mengurangi nilai *failure rate*. Dari permasalahan yang ada metodologi *system dynamics* menjadi metode yang tepat untuk menangani pengembangan model dalam kebijakan manajemen tersebut. Analisis model simulasi *system dynamics* menggambarkan interaksi hubungan komponen-komponen sistem yang ada di dalam sistem *maintenance* setiap unit. Dalam proses pengolahan dan analisa data disimpulkan perubahan laju produksi menjadi rata-rata dari jumlah produksi. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa struktur *maintenance* PT.MAK tersusun dari manajemen penjadwalan, *sparepart*, dan *human resources*. Dalam manajemen penjadwalan terdiri dari *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. Struktur *maintenance* yang ada saat ini berjalan sesuai kebijakan yang ada, baik jadwal *preventive maintenance* maupun *corrective maintenance*. Dari struktur saat ini menunjukkan perilaku *failure rate* yang tinggi di akhir tahun. Kemudian dalam upaya mengurangi nilai *failure rate* yang tinggi pada akhir tahun dilakukan dengan cara merubah angka produksi dengan angka rata-rata produksi yang mengakibatkan menurunnya nilai *failure rate* masing-masing (0,45% ; 0,71% ; 1,28%) perhari menjadi (0,28% ; 0,46% ; 1,28%) perhari. Selain itu jumlah kerusakan mengalami penurunan masing-masing (16 ; 11 ; 17) menjadi (9 ; 7 ; 16) dalam 30 bulan.

Kata - kata` kunci : *maintenance, failure rate, system dynamics*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Desain sistem produksi saat ini dibuat dan diolah sedemikian rupa sehingga siap untuk operasi dalam memaksimalkan volume produksi dan profitabilitas. Dalam *manufacture*, produksi dan *maintenance* adalah fungsi yang saling komplementer dan mengambil peranan penting untuk mencapai tujuan bisnis perusahaan. Perubahan dalam filosofi produksi, persaingan tajam dan permintaan pelanggan yang berubah-ubah membuat *maintenance* sebagai pusat laba bukan pusat pengeluaran dalam menyelesaikan produksi dan memaksimalkan kinerja produksi. Pada umumnya, perubahan produksi yang dibuat terus-menerus dalam lini produksi terkait dengan penjualan dan situasi stock. Selain itu perencanaan *maintenance* banyak diabaikan ketika rencana produksi telah terprogram. Departemen produksi tidak memberikan mesin produksi untuk dilakukan *maintenance* karena tekanan produksi dan di sisi lain departemen *maintenance* ingin melaksanakan perawatan untuk memastikan keandalan mesin serta untuk mengurangi frekuensi *breakdown*. Berkaitan dengan alasan ini, terdapat perbedaan pendapat antara Departemen *maintenance* dan produksi (Uzun & Ozdogan, 2012)

Dalam sebuah perusahaan, pimpinan *maintenance* mencoba untuk menjawab pertanyaan seperti alasan untuk pelaksanaan *maintenance*, waktu pelaksanaan *preventive maintenance* akan dikeluarkan, jenis kegiatan yang diperlukan yang akan dilaksanakan atau apa yang dibutuhkan untuk dilakukan pada setiap mesin, bagaimana melakukannya, dimana untuk melakukannya dan berapa lama *maintenance* ini akan berlangsung. Meskipun banyak manfaat, *maintenance* umumnya dikenal sebagai sebuah karya yang mahal. Menurut estimasi, biaya *maintenance* tersebut mencapai 20 sampai 30 persen dari

biaya menjalankan sebuah pendirian. Oleh karena itu, jelas perencanaan kegiatan *maintenance* akan menambah keuntungan bisnis (Sachdeva, et al, 2009).

PT MAK adalah perusahaan swasta di Indonesia yang fokus pada produk khusus – Perlengkapan Rumah Sakit. Didirikan pada tahun 1988, dengan bantuan tim kreatif dan pegawai yang berdedikasi, PT MAK sekarang ini menjadi pemimpin (di Indonesia) pada desain dan perusahaan untuk Perlengkapan Rumah Sakit. Produk utama PT MAK adalah peralatan rumah sakit dengan kapasitas produksi sebesar 20.000/STB (satuan setara bed).

Dalam sistem produksi PT MAK dikelompokkan dalam beberapa *plant* yang menjalankan dan menghasilkan produksi masing-masing produk yang berbeda. Salah satu *plant* utama adalah Komponen Logam (KL), *plant* ini merupakan *plant* hulu dari keseluruhan produk yang diproduksi. *Plant* ini mengolah bahan dasar berupa pipa dan plat logam dengan 2 mesin utama untuk mengolah 2 bahan dasar tersebut, yaitu mesin *Manual Shears* (Bolina) dan *Pipe Laser Cutter* (Trumpf). Produk keluaran Trumpf merupakan produk siap rakit karena teknologi yang digunakan merupakan laser sehingga detail produk sudah dikerjakan oleh mesin tersebut. Untuk Bollina, produk keluaran mesin ini akan selanjutnya diproses di beberapa mesin *punch*. Mesin *punch* yang memiliki jumlah produksi paling tinggi adalah CNC *Punch* yang tersedia 2 mesin di *plant* KL. Salah satu mesin merupakan mesin yang diprioritaskan untuk mengolah plat, yakni CNC *Punch Muratec*.

Dari deskripsi di atas menunjukkan nilai batas kritis reliabilitas ketiga mesin tersebut akan menyebabkan semakin pendek rentang waktu terjadinya kerusakan pada *plant* KL yang merupakan hulu dari sistem produksi. Sehingga bagian *maintenance* akan memberi prioritas yang lebih tinggi pada mesin tersebut dalam pelaksanaan *maintenance* mesin. Dalam pelaksanaannya penjadwalan *Preventive Maintenance* (PM) bisa mengalami penundaan dikarenakan pelaksanaan yang tidak tepat waktu ataupun terjadinya *Corrective Maintenance* (CM). Terjadinya penundaan secara terakumulasi akan meningkatkan kemungkinan terjadinya kerusakan yang nantinya mesin harus *breakdown* dan bagian *maintenance* wajib menjalankan CM. Pelaksanaan PM maupun CM ini tidak lepas dari tersedianya *manhours* dan *sparepart* yang diperlukan mesin. Selain hal tersebut, kebijakan lain di dalam perusahaan seperti kebijakan produksi juga

mengakibatkan ketidakstabilan waktu penggunaan mesin sehingga berdampak langsung pada semakin cepatnya nilai penurunan reliabilitas mesin. Dampak yang ditimbulkan dari penurunan nilai reliabilitas tersebut mengakibatkan tingginya angka *failure rate*, khususnya yang terjadi pada akhir tahun. Di mana angka *failure rate* pada akhir tahun lebih rendah daripada yang terjadi di awal tahun. Dalam periode 2012-2013, pada awal tahun terjadi 13 kerusakan dan pada akhir tahun terjadi 21 kerusakan.

Dalam perkembangan perencanaan *maintenance* PT. MAK, situasi yang menghambat PM ataupun CM dalam pelaksanaan *maintenance* mengharuskan pengambil kebijakan memerlukan sebuah gambaran untuk mempelajari perilaku dari sistem yang diamati. Untuk membuat gambaran tersebut dibuatlah sebuah model yang mampu merepresentasikan perilaku dari sistem.

Dalam penjelasannya (Barlas, 2002) mengatakan bahwa *system dynamics* digunakan untuk memahami penyebab dinamika yang tidak diinginkan dan merancang kebijakan baru untuk memperbaiki/menghilangkan penyebab tersebut, dengan kata lain mampu mengakomodasi permasalahan yang kompleks. Dikatakan kompleks apabila permasalahan dinamis, yaitu memiliki *feedback*, *non-linearity*, *scale*, *human dimension*, sebab dan akibat dipisahkan dalam ruang dan waktu, dan ketidakcukupan intuitif.

System dynamics membantu meramalkan masa depan dari sistem. *System dynamics* juga membantu untuk melihat efek dari setiap kebijakan yang diambil sekarang, juga mampu memperoleh sistem dalam tingkatan yang kita inginkan di masa depan (Rasouli, 2010). Kriteria persoalan yang tepat untuk dimodelkan menggunakan metodologi SD adalah mempunyai sifat dinamis serta memiliki minimal satu struktur umpan balik. Berdasarkan uraian di atas, metodologi *system dynamics* menjadi metode yang tepat dalam pengembangan model untuk membuat kebijakan manajemen *maintenance*.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini dijabarkan dalam pertanyaan berikut:

1. Bagaimana struktur dari sistem *maintenance* yang ada di PT. MAK?

2. Bagaimana alternatif model untuk mengatasi perilaku *failure rate* yang tinggi di akhir tahun?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Cakupan *maintenance* yang diangkat berhubungan dengan reliabilitas mesin dan pelaksanaan *preventive* maupun *corrective maintenance*.
2. Struktur variabel *maintenance* dibentuk berdasarkan kebijakan yang terdapat pada PT. MAK Yogyakarta.
3. Kebijakan yang diambil tidak memperhitungkan biaya inventori perusahaan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh hal berikut:

1. Struktur dari sistem *maintenance* yang ada di PT. MAK.
2. Alternatif model untuk kebijakan mengatasi perilaku *failure rate* yang tinggi di akhir tahun.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini fokus pada bagian *maintenance* di PT. MAK sebagai objek penelitian sehingga diharapkan para pengambil keputusan pada perusahaan tersebut maupun pihak yang berkepentingan dapat menggunakan hasil penelitian ini sebagai pertimbangan dalam mengambil keputusan khususnya mengenai kebijakan dalam penyediaan dan alokasi *maintenance resource*.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan laporan penelitian tugas akhir ini, akan terbagi menjadi enam bab. Adapun enam bab tersebut adalah sebagai berikut :

BAB II KAJIAN LITERATUR

Didalam bab ini akan menjelaskan secara singkat tentang kajian literatur induktif yang merupakan penjelasan penelitian terdahulu dan kajian literatur deduktif yang merupakan penjelasan teori yang berhubungan dengan penelitian tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Didalam bab ini akan menjelaskan secara singkat tentang kerangka dan aliran penelitian tugas akhir ini. Sehingga penelitian tugas akhir ini mempunyai alur yang jelas.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Didalam bab ini akan menjelaskan secara singkat tentang data-data yang dikumpulkan dan pengolahan yang dilakukan terhadap data-data yang telah didapatkan.

BAB V PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan secara singkat hasil dari pengolahan data dan kesesuaian dengan tujuan penelitian.

BAB VI PENUTUP

Bab ini merupakan bab terakhir dari penelitian tugas akhir ini. Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Induktif

Kajian Induktif merupakan salah satu sub bab yang menyajikan penelitian-penelitian terdahulu yang mengacu pada upaya perencanaan kebijakan *maintenance*. Berikut penelitian-penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Bivona & Montemaggiore, 2010) dengan judul *“Understanding short- and long-term implications of “myopic” fleet maintenance policies: a system dynamics application to a city bus company”* membahas mengenai pencatatan kerugian keuangan perusahaan bus kota yang sering memaksa manajer untuk menerapkan strategi restrukturisasi bertujuan untuk meningkatkan hasil bisnis. Untuk mengantisipasi hal tersebut, peneliti membuat model integrasi antara *maintenance* dan alokasi *resource* untuk pengambilan kebijakan yang dapat digunakan dalam jangka pendek maupun jangka panjang agar hasil bisnis perusahaan terus meningkat dengan pendekatan pemodelan *system dynamics*. Artinya penggunaan *system dynamics* mampu digunakan dalam pembuatan strategi kebijakan *maintenance* yang digunakan di tingkat manajerial.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Yuan, et al, 2003) dengan judul *“On a dynamic preventive maintenance policy for a system under inspection”* membahas mengenai usulan kebijakan *maintenance preventive* tergantung bagian dan ikatan waktu untuk sebuah sistem banyak bagian yang memburuk, yang terhubung dengan peralatan inspeksi yang terkoneksi pada pusat komputer. Pengambilan kebijakan pemeliharaan *preventive* dengan menggambarkan sistem dengan Markov yang tergantung pada bagian sistem yang memburuk. Karena kenyataan bahwa kedua peralatan pengukuran dan perhitungan komputer membutuhkan waktu.

Dalam Penelitian (Waeyenbergh & Pintelon, 2009) “*CIBOCOF: A framework for industrial maintenance concept development*” memiliki pandangan dalam perubahan dan arena industri yang semakin kompetitif, perusahaan berjuang menuju daya saing kelas dunia. Ini juga menempatkan *maintenance* di bawah tekanan untuk ditingkatkan, misalnya ketersediaan dan keandalan fasilitas produksi, dan untuk mengurangi biaya dan limbah. Dengan diperkenalkannya *Reliability - Centred Maintenance*, *Total Productive Maintenance*, *Business – Centred Maintenance* dan konsep lainnya, *maintenance* sudah berkembang banyak selama beberapa dekade. Namun, intensitas sumber daya konsep-konsep ini dan validitas mereka hanya membuat kerangka yang lebih umum untuk pengembangan konsep *maintenance* yang diperlukan. Kerangka umum tersebut harus memberikan pedoman keputusan tentang fokus dari konsep *maintenance*, bagaimana untuk memilih kebijakan perawatan yang tepat dan akhirnya bagaimana menerapkannya.

Kerangka CIBOCOF dijelaskan dalam makalah tersebut adalah hasil dari beberapa tahun penelitian (riset doktor bekerja sama dengan industri) dan dapat digunakan untuk mengembangkan konsep *maintenance* disesuaikan dalam perusahaan tertentu. Dengan demikian, model CIBOCOF membutuhkan waktu yang lama dalam pembuatannya karena diperlukan input yang sangat baik dalam menghasilkan kerangka untuk bias diterapkan.

(Thun, 2006) melakukan penelitian dengan judul “*Maintaining preventive maintenance and maintenance prevention: analysing the dynamic implications of Total Productive Maintenance*” yang membahas mengenai analisis implikasi dinamis dari *Total Productive Maintenance* dengan pendekatan *system dynamics*. Artikel ini memberikan kontribusi untuk pemahaman yang lebih baik dari sistem *Total Productive Maintenance* yang perilakunya dinamis.

Dalam penelitian berjudul “*A System Dynamics Approach to Human Resource Management*”, (Gu & Chen, 2010) menyimpulkan teknik pemodelan Sistem Dinamis dipilih untuk mengembangkan sistem manajemen sumber daya manusia karena memperlakukan komponen relatif alami. Pendekatan ini dapat membuat asumsi eksplisit, dan menyediakan kerangka umum untuk mengembangkan pemahaman bersama tentang

masalah. Selama ada masalah dinamis HRM yang kompleks dalam mencari jawaban, pendekatan dinamika sistem akan memiliki tempat lebih di bidang manajemen. Ini telah membuat kontribusi yang signifikan untuk mengatasi pelatihan, serta masalah rekrutmen dan kapasitas penilaian. Masih banyak yang harus dipelajari tentang HRM, seperti rencana kerja, penilaian kinerja dan dorongan dari karyawan. Sistem dinamika pemodelan dapat membantu mengidentifikasi loop umpan balik yang bertanggung jawab atas masalah yang kompleks dan menunjukkan jalan untuk kebijakan yang dapat menyesuaikan dengan perbedaan.`

Penelitian (Yang, et al, 2009) yang berjudul “*A System Dynamics Approach for Integrated Decision Making Optimization of Maintenance Support System*”, mengenai perkembangan dan kompleksitas sistem *maintenance* menyimpulkan, konsumsi suku cadang militer di masa damai memiliki aturan tertentu untuk ditaati, dan kegiatan pendukung *maintenance* mudah dilaksanakan bagi pasukan. Tapi itu tidak sama ketika di masa perang. Konsumsi terjadi tiba-tiba dan sulit untuk diprediksi. Untuk mendukung kegiatan *maintenance* di bawah situasi yang mengharuskan adanya pendekatan yang lebih efektif untuk menangani ketidakpastian dan dinamika. Menerapkan pendekatan usulan untuk mempelajari sistem informasi berbasis *maintenance* dapat mengarahkan pandangan sistem untuk menganalisa dan memecahkan masalah yang mungkin muncul dalam pola permintaan berbeda. Struktur *system dynamics* dirancang dengan analisis loop umpan balik, faktor utama yang mendukung pengaruh proses akan ditemukan. Untuk meningkatkan kinerja sistem, fungsi kontrol dinamis ditambahkan dan sistem lalu didesain ulang. Menggabungkan model sistem dinamis dengan teori kontrol optimal untuk membuat model yang diusulkan akan menjadi mesin *real time*, sehingga proses dukungan *maintenance* dapat dilakukan secara otomatis.

Hasil *literature review* mengindikasikan bahwa pendekatan pemodelan system dynamics dapat menjadi alat yang tepat dan kemampuannya sudah teruji untuk masalah yang diajukan dalam penelitian ini. Upaya menggunakan sistem dinamis untuk mengembangkan kebijakan untuk penyediaan *maintenance* resource untuk multi-unit *maintenance* program menjadi topik yang sangat menarik untuk diamati. Sehingga hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah *System Dynamics* mampu menjadi

pendekatan yang tepat untuk mendukung manajemen dalam menentukan kebijakan pada kasus penyediaan *maintenance resource* di dalam *maintenance program*.

Penelitian ini mengembangkan model yang mencakup integrasi dari *maintenance* dan departemen terkait tersebut, sehingga efek dari setiap keputusan yang diambil di sebuah sistem ke sistem lain yang terkait dapat dimonitor dari waktu ke waktu. Selain itu, model ini juga mengakomodasi peristiwa yang tidak pasti yang mungkin terjadi dalam sistem dan bagaimana hal itu akan mempengaruhi sistem.

Tabel 2 1 Kajian Induktif

Judul Penelitian	Tujuan	Metode
<i>A System Dynamics Approach for Integrated Decision Making Optimization of Maintenance Support System (2009)</i>	Mengatasi situasi yang mengharuskan mencari skema dinamis dan efisien untuk mendukung kegiatan <i>maintenance</i> sehingga dapat melaksanakan tugas dengan "biaya minimal dan efisiensi maksimum" memiliki pengaruh yang lebih besar dalam peningkatan efektivitas pertempuran.	<i>System Dynamics Structure</i>
<i>Understanding short- and long-term implications of "myopic" fleet maintenance policies: a system dynamics application to a city bus company (2010)</i>	Membahas mengenai pencatatan kerugian keuangan perusahaan bus kota yang sering memaksa manajer untuk menerapkan strategi restrukturisasi bertujuan untuk meningkatkan hasil bisnis.	Pendekatan pemodelan <i>system dynamics</i> .

Judul Penelitian	Tujuan	Metode
<i>CIBOCOF: A framework for industrial maintenance concept development (2007)</i>	pandangan dalam perubahan dan arena industri yang semakin kompetitif, perusahaan berjuang menuju daya saing kelas dunia. Ini juga menempatkan <i>maintenance</i> di bawah tekanan untuk meningkatkan, misalnya ketersediaan dan keandalan fasilitas produksi , dan untuk mengurangi biaya dan limbah	Menerapkan kerangka CIBOCOF.
<i>On a dynamic preventive maintenance policy for a system under inspection (2002)</i>	Usulan kebijakan <i>maintenance preventive</i> tergantung bagian dan ikatan waktu untuk sebuah sistem banyak bagian yang memburuk, yang terhubung dengan peralatan inspeksi yang terkoneksi pada pusat komputer	Pengambilan kebijakan pemeliharaan <i>preventive</i> dengan menggambarkan sistem dengan Markov yang tergantung pada bagian sistem yang memburuk.
<i>Maintaining preventive maintenance and maintenance prevention: analysing the dynamic implications of Total Productive Maintenance</i>	Memberikan kontribusi untuk pemahaman yang lebih baik dari sistem <i>Total Productive Maintenance</i> yang perilakunya dinamis.	TPM
<i>A System Dynamics Approach to Human Resource managements</i>	Mendemonstrasikan proses manajemen sumber daya manusia menggunakan causal feedback loop untuk	<i>System dynamics</i>

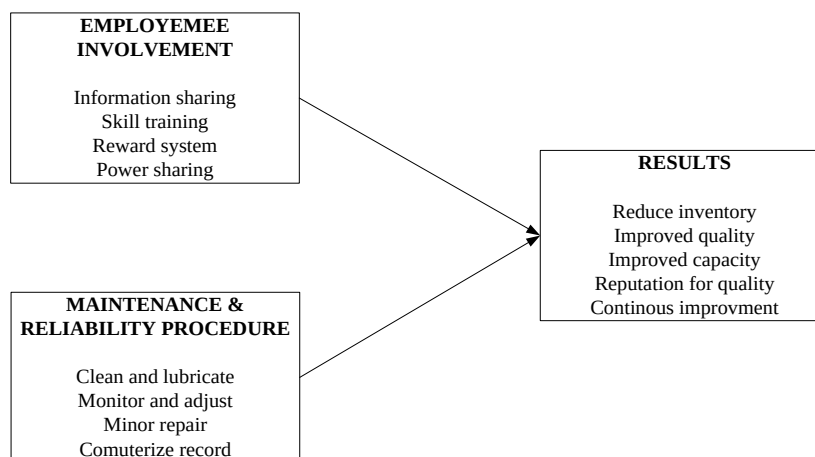
Judul Penelitian	Tujuan	Metode
	mendesain sederhana agar mengembangkan sistem pada masa yang akan datang.	simulasi mampu

2.2. Kajian Deduktif

2.2.1. *Maintenance*

Menurut (Hill, 2002) *maintenance* adalah suatu kegiatan yang dilakukan secara berulang dengan tujuan supaya peralatan yang digunakan selalu memiliki kondisi yang sama dengan keadaan awalnya. *Maintenance* juga dilakukan untuk menjaga peralatan tetap berada dalam kondisi yang dapat diterima operator atau pengguna. Sedangkan (Sehwarat & Narang, 2001) mengatakan dalam bukunya, *maintenance (maintenance)* merupakan pekerjaan yang dilakukan secara berurutan untuk menjaga atau memperbaiki fasilitas yang ada sehingga sesuai dengan standar (standar fungsional dan kualitas).

Dari beberapa pendapat di atas dapat disimpulkan bahwa kegiatan *maintenance* dilakukan untuk merawat ataupun memperbaiki peralatan perusahaan agar dapat melaksanakan produksi dengan efektif dan efisien sesuai dengan pesanan yang telah direncanakan dengan hasil produk yang berkualitas.



Gambar 2 1 Konsep Strategi *maintenance* yang baik

Dari gambar di atas dapat dipahami bahwa strategi *maintenance* yang baik membutuhkan alokasi resource yang tepat agar didapatkan hasil yang sesuai harapan setiap perusahaan seperti berkurangnya inventory, kualitas produk yang meningkat, dan perbaikan yang secara berkelanjutan dapat dikontrol.

Sejumlah penelitian telah dilakukan terkait dengan pengembangan model pengelolaan *maintenance* resource. Selain itu, sistem-sistem tersebut juga memiliki beberapa variabel stokastik sebagai konsekuensi dari terdapatnya kejadian-kejadian yang mempunyai factor ketidakpastian seperti breakdown atau downtime mesin.

Untuk dapat meminimalisasi dan mengatasi kerusakan mesin, sebaiknya proses *maintenance* dilakukan dengan baik dan teratur sesuai dengan jadwal yang ditetapkan. Selain untuk mencegah terjadinya kerusakan mesin, proses *maintenance* ini juga dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk perbaikan terhadap mesin-mesin yang ada serta dapat menentukan jadwal *maintenance* yang tepat untuk melaksanakan kegiatan tersebut. (Abbas, et al, 2009)

Strategi *maintenance* memiliki peran kunci dalam sistem industri, khususnya untuk mengurangi risiko yang terkait dengan biaya *maintenance*, meningkatkan ketersediaan, dan reliabilitasnya. Tuntutan *spare part* biasanya dihasilkan oleh kebutuhan *maintenance*. Hal ini sering tergantung pada strategi *maintenance*, dan praktek yang lebih baik adalah untuk menangani masalah ini secara bersamaan. (Liu et al., 2012).

2.2.2. *Reliability and Failure*

a. Reliability

Menurut (Gopalakrishnan & Banerji, 2013) *reliability* adalah teknologi penting yang diperhatikan bersama dengan produksi, kontrol, *maintenance*, pengukuran dan pengurangan secara kontinyu dari kerusakan peralatan. Hal tersebut merupakan probabilitas dari suatu peralatan menunjukkan fungsi *reliability* dengan memadai untuk periode pada waktu perkiraan di bawah kondisi yang kemungkinan akan tereksplorasi. *Reliability* adalah kapabilitas dari peralatan yang tidak mengalami *breakdown* ketika beroperasi.

Keandalan bisa didefinisikan sebagai probabilitas suatu sistem memiliki fungsi yang baik dalam melakukan tugas pada kondisi tertentu dan dalam selang waktu tertentu. Keandalan banyak digunakan pada pabrik-pabrik dalam merancang strategi pemeliharaan untuk mendapatkan total biaya produksi yang minimal (ekonomis). (Yuhelson, et al, 2010)

Dengan kata lain, *reliability* merupakan indikator yang menunjukkan kedayagunaan sebuah peralatan yang dioperasikan untuk melaksanakan sistem produksi.

b. Failure

Failure (kerusakan) adalah ketidak sesuaian pada kriteria performa yang ditetapkan. (Smith, 2011). Dengan kata lain, dari segi perusahaan (*manufacture*) maka *failure* merupakan ketidak sesuaian peralatan yang digunakan pada kriteria performa yang ditetapkan pada peralatan tersebut. Atau kurang bahkan hilangnya nilai fungsi suatu peralatan. Kerusakan atau kekeliruan yang terjadi pada mesin sehingga mesin tidak mampu digunakan atau *breakdown*.

Failure rate ($R(t)$) adalah landasan parameter dari *failure*. Menurut (Smith, 2011) *failure rate* digunakan untuk mencari tahu prediksi sebuah *reliability*. Hal ini ditunjukkan dengan *failure* per jam dan biasanya memiliki *value* yang rendah seperti .001 atau satu *failure* per 1000 jam.

Mean time between failure (MTBF) adalah waktu ratio kumulatif untuk angka kerusakan yang terjadi dalam suatu periode. (Smith, 2011) MTBF berbanding terbalik dengan *failure rate* ($F(t) = 1 - R(t)$) dan semakin besar MTBF ($R(t) = e^{-\lambda t}$), maka semakin baik *reliability*. (Gopalakrishnan & Banerji, 2013)

2.2.3. *Konsep Sistem*

Sistem merupakan kumpulan bagian yang saling berinteraksi, berinterelasi, dan saling bergantung antar bagian- bagian pembentuknya untuk mempertahankan keberadaan dan fungsinya sebagai keseluruhan dalam rangka mencapai suatu tujuan di dalam lingkungan yang kompleks.

Pada dasarnya segala sesuatu dapat kita golongankan dan kita defenisikan sebagai sebuah sistem sistem (Haraldsson, 2000). Cara yang dapat kita lakukan untuk mendeskripsikan sebuah sistem adalah sebagai berikut:

1. Memahami tujuan, baik sebagai suatu entitas yang terpisah maupun dalam kaitannya dengan sistem yang lebih besar tempat sistem itu berada.
2. Meninjau ulang sesuatu yang lebih teknis sifatnya, sehingga kita dapat dengan mudah mengurutkannya.

Sistem merupakan kumpulan bagian-bagian yang terorganisir, berinteraksi, berinterelasi dan saling bergantung satu sama lain dalam bagian pembentuknya untuk mempertahankan keberadaan dan fungsi sebagai penyusun keseluruhan dalam mencapai suatu tujuan di dalam lingkungan yang kompleks. (Trilestari & Almamalik, 2008)

Sehingga Sistem merupakan kumpulan dari elemen-elemen yang saling mempengaruhi atau berkaitan satu sama lain dalam melakukan sebuah kegiatan untuk mencapai tujuan yang sama. Setidaknya ada tiga hal penting berkaitan dengan sistem yaitu objek atau elemen, interdependensi, dan tujuan.

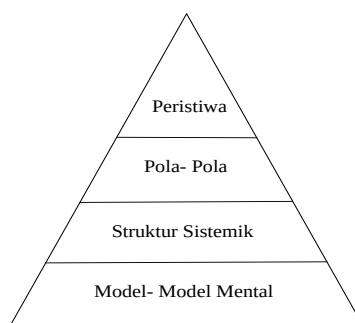
2.2.4. *System Thinking*

Menurut McManara dalam (Trilestari & Almamalik, 2008), *System thinking* merupakan suatu cara membantu orang untuk memahami dunia, termasuk di dalamnya organisasi

yang melibatkan struktur-struktur, pola-pola dan peristiwa-peristiwa. (Trilestari & Almamalik, 2008) juga mengatakan *system thinking* merupakan cara pandang yang digunakan dalam memandang dan memahami kompleksitas realitas, yang terdiri dari hubungan keterkaitan dan pola-pola untuk memahami permasalahan-permasalahan sistem dengan lebih baik.

Menurut Maani dalam (Trilestari & Almamalik, 2008) secara nyata, kita dapat memandang realitas hidup dari berbagai tingkatan persepektif berikut: Peristiwa-peristiwa (*event*), pola- pola (*pattern*), struktur- struktur sistemik (*systemic structure*), dan model- model mental (*mental model*), seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.2.

Peristiwa adalah kejadian- kejadian yang dapat kita jumpai setiap hari. Pola merupakan akumulasi ‘memori’ dari berbagai peristiwa yang terjadi sebelumnya. Jika kita urutkan peristiwa- peristiwa tersebut terhadap waktu, maka mereka akan membentuk sebuah *trend* atau pola prilaku. Struktur sistemik adalah cara dimana bagian- bagian dari suatu sistem disusun. Struktur- struktur ini secara nyata membangkit pola- pola dan peristiwa- peristiwa yang dapat kita amati. Model mental adalah sekumpulan keyakinan dan asumsi yang kita pegang mengenai bagaimana dunia ini bekerja. Kita dapat memandang asumsi- asumsi ini sebagai pembangkit struktur sistemik, karena mereka menyediakan ‘cetak biru’ bagi struktur- struktur tersebut.



Gambar 2 2 Empat Tingkat Berpikir

Sumber: Maani dalam (Trilestari & Almamalik, 2008)

2.2.5. *System Dynamics*

System dynamics adalah metode pemodelan dengan simulasi komputer, dikembangkan oleh MIT pada tahun 1950an sebagai suatu alat yang digunakan oleh para manager untuk menganalisis permasalahan kompleks. Sesuai dengan namanya, metode ini erat

hubungannya dengan pertanyaan- pertanyaan tentang tendensi- tendensi dinamik sistem yang kompleks, yaitu pola- pola tingkah laku yang dibangkitkan oleh sistem itu dengan bertambahnya waktu. (Trilestari & Almamalik, 2008)

System dynamic adalah suatu bidang studi atas struktur dan perilaku sistem-sistem siseteknis untuk membantu pengambilan keputusan, pembelajaran, dan pemilihan kebijakan yang efektif dalm dunia yang penuh kompleksitas dinamik. (Sterman, 2000)

Sistem dinamis adalah suatu pendekatan dengan bantuan computer untuk mengevaluasi hubungan timbal balik berbagai komponen dan aktivitas dal sistem yang kompleks. (Sehlke & Jacobson, 2005). Terdapat tiga ciri pokok dalam *system dynamics*, yaitu *close-loop*, *feedback-loop*, variabel *state* dan *rate*.

1. *Close-loop*: sistem yang dijadikan model harus sistem tertutup, meskipun sistem tidak sungguh- sungguh tertutup karena *feedback loop* tidak dapat melintasi batasan sistem. Sistem dapat dipertimbangkan sebagai sistem tertutup.
2. *Feedback-loops*: Ada dua umpan balik dalam sistem, yakni positif dan negatif. Umpan balik positif diartikan naik/ atau turunnya penyebab akan mengakibatkan naik/ turunnya akibat. Umpan balik negatif diartikan naik/ turunnya penyebab akan mengakibatkan turun/ naiknya akibat.
3. Variabel *state* dan *rate*: *State* artinya kondisi atau akumulasi dari sistem pada waktu tertentu, sedangkan *rate* adalah aliran yang mengatur “kuantitas” dalam *rate*.

Pemodelan dengan metode *system dynamics* terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

1. Identifikasi perilaku persoalan (*Problem behaviour*): Pada langkah ini diidentifikasi pola historis atau pola hipotesis yang menggambarkan perilaku persoalan. Pola historis atau pola hipotesis merupakan pola referensi yang diwakili oleh pola perilaku suatu kumpulan variabel yang mencakup beberapa aspek yang berhubungan dengan perilaku persoalan. Pola- pola ini diintegrasikan kedalam suatu susunan sehingga dapat merepresentasikan tendensi- tendensi internal yang ada dalam sistem. Setelah pola referensi diidentifikasi, diajukan hipotesa dinamis tentang interaksi- interaksi perilaku yang mendasari pola referensi.

2. Membentuk model komputer: Sebelum pembentukan model, batas model harus didefinisikan terlebih dahulu dengan jelas. Batas model ini akan memisahkan proses- proses yang akan menyebabkan tendensi internal yang diungkapkan dalam pola referensi dengan proses- proses yang merepresentasikan pengaruh variabel luar sistem yang mempengaruhi sistem yang diselediki. Setelah batas model didefinisikan, dibentuk suatu struktur lingkaran umpan balik yang menyatakan hubungan sebab akibat variabel- variabel yang melingkar, bukan menyatakan hubungan karena adanya korelasi statistik.
3. Pengujian model dan analisa kebijakan: Pada langkah ini dilakukan pengujian model untuk memperoleh keyakinan bahwa model yang dibentuk sah dan sekaligus memahami tendensi internal sistem. Analisa kebijakan dilakukan setelah korespondensi antara model mental sistem, model eksplisit, dan pengetahuan empiris sistem diperoleh.

Kaitan *system dynamics* dengan *maintenance*, selain kompleksitas dalam pengalokasian *maintenance* resource, horison waktu dalam pembuatan kebijakan juga harus dipertimbangkan dalam proses pemodelan. Karena *maintenance* merupakan sistem yang dinamis di mana kondisi (keadaan atau jumlah) *maintenance* resource bisa jadi selalu berubah dari waktu ke waktu. Situasi ini membutuhkan analisis yang rinci dalam menentukan kebutuhan, penyediaan, dan alokasi *maintenance* resource. Berdasarkan pemikiran ini, pembuatan model yang sistematis dan dinamis untuk manajemen *maintenance* resource sangat diperlukan. Teknik pemodelan yang diimplementasikan harus dapat menangkap dinamika sistem untuk menggambarkan efek dan umpan balik dari kebijakan *maintenance* setiap unit.

2.2.6. Causal Loop Diagram

Diagram sebab akibat merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk menyatakan keterkaitan hubungan sebab akibat yang dinamis antara variabel dalam suatu sistem. Diagram ini menunjukkan arah aliran perubahan variabel baik itu positif maupun negatif. Dikatakan positif apabila perubahan variabel diawal mengakibatkan perubahan yang searah di variabel akhir. Sedangkan dikatakan negatif apabila perubahan variabel diawal

mengakibatkan perubahan yang berlawanan di variabel akhir. Dengan menggunakan *Causal Loop Diagram* asumsi-asumsi yang digunakan pemodel dapat dengan cepat menyusun struktur model. (Maani & Cavana, 2011)

Diagram simpal kausal merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk menyatakan keterkaitan dinamik hubungan sebab akibat antara variabel yang dalam suatu sistem. (Maani & Cavana, 2011)

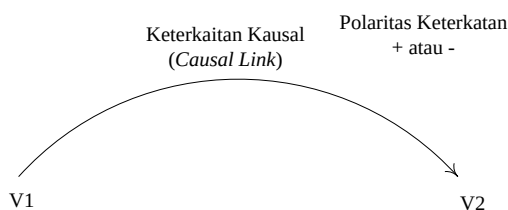
1. Variabel

Variabel merupakan suatu kondisi, tindakan atau keputusan yang akan mempengaruhi dan dapat dipengaruhi oleh variabel lain. (Maani, 2000). Suatu variabel dapat berupa variabel kualitatif, seperti profit, produktivitas, atau ketidakhadiran pekerja; atau dapat pula berupa variabel kuantitatif, seperti motivasi, kepercayaan masyarakat, dan sebagainya.

2. Tanda Panah

Tanda panah mengindikasikan suatu pengaruh kausal langsung antara dua variabel. Masing-masing keterkaitan kausal diberi tanda polaritas keterkaitan, ‘+’ atau ‘-’. Gambar 2.24 merupakan contoh diagram kausal yang paling sederhana, terdiri dari dua variabel V1 dan V2, dimana V1 mempengaruhi V2 secara langsung. Dari diagram tersebut terdapat dua kemungkinan keterkaitan kausal.

- Suatu keterkaitan antara V1 ke V2 dikatakan positif jika jika V1 meningkat (menurun) maka V2 meningkat (menurun) diatas (dibawah) dari apa yang seharusnya terjadi.
- Suatu keterkaitan antara V1 ke V2 dikatakan negatif jika V1 meningkat (menurun) maka V2 menurun (meningkat) dibawah (diatas) dari apa yang seharusnya terjadi.



Gambar 2 3 Diagram Keterkaitan kausal sederhana

Sumber: (Trilestari & Almamalik, 2008)

Kunci untuk melihat suatu realita sistemik adalah dengan melihat lingkaran-lingkaran pengarung (hubungan melingkar) dibandingkan dengan garis lurus (hubungan lurus) (Senge, 1990). Dalam sudut pandang linier, kita akan secara khas menyatakan ‘Saya sedang mengisi gelas dengan air’, yang tentunya terdengar logis, akan tetapi hal ini hanya menceritakan separuh cerita.

Pada kenyataannya ketika kita mengisi gelas dengan air, kita akan memperhatikan level air dalam gelas, yang dapat merupakan isyarat kapan kita harus membuka atau menutup kran. Kita mengamati perbedaan (gap) antara level air yang diinginkan dengan level air yang ada sekarang. Ketika air mendekati level yang diinginkan, kita mengatur posisi kran dengan memperlambat air aliran air sampai akhirnya posisi kran dimatikan ketika gelas penuh. Secara fakta, ketika kita mengisi gelas dengan air, kita sedang melakukan sistem pengendalian pengisian air dengan melibatkan variabel- variabel, seperti level air yang diinginkan, level air sekarang, beda posisi antara keduanya, posisi kran, dan aliran air. Kelima variabel ini diatur dalam suatu lingkaran hubungan sebab akibat yang disebut dengan proses umpan balik.



Gambar 2 4 Diagram Kausal Pengisian Air dalam Gelas

Sumber: (Trilestari & Almamalik, 2008)

2.2.7. *Flow Diagram*

Flow diagram digunakan untuk memperinci bentuk hubungan antar variabel sistem yang selanjutnya akan digunakan untuk pembuatan model matematisnya. Dalam *flow diagram* ini ditunjukkan jenis variabel dan jenis hubungan antar variabel. *Flow diagram* memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Membedakan antara subsistem fisik dan subsistem informasi.

2. Membedakan antara tipe- tipe variabel seperti *level*, *rate*, dan *auxiliary*.
3. Mempunyai korespondensi satu- satu dengan persamaan matematis.
4. Menunjukkan berbagai *delay* dalam sistem.
5. Menunjukkan pemulusan dari variabel.
6. Menunjukkan secara jelas fungsi- fungsi khusus yang digunakan dalam rumus matematis.
7. Membedakan simbol yang digunakan dalam penggambaran tiap variabel yang berbeda.

Dalam flow diagram dikenal berbagai jenis variabel beserta notasinya. Variabel-variabel tersebut adalah sebagai berikut:

1. Variabel *Level*

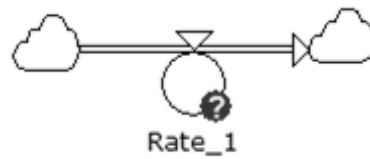
Variabel ini menunjukkan suatu kondisi sistem pada setiap saat. Variabel ini dinyatakan dengan sebuah besaran kuantitas terakumulasi sebagai akibat aktivitas aliran sepanjang waktu.



Gambar 2 5 Simbol Level

2. Variabel *rate/ flow*

Variabel ini merupakan variabel yang mempengaruhi *level* secara langsung. variabel ini menggambarkan suatu aktivitas, pergerakan (*movement*), dan aliran yang berkontribusi terhadap perubahan persatuan waktu dalam suatu level yang dinyatakan dalam suatu besaran laju perubahan

Gambar 2 6 Simbol *rate*

3. Variabel *Auxillary*

Variabel ini memuat perhitungan dasar pada variabel lain. Ini merupakan variabel tambahan untuk menyederhanakan hubungan antara level dan *rate*. variabel ini dinyatakan dalam persamaan matematik yang pada dasarnya merupakan bagian dari *rate*.

Gambar 2 7 Simbol *Auxillary*

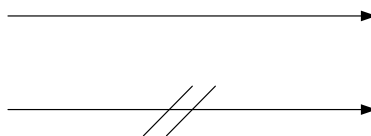
4. Variabel *constant*

Constant merupakan tipe variabel yang memuat nilai tetap yang akan digunakan dalam perhitungan *auxillary* atau variabel *flow*.

Gambar 2 8 Simbol *Constant*

5. *Link*

Links merupakan suatu alat untuk menghubungkan antara satu variabel dengan variabel lainnya. Dalam poersim, link dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *link* dan *delay link*.

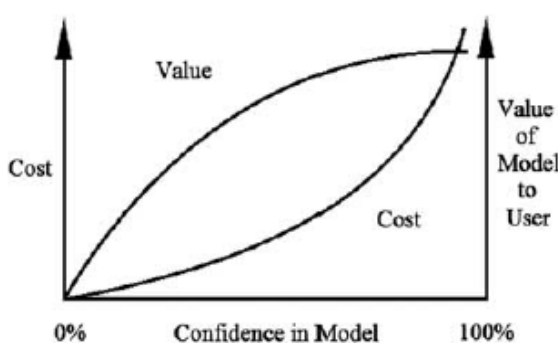


Gambar 2 9 Gambar Link

2.2.8. Validasi Dan Verifikasi

Validasi merupakan upaya pembuktian bahwa model komputerisasi dalam domainnya yang merupakan penerapan dari sistem nyata memiliki akurasi yang memuaskan terhadap aplikasi yang dimaksud dari model (Sargent, 2013). Dengan kata lain, validasi merupakan upaya yang dilakukan untuk memastikan model yang dibangun telah mewakili sistem nyata pada tingkatan akurasi tertentu. Sedangkan verifikasi adalah kegiatan untuk memastikan bahwa program komputer dari model komputerisasi telah dilakukan dengan benar (Sargent, 2013).

Pada prinsipnya tidak model yang memiliki validitas 100%, akan tetapi suatu model hanya valid untuk satu atau beberapa set experimental saja. Untuk melakukan validasi untuk set experimental yang banyak, maka akan menghabiskan biaya yang besar pula (Sargent, 2013). Berikut grafik yang menggambarkan hubungan antara tingkat kepercayaan suatu model terhadap biaya.



Gambar 2 10 Tingkat Kepercayaan Model berbanding cost

Terdapat tiga pendekatan dalam menentukan apakah model simulasi valid atau tidak dan masing- masing pendekatan menggunakan pembuat keputusan yang berbeda.

1. Pendekatan pertama adalah dengan cara menggunakan *user* model simulasi yang dibangun dalam menentukan validitas model simulasi. Pada pendekatan ini, *user*

terlibat dengan tim pengembangan model ketika tim melakukan verifikasi dan validasi pada berbagai tahap dan *user* yang memutuskan validitas model simulasi tersebut. Pendekatan ini umumnya digunakan dengan tim pengembangan Model yang ukurannya tidak besar.

2. Pendekatan *independent verification* dan *validation*. Pada pendekatan ini yang menentukan validitas sebuah model simulasi adalah pihak ketiga yang indenpenden terhadap tim pengembang model simulasi dan sponsor. Pendekatan ini umumnya dengan pengembangan model simulasi dalam skala besar. Ada dua cara untuk melakukan *independent verification* dan *validation*, yaitu dilakukan secara bersamaan dengan pengembangan model simulasi, dan dilakukan setelah model simulasi telah dikembangkan.
3. Validitas sebuah model simulasi ditentukan oleh orang lain selain pihak ketiga dan *user*. Pendekatan ini dilakukan ketika verifikasi dan validasi yang dilakukan oleh pihak ketiga yang independen kemudian ada beberapa orang menilai model tersebut belum valid. Pendekatan ini cocok digunakan ketika masalah yang terkait dengan model memiliki biaya tinggi atau melibatkan situasi berisiko tinggi dan ketika penerimaan publik dari hasil berdasarkan model yang diinginkan.

2.2.9. *Seven Tools*

Seven tools merupakan alat-alat generik *Total Quality Management* (TQM) yang dikembangkan untuk SPC (*Statistical Process Control*); alat-alat tersebut selain digunakan oleh non spesialis, juga merupakan alat-alat utama dari perbaikan proses yang berkesinambungan. Dengan kecuali peta kontrol (*control chart*), alat-alat SPC sebenarnya merupakan cara-cara mengorganisir dan menganalisis data angka-angka untuk pemecahan masalah, bukanlah statistic yang berat/sulit.

Perlu diperhatikan pula bahwa berbagai jenis alat-alat lain berhubungan dengan apa yang dinamakan siklus PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) dari perbaikan berkesinambungan. Berikut ini dijelaskan mengenai 6 dari 7 alat pengendai mutu yang digunakan oleh Jepang, dengan “*Run Chart*” menggantikan “*Stratification*”.

“*Stratification*” menggunakan beberapa dari alat-alat lain untuk memecahkan data yang diagregat ke dalam kategori yang berhubungan. Sebagai contoh, daripada menggambarkan kerusakan per bulan untuk perusahaan secara keseluruhan, lebih baik menggambarkan kerusakan per bulan per departemen (kadang-kadang ketujuh alat dasar pengendalian mutu tersebut disebut “*Seven Weapons of the Samurai Warrior*”). Berikut penjelasan mengenai ke tujuh alat tersebut:

a. Stratifikasi (*stratification*)

Teknik pengelompokan data, agar data dapat menggambarkan permasalahan secara jelas, sehingga kesimpulan-kesimpulan dapat lebih mudah diambil.

b. Diagram Sebab Akibat (*fishbone diagram*)

Suatu diagram berbentuk tulang ikan yang digunakan untuk menganalisis malah, yaitu mencari sebab-sebab dari suatu masalah (akibat). Diagram ini merupakan alat yang menggunakan uraian grafis dari unsur-unsur proses untuk menganalisis sumber-sumber potensial dari penyimpangan progress.

c. Lembar Periksa (*check sheet*)

Alat pengumpul data, mempermudah pengumpulan data, dan analisis data. Lembar periksa merupakan uatu metode yang diorganisir untuk mencatat data.

d. Histogram

Suatu diagram yang dapat menunjukan (menggambarkan) penyebaran atau standar deviasi, sehingga darina dapat diketahui kondisi suatu proses yang diamati. Histogram ini merupakan suatu distribusi yang menunjukan frekuensi terjadi antara jarak data yang tinggi dan rendah.

e. Diagram Pareto

Suatu diagram balok yang digunkan untuk menunjukan urutan prioritas dari beberapa masalah atau unsur-unsur masalah atau penyebab masalah menurut tingkat kepentingan atau prioritasnya. Analisis pareto merupakan suatu pendekatan yang terkoordinasi untuk mengidentifikasi, memberi tingkatan, dan

bekerja secara permanen untuk menghilangkan kerusakan. Memfokus pada sumber kesalahan penting. Aturan 80/20 : 80% masalah adalah karena 20% penyebab.

f. Peta Kontrol (*control chart*)

Suatu alat kontrol pada suatu proses yang dapat memberikan petunjuk bila proses yang diamati itu mengalami penyimpangan-penyimpangan dari batas kontrol yang telah ditentukan. Peta kontrol ini merupakan suatu gambaran urut waktu yang menunjukkan nilai statistik yang digambarkan, termasuk lini sentral dan satu atau lebih batas pengendalian yang diturunkan (*Delivered Control Limit*) secara statistik.

g. Diagram Tebar (*scatter diagram*)

Suatu diagram untuk memperlihatkan hubungan (korelasi) antara dua faktor penyebab dan akibat. Juga disebut "*Corelation Chart*". Diagram tebar merupakan suatu grafik dari nilai satu karakteristik VS karakteristik yang lain. Suatu gambar dari pengaruh (seperti perubahan mutu) terhadap perubahan eksperimental dalam maukan proses.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

PT MAK adalah perusahaan swasta di Indonesia yang fokus pada produk khusus Perlengkapan Rumah Sakit. Didirikan pada tahun 1988, dengan bantuan tim kreatif dan pegawai yang berdedikasi. Produk utama MAK adalah peralatan rumah sakit dengan kapasitas produksi sebesar 20.000/STB (satuan setara bed). Selain itu, aktifitas lain yang dikembangkan oleh PT MAK adalah memproduksi produk non hospital, mesin-mesin produksi, dan membangun sentra industri kecil yang disebut koridor PT MAK. Khusus untuk produk mesin produksi, saat ini hanya dipergunakan untuk kepentingan mak dan industri kecil disekitarnya.

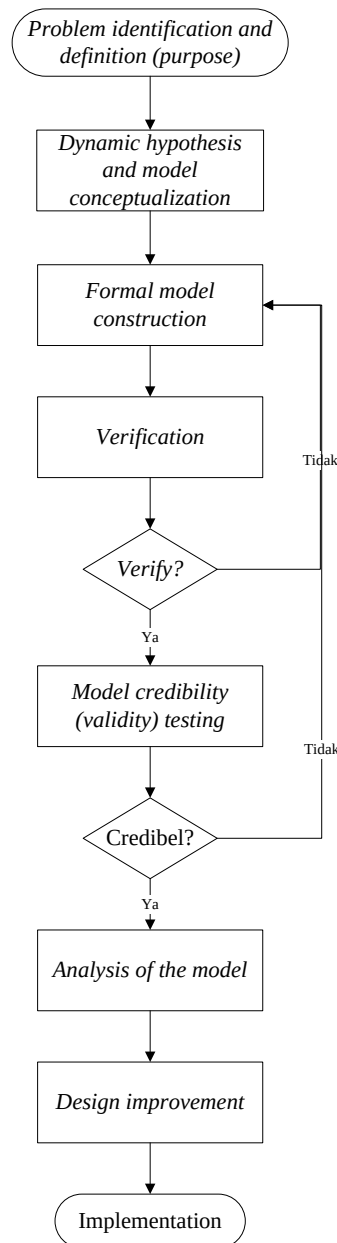
Sistem Produksi PT MAK sangat dipengaruhi oleh performa *plant* hulu yaitu Komponen Logam (KL). Pada *plant* KL bahan dasar yang akan diproses adalah plat dan pipa. Mesin utama yang mengolah bahan dasar ini adalah *Manual Shears* (Bolina) dan *Pipe Laser Cutter*, selain terdapat adanya gerinda dan mesin pemotong manual lainnya. Mesin pengolah selanjutnya dari mesin Bolina adalah *CNC Punch* yang terdapat 2 mesin dengan 1 mesin jalur utama untuk mengerjakan pengolahan plat.

Dari penjelasan bagian produksi tentang betapa kritisnya ketiga mesin tersebut dalam proses produksi maka bagian *maintenance* memberi prioritas yang lebih dalam proses *maintenance*. Penjelasan ini juga berkaitan dengan nilai keandalan ataupun *failure rate*, karena apabila mesin tersebut mengalami breakdown, maka akan menyebabkan langsung kepada seluruh aktivitas produksi. Pada saat ini, belum adanya pengukuran *failure rate* kepada mesin tersebut. Di sisi lainnya, pengambilan keputusan terkait kebijakan *maintenance* memerlukan landasan yang kuat agar mampu mengatasi situasi yang tidak terduga seperti peningkatan laju produksi secara drastis yang menyebabkan

menurunnya nilai keandalan mesin dan meningkatnya kemungkinan terjadinya kerusakan.

Failure rate tersebut menyebabkan dinamika ketersediaan *part* dan *manhours* yang digunakan dalam proses *maintenance*. Dengan penjelasan tersebut disimpulkan bahwa objek utama dalam penelitian ini adalah *failure rate* yang terjadi pada sistem *maintenance*.

Berdasarkan analisis ini, metodologi system dynamics cenderung menjadi metode yang tepat untuk menangani pengembangan model untuk membuat kebijakan manajemen *maintenance resource*. *System dynamics* membantu kita untuk meramalkan masa depan dari sistem. *System dynamics* juga membantu untuk melihat efek dari setiap kebijakan yang diambil sekarang, juga membantu kita memperoleh sistem dalam tingkatan yang kita inginkan di masa depan (Rasouli, 2010).



Gambar 3 1 Diagram Alir Penelitian

Sumber: Barlas, 2002

3.1.1. Identifikasi masalah dan mendefenisikan tujuan

Proyek *system dynamics* dilakukan untuk mempelajari masalah dinamika. Menyeleksi dan mengartikulasi masalah *feedback* yang dinamis akan menentukan keberhasilan proyek. Permasalahannya tidak hanya dinamis, tetapi juga terdapat umpan balik alami. Masalah yang dinamis ditandai oleh pola perilaku yang dapat diamati dalam bentuk data yang diplotkan. Berikut beberapa kegiatan yang dilakukan pada langkah ini.

- a. Plot semua data dinamis yang tersedia dan memeriksa perilaku dinamis.
- b. Menentukan horison waktu (ke masa depan dan ke masa lalu) dan satuan waktu dasar masalah.
- c. Tentukan acuan perilaku dinamis: Apa pola dasar variabel kunci? Apa yang disarankan oleh data dan apa yang dihipotesiskan jika ada data? Apa yang diharapkan di masa depan?
- d. Tuliskan pernyataan yang tepat mengenai apa masalah yang dinamis dan bagaimana penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi analisis dan pemecahan masalah. Perlu diingat bahwa pernyataan tujuan ini akan membimbing semua langkah lain yang akan mengikuti.

3.1.2. Membangun model formal

Sebelum membangun model formal, pastikan semua data kualitatif untuk mendefinisikan persamaan matematis kedalam *software* simulasi (Powesim Studio 9) telah tersedia. Pada langkah ini melibatkan kegiatan sebagai berikut:

- a. Membangun struktur model (*stock-flow diagram*)
- b. Tuliskan formulasi matematika yang menggambarkan hubungan sebab-akibat untuk semua variabel
- c. Mengestimasi nilai-nilai numerik dari parameter dan nilai awal dari *stock*

3.1.3. Verifikasi

Verifikasi merupakan langkah untuk menguji konsistensi model internal terhadap hipotesis dinamis. Dengan kata lain, upaya yang dilakukan untuk memastikan model yang dibangun telah sesuai dengan hipotesis yang telah dirancang sebelumnya.

3.1.4. Pengujian kredibilitas model (Validasi)

Pengujian kredibilitas model merupakan upaya untuk menjawab pertanyaan apakah model merepresentasikan masalah pada sistem nyata sehubungan dengan tujuan penelitian. Kredibilitas Model memiliki dua aspek: pertama, Struktural: adalah struktur model deskripsi yang berarti dari hubungan-hubungan sesungguhnya yang ada dalam masalah diamati. Kedua, *Behaviour*: adalah pola dinamis yang dihasilkan oleh model cukup dekat dengan pola dinamis kepentingan yang nyata. (Barlas, 2002)

Contoh pengujian struktural adalah: seorang ahli mengevaluasi struktur model, konsistensi dimensi dengan definisi parameter yang realistis, dan ketahanan masing-masing persamaan di bawah kondisi ekstrim dan simulasi kondisi ekstrim. Pengujian *Behaviour* dirancang untuk membandingkan komponen utama dalam pola perilaku model dengan komponen pola dalam perilaku nyata.

3.1.5. Analisis model

Tujuan dalam langkah ini adalah untuk memahami sifat dinamis dari model. Pada tahap ini kita akan mencari tingkat konstanta (nilai) kesetimbangan dan menentukan kondisi stabil. Biasanya, analisis ini dilakukan dengan percobaan simulasi. Serangkaian simulasi dijalankan untuk mendapatkan informasi yang cukup dapat diandalkan tentang sifat-sifat model.

3.1.6. Design Improvement

Setelah model sepenuhnya di uji dan sifat- sifatnya telah dipahami, langkah selanjutnya adalah menguji alternatif kebijakan- kebijakan baru untuk menemukan hasil yang diinginkan.

3.1.7. Implementasi

Langkah ini merupakan tahap untuk mengaplikasikan alternatif kebijakan yang menjawab permasalahan yang dirumuskan di awal.

3.1.8. Data Yang Dibutuhkan

Data-data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini merupakan Data Primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan langsung oleh penelitian. Data primer yang diambil dari bagian *Maintenance* perusahaan adalah:

1. Jumlah mesin yang memerlukan perawatan, interval *preventive maintenance* (PM) untuk masing-masing unit dan berapa lama waktu yang diperlukan untuk setiap PM.
2. Jenis-jenis *maintenance* task di setiap PM
3. Untuk semua mesin, *part* yang perlu diganti di setiap PM, bagaimana cara memperolehnya, berapa yang harus disediakan, apakah mudah diperoleh, apakah ada *critical part*?

4. Bagaimana PM dianggap selesai? Apakah hasil PM membuat mesin “seperti baru” atau hanya mengurangi *failure rate*? Apa efek dari PM terhadap *failure rate*?
5. Apakah mungkin menunda PM? Dengan alasan apa PM dapat ditunda?
6. Bagaimana *Failure rate* ditentukan? Dan bagaimana sebuah mesin dianggap “*failure*”?
7. Kapan dilakukan *corrective maintenance* (CM)? Apakah mungkin ditunda? Dengan alasan apa CM ditunda?
8. Apakah ada material, tools atau equipment yang dipergunakan untuk menyelesaikan PM dan CM?
9. Apa efek dari *breakdown* masing-masing mesin terhadap keseluruhan *technical system*?

3.1.9. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan dua cara, yaitu

- a. Wawancara, yaitu pengumpulan data dengan cara Tanya jawab langsung tentang masalah terkait dengan penelitian kepada pihak-pihak terkait. Objek wawancara dalam penelitian ini adalah pihak bagian *Maintenance*, bagian Asset, operator mesin, dan bagian produksi.
- b. Studi kepustakaan, yaitu penelitian yang dilakukan untuk memperoleh data dan informasi yang akan digunakan sebagai referensi untuk landasan teori, sistematika penulisan, dan kerangka berfikir ilmiah yang diambil dari literatur-literatur, baik dari internet, buku-buku maupun laporan penelitian terdahulu.

3.2. Pengolahan Data

3.2.1. Perancangan model formal

Model konseptual dibangun oleh komponen atau variabel yang mempengaruhi perilaku sistem. Komponen atau variabel tersebut ditunjukkan oleh jenis data yang dibutuhkan. Dalam pengembangan model, masih dimungkinkan penambahan jenis data selain yang disebutkan diatas. Model dalam kasus ini akan dibangun menggunakan *software Powersim Studio 9*.

3.2.2. Validasi

Validasi model diperlukan untuk memastikan bahwa model telah berperilaku seperti sistem nyata. Apabila model belum diyakini berperilaku seperti sistem nyata, maka langkah selanjutnya tidak bisa dilakukan. Dalam hal ini dilakukan dengan cara membandingkan perilaku antara sistem nyata dan model yang dibangun.

3.2.3. Desain eksperimen/ Desain *improvement*

Desain eksperimen adalah suatu analisis alternatif himpunan variabel sistem dengan metode simulasi untuk mendapatkan alternatif yang memenuhi keinginan pemodel. Sedangkan menurut Jerry Banks (1996), desain eksperimen adalah “*a class of linear statistical model for comparison and evaluation of alternative system design*”

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Pengumpulan Data

4.1.1. Data inventaris Mesin *Plant* Komponen Logam (KL)

Data inventaris mesin *Plant* Komponen Logam ini merupakan data terbaru dari tahun 2014, karena sebelumnya ada beberapa mesin yang kondisinya berpindah dari *Plant* KL ke *Plant* produksi MAK lainnya. Pada tabel 4.1 dapat dilihat beberapa mesin yang terdapat di *Plant* KL.

Tabel 4. 1 Daftar inventaris mesin pada *plant* Komponen Logam

No	Nama Mesin	Merk/ Type Mesin	No Mesin
1	Hydraulic Shears/ 16,4T	LVD/HST-C-E 31/6 Elgo	HS 11-02-02
2	Hydraulic Shears/ 21,8T	YSD/ HGA 25/6	HS 11-03-03
3	Manual Punch/ 10T	ANGLI/10 T	PU 11-02-06
4	Manual Punch/ 16T	Flying Brand/ 16 T	PU 11-05-09
5	Manual Punch/ 25T	Flying Brand/ 25 T	PU 11-11-15
6	Manual Punch/ 25T	Flying Brand/ 25 T	PU 11-12-16
7	Manual Punch/ 60T	Flying Brand/ 60 T	PU 11-13-17
8	Manual Punch/ 150T	Morita/ 150 T	PU 11-14-18
9	Manual Punch/ 200T	Komatsu/ OBS 200/ 200T	PU 11-15-19
10	CNC Punch/20 T	Muratec/ Centrum 2500	CPU 11-01-20
11	CNC Punch/20 T	Amada/ Vipross 255	CPU 11-02-21
12	Hydraulic Press Brake/ 70T	LVD/ PPBL - H 70/ 30 Elgo 87	HB 11-01-22
13	Hydraulic Press Brake/ 100T	Amada/RG 100	HB 11-03-24

No	Nama Mesin	Merk/ Type Mesin	No Mesin
14	Hydraulic Press Brake/ 100T	YSD/ PPTK 100/30	HB 11-04-25
15	Manual Bend/ 20 T	Yodogawa/ BP20 (1.6 x 1.6)	MB 11-01-26
16	Hydraulic Press/ 200T	Minchang/ Shinohara/ MCD- 200	HP 11-01-27
17	Hydraulic Press/ 300T	MAK/ 300T	HP 11-02-28
18	Roll Meja Cafe	MAK	RO 11-01-29
19	Bor Frais	West Lake/ ZX 7032	DM 11-01-30
20	Grinding Cutter	Modern/ J3GQ-400	GC 11-01-31
21	Hydraulic Press	Prosperous SLS-200 D-0706	HP 11-03-32
22	Hydraulic Press	Prosperous SLS-200 D-0707	HP 11-04-33
23	Manual Punch 35 T	Nagao/NCP – 35	PU 11-16-34
24	Manual Punch 35 T	Nagao/NCP – 35	PU 11-17-35
25	Manual Punch 35 T	Nagao/NCP – 35	PU 11-18-36
26	Manual Punch 100 T	Wasino/PUX-100L	PU 11-20-38
27	Hydraulic Roll CNC	Chiao Sheng/ CNC 38 TSRJ	CRO 11-01-39
28	Hydraulic Roll CNC	Chiao Sheng/ CNC 38 TSRJ	CRO 11-02-40
29	Bench Grinder	Wipro HBG 825	GR 11-01-41
30	Bor Frais	West Lake/ ZX 7032	DM 11-02-42
31	Bor Duduk	West Lake/ ZQD 4125	DR 11-01-43
32	Piston Compressor	Swan SW U-310	PC 11-01-45
33	Piston Compressor		PC 11-02-46
34	Circle Saw		CS 11-01-48
35	Circle Saw	Krisbow 250	CS 11-02-49
36	Manual Shears	Bollina C-2121	MS 11-02-50
37	Hoist Craine 10 T		HC 11-01-51

4.1.2. Daftar Riwayat Mesin

Dari daftar inventaris mesin yang telah diperoleh, kemudian dikumpulkan data terkait riwayat kerusakan mesin tiga tahun terakhir yaitu dari tahun 2012,2013,dan sampai Agustus 2014. Data riwayat mesin nanti akan menentukan mesin terpilih yang akan di amati perilaku dari sistem *maintenance* nya. Daftar dari beberapa riwayat mesin untuk *Plant* Komponen Logam (KL) dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini dimana mesin di *Plant* KL seluruhnya berjumlah 82 unit.

Tabel 4. 2 Daftar Riwayat Mesin pada *Plant* Komponen Logam

No	Nama Mesin	Merk/ Type Mesin	No Mesin	Daftar Riwayat			Total
				Kerusakan Mesin			
				2012	2013	2014	
1	Hydraulic Shears/ 16,4T	LVD/HST-C-E 31/6 Elgo	HS 11-02-02	5	2	0	7
2	Hydraulic Shears/ 21,8T	YSD/ HGA 25/6	HS 11-03-03	4	1	2	7
3	Manual Punch/ 10T	ANGLI/10 T	PU 11-02-06	2	0	0	2
4	Manual Punch/ 16T	Flying Brand/ 16 T	PU 11-05-09	4	0	1	5
5	Manual Punch/ 25T	Flying Brand/ 25 T	PU 11-11-15	5	0	0	5
6	Manual Punch/ 25T	Flying Brand/ 25 T	PU 11-12-16	0	6	1	7
7	Manual Punch/ 60T	Flying Brand/ 60 T	PU 11-13-17	0	1	1	2
8	Manual Punch/ 150T	Morita/ 150 T	PU 11-14-18	2	1	0	3
9	Manual Punch/ 200T	Komatsu/ OBS 200/ 200T	PU 11-15-19	3	5	1	9

No	Nama Mesin	Merk/ Type Mesin	No Mesin	Daftar Riwayat			Total
				Kerusakan Mesin			
				2012	2013	2014	
10	CNC Punch/20 T	Muratec/ Centrum 2500	CPU 11-01-20	10	5	2	17
11	CNC Punch/20 T	Amada/ Vipross 255	CPU 11-02-21	0	4	4	8
12	Hydraulic Press Brake/ 70T	LVD/ PPBL - H 70/ 30 Elgo 87	HB 11-01-22	1	1	0	2
13	Hydraulic Press Brake/ 100T	Amada/RG 100	HB 11-03-24	0	0	0	0
14	Hydraulic Press Brake/ 100T	YSD/ PPTK 100/30	HB 11-04-25	5	0	1	6
15	Manual Bend/ 20 T	Yodogawa/ BP20 (1.6 x 1.6)	MB 11-01-26	0	0	0	0
16	Hydraulic Press/ 200T	Minchang/ Shinohara/ MCD- 200	HP 11-01-27	7	1	0	8
17	Hydraulic Press/ 300T	MAK/ 300T	HP 11-02-28	0	0	0	0
18	Roll Meja Cafe	MAK	RO 11-01-29	0	1	0	1
19	Bor Frais	West Lake/ ZX 7032	DM 11-01-30	1	0	0	1
20	Grinding Cutter	Modern/ J3GQ-400	GC 11-01-31	0	0	0	0
21	Hydraulic Press	Prosperous SLS-200 D-0706	HP 11-03-32	1	1	1	3
22	Hydraulic Press	Prosperous SLS-200 D-0707	HP 11-04-33	2	2	0	4

No	Nama Mesin	Merk/ Type Mesin	No Mesin	Daftar Riwayat			Total
				Kerusakan Mesin	2012	2013	
23	Manual Punch 35 T	Nagao/NCP – 35	PU 11-16-34	4	2	1	7
24	Manual Punch 35 T	Nagao/NCP – 35	PU 11-17-35	1	3	2	6
25	Manual Punch 35 T	Nagao/NCP – 35	PU 11-18-36	3	1	0	4
26	Manual Punch 100 T	Wasino/PUX-100L	PU 11-20-38	5	4	0	9
27	Hydraulic Roll CNC	Chiao Sheng/ CNC 38 TSRJ	CRO 11-01-39	1	3	0	4
28	Hydraulic Roll CNC	Chiao Sheng/ CNC 38 TSRJ	CRO 11-02-40	4	3	0	7
29	Bench Grinder	Wipro HBG 825	GR 11-01-41	0	0	0	0
30	Bor Frais	West Lake/ ZX 7032	DM 11-02-42	0	0	0	0
31	Bor Duduk	West Lake/ ZQD 4125	DR 11-01-43	0	0	0	0
32	Piston Compressor	Swan SW U-310	PC 11-01-45	0	2	0	2
33	Piston Compressor		PC 11-02-46	0	0	0	0
34	Circle Saw		CS 11-01-48	6	1	1	8
35	Circle Saw	Krisbow 250	CS 11-02-49	0	0	0	0
36	Manual Shears	Bollina C-2121	MS 11-02-50	3	8	5	16
37	Hoist Craine 10 T		HC 11-01-51	4	3	0	7
38	Circle Saw	FHC-27SSA	CS 11-03-52	0	1	1	2

Mesin	2012		2013		2014	
	I	II	I	II	I	II
Mesin Bolina	1	3	3	4	3	2
Mesin Muratec	1	5	3	5	3	0
Mesin PLC	3	2	2	2	1	1

4.1.3. Data Preventive Maintenance

a. Mesin *Manual Shears* (Bolina)

Tabel 4. 3 *Preventive Maintenance* Tahunan Mesin Bolina

No.	LANGKAH PEMELIHARAAN TAHUN =>	PEMELIHARAAN TAHUNAN			
		2011	2012	2013	2014
1	Periksa sistem kopling	✓	✓	✓	✓
2	Periksa Rem	✓	✓	✓	✓
3	Periksa bagin elektrik	✓	✓	✓	✓

No.	LANGKAH PEMELIHARAAN			PEMELIHARAAN TAHUNAN			
	TAHUN =>			2011	2012	2013	2014
4	Periksa saluran-saluran pelumasan			✓	✓	✓	✓
5	Periksa dan ganti V-belt conveyor			✓	✓	✓	✓
TANGGAL PEMELIHARAAAN				08-Mar	07-Mar	11-Mar	04-Mar
JAM MULAI				07.00	07.10	07.05	07.15
JAM SELESAI				13.00	13.10	13.05	13.15
				Agus	Agus	Agus	Agus
NAMA TEKNISI				Tri	Tri	Tri	Tri

Tabel 4. 4 *Preventive Maintenance* Bulanan Mesin Bolina

[illegible]

No.	LANGKAH PEMELIHARAAN	PEMELIHARAAN BULANAN (Jan-Des 2013)												
		BULAN =>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	Bersihkan dari debu, serpihan logam dan kotoran lainnya	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
TANGGAL PEMELIHARAAAN		18	15	15	12	17	14	12	16	13	18	15	14	
JAM MULAI		07.00	07.10	07.00	07.05	07.20	07.05	07.10	07.00	07.10	07.15	07.10	07.10	
JAM SELESAI		08.00	08.10	08.00	08.05	08.20	08.05	08.10	08.00	08.10	08.15	08.10	08.10	
NAMA TEKNISI		Rudi	Rudi	Rudi	Fajar	Rudi	Rudi	Fajar	Rudi	Fajar	Rudi	Rudi	Fajar	

Tabel 4. 5 Jadwal Preventive *Maintenance* Mesin Bolina

Bulan	1 bulan	3 bulan	6 bulan	1 tahun	Minggu ke-
Jan	✓				3
Feb	✓				3
Mar	✓				3
Apr	✓				3
Mei	✓				3
Jun	✓				3
Jul	✓				2
Ags	✓			✓	3
Sep	✓				2
Okt	✓				2
Nov	✓				3
Des	✓				2

Pelaksanaan PM mesin Bolina memiliki beberapa prosedur yang diperoleh informasi bahwa *maintenance* mesin 47bisa jadi akan melakukan pergantian 1-5 *sparepart* tiap bulan. Pelaksanaan PM mesin Bolina ini memerlukan waktu sekitar 1 jam dan dikerjakan oleh sekitar 1-2 operator *maintenance*.

[illegible]

[illegible]

No.	LANGKAH PEMELIHARAAN	PEMELIHARAAN BULANAN (2013)											
	BULAN =>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19	Cek mur dan baut, jika kendur	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	kencangkan, jika aus/rusak ganti yang sesuai												
20	Bersihkan seluruh komponen mesin	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	dari debu, oli, serpihan logam dan kotoran lainnya												
	TANGGAL PEMELIHARAAN	11	08	08	05	03	07	05	09	06	11	08	06
	JAM MULAI	07.00	07.00	07.08	07.30	07.20	07.05	07.20	07.10	07.05	07.15	07.10	07.20
	JAM SELESAI	09.00	09.00	09.08	09.30	09.20	09.05	09.20	09.10	09.05	09.15	09.10	09.20
	NAMA TEKNISI	Rudi	Rudi	Rudi	Fajar	Fajar	Fajar	Rudi	Rudi	Fajar	Rudi	Fajar	Fajar

Tabel 4. 7 Preventive *Maintenance* PLC

Bulan	1 bulan	3 bulan	6 bulan	1 tahun	Minggu ke-
Jan	✓				4
Feb	✓				4
Mar	✓				4
Apr	✓				4

Bulan	1 bulan	3 bulan	6 bulan	1 tahun	Minggu ke-
Mei	✓				4
Jun	✓				4
Jul	✓				3
Ags	✓				4
Sep	✓				4
Okt	✓				4
Nov	✓				4
Des	✓				4

Pelaksanaan PM mesin Trumpf memiliki beberapa prosedur yang diperoleh informasi bahwa *maintenance* mesin 51ias jadi akan melakukan pergantian 1-3 *sparepart* tiap bulan. Pelaksanaan PM mesin Trumpf memerlukan waktu 1-2 jam dan dikerjakan oleh 1 operator *maintenance*.

c. CNC Punch (Muratec)

Tabel 4. 8 Preventive *Maintenance* 3 Bulanan Mesin CNC Punch Muratec

LANGKAH					
No.	PEMELIHARAAN TRIWULAN =>	PEMELIHARAAN PER 3 BULAN (2013)			
		I	II	III	IV
1	Upper turret index pin	✓	✓	✓	✓
2	Lower turret index pin	✓	✓	✓	✓
3	Upper turret drive chain	✓	✓	✓	✓
4	Lower turret drive chain	✓	✓	✓	✓
5	T axis gear	✓	✓	✓	✓
6	X-axis gear box	✓	✓	✓	✓
7	Y-axis gear box	✓	✓	✓	✓
8	C-axis gear box	✓	✓	✓	✓
TANGGAL PEMELIHARAAAN		12-Feb	14-Mei	14-Agt	12-Nov
JAM MULAI		07.10	07.05	07.10	07.00
JAM SELESAI		08.40	08.35	08.40	08.30
NAMA TEKNISI		Fajar	Fajar	Rudi	Rudi

Tabel 4. 9 Preventive *Maintenance* 6 Bulanan CNC Punch Muratec

LANGKAH		2012		2013		2014	
No.	PEMELIHARAAN	2012		2013		2014	
		SEMESTER =>		SEMESTER =>		SEMESTER =>	
		I	II	I	II	I	II
	Periksa dan ganti V belt	✓	✓	✓	✓	✓	
1	Matikan mesin	✓	✓	✓	✓	✓	
	Lepas tutup kanan belakang						
2	mesin	✓	✓	✓	✓	✓	
3	Periksa belt	✓	✓	✓	✓	✓	
4	Pasang kembali covernya	✓	✓	✓	✓	✓	
TANGGAL PEMELIHARAAN		10-Jan	10-Jul	15-Jan	9-Jul	14-Jan	
JAM MULAI		07.00	07.05	07.00	07.00	07.10	

No.	LANGKAH						
	PEMELIHARAAN	2012		2013		2014	
	SEMESTER =>	I	II	I	II	I	II
JAM SELESAI		13.00	13.05	13.00	13.00	13.10	
NAMA TEKNISI		Fajar	Rudi	Rudi	Rudi	Rudi	

Tabel 4. 10 Jadwal *Preventive Maintenance* CNC Punch Muratec

Bulan	1 bulan	3 bulan	6 bulan	1 tahun	Minggu ke-
Jan	✓	✓			1
Feb	✓		✓		2
Mar	✓				2
Apr	✓	✓			1
Mei	✓				2
Jun	✓				2
Jul	✓	✓			1
Ags	✓		✓		2
Sep	✓				1
Okt	✓	✓			1
Nov	✓				2
Des	✓				1

Pelaksanaan PM mesin Bolina memiliki beberapa prosedur yang diperoleh informasi bahwa *maintenance* mesin bisa jadi akan melakukan pergantian 1 *sparepart* tiap bulan. Pelaksanaan PM mesin Muratec memerlukan waktu selama 40 menit hingga 1,5 jam dan dikerjakan oleh 1 operator *maintenance*.

4.1.4. Data *Corrective Maintenance*

- a. Untuk penanganan CM ada beberapa tipe dengan spesifikasi keahlian yang berbeda-beda, seperti yang dapat dilihat dari tabel dibawah ini :

Tabel 4. 11 Tipe Corrective *Maintenance* Mesin Bolina

Tipe Kerusakan	Waktu Perbaikan (jam)	Spesifikasi keahlian
1. Non-kritis 20% <i>failure</i>	Uniform(3 - 5)	Mekanika dan Elektromekanika
2. Non-kritis 80% <i>failure</i>	Uniform (5 - 8)	Mekanika dan Elektromekanika
3. Kritis	Uniform (10 - 12)	Mekanika, Elektromekanika dan Elektronika

Tabel 4. 12 Tipe Corrective *Maintenance* Mesin Pipe Laser Cutting

Tipe Kerusakan	Waktu Perbaikan (jam)	Spesifikasi keahlian
1. Non-kritis 20% <i>failure</i>	Uniform(1 - 4)	Mekanika dan Elektromekanika
2. Non-kritis 80% <i>failure</i>	Uniform (5 - 7)	Mekanika, Elektromekanika dan Elektronika
3. Kritis	Uniform (5, 10)	Elektronika dan Outsource

Tabel 4. 13 Tipe Corrective *Maintenance* Mesin Muratec

Tipe Kerusakan	Waktu Perbaikan (jam)	Spesifikasi keahlian
1. Non-kritis 20% <i>failure</i>	Uniform(1 - 3)	Mekanika
2. Non-kritis 80% <i>failure</i>	Uniform (5 - 6)	Mekanika dan Elektromekanika
3. Kritis	Random(7 - 8)	Mekanika, Elektromekanika dan Elektronika

a. Manual Shears (Bolina)

Tabel 4. 14 Riwayat CM Mesin Manual Shears Bolina

No	Tanggal bln/tgl/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
1	1/25/2012	Hasil potongan ada bekas karet v-belt conveyor dan membersihkannya lumayan susah	v-belt conveyor sudah aus dan karet nya lunak sehingga membekas di plat	Ganti semua v-belt conveyor (jumlah 14 pcs)	Toolset dan forklift IT	7,5 jam	Fajar, Andri, Rudi
2	9/20/2012	Pisau aus / pisau radius	Sudah melebihi lama pemakaian (after lifetime)	Pisau/blade dibalik atau ganti baru	Toolset	6 jam	Agus, Andri, Rudi
3	10/13/2012	Mesin mati ketika beroperasi	Pisau tidak berhenti pada titik mati atas	1. Limit switch kadang berfungsi normal kadang tidak berfungsi, saat tidak berfungsi maka blade/pisau tidak berhenti, 2. Ganti limit switch baru	Toolset	3 jam	Fajar dan Andri
4	12/29/2012	Mesin mati	Sekering 80GT putus	Mengganti sekering yang putus	Toolset dan sekering 80T	3 jam	Fajar dan Andri
5	5/2/2013	Hasil potongan ada bekas karet v-belt conveyor dan membersihkannya lumayan susah	v-belt conveyor sudah aus dan karet nya lunak sehingga membekas di plat	Ganti semua v-belt conveyor (jumlah 14 pcs)	toolset	5,5 jam	Agus, Fajar, Rudi

No	Tanggal bln/tgl/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
6	6/7/2013	Plat tidak bisa digerakkan pada proses produksi	Sensor pengatur kecepatan patah	Perbaiki sensor kecepatan yang patah	Toolset, las listrik	3,5 jam	Rudi dan Andri
7	7/19/2013	As penekan plat tidak bisa bergerak	Karet meja melembung karena full pemakaian	Lepas karet meja (nylon) pada mesin, perbaiki dan pasang lagi	Toolset, gerinda	3,5 jam	Fajar dan Andri
8	8/22/2013	Hasil potongan tidak rata	Pisau aus karena full pemakaian	Mengganti pisau bolina dan menyetel clearance 0,03 dan 0,05	Toolset, filler 0,03 dan 0,05, pisau bolina	4 jam	Andri dan Fajar
9	9/20/2013	V-belt putus	V-belt sudah aus karena full pemakaian	Mengganti v belt	Toolset	4,5 jam	Agus, Andri, Fajar, rudi
10	10/11/2013	Hoist tidak bisa berjalan kebarat	Tombol putus	melepas saklar, lem ulang tombol yang putus	Toolset	3 jam	Rudi dan Andri
11	12/18/2013	Perbaikan pada klem koil	Oli bocor	Mengganti gauge manifold, menambah di hidrolik	Toolset	3 jam	Rudi dan Andri
12	5/1/2014	Nylon meja mesin aus	Umur pakai (gesekan antara nylon dengan plat terus menerus	mengganti nylon sesuai ukuran dimensi meja dan lubang baudnya	Toolset, nylon	12 jam	Agus, Andri, Fajar, rudi
13	5/12/2014	Modifikasi mesin (motor untuk potong) dari 3 Kw menjadi 4 Kw	Untuk memotong plat tabung 3 Kg motor tidak kuat	Melepas dan mengganti motor dari 3 Kw menjadi 4 Kw	Toolset, motor 3 phase 4 Kw	8 jam	Agus, Andri, Fajar, rudi

No	Tanggal bln/tgl/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
14	6/21/2014	Conveyor bunyi "krak" dan berputar tidak stabil	Bearing conveyor aus	Mengganti bearing dan memasang kembali	Toolset, Bearing F20S 2pcs	10,25 jam	Agus, Andri, Fajar
15	7/30/2014	Suara kopling dan roda gila kasar	Bearing aus	Melepas roda gila dan kopling, melepas bearing yang rusak, pasang kembali	Toolset, bearing, seal Ush	10 jam	Agus, Andri, Fajar, rudi
16	8/1/2014	V-belt conveyor kendor dan pipa conveyor tidak rata	Pipa ujung (tempat pully) path ditengah dan las pengikat lepas	Mengganti V belt, mengelas pipa yang patah	Toolset, forklift manual, las listrik, gerinda, v belt	5,25 jam	Agus, Andri, Fajar, rudi

Dari data *corrective maintenance* di atas diperoleh informasi bahwa mesin Bolina mengalami 16 kerusakan pada periode 2012-2014.

b. Pipe Laser Cutter (Trumpf)

Tabel 4. 15 Riwayat CM Mesin Pipe Laser Cutter (PLC)

No	Tanggal Tgl/bln/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
1	01/02/2012	Perbaikan cutting head	Pipa nabrak support pipe, karena pipa yang sudah dipotong tidak langsung turun kebawah	Mengganti nozzle, mengganti keramik, memperbaiki body cover yang penyok dengan dipress	Toolset	8 jam	Fajar, Rudi, Agus Tri dan Andri
2	12/03/2012	Selang pembuangan mampet	Selang kotor dan lubang selang terlalu kecil akibat pemakaian terus menerus	Lubang selang diperbesar, bersihkan selang dengan acetone	Kunci inggris, semprotan gelembung	1 jam	Fajar dan Andri
3	13/03/2012	Alarm cylinder piston unloading support no.2	Support angin ke cylinder piston kurang karena dalam masa peak production	Menyetel ulang pressure angin ke cylinder piston	Toolset	2 jam	Fajar dan Andri

No	Tanggal Tgl/bln/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
4	20/08/2012	1. Tekanan air untuk focus, 2. Laser tidak bisa ON, 3. Cek filter, 4 Sistem control tidak menyala	-	1. Lepas filter Cu pada cooling unit dan bersihkan, pasang kembali filter, lepas filter Cu pada lanny valve pada laser unit samping kanan dan belakang cutting head letaknya, 2. Selang cooling dari lanny value menuju ke mirror yang out selang input yang return selang out ke mirror	-	7,5 jam	Outsource
5	29/10/2012	Pemasangan hoist crane baru sebelah timur mesin trumpf	Untuk menurunkan pipa dari truck	Memasang hoist crane dan instalasinya	Toolset, Forklift, Scaffolding 3 shaft, Takel 1 ton	9 jam	Fajar, Rudi, Agus Tri dan Andri
6	15/03/2013	Motor gripper error	Gripper no 4 tidak center atau sejajar dengan 3 gripper lainnya	Mengecek semua sensor gripper, setelah di analisa ternyata posisi gripper no 4 tidak center / sejajar dengan gripper lainnya	Toolset	2 jam	Fajar dan Andri

No	Tanggal Tgl/bln/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
7	27/05/2013	Kerusakan lampu sensor spretser mati, loading unit mati	Sensor rocker mati/rusak	Cek seluruh sensor conveyor, diketahui sensor rocker depan mati, ganti sensor dengan dipinjamkan dari sensor gripper	-	5	Outsource
8	21/06/2013	Sabuk pengangkat pipa putus	Usia pemakaian	Ganti sabuk dengan yang baru	Toolset	1 jam	Rudi dan Andri
9	16/10/2013	Angin bocor pada support unloading no 1 dan control rusak	Selang bocor karena full pemakaian	Lepas tutup support unloading no 1, cek dan identifikasi kebocoran diketahui selang input piston docor, ganti selang pasang kembali tutup support	Toolset	2 hari	Rudi dan Andri
10	16/05/2014	Alarm cylinder piston unloading support no.	Support angin ke cylinder piston kurang sehingga mesin macet	Menyetel ulang pressure angin ke cyclinder piston	Toolset	2 jam	Rudi dan Andri

No	Tanggal Tgl/bln/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
11	18/06/2014	Sabuk pengangkat pipa putus	Usia pemakaian	Ganti sabuk dengan yang baru	Toolset	1 jam	Rudi dan Andri

Dari data *corrective maintenance* di atas diperoleh informasi bahwa mesin Trumpf mengalami 11 kerusakan pada periode Januari 2012 sampai dengan Juni 2014.

c. CNC Punch (Muratec)

Tabel 4. 16 Riwayat CM Mesin CNC Punch (Muratec)

No	Tanggal bln/tgl/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
1	4/2/2012	Rantai kendur, Index pin lambat, piston bocor	Full pemakaian	1. Set rantai hingga gerak serempak, 2. Pressure piston di besarkan	Kunci L, toolset	3 jam	Rudi dan Andri
2	8/1/2012	Bahan produksi setelah di enuck membekas	Pressure chuck terlalu kuat	Ganti Pressure Adjustment	Toolset	3 jam	Fajar dan Andri

No	Tanggal bln/tgl/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
3	8/19/2012	Parameter minus 1,5	Parameter berubah karena pemakaian yang terlalu lama	Dudukan/posisi limit switch limit switch dikencangkan dan parameter diperbaiki	Toolset	5 jam	Rudi, Andri dan Agus Tri
4	9/30/2012	Alarm Not AT TDC	Ram tidak dalam posisi TMA	Posisikan mesin pada Hand Mode lalu putar crank shaft dengan alat yang tersedia pada posisi TMA	Toolset	3 jam	Fajar dan Andri
5	10/11/2012	I/T Coupling Alarm	Ram Craft Shaft tidak berhenti pada TMA	Mesin diposisikan pada manual mode dan crank shaft diputar dengan manual lalu mesin di reset ulang	Toolset	3,5 jam	Rudi dan Andri
6	12/05/2012	Overtravel TxAxis	Sensor proximity pada sumbu x axis rusak	Pemeriksaan dan mengganti sensor proximity	Toolset	1 jam	Fajar dan Andri
7	2/11/2013	Mesin Alarm "turret turning"	Turret atas dan bawah tidak center saat index pin masuk dan nilai parameternya lebih dari 100	Menyetel dan pergantian rantai turret	Toolset	3,5 jam	Fajar dan Andri

No	Tanggal bln/tgl/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
8	5/17/2013	Mesin saat proses produksi macet	1. Full pemakaian, 2. Turret atas dan bawah tidak sinkron dan diagnosis parameter terlalu besar, normal dibawah 100 tetapi sampai 800, gear turret bawah aus	1. Lepas gear turret bawah dengan urutan melepas tutup rantai, kendorkan rantai motor turret ke gear utama, 2. Lepas gear turret bawah, pasang gear turret bawah, setting ulang diagnosis parameter, NB : gear sebelum diganti dicek dan di orderkan	Toolset	10 jam	Fajar, Rudi, Agus Tri dan Andri
9	6/11/2013	Alarm turret turning tidak bisa zero set	Antara turret atas dan bawah segaris lurus	1. Meluruskan turret dengan mode hand dan putar burret dengan manual hingga index pin masuk, 2. Menyetel rantai dan mengecek parameternya dibawah 100	Toolset	5,5 jam	Agus Tri, Fajar dan Andri
10	7/27/2013	J/T detection error 431 servot error (moving)	Sudut index tobi atas dan bawah tidak sama karena pemakaian yang over sehingga sensor zero tidak menyala salah satu dan index pun tidak dapat bergerak	Tepatkan sudut index tool dan sinkronkan tool atas dan bawah	Toolset dan dongkrak 5T	10,25 jam	Fajar, Rudi, Agus Tri dan Andri

No	Tanggal bln/tgl/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
11	8/21/2013	Kipas pendingin box panel, control mesin rusak	Putaran tidak normal dan bearing rusak	Ganti bearing baru	Toolset dan Bearing G9622 (2pcs)	3,5 jam	Rudi dan Andri
12	9/22/2013	Mesin Alarm 404 servo alarm servo alarm 404 servo detect error	Modul servo Ampli sumbu Y tidak ready saat dinyalakan dan sekring putus karena penggunaan mesin di batas normal	Transistor 2 SC4148 short dan diganti dengan transistor tipe 2 SC4804	Toolset dan Transistor 2 SC4804	4 jam	Fajar dan Andri
13	10/16/2013	Untuk proses reposisi tidak jalan (proses berhenti)	Full pemakaian sehingga chuck lambat untuk membuka dan tekanan angin input normal	1. Preposisi pressure regulator untuk kontrol tekanan chuck bocor, 2. Pressure regulator dibongkar dan seal diganti	Toolset	5 jam	Rudi, Andri dan Agustri
14	12/28/2013	Alarm index pin dan Turret	Rantai kendur sebelah	1. Rantai lama dilepas dan diganti rantai baru, NB : Rantai di orderkan terlebih dahulu	Toolset, Rantai Tsu	7 jam	Rudi, Andri dan Agustri
15	02/12/2014	Oli hidrolik bocor lewat accumulator	Accumulator rusak	Accumulator yang rusak dilepas karena tidak bisa diperbaiki nipple sementara di sumbat accumulator di orderkan	Toolset	3 jam	Rudi dan Andri

No	Tanggal bln/tgl/thn	Kasus	Penyebab	Tindakan	Peralatan dan Bahan	Lama tindakan	Teknisi
16	05/25/2014	V-belt untuk fly wheel selip	V-belt AUS	Melepas v-belt dan mengganti v-belt yang baru	Toolset	6,5 jam	Rudi, Andri dan Agus Tri
17	6/1/2014	Alarm 401 T/C Axes Detect Error	Servo ampli sumbu T/C mati	Power supply interface servo ampli sumbu T/C mati tidak ada tegangan kemudian diganti Elconya jadi OK, tetapi tidak bisa ready. Akhirnya servo ampi dikirim ke Bp. Putu	Toolset	7,5 jam	Fajar, Rudi, Agus Tri dan Andri

Dari data *corrective maintenance* di atas diperoleh informasi bahwa mesin Muratec mengalami 17 kerusakan pada periode 2012-2014.

4.1.5. Data Hasil Produksi

Berdasarkan departemen produksi diperoleh data produksi berikut. Data berikut merupakan data yang telah mewakili data produksi perusahaan selama 3 tahun.

A. Angka produksi Mesin Manual Shears (Bollina)

Mesin Manual Shears (Bolina) merupakan hulu produksi, karena semua plat logam yang akan diproduksi di mesin-mesin *Plant* MAK berawal dari proses mesin Bolina. Mesin ini akan memotong dengan ketebalan, panjang dan lebar tertentu dari bahan dasar berbentuk lembaran besar ataupun gulungan plat. Produksi mesin Bolina di ambil dari tahun 2012 dan 2013, Tabel 4.16 berikut menunjukkan produksi per minggu dari tahun 2013.

Tabel 4. 17 Output Mesin Bolina Dalam Tiap Minggu Periode 2013

Output Mesin Bolina Periode 2013					
Bulan	Minggu ke-	Output	Bulan	Minggu ke-	Output
Jan	1	379	Jul	1	387
	2	383		2	438
	3	376		3	448
	4	382		4	440
Feb	1	293	Agt	1	559
	2	316		2	604
	3	311		3	613
	4	320		4	600
Mar	1	367	Sep	1	729
	2	370		2	802
	3	306		3	779
	4	381		4	802
Apr	1	325	Okt	1	685
	2	349		2	716
	3	354		3	773
	4	333		4	675
Mei	1	330	Nov	1	534
	2	332		2	603
	3	332		3	574
	4	332		4	513

Output Mesin Bolina Periode 2013					
Bulan	Minggu ke-	Output	Bulan	Minggu ke-	Output
Jun	1	387	Des	1	721
	2	400		2	650
	3	397		3	715
	4	400		4	722

B. Angka produksi Mesin CNC Punch 20T (Muratec)

Mesin CNC Punch 20T (Muratec) di *Plant* Komponen Logam berfungsi untuk melubangi plat logam dan membentuk siku dari produk yang dihasilkan. Plat logam ini kemudian akan di-*assembly* dengan *part* lainnya sebelum menjadi produk akhir berupa *hospital bed*.

Tabel 4. 18 Output Mesin Muratec Dalam Setiap Minggu Periode 2013

Output Mesin Muratec Periode 2013					
Bulan	Minggu ke-	Output	Bulan	Minggu ke-	Output
Jan	1	2206	Jul	1	2219
	2	2161		2	1874
	3	2142		3	2319
	4	2130		4	1988
Feb	1	1814	Agt	1	2247
	2	1789		2	1938
	3	1820		3	2195
	4	1818		4	2141
Mar	1	1787	Sep	1	2370
	2	1799		2	2368
	3	1886		3	2291
	4	1809		4	2370
Apr	1	1701	Okt	1	2493
	2	1697		2	2675
	3	1690		3	2380
	4	1690		4	2491
Mei	1	1875	Nov	1	2490
	2	1689		2	2519

Output Mesin Muratec Periode 2013					
Bulan	Minggu ke-	Output	Bulan	Minggu ke-	Output
Jun	3	1671	Des	3	2520
	4	1884		4	2511
	1	1879		1	2189
	2	1783		2	2468
	3	1776		3	2507
	4	1801		4	2474

C. Angka produksi Mesin *Pipe Laser Cutting* (PLC)

Mesin *Pipe Laser Cutting* ini berfungsi untuk memotong plat logam yang berbentuk pipa. Selain itu, mesin ini juga berteknologi tinggi sehingga mampu membuat modifikasi bentuk potongan yang sangat sulit jika dilakukan dengan manual.

Tabel 4. 19 Output Mesin PLC Dalam Tiap Minggu Periode 2013

Output Mesin Pipe Laser Cutting Periode 2013					
Bulan	Minggu ke-	Output	Bulan	Minggu ke-	Output
Jan	1	385	Jul	1	498
	2	421		2	436
	3	311		3	436
	4	400		4	432
Feb	1	358	Agt	1	480
	2	384		2	476
	3	379		3	534
	4	375		4	466
Mar	1	370	Sep	1	537
	2	373		2	576
	3	374		3	571
	4	355		4	512
Apr	1	388	Okt	1	439
	2	389		2	575
	3	388		3	592

Output Mesin Pipe Laser Cutting Periode 2013

Bulan	Minggu ke-	Output	Bulan	Minggu ke-	Output
Mei	4	387	Nov	4	600
	1	340		1	534
	2	342		2	492
	3	324		3	516
Jun	4	346	Des	4	483
	1	378		1	491
	2	356		2	497
	3	384		3	553
	4	377		4	583

4.2. Pengolahan Data

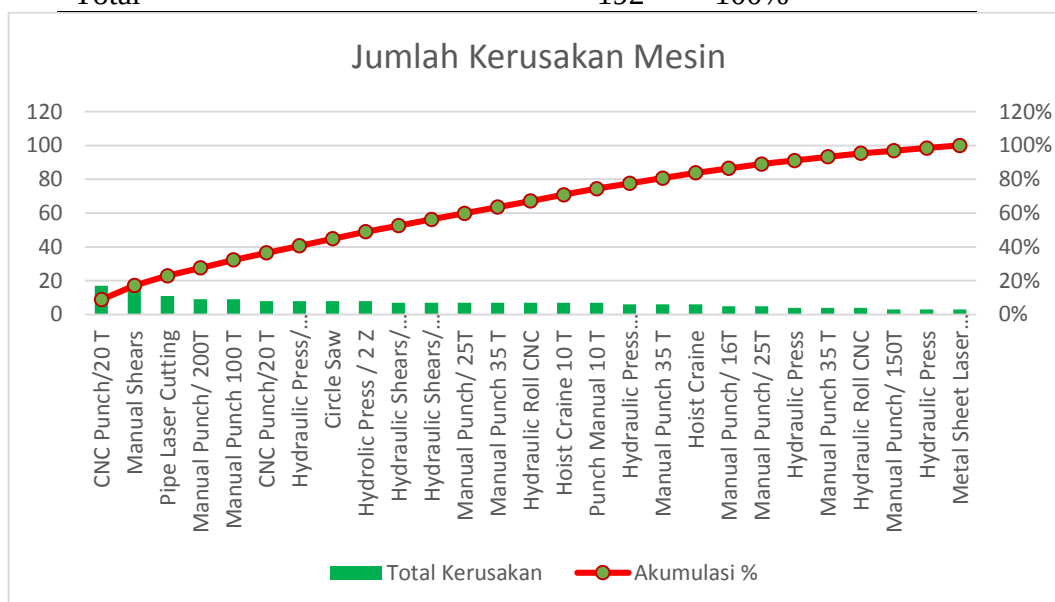
4.2.1. Pemilihan Mesin

Pemilihan mesin dilakukan menggunakan *tools* diagram Pareto yang memiliki kriteria mesin yang mengalami kerusakan diatas 6 kali selama 30bulan terakhir.

Tabel 4. 20 Data Kerusakan Mesin *Plant* Komponen Logam

Nama Mesin	Total Kerusakan	%	Akumulasi %
CNC Punch/20 T	17	9%	9%
Manual Shears	16	8%	17%
Pipe Laser Cutting	11	6%	23%
Manual Punch/ 200T	9	5%	28%
Manual Punch 100 T	9	5%	32%
CNC Punch/20 T	8	4%	36%
Hydraulic Press/ 200T	8	4%	41%
Circle Saw	8	4%	45%
Hydrolic Press / 2 Z	8	4%	49%
Hydraulic Shears/ 16,4T	7	4%	53%
Hydraulic Shears/ 21,8T	7	4%	56%
Manual Punch/ 25T	7	4%	60%
Manual Punch 35 T	7	4%	64%
Hydraulic Roll CNC	7	4%	67%
Hoist Craine 10 T	7	4%	71%
Punch Manual 10 T	7	4%	74%
Hydraulic Press Brake/ 100T	6	3%	78%

Nama Mesin	Total Kerusakan	%	Akumulasi %
Manual Punch 35 T	6	3%	81%
Hoist Craine	6	3%	84%
Manual Punch/ 16T	5	3%	86%
Manual Punch/ 25T	5	3%	89%
Hydraulic Press	4	2%	91%
Manual Punch 35 T	4	2%	93%
Hydraulic Roll CNC	4	2%	95%
Manual Punch/ 150T	3	2%	97%
Hydraulic Press	3	2%	98%
Metal Sheet Laser Cutting	3	2%	100%
Total	192	100%	



Gambar 4. 1 Diagram Pareto Data Kerusakan Mesin

Dari pengolahan data menggunakan Pareto di atas diperoleh 3 mesin yang memiliki jumlah kerusakan terbanyak untuk dibahas lebih lanjut. Mesin tersebut adalah Manual Shears (Bolina), CNC Punch 20 T (Muratec) dan Pipe Laser Cutting (PLC). Beberapa pertimbangan dalam proses pemilihan mesin selain menggunakan diagram diatas, tidak lain juga diperoleh dari masukan pihak *maintenance* perusahaan yang menitik beratkan pada ketiga mesin tersebut. Hal ini dikarenakan mesin CNC Punch 20T yang dimiliki perusahaan tidak hanya 1 dan memiliki mesin lain sebagai substitusinya, namun mesin CNC Punch pertama merupakan mesin yang lebih didahulukan dalam proses. Selain alasan tersebut, alasan bahwa ketiga mesin tersebut memiliki urgensi yang tinggi karena merupakan mesin hulu dari proses produksi yang ada.

4.2.2. Perhitungan *Reliability*

Diketahui rumus *reliability*

$$Reliability(t) = EXP^{\left(\frac{-t}{MTBF}\right)}$$

t = Lama Penggunaan Mesin

MTBF = Mean Time Between Failure

a. Mesin Bolina

$$\lambda = \frac{Jumlah\ Kerusakan}{Total\ Waktu\ Tersedia} = \frac{16}{21600} = 0,00074$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,00074} = 1351,35\ jam = 56\ hari$$

Atau sama dengan,

$$MTBF = \frac{Total\ Waktu\ tersedia}{Jumlah\ Kerusakan} = \frac{21600}{16} = 1350 = 56\ hari$$

$t = jumlah\ produksi \times waktu\ produksi\ tiap\ unit$

$$t = 700 \times 0,00694 = 4,858$$

$$R(t) = Exp^{\frac{-t}{MTBF}} = Exp^{\frac{-4,858}{1350}} = 0,9964\ atau\ 99,64\%$$

Jika diperoleh rata-rata *increment rate* yaitu 0,24% terhadap *Failure rate* maka,

$$Threshold = MTBF\ (hari) * Rata-rata\ increment\ rate\ (\%)$$

$$Threshold\ Mesin\ Bolina = 55 * 0,24\% = 13,2\%$$

b. Mesin PLC

$$MTBF = \frac{Total\ Waktu\ tersedia}{Jumlah\ Kerusakan} = \frac{21600}{11} = 1963,63 = 82\ hari$$

$t = \text{jumlah produksi} \times \text{waktu produksi tiap unit}$

$$t = 500 \times 0,01667 = 8,335$$

$$R(t) = \text{Exp}^{\frac{-t}{MTBF}} = \text{Exp}^{\frac{-8,335}{1963,63}} = 0,9957 \text{ atau } 99,57\%$$

c. Mesin Muratec

$$MTBF = \frac{\text{Total Waktu tersedia}}{\text{Jumlah Kerusakan}} = \frac{21600}{17} = 1270,58 = 52 \text{ hari}$$

$t = \text{jumlah produksi} \times \text{waktu produksi tiap unit}$

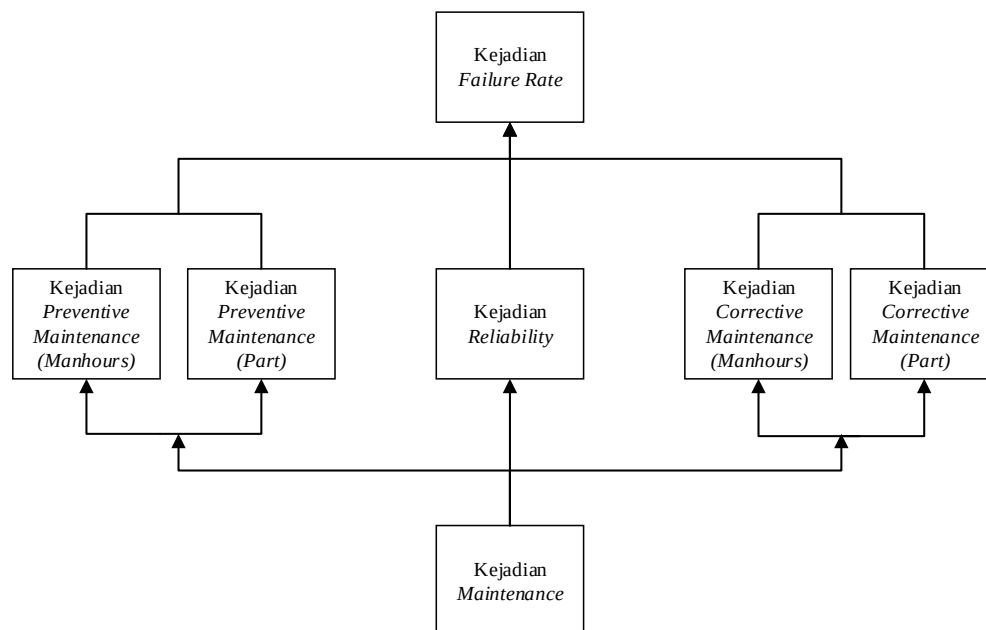
$$t = 2000 \times 0,004167 = 8,334$$

$$R(t) = \text{Exp}^{\frac{-t}{MTBF}} = \text{Exp}^{\frac{-8,334}{1270,58}} = 0,9934 \text{ atau } 99,34\%$$

4.2.3. Pembangunan Model

a. Diagram Sub System

Diagram sub system adalah diagram yang menjelaskan pembagian system yang akan dimodelkan menjadi beberapa sub model, yaitu sub model kejadian *Failure Rate*, Kejadian *Reliability* Mesin, Kejadian *Preventive Maintenance (Manhours)*, Kejadian *Corrective Maintenance (manhours)*, Kejadian *Preventive Maintenance (Part)*, dan Kejadian *Corrective Maintenance(Part)*. Berikut diagram yang menggambarkan hubungan dari setiap sub model tersebut:



Gambar 4. 2 Diagram Sub-System Kejadian *Failure Rate*

b. Model Boundary Diagram

Model Boundary Diagram merupakan diagram yang menjelaskan cakupan dari model yang dibangun. Model Boundary Diagram mengklasifikasikan variabel-variabel yang ada ke dalam 3 faktor, yaitu *endogenous*, *exogenous*, dan *excluded*. Faktor pertama adalah *endogenous*, merupakan faktor penting dalam model yang akan diformulasi/didefinisikan lebih lanjut dalam tahap formulasi model simulasi dan merupakan variabel yang dipengaruhi variabel lain dalam sistem. Faktor kedua adalah *exogenous* merupakan parameter yang mempengaruhi perilaku model tetapi diasumsikan tidak dipengaruhi oleh faktor lainnya.

Variabel-variabel yang masuk dalam faktor *exogenous* dalam penelitian ini merupakan variabel konstanta atau batasan-batasan yang bernilai tetap. Faktor yang ketiga adalah *excluded*, merupakan variabel-variabel yang diabaikan. Alasan mengapa variabel-variabel tersebut dimasukkan dalam kategori *excluded* karena untuk lebih membatasi cakupan penelitian karena kondisi nyata yang begitu kompleks serta keterbatasan data yang berkaitan dengan faktor tersebut.

Tabel 4. 21 Model Boundary Diagram

<i>Endogenous</i>	<i>Exogenous</i>	<i>Excluded</i>
Jadwal <i>Preventive Maintenance</i>	Laju Produksi	Biaya produksi
Pelaksanaan <i>Corrective Maintenance</i>	Jam Operasional	Persediaan <i>supplier</i>
Persediaan suku cadang	Lama perbaikan	
Ketersediaan <i>Manhours</i>	Kerusakan tak terduga	
<i>MTBF</i>		
<i>Reliability Mesin</i>		

c. *Causal Loop Diagram*

Causal Loop Diagram (CLD) merupakan diagram yang menggambarkan hubungan sebab akibat antara variable satu dengan yang lainnya. Dalam studi kasus terdapat 3 sub model yaitu sub model *Preventive Maintenance*, sub model *Corrective Maintenance*, dan sub model *Reliability Mesin*.

(Loop 2) Variabel *failure rate* berhubungan positif dengan variabel CM yang diperlukan, semakin besar variabel *failure rate* menyebabkan semakin besar kejadian CM. Variabel CM yang diperlukan juga berhubungan positif dengan variabel *Part* yang dibutuhkan untuk CM, semakin besar variabel CM yang diperlukan menyebabkan semakin besar nilai *Part* yang dibutuhkan untuk CM. Variabel *Part* yang dibutuhkan untuk CM berhubungan positif dengan variabel *Part* yang diperlukan, semakin banyak *Part* yang dibutuhkan untuk CM menyebabkan semakin banyak *Part* yang diperlukan. Variabel *Part* yang diperlukan berhubungan negatif dengan variabel *Part* yang tersedia, semakin banyak *Part* yang diperlukan menyebabkan semakin menurun *Part* yang tersedia. Variabel *Part* yang tersedia berhubungan positif dengan variabel *Part* yang diinstal untuk CM, semakin banyak *Part* yang tersedia menyebabkan semakin meningkat kejadian *Part* yang diinstal untuk CM. Variabel *Part* yang diinstal untuk CM berhubungan positif dengan variabel CM selesai, semakin banyak *Part* yang diinstal untuk CM menyebabkan semakin besar kejadian CM selesai. Variabel CM selesai berhubungan negatif dengan variabel *failure rate*, semakin besar kejadian CM selesai menyebabkan semakin menurun nilai variabel *failure rate*.

(Loop 3) Variabel *failure rate* berhubungan positif dengan variabel CM yang diperlukan, semakin besar variabel *failure rate* menyebabkan semakin besar kejadian CM. Variabel CM yang diperlukan berhubungan positif juga dengan CM yang tertunda, semakin besar variabel CM yang diperlukan menyebabkan semakin besar kejadian CM yang tertunda. Selanjutnya variabel CM yang tertunda berhubungan positif dengan variabel *failure rate*, semakin besar variabel CM yang tertunda menyebabkan semakin besar variabel *failure rate*.

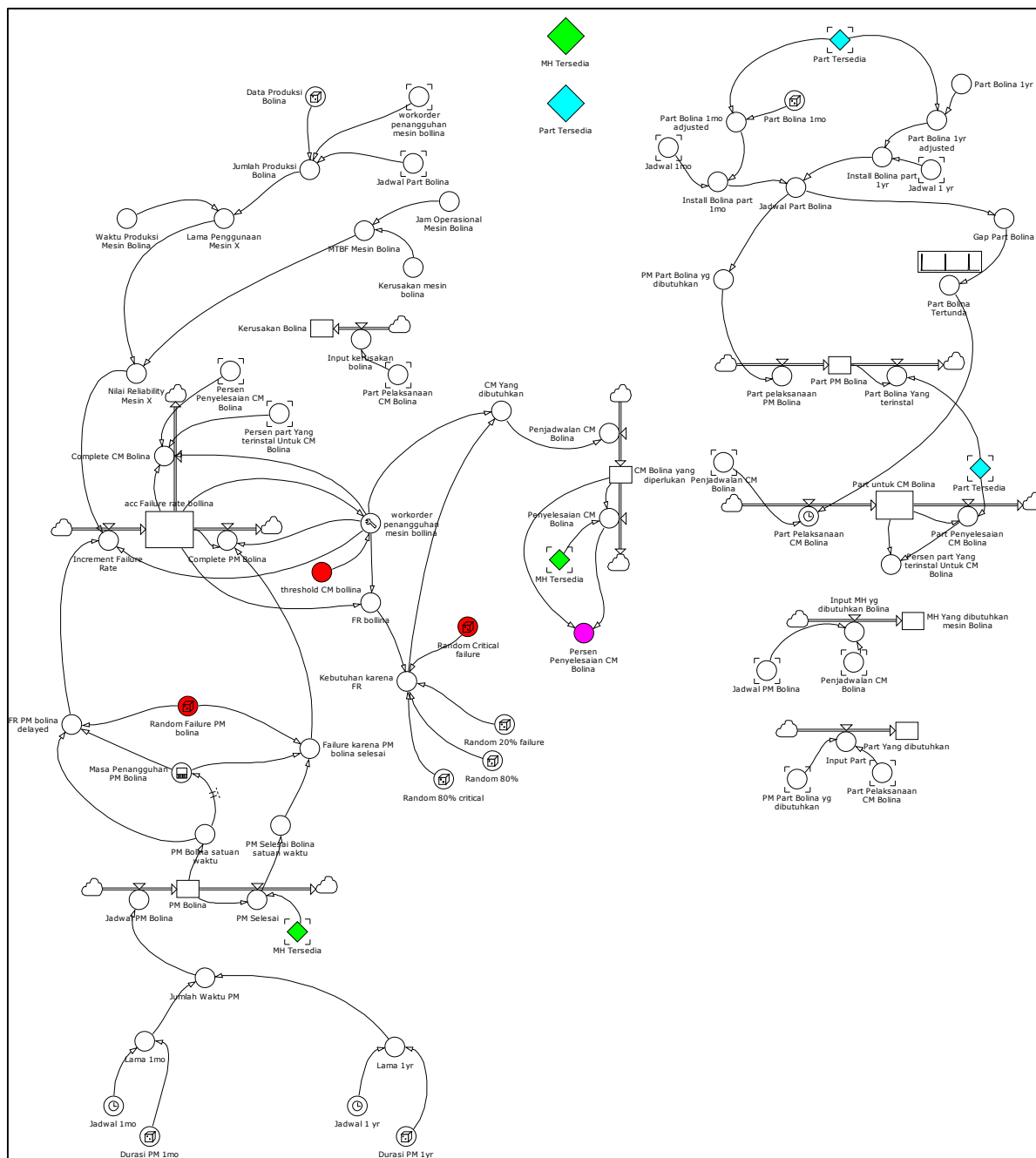
Variabel Jadwal PM berhubungan positif dengan variabel *Part* yang diperlukan untuk PM, semakin banyak kejadian Jadwal PM menyebabkan semakin banyak *Part* yang diperlukan untuk PM. Variabel *Part* yang diperlukan berhubungan positif dengan variabel *Part* yang dibutuhkan, semakin besar nilai variabel *Part* yang diperlukan untuk PM menyebabkan semakin besar nilai variabel *Part* yang diperlukan seluruhnya. Variabel *Part* yang tersedia berhubungan positif dengan variabel *Part* yang diinstal untuk PM, semakin besar

nilai *Part* yang tersedia menyebabkan kejadian *Part* yang diinstal untuk PM meningkat. Variabel *Part* yang diinstal untuk PM berhubungan positif dengan variabel PM selesai, semakin besar nilai *Part* yang diinstal untuk PM menyebabkan semakin besar kejadian PM selesai. Selain itu, Variabel PM selesai berhubungan negatif dengan variabel *failure rate*, semakin besar kejadian PM selesai menyebabkan menurunnya nilai variabel *Failure rate*.

Variabel Jadwal PM juga berhubungan positif dengan variabel *required/delayed* PM, semakin besar nilai variabel Jadwal PM menyebabkan semakin besar kemungkinan kejadian *required/delayed* PM. Variabel *required/delayed* PM berhubungan positif dengan variabel *failure rate*, semakin besar nilai variabel *required/delayed* PM menyebabkan semakin meningkatnya nilai variabel *failure rate*. Selain itu variabel *required/delayed* PM juga berhubungan positif dengan variabel PM selesai, semakin besar nilai variabel *required/delayed* PM menyebabkan kejadian PM selesai meningkat. Variabel *required/delayed* PM berhubungan positif dengan variabel *Manhours* yang diperlukan, semakin besar nilai variabel *required/delayed* PM menyebabkan semakin besar nilai variabel *Manhours* yang diperlukan.

Variabel *Manhours* yang tersedia berhubungan positif dengan variabel PM selesai, semakin besar nilai variabel *Manhours* tersedia menyebabkan semakin besar nilai variabel PM selesai. Berikut diagram untuk menggambarkan dari penjelasan yang sebelumnya disampaikan:

d. Pemodelan Dengan Komputer (Powersim 9)



Gambar 4. 4 Flow Diagram Mesin Bolina

Tabel 4. 22 Pendefinisian Flow Diagram Mesin Bolina

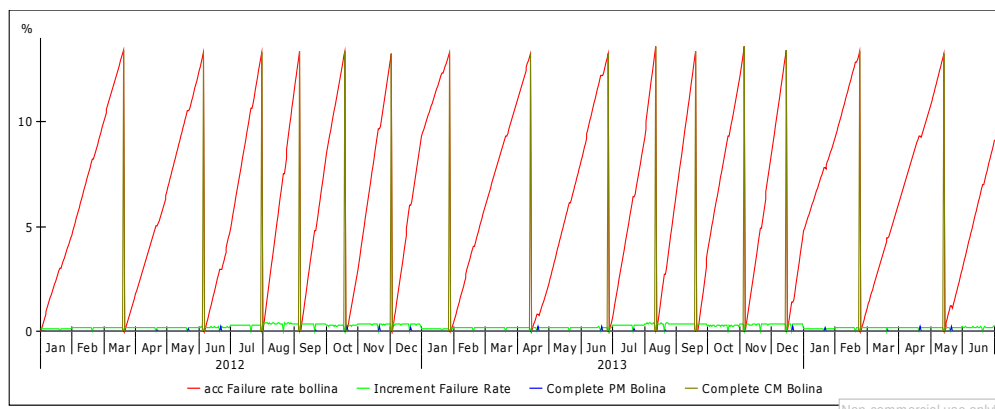
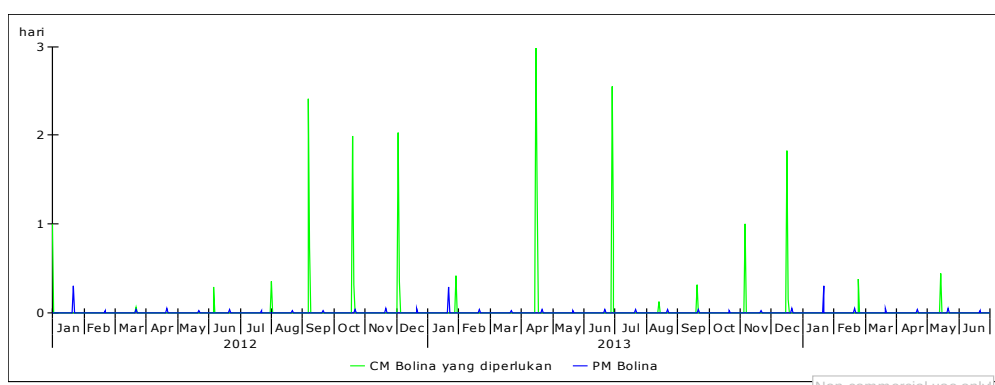
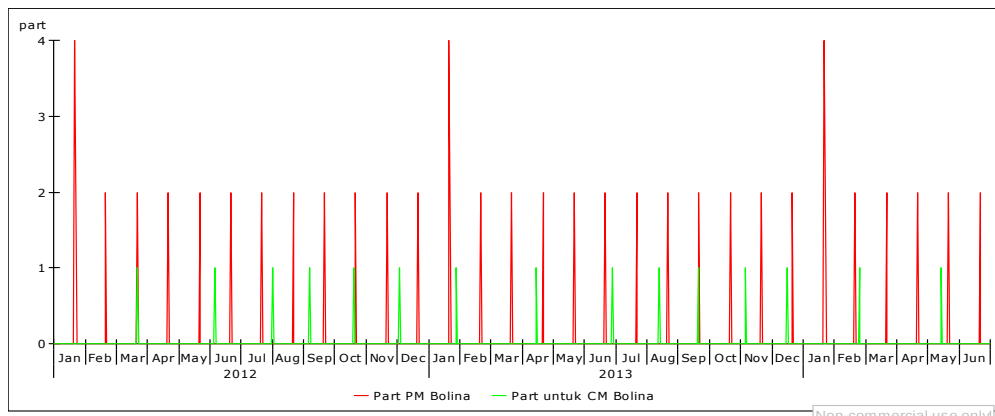
No	Name	Definition
1.	Penjadwalan CM Bolina	'CM Yang dibutuhkan'
2.	Jadwal <i>Part</i> Bolina	'Install Bolina part 1mo'+ 'Install Bolina part 1yr'

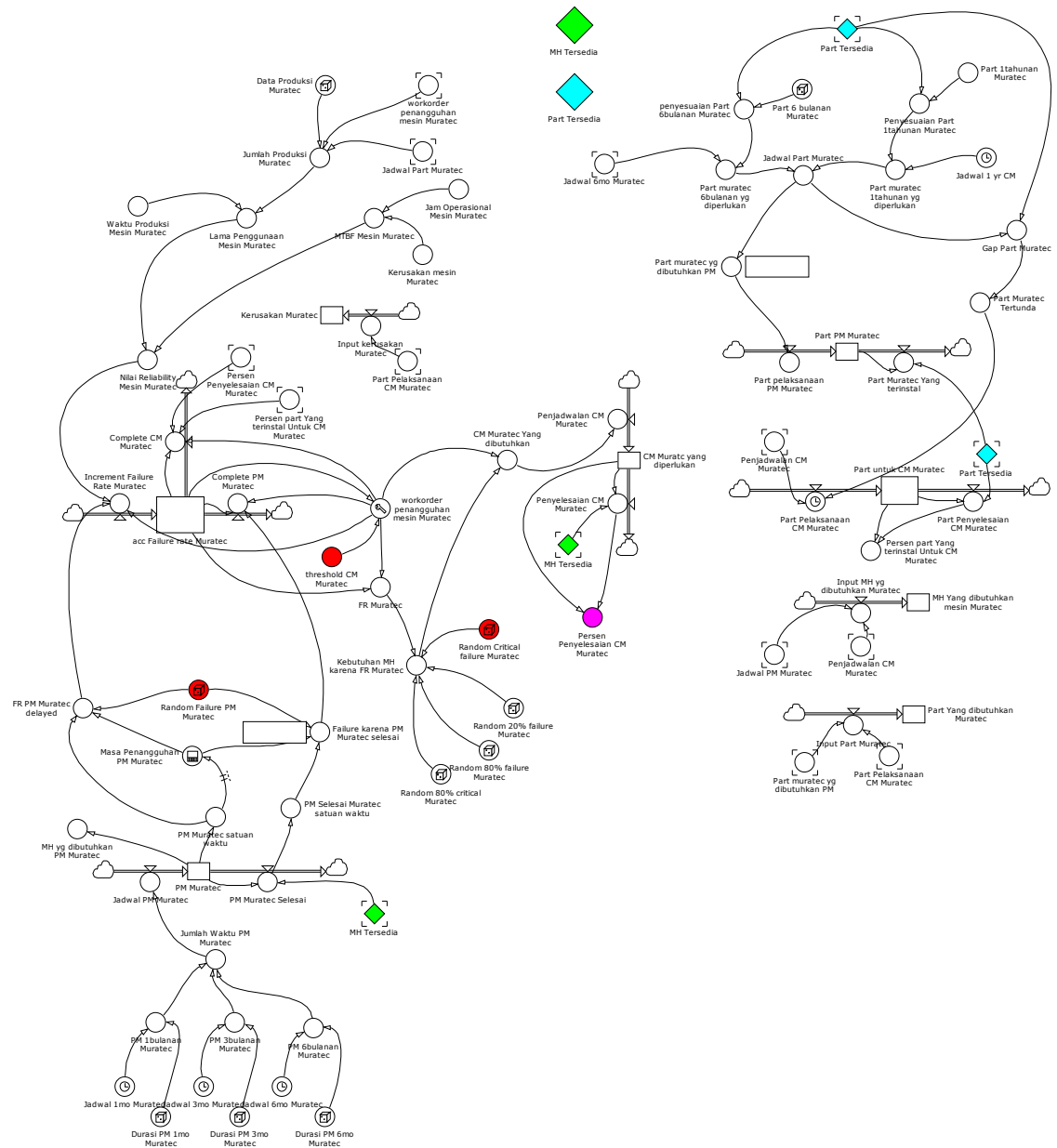
No	Name	Definition
3.	PM Part Bolina yg dibutuhkan	'Jadwal Part Bolina'
4.	Input MH yg dibutuhkan Bolina	'Jadwal PM Bolina'+'Penjadwalan CM Bolina'
5.	MTBF Mesin Bolina	'Jam Operasional Mesin Bolina'/'Kerusakan mesin bolina'
6.	Jadwal PM Bolina	'Jumlah Waktu PM'
7.	Jumlah Waktu PM	'Lama 1mo'+'Lama 1yr'
8.	PM Bolina satuan waktu	'PM Bolina'*1<<da/hari>>
9.	PM Selesai Bolina satuan waktu	'PM Selesai'*1<<da/hari>>
10.	Lama Penggunaan Mesin X	('Jumlah Produksi Bolina'*'Waktu Produksi Mesin Bolina')
11.	Jam Operasional Mesin Bolina	(900-16)*24<<hr>>+((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)
12.	Data Produksi Bolina	(GRAPH(MONTH(),0,1,CEIL({RANDOM(376,383),RANDOM(293,320),RANDOM(306,381),RANDOM(316,354),RANDOM(232,332),RANDOM(387,400),RANDOM(387,448),RANDOM(559,613),RANDOM(729,802),RANDOM(675,773),RANDOM(513,603),RANDOM(650,722)//MIN:232,MAX:802//})))*1<<produk/da>>)
13.	Kerusakan Bolina	0
14.	Kerusakan Bolina.Input kerusakan bolina.in	'Input kerusakan bolina'
15.	PM Bolina	0<<hari>>
16.	PM Bolina.Jadwal PM Bolina.in	'Jadwal PM Bolina'
17.	PM Bolina.PM Selesai.out	'PM Selesai'
18.	Part untuk CM Bolina	0<<part>>
19.	acc Failure rate bollina	0%
20.	MH Yang dibutuhkan mesin Bolina	0<<hari>>
21.	Part Yang dibutuhkan	0<<part>>
22.	Part Yang dibutuhkan.Input Part.in	'Input Part'
23.	Part PM Bolina	0<<part>>
24.	Nilai Reliability Mesin X	1-(EXP((-Lama Penggunaan Mesin X')/MTBF Mesin Bolina'))
25.	MH Tersedia	1.67<<hari/da>>
26.	threshold CM bollina	13.2%
27.	CM Bolina yang diperlukan	1<<hari>>
28.	Waktu Produksi Mesin Bolina	25/3600<<produk/hr>>
29.	Part Tersedia	2<<part/mo>>

No	Name	Definition
30.	<i>Part Bolina 1yr</i>	$2 < < part/mo > >$
31.	<i>Part pelaksanaan PM Bolina</i>	$ABS('PM Part Bolina yg dibutuhkan')$
32.	<i>Input Part</i>	$CEIL('PM Part Bolina yg dibutuhkan' + 'Part Pelaksanaan CM Bolina', 1 < < part > >)$
33.	<i>Random Critical failure</i>	$CEIL(RANDOM(1,3))$
34.	<i>Part Bolina 1mo</i>	$CEIL(RANDOM(1 < < part/mo > >, 2 < < part/mo > >), 1 < < part/mo > >)$
35.	<i>Masa Penangguhan PM Bolina</i>	$DELAYPPL('PM Bolina satuan waktu', 2 < < da > >)$
36.	<i>Historical Produksi Bolina</i>	$GRAPH(MONTH(), 0, 1, \{380, 310, 356, 338, 307, 396, 429, 594, 778, 713, 556, 702\}) * 1 < < produk/da > >$
37.	<i>Kebutuhan karena FR</i>	$IF('FR bollina' > 0\%, IF('Random Critical failure' = 1 \text{ AND } 'FR bollina' < 20\%, 'Random 20\% failure', IF('Random Critical failure' = 2 \text{ AND } 'FR bollina' \leq 80\%, 'Random 80\%', 'Random 80\% critical')))$
38.	<i>PM Selesai</i>	$IF('PM Bolina' = 0 < < hari > >, 0 < < hari > >, MIN('PM Bolina', 'MH Tersedia'))$
39.	<i>Persen Penyelesaian CM Bolina</i>	$IF('CM Bolina yang diperlukan' - 'Penyelesaian CM Bolina' = 0 < < hari > >, 100\%, (MAX(('CM Bolina yang diperlukan' / 'Penyelesaian CM Bolina'), 0)))$
40.	<i>Penyelesaian CM Bolina</i>	$IF('CM Bolina yang diperlukan' = 0 < < hari > >, 0 < < hari > >, MIN('MH Tersedia', 'CM Bolina yang diperlukan'))$
41.	<i>Part Bolina Tertunda</i>	$IF('Gap Part Bolina' < 0 < < part > >, 'Gap Part Bolina' * -1, ('Gap Part Bolina'))$
42.	<i>Lama 1yr</i>	$IF('Jadwal 1 yr' = TRUE, 'Durasi PM 1yr')$
43.	<i>Install Bolina part 1yr</i>	$IF('Jadwal 1 yr' = TRUE, 'Part Bolina 1yr adjusted', IF('Jadwal 1 yr' = FALSE, 0 < < part > >))$
44.	<i>Lama 1mo</i>	$IF('Jadwal 1mo' = TRUE, 'Durasi PM 1mo')$
45.	<i>Install Bolina part 1mo</i>	$IF('Jadwal 1mo' = TRUE, 'Part Bolina 1mo adjusted', IF('Jadwal 1mo' = FALSE, 0 < < part > >))$
46.	<i>Jumlah Produksi Bolina</i>	$IF('Jadwal Part Bolina' > 0 < < part > > \text{ OR } 'workorder penangguhan mesin bollina' = TRUE, 0 < < produk/da > >, 'Data Produksi Bolina')$
47.	<i>Failure karena PM bolina selesai</i>	$IF('Masa Penangguhan PM Bolina' > 2 < < da > > \text{ OR } ('PM Selesai Bolina satuan waktu' > 0 < < da > > \text{ AND } 'PM Selesai Bolina satuan waktu' < 2 < < da > >), 'Random Failure PM bolina')$
48.	<i>Increment Failure Rate</i>	$IF('Nilai Reliability Mesin X' = 0\% \text{ OR } 'workorder penangguhan mesin bollina' = TRUE, 0\%, 'Nilai Reliability Mesin X' + 'FR PM bolina delayed') / 1 < < da > >$

No	Name	Definition
49.	Part Bolina 1mo adjusted	$IF('Part\ Bolina\ 1mo' \leq 'Part\ Tersedia', 'Part\ Bolina\ 1mo')$
50.	Part Bolina 1yr adjusted	$IF('Part\ Bolina\ 1yr' \leq 'Part\ Tersedia', 'Part\ Bolina\ 1yr')$
51.	Persen part Yang terinstal Untuk CM Bolina	$IF('Part\ Penyelesaian\ CM\ Bolina' - 'Part\ untuk\ CM\ Bolina' = 0 \ll part \gg, 100\%)$
52.	Gap Part Bolina	$IF('Part\ Tersedia' > 'Jadwal\ Part\ Bolina', 0 \ll part \gg, IF('Part\ Tersedia' < 'Jadwal\ Part\ Bolina', ABS('Jadwal\ Part\ Bolina' - 'Part\ Tersedia')))$
53.	Part Pelaksanaan CM Bolina	$IF('Penjadwalan\ CM\ Bolina' = 0 \ll hari/da \gg, 0 \ll part/mo \gg, MAX((1 \ll part/mo \gg) + STEP('Part\ Bolina\ Tertunda', STARTTIME + 1 \ll mo \gg), 0 \ll part \gg))$
54.	FR PM bolina delayed	$IF('PM\ Bolina\ satuan\ waktu' > 2 \ll da \gg \text{ OR } 'Masa\ Penangguhan\ PM\ Bolina' > 2 \ll da \gg, 'Random\ Failure\ PM\ bolina')$
55.	Complete CM Bolina	$IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ bollina' = TRUE \text{ AND } ('Persen\ Penyelesaian\ CM\ Bolina' = 100\% \text{ OR } 'Persen\ part\ Yang\ terinstal\ Untuk\ CM\ Bolina' = 100\%), 'acc\ Failure\ rate\ bollina') / 1 \ll da \gg$
56.	CM Yang dibutuhkan	$IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ bollina' = TRUE, 'Kebutuhan\ karena\ FR')$
57.	Complete PM Bolina	$IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ bollina' = TRUE, 0\%, IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ bollina' = FALSE \text{ AND } 'acc\ Failure\ rate\ bollina' > 'Failure\ karena\ PM\ bolina\ selesai', 'Failure\ karena\ PM\ bolina\ selesai', IF('acc\ Failure\ rate\ bollina' \leq 'Failure\ karena\ PM\ bolina\ selesai' \text{ AND } 'workorder\ penangguhan\ mesin\ bollina' = FALSE, 'acc\ Failure\ rate\ bollina', IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ bollina' = FALSE \text{ AND } 'acc\ Failure\ rate\ bollina' = 0\%, 0\%))))$
58.	FR bollina	$MAX(IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ bollina' = TRUE, 'acc\ Failure\ rate\ bollina'), 0\%)$
59.	Part Bolina Yang terinstal	$MIN('Part\ PM\ Bolina', 'Part\ Tersedia')$
60.	Part Penyelesaian CM Bolina	$MIN('Part\ untuk\ CM\ Bolina', 'Part\ Tersedia')$
61.	Durasi PM 1mo	$NORMAL(0.04167, 0.0083) * 1 \ll hari/da \gg$
62.	Durasi PM 1yr	$NORMAL(0.25, 0.00834) * 1 \ll hari/da \gg$
63.	workorder penangguhan mesin bollina	$PAUSEIF('acc\ Failure\ rate\ bollina' \geq 'threshold\ CM\ bollina')$
64.	Random 80% critical	$RANDOM(0.04167, 3) * 1 \ll hari/da \gg$

No	Name	Definition
65.	Random 80%	<i>RANDOM(0.04167,3)*1<<hari/da>></i>
66.	Random 20% <i>failure</i>	<i>RANDOM(0.04167,3)*1<<hari/da>></i>
67.	Random <i>Failure</i> PM bolina	<i>RANDOM(1,2)%</i>
68.	Input kerusakan bolina	<i>ROUND('Part Pelaksanaan CM Bolina'/1<<part/mo>>)</i>
69.	Jadwal 1mo	<i>TIMECYCLE(DATE(2012,1,20),1<<mo>>)</i>
70.	Jadwal 1 yr	<i>TIMECYCLE(DATE(2012,1,20),1<<yr>>)</i>

Gambar 4. 5 Grafik *Failure Rate* Mesin BolinaGambar 4. 6 Grafik Alokasi *Manhours* mesin BolinaGambar 4. 7 Grafik Alokasi *Part* Mesin Bolina



Gambar 4. 8 Flow Diagram Mesin Muratec

Tabel 4. 23 Pendefinisian Flow Diagram Mesin Muratec

No	Name	Definition
1.	Penjadwalan CM Muratec	'CM Muratec Yang dibutuhkan'
2.	Part muratec yg dibutuhkan PM	'Jadwal Part Muratec'

No	Name	Definition
3.	Input MH yg dibutuhkan Muratec	'Jadwal PM Muratec'+ 'Penjadwalan CM Muratec'
4.	MTBF Mesin Muratec	'Jam Operasional Mesin Muratec'/'Kerusakan mesin Muratec'
5.	Jadwal PM Muratec	'Jumlah Waktu PM Muratec'
6.	Jadwal Part Muratec	'Part muratec 6bulanan yg diperlukan'+ 'Part muratec 1tahunan yg diperlukan'
7.	Jumlah Waktu PM Muratec	'PM 1bulanan Muratec'+ 'PM 3bulanan Muratec'+ 'PM 6bulanan Muratec'
8.	PM Selesai Muratec satuan waktu	'PM Muratec Selesai'*1<<da/hari>>
9.	MH yg dibutuhkan PM Muratec	'PM Muratec'
10.	PM Muratec satuan waktu	'PM Muratec'*1<<da/hari>>
11.	Lama Penggunaan Mesin Muratec	('Jumlah Produksi Muratec'*'Waktu Produksi Mesin Muratec')
12.	Auxiliary_1	((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)
13.	Jam Operasional Mesin Muratec	(900-17)*24<<hr>>+((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)
14.	Data Produksi Muratec	(GRAPH(MONTH(),0,1,CEIL({RANDOM(2130,2210),RANDOM(1789,1820),RANDOM(1787,1886),RANDOM(1690,1701),RANDOM(1671,1884),RANDOM(1776,1879),RANDOM(1874,2319),RANDOM(1938,2247),RANDOM(2291,2370),RANDOM(2380,2493),RANDOM(2490,2520),RANDOM(2189,2507)/MIN:232,MAX:802/})))*1<<produk/da>>)
15.	Kerusakan Muratec	0
16.	Part untuk CM Muratec	0<<part>>
17.	Level_1	0%
18.	acc Failure rate Muratec	0%
19.	MH Yang dibutuhkan mesin Muratec	0<<hari>>
20.	Part Yang dibutuhkan Muratec	0<<part>>
21.	Part PM Muratec	0<<part>>
22.	Nilai Reliability Mesin Muratec	1-((EXP((-Lama Penggunaan Mesin Muratec)'/MTBF Mesin Muratec')))
23.	MH Tersedia	1.67<<hari/da>>
24.	Waktu Produksi Mesin Muratec	15/3600<<produk/hr>>
25.	CM Muratec yang diperlukan	1<<hari>>
26.	PM Muratec	2<<hari>>
27.	threshold CM Muratec	35%
28.	Part Tersedia	4<<part>>

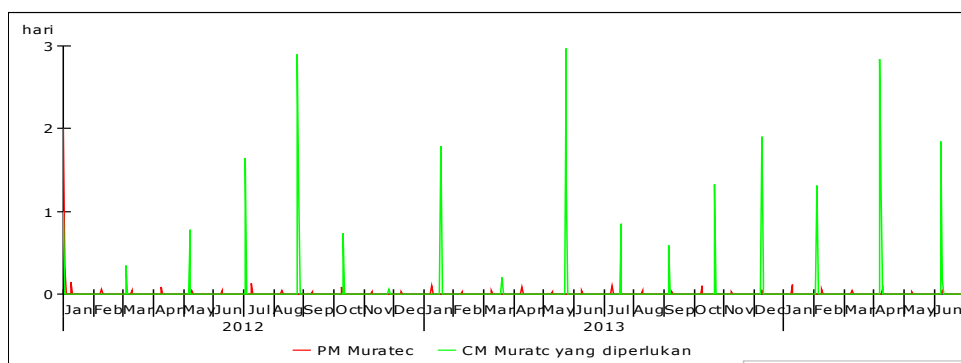
No	Name	Definition
29.	Part 1tahunan Muratec	$4 < < part > >$
30.	Input Part Muratec	$CEIL('Part\ muratec\ yg\ dibutuhkan\ PM' + 'Part\ Pelaksanaan\ CM\ Muratec', 1 < < part > >)$
31.	Part pelaksanaan PM Muratec	$CEIL('Part\ muratec\ yg\ dibutuhkan\ PM', 1 < < part > >)$
32.	Part Pelaksanaan CM Muratec	$CEIL(IF('Penjadwalan\ CM\ Muratec' = 0 < < hari/da > >, 0 < < part > >, MAX((1 < < part/mo > >) + STEP('Part\ Muratec\ Tertunda', STARTTIME + 1 < < mo > >)), 0 < < part > >)), 1 < < part > >)$
33.	Random Critical failure Muratec	$CEIL(RANDOM(1,3))$
34.	Part 6 bulanan Muratec	$CEIL(RANDOM(1 < < part > >, 2 < < part > >), 1 < < part > >)$
35.	Masa Penangguhan PM Muratec	$DELAYPPL('PM\ Muratec\ satuan\ waktu', 2 < < da > >)$
36.	Auxiliary_4	$GRAPH(MONTH(), 0, 1, \{0, 35, 0, 35, 35, 35, 35, 35, 35, 0, 35\}) * 1 < < \% > >$
37.	Auxiliary_3	$GRAPH(MONTH(), 0, 1, \{2159, 1810, 1820, 1694, 1779, 1809, 2100, 2130, 2349, 2509, 2510, 2409\})$
38.	Kebutuhan MH karena FR Muratec	$IF('FR\ Muratec' > 0\%, IF('Random\ Critical\ failure\ Muratec' = 1\ AND\ 'FR\ Muratec' < 20\%, 'Random\ 20\%\ failure\ Muratec', IF('Random\ Critical\ failure\ Muratec' = 2\ AND\ 'FR\ Muratec' <= 80\%, 'Random\ 80\%\ failure\ Muratec', 'Random\ 80\%\ critical\ Muratec'))$
39.	PM Muratec Selesai	$IF('PM\ Muratec' = 0 < < hari > >, 0 < < hari > >, MIN('PM\ Muratec', 'MH\ Tersedia'))$
40.	Persen Penyelesaian CM Muratec	$IF('CM\ Muratec\ yang\ diperlukan' - 'Penyelesaian\ CM\ Muratec' = 0 < < hari > >, 100\%, (MAX(('CM\ Muratec\ yang\ diperlukan' / 'Penyelesaian\ CM\ Muratec'), 0)))$
41.	Penyelesaian CM Muratec	$IF('CM\ Muratec\ yang\ diperlukan' = 0 < < hari > >, 0 < < hari > >, MIN('MH\ Tersedia', 'CM\ Muratec\ yang\ diperlukan'))$
42.	Part Muratec Tertunda	$IF('Gap\ Part\ Muratec' < 0 < < part > >, 'Gap\ Part\ Muratec' * -1, ('Gap\ Part\ Muratec'))$
43.	Part muratec 1tahunan yg diperlukan	$IF('Jadwal\ 1\ yr\ CM' = TRUE, 'Penyesuaian\ Part\ 1tahunan\ Muratec', IF('Jadwal\ 1\ yr\ CM' = FALSE, 0 < < part > >))$
44.	PM 1bulanan Muratec	$IF('Jadwal\ 1mo\ Muratec' = TRUE, 'Durasi\ PM\ 1mo\ Muratec')$
45.	PM 3bulanan Muratec	$IF('Jadwal\ 3mo\ Muratec' = TRUE, 'Durasi\ PM\ 3mo\ Muratec')$
46.	PM 6bulanan Muratec	$IF('Jadwal\ 6mo\ Muratec' = TRUE, 'Durasi\ PM\ 6mo\ Muratec')$

No	Name	Definition
47.	Part muratec 6bulanan yg diperlukan	<i>IF('Jadwal 6mo Muratec'=TRUE, 'penyesuaian Part 6bulanan Muratec', IF('Jadwal 6mo Muratec'=FALSE, 0<<part>>))</i>
48.	Jumlah Produksi Muratec	<i>IF('Jadwal Part Muratec'>0<<part>> OR 'workorder penangguhan mesin Muratec'=TRUE, 0<<produk/da>>,'Data Produksi Muratec')</i>
49.	Failure karena PM Muratec selesai	<i>IF('Masa Penangguhan PM Muratec'>2 <<da>> OR ('PM Selesai Muratec satuan waktu' > 0 <<da>> AND 'PM Selesai Muratec satuan waktu' < 2 <<da>>), 'Random Failure PM Muratec')</i>
50.	Increment Failure Rate Muratec	<i>IF('Nilai Reliability Mesin Muratec'=0% OR 'workorder penangguhan mesin Muratec'=TRUE, 0%, 'Nilai Reliability Mesin Muratec'+ 'FR PM Muratec delayed')/1<<da>></i>
51.	Penyesuaian Part 1tahunan Muratec	<i>IF('Part 1tahunan Muratec'<='Part Tersedia','Part 1tahunan Muratec')</i>
52.	penyesuaian Part 6bulanan Muratec	<i>IF('Part 6 bulanan Muratec'<='Part Tersedia','Part 6 bulanan Muratec')</i>
53.	Persen part Yang terinstal Untuk CM Muratec	<i>IF('Part Penyelesaian CM Muratec'- 'Part untuk CM Muratec'=0 <<part>>, 100%)</i>
54.	Gap Part Muratec	<i>IF('Part Tersedia'>'Jadwal Part Muratec',0<<part>>, IF('Part Tersedia'<'Jadwal Part Muratec',ABS('Jadwal Part Muratec'- 'Part Tersedia')))</i>
55.	FR PM Muratec delayed	<i>IF('PM Muratec satuan waktu'=0<<da>> OR 'Masa Penangguhan PM Muratec'=0<<da>>, 0%, IF('PM Muratec satuan waktu'>'Masa Penangguhan PM Muratec', 'Random Failure PM Muratec'))</i>
56.	Complete CM Muratec	<i>IF('workorder penangguhan mesin Muratec'=TRUE AND ('Persen Penyelesaian CM Muratec'=100% OR 'Persen part Yang terinstal Untuk CM Muratec'=100%), 'acc Failure rate Muratec')</i>
57.	CM Muratec Yang dibutuhkan	<i>IF('workorder penangguhan mesin Muratec'=TRUE,'Kebutuhan MH karena FR Muratec')</i>
58.	Complete PM Muratec	<i>IF('workorder penangguhan mesin Muratec'=TRUE,0%, IF('workorder penangguhan mesin Muratec'=FALSE AND 'acc Failure rate Muratec'>'Failure karena PM Muratec selesai','Failure karena PM Muratec selesai',IF('acc Failure rate Muratec'<='Failure karena PM Muratec selesai' AND 'workorder penangguhan mesin Muratec'=FALSE, 'acc Failure rate Muratec',IF ('workorder</i>

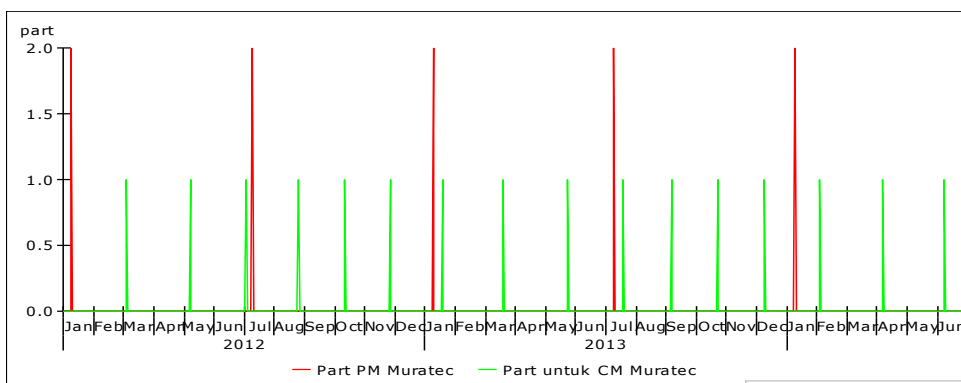
No	Name	Definition
		<i>penangguhan mesin Muratec'=FALSE AND 'acc Failure rate Muratec'=0%,0%))))</i>
59.	Auxiliary_2	<i>Level_1/Auxiliary_1</i>
60.	FR Muratec	<i>MAX(IF('workorder penangguhan mesin Muratec'=TRUE,'acc Failure rate Muratec'),0%)</i>
61.	Durasi PM 3mo Muratec	<i>MAX(NORMAL(0.04167,0.00834)*1<<hari/da>>,0<<hari/da>>)</i>
62.	Part Muratec Yang terinstal	<i>MIN('Part PM Muratec','Part Tersedia')</i>
63.	Part Penyelesaian CM Muratec	<i>MIN('Part untuk CM Muratec','Part Tersedia')</i>
64.	Durasi PM 1mo Muratec	<i>NORMAL(0.04167,0.0083)*1<<hari/da>></i>
65.	Durasi PM 6mo Muratec	<i>NORMAL(0.04167,0.00834)*1<<hari/da>></i>
66.	workorder penangguhan mesin Muratec	<i>PAUSEIF('acc Failure rate Muratec'>='threshold CM Muratec')</i>
67.	Random 80% critical Muratec	<i>RANDOM(0.04167,3)*1<<hari/da>></i>
68.	Random 80% failure Muratec	<i>RANDOM(0.04167,3)*1<<hari/da>></i>
69.	Random 20% failure Muratec	<i>RANDOM(0.04167,3)*1<<hari/da>></i>
70.	Random Failure PM Muratec	<i>RANDOM(1,2)*1%</i>
71.	Input kerusakan Muratec	<i>ROUND('Part Pelaksanaan CM Muratec'/1<<part>>)</i>
72.	Jadwal 1mo Muratec	<i>TIMECYCLE(DATE(2012,1,8),1<<mo>>)</i>
73.	Jadwal 3mo Muratec	<i>TIMECYCLE(DATE(2012,1,8),3<<mo>>)</i>
74.	Jadwal 6mo Muratec	<i>TIMECYCLE(DATE(2012,1,8),6<<mo>>)</i>
75.	Jadwal 1 yr CM	<i>TIMECYCLE(DATE(2015,3,8),1<<mo>>)</i>
76.	Kerusakan mesin Muratec	17



Gambar 4. 9 Grafik *Failure Rate* Mesin Muratec



Gambar 4. 10 Grafik Alokasi *Manhours* Mesin Muratec



Gambar 4. 11 Grafik Alokasi *Part* Mesin Muratec

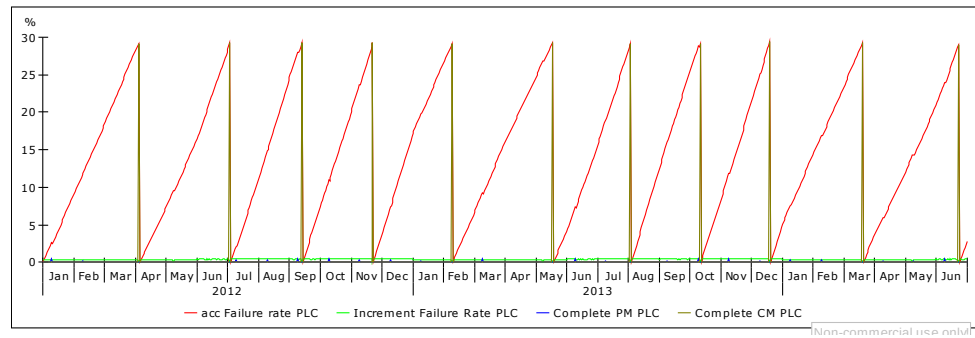
Tabel 4. 24 Pendefinisian *Flow Diagram* Mesin PLC

No	Name	Definition
1.	Penjadwalan CM PLC	'CM PLC Yang dibutuhkan'
2.	Part PLC yg dibutuhkan PM	'Jadwal Part PLC'
3.	Input MH yg dibutuhkan PLC	'Jadwal PM PLC'+ 'Penjadwalan CM PLC'

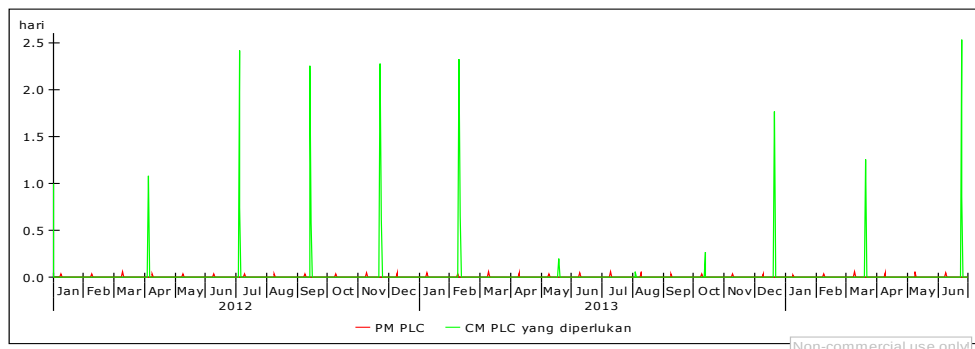
No	Name	Definition
4.	MTBF Mesin PLC	'Jam Operasional Mesin PLC'/'Kerusakan mesin PLC'
5.	Jadwal PM PLC	'Jumlah Waktu PM PLC'
6.	Jadwal Part PLC	'Part PLC 1tahunan yg diperlukan'
7.	Part pelaksanaan PM PLC	'Part PLC yg dibutuhkan PM'
8.	Jumlah Waktu PM PLC	'PM 1bulanan PLC'//'+ 'PM 1tahunan PLC'+ 'PM 3bulanan PLC'+ 'PM 6bulanan PLC'
9.	MH yg dibutuhkan PM PLC	'PM PLC'
10.	PM PLC satuan waktu	'PM PLC'*1<<da/hari>>
11.	PM Selesai PLC satuan waktu	'PM PLCc Selesai'*1<<da/hari>>
12.	Lama Penggunaan Mesin PLC	('Jumlah Produksi PLC'*'Waktu Produksi Mesin PLC')*1<<da>>
13.	Auxiliary_1	((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)
14.	Jam Operasional Mesin PLC	(900-11)*24<<hr>>//+((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)
15.	Data Produksi PLC	(GRAPH(MONTH(),0,1,CEIL({RANDOM(211,421),RANDOM(358,384),RANDOM(355,375),RANDOM(385,390),RANDOM(320,350),RANDOM(355,385),RANDOM(430,500),RANDOM(465,535),RANDOM(510,580),RANDOM(439,600),RANDOM(480,535),RANDOM(490,585)//MIN:232,MAX:802//}))*1<<produk/da>>))
16.	Kerusakan PLC	0
17.	Part untuk CM PLC	0<<part>>
18.	Level_1	0%
19.	acc Failure rate PLC	0%
20.	MH Yang dibutuhkan mesin PLC	0<<hari>>
21.	Part PM PLC	0<<part>>
22.	Part Yang dibutuhkan PLC	0<<part>>
23.	Nilai Reliability Mesin PLC	1-(EXP((- 'Lama Penggunaan Mesin PLC')/'MTBF Mesin PLC'))
24.	MH Tersedia	1.67<<hari/da>>
25.	CM PLC yang diperlukan	1<<hari>>
26.	threshold CM PLC	29%
27.	PM PLC	2<<hari>>
28.	Part Tersedia	5<<part/mo>>
29.	Waktu Produksi Mesin PLC	60/3600<<produk/hr>>
30.	Input Part PLC	CEIL('Part PLC yg dibutuhkan PM'+ 'Part Pelaksanaan CM PLC',1<<part>>)
31.	Part 1tahunan PLC	CEIL(1<<part>>,1<<part>>)

No	Name	Definition
32.	Random Critical <i>failure</i> PLC	$CEIL(RANDOM(1,3))$
33.	Masa Penangguhan PM PLC	$DELAYPPL('PM\ PLC\ satuan\ waktu', 2 <<da>>)$
34.	Auxiliary_4	$GRAPH(MONTH(), 0, 1, \{0, 29, 29, 0, 29, 29, 0, 29, 0, 29, 0, 0\}) * 1 <<\%>>$
35.	Auxiliary_3	$GRAPH(MONTH(), 0, 1, \{354, 374, 368, 388, 338, 373, 450, 549, 551, 506, 531\})$
36.	Kebutuhan MH karena FR PLC	$IF('FR\ PLC' > 0\%, IF('Random\ Critical\ failure\ PLC' = 1\ AND\ 'FR\ PLC' < 20\%, 'Random\ 20\% failure\ PLC', IF('Random\ Critical\ failure\ PLC' = 2\ AND\ 'FR\ PLC' \leq 80\%, 'Random\ 80\% failure\ PLC', 'Random\ 80\% critical\ PLC')))$
37.	PM PLCc Selesai	$IF('PM\ PLC' = 0 <<hari>>, 0 <<hari>>, MIN('PM\ PLC', 'MH\ Tersedia'))$
38.	Complete PM PLC	$IF('acc\ Failure\ rate\ PLC' > 0\% OR 'workorder\ penangguhan\ mesin\ PLC' = TRUE, 'Failure\ karena\ PM\ PLC\ selesai') / 1 <<da>>$
39.	Persen Penyelesaian CM PLC	$IF('CM\ PLC\ yang\ diperlukan' - 'Penyelesaian\ CM\ PLC' = 0 <<hari>>, 100\%, (MAX(('CM\ PLC\ yang\ diperlukan' / 'Penyelesaian\ CM\ PLC'), 0)))$
40.	Penyelesaian CM PLC	$IF('CM\ PLC\ yang\ diperlukan' = 0 <<hari>>, 0 <<hari>>, MIN('MH\ Tersedia', 'CM\ PLC\ yang\ diperlukan'))$
41.	Part PLC Tertunda	$IF('Gap\ Part\ PLC' < 0 <<part>>, 'Gap\ Part\ PLC' * -1, ('Gap\ Part\ PLC'))$
42.	Part PLC 1tahunan yg diperlukan	$IF('Jadwal\ 1\ yr\ CM\ PLC' = TRUE, 'Penyesuaian\ Part\ 1\ tahunan\ PLC', IF('Jadwal\ 1\ yr\ CM\ PLC' = FALSE, 0 <<part>>))$
43.	PM 1bulanan PLC	$IF('Jadwal\ 1mo\ PLC' = TRUE, 'Durasi\ PM\ 1mo\ PLC')$
44.	Jumlah Produksi PLC	$IF('Jadwal\ Part\ PLC' > 0 <<part>> OR 'workorder\ penangguhan\ mesin\ PLC' = TRUE, 0 <<produk/da>>, 'Data\ Produksi\ PLC')$
45.	Failure karena PM PLC selesai	$IF('Masa\ Penangguhan\ PM\ PLC' > 2 <<da>> OR ('PM\ Selesai\ PLC\ satuan\ waktu' > 0 <<da>> AND 'PM\ Selesai\ PLC\ satuan\ waktu' < 2 <<da>>), 'Random\ Failure\ PM\ PLC')$
46.	Increment Failure Rate Muratec	$IF('Nilai\ Reliability\ Mesin\ Muratec' = 0\% OR 'workorder\ penangguhan\ mesin\ Muratec' = TRUE, 0\%, 'Nilai\ Reliability\ Mesin\ Muratec' + 'FR\ PM\ Muratec\ delayed') / 1 <<da>>$
47.	Increment Failure Rate PLC	$IF('Nilai\ Reliability\ Mesin\ PLC' = 0\% OR 'workorder\ penangguhan\ mesin\ PLC' = TRUE, 0\%, 'Nilai\ Reliability\ Mesin\ PLC' + 'FR\ PM\ PLC\ delayed') / 1 <<da>>$

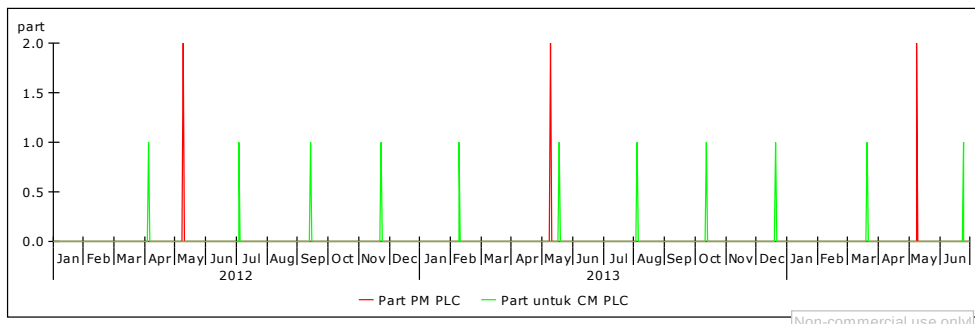
No	Name	Definition
48.	Penyesuaian <i>Part</i> 1tahunan PLC	$IF('Part\ 1tahunan\ PLC' \leq 'Part\ Tersedia', 'Part\ 1tahunan\ PLC')$
49.	Persen <i>part</i> Yang terinstal Untuk CM PLC	$IF('Part\ Penyelesaian\ CM\ PLC' - 'Part\ untuk\ CM\ PLC' = 0 \ll part \gg, 100\%)$
50.	Gap <i>Part</i> PLC	$IF('Part\ Tersedia' > 'Jadwal\ Part\ PLC', 0 \ll part \gg, IF('Part\ Tersedia' < 'Jadwal\ Part\ PLC', ABS('Jadwal\ Part\ PLC' - 'Part\ Tersedia')))$
51.	<i>Part</i> Pelaksanaan CM PLC	$IF('Penjadwalan\ CM\ PLC' = 0 \ll hari/da \gg, 0 \ll part \gg, MAX((1 \ll part \gg) + STEP('Part\ PLC\ Tertunda', STARTTIME + 1 \ll mo \gg), 0 \ll part \gg))$
52.	FR PM PLC delayed	$IF('PM\ PLC\ satuan\ waktu' = 0 \ll da \gg \text{ OR } 'Masa\ Penangguhan\ PM\ PLC' = 0 \ll da \gg, 0\%, IF('PM\ PLC\ satuan\ waktu' > 'Masa\ Penangguhan\ PM\ PLC', 'Random\ Failure\ PM\ PLC'))$
53.	Complete CM PLC	$IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ PLC' = TRUE \text{ AND } ('Persen\ Penyelesaian\ CM\ PLC' = 100\% \text{ OR } 'Persen\ part\ Yang\ terinstal\ Untuk\ CM\ PLC' = 100\%), 'acc\ Failure\ rate\ PLC')$
54.	CM PLC Yang dibutuhkan	$IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ PLC' = TRUE, 'Kebutuhan\ MH\ karena\ FR\ PLC')$
55.	Auxiliary_2	$Level_1/Auxiliary_1$
56.	FR PLC	$MAX(IF('workorder\ penangguhan\ mesin\ PLC' = TRUE, 'acc\ Failure\ rate\ PLC'), 0\%)$
57.	<i>Part</i> PLC Yang terinstal	$MIN('Part\ PM\ PLC', 'Part\ Tersedia')$
58.	<i>Part</i> Penyelesaian CM PLC	$MIN('Part\ untuk\ CM\ PLC', 'Part\ Tersedia')$
59.	Durasi PM 1mo PLC	$NORMAL(0.04167, 0.0083) * 1 \ll hari/da \gg$
60.	workorder penangguhan mesin PLC	$PAUSEIF('acc\ Failure\ rate\ PLC' > 'threshold\ CM\ PLC')$
61.	Random 80% critical PLC	$RANDOM(0.04167, 3) * 1 \ll hari/da \gg$
62.	Random 80% <i>failure</i> PLC	$RANDOM(0.04167, 3) * 1 \ll hari/da \gg$
63.	Random 20% <i>failure</i> PLC	$RANDOM(0.04167, 3) * 1 \ll hari/da \gg$
64.	Random <i>Failure</i> PM PLC	$RANDOM(1) * 1\%$
65.	Input kerusakan PLC	$ROUND('Part\ Pelaksanaan\ CM\ PLC' / 1 \ll part \gg)$
66.	Jadwal 1mo PLC	$TIMECYCLE(2012, 1, 8), 1 \ll mo \gg)$
67.	Jadwal 1 yr CM PLC	$TIMECYCLE(2012, 5, 8), 1 \ll mo \gg)$
68.	Kerusakan mesin PLC	11



Gambar 4. 13 Grafik *Failure Rate* Mesin PLC



Gambar 4. 14 Grafik Alokasi *Manhours* Mesin PLC



Gambar 4. 15 Grafik Alokasi *Part* Mesin PLC

4.2.4. Validasi Model

1. *Structure Assessment test*

Structure Assessment test menunjukkan konsistensi model dengan pengetahuan pada sistem nyata yang relevan dengan tujuan. (Sterman, 2000). Uji struktur merupakan membandingkan struktur dari model secara langsung dengan struktur sistem nyata. Uji ini berdasarkan ulasan model asumsi oleh orang yang memiliki pengetahuan mengenai bagian-bagian dari sistem nyatanya. Uji ini juga dapat

melibatkan asumsi-asumsi dan pengambilan keputusan berdasarkan literatur yang relevan.

Pengujiannya dilakukan dengan cara wawancara dan adanya persetujuan dari pihak *expert* terkait di PT. MAK *plant* KL bahwa struktur *Causal Loop Diagram* telah diuji dan sudah sesuai serta mampu merepresentasikan kondisi nyatanya.

2. Boundary Adequacy test

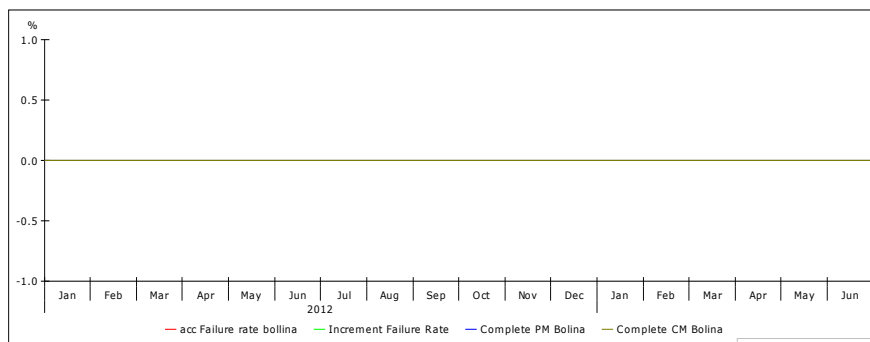
Boundary adequacy test menilai kelayakan dari batasan model untuk menangkap tujuan. Uji ini dilakukan untuk membuktikan mengenai ketepatan relevansi pengelompokan variabel dalam model untuk permasalahan yang dibahas. (Stermann, 2000). Uji ini melibatkan hipotesis untuk meyakinkan bahwa struktur model yang diusulkan untuk isu tertentu dapat disampaikan atau direpresentasikan oleh model. (Forrester & Senge, 1980)

Pengujiannya dilakukan dengan cara wawancara dan adanya persetujuan dari pihak *expert* terkait di PT. MAK *plant* KL bahwa model yang dibuat sudah sesuai serta mampu merepresentasikan kondisi nyata dan tidak adanya lagi variabel-variabel yang berubah baik dari *endogenous* menjadi *exogenous*, dari *exogenous* menjadi *excluded* atau sebaliknya.

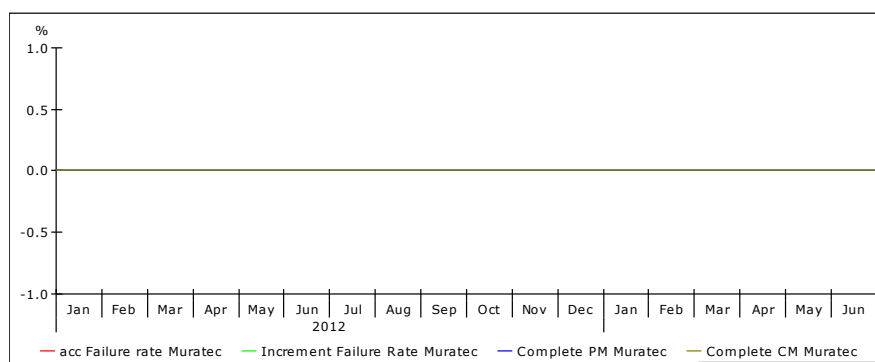
3. Extreme Condition test

Menurut (Stermann, 2000) suatu model harus tetap pada kondisi yang ekstrim. Maksudnya model harus menunjukkan reaksi dalam cara yang realistis tidak peduli seberapa ekstrim input atau kebijakan yang mungkin diberlakukan. Uji ini mengubah kebijakan dengan cara yang ekstrim dan menjalankan model untuk mengetahui dampak yang dihasilkan. Sehingga harapannya model dapat berperilaku seperti sistem nyata dalam keadaan kebijakan ekstrim yang sama. (Forrester & Senge, 1980)

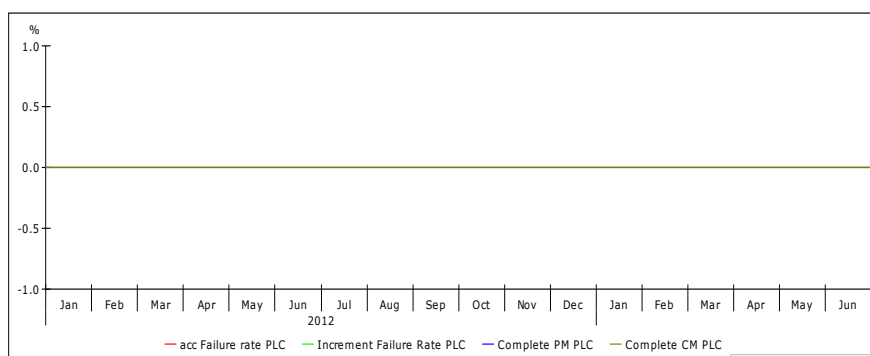
Variabel yang diamati dalam uji ini adalah *failure rate*, persediaan suku cadang dan penggunaan suku cadang dengan kondisi tidak adanya produksi (produksi=0) sebagai kebijakan ekstrimnya.



Gambar 4. 16 Grafik *Failure Rate* Mesin Bolina (produksi = 0)



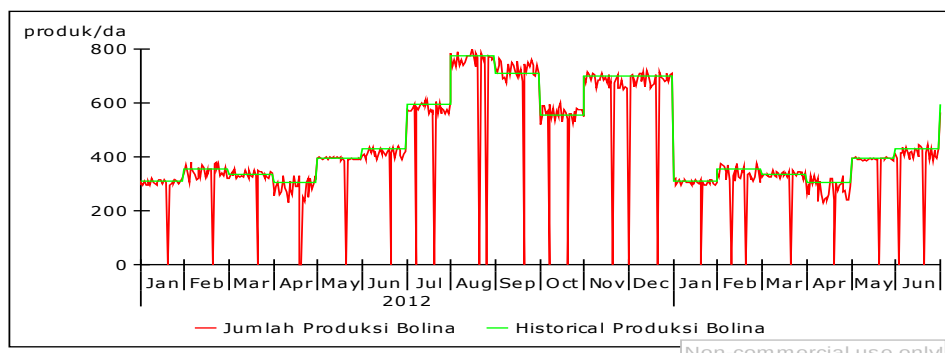
Gambar 4. 17 Grafik *Failure Rate* Mesin Muratec (produksi = 0)



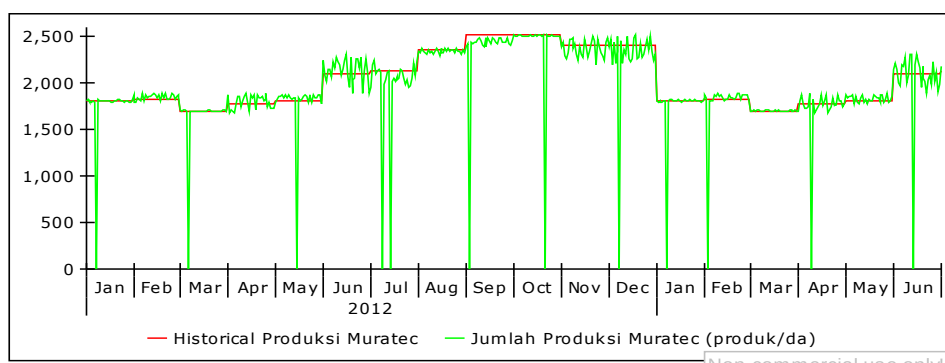
Gambar 4. 18 Grafik *Failure Rate* Mesin PLC (produksi = 0)

4. *Behaviour Reproduction test*

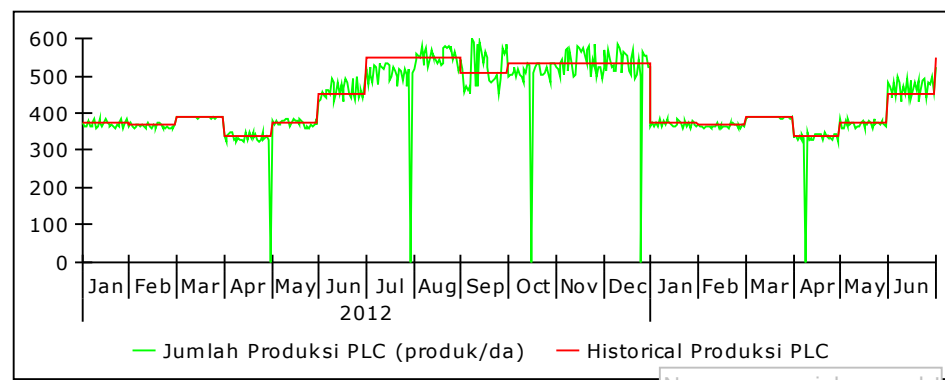
Uji ini meneliti seberapa baik perilaku model yang dihasilkan dapat sesuai dengan perilaku dari sistem nyata yang diamati. Uji ini dilakukan dengan membandingkan antara perilaku model simulasi dengan perilaku berdasarkan data historis. (Forrester & Senge, 1980). *Behaviour reproduction test* bertujuan untuk menemukan cacat pada structure atau parametes dari model dan menilai sejauh mana model relatif dari tujuan persoalan. (Sterman, 2000).



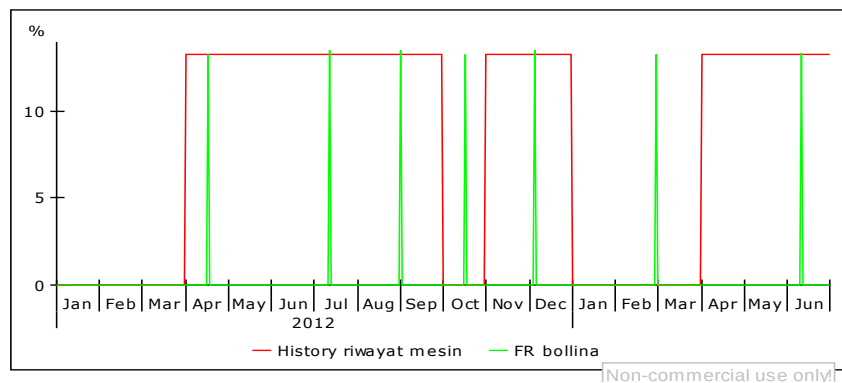
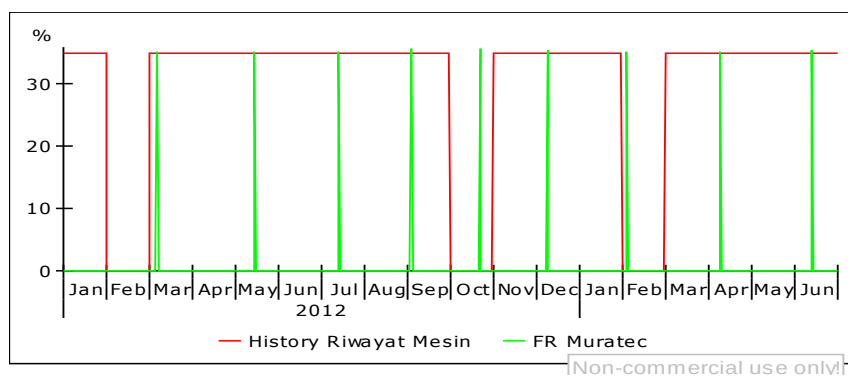
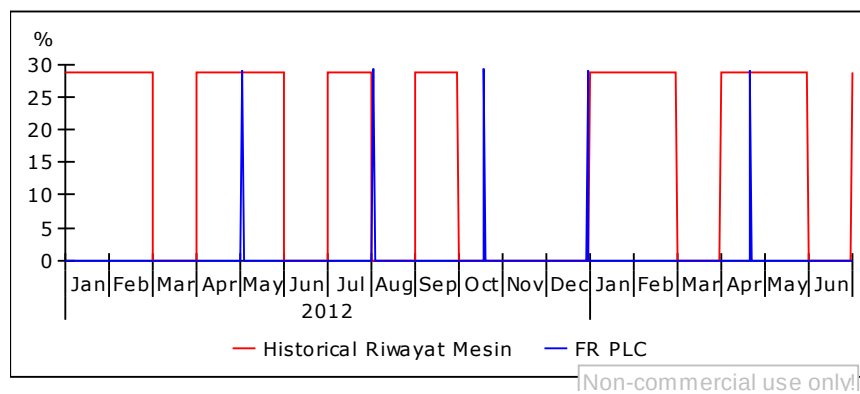
Gambar 4. 19 Perilaku Produksi Mesin Bolina

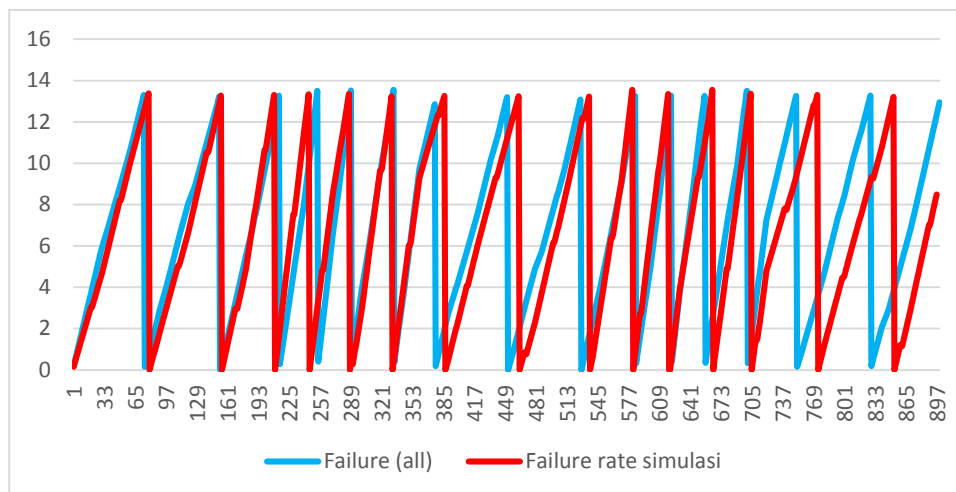


Gambar 4. 20 Perilaku Produksi Mesin Muratec

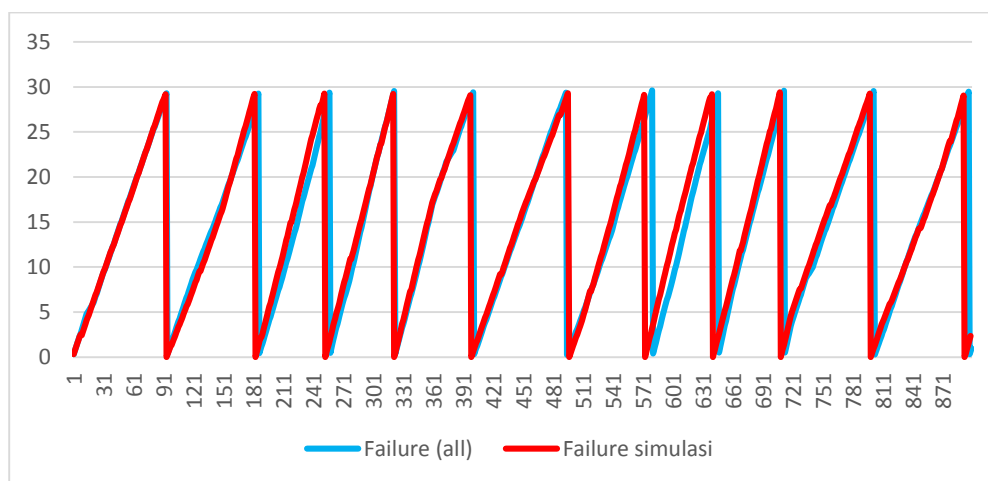


Gambar 4. 21 Perilaku Produksi Mesin PLC

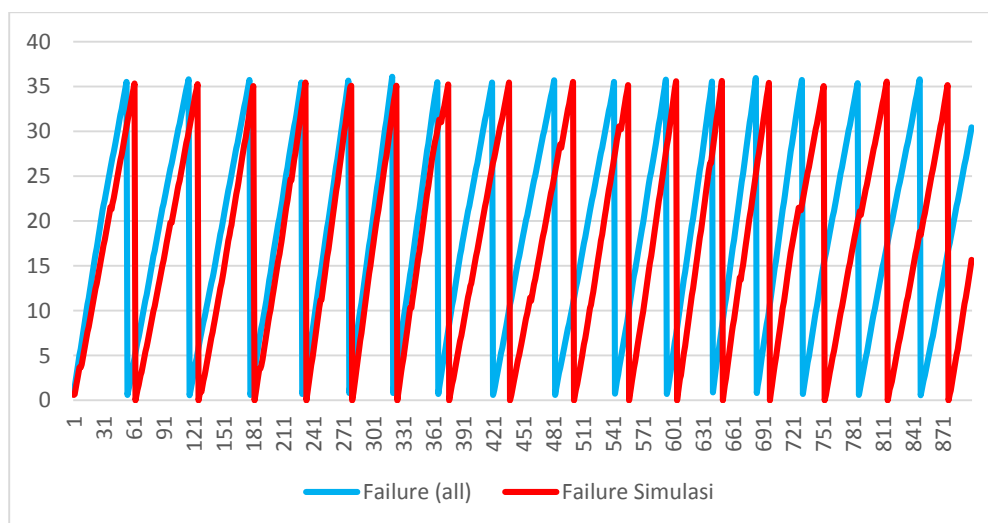
Gambar 4. 22 Perilaku *Failure* Mesin BolinaGambar 4. 23 Perilaku *Failure* Mesin MuratecGambar 4. 24 Perilaku *Failure* Mesin PLC



Gambar 4. 25 Pola *Failure Rate* Mesin Bolina



Gambar 4. 26 Pola *Failure Rate* Mesin PLC



Gambar 4. 27 Pola *Failure Rate* Mesin Muratec

c. Uji Statistik

Menurut (Barlas, 1996) Pengujian system dynamics dilakukan untuk memperkuat asumsi keakuratan validasi behaviour secara visual. Terdapat beberapa step yang bisa dilakukan dalam uji statistik system dynamics

Comparing the Mean

Merupakan persen error perbandingan rerata simulasi dan rerata aktual, dapat dihitung dengan:

$$E_1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}}$$

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i, \bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i$$

a. Mesin Bolina

Didapat nilai rata-rata *failure rate* mesin Bolina (aktual) adalah 0.45 dan nilai rata-rata *failure rate* mesin Bolina (simulasi) adalah 0.46.

Maka,

$$E_1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} = \frac{|0.46 - 0.45|}{0.45} = 0.0127$$

E_1 Mesin Bolina < 0.05 , jadi rata-rata *failure rate* simulasi tidak berbeda dengan Aktual.

b. Mesin PLC

Didapat nilai rata-rata *failure rate* mesin PLC (aktual) adalah 0.71 dan nilai rata-rata *failure rate* mesin PLC (simulasi) adalah 0.72.

Maka,

$$E_1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} = \frac{|0.72 - 0.71|}{0.71} = 0.009883$$

E_1 Mesin PLC < 0.05 , jadi rata-rata *failure rate* simulasi tidak berbeda dengan Aktual.

c. Mesin Muratec

Didapat nilai rata-rata *failure rate* mesin Muratec (aktual) adalah 1.278 dan nilai rata-rata *failure rate* mesin Muratec (simulasi) adalah 1.281.

Maka,

$$E_1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} = \frac{|1.281 - 1.278|}{1.278} = 0.002238$$

E_1 Mesin Muratec < 0.05 , jadi rata-rata *failure rate* simulasi tidak berbeda dengan Aktual.

Comparing the variations

$$E_2 = \frac{|S_s - S_A|}{S_A}$$

$$S_s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (S_i - \bar{S})^2}, S_A = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (A_i - \bar{A})^2}$$

a. Mesin Bolina

Didapat nilai variasi *failure rate* mesin Bolina (aktual) adalah 0.45 dan nilai variasi *failure rate* mesin Bolina (simulasi) adalah 0.46.

Maka,

$$E_2 = \frac{|S_s - S_A|}{S_A} = \frac{|2.8241 - 2.7052|}{2.7052} = 0.0493$$

E_2 Mesin Bolina < 0.05 , jadi variasi *failure rate* simulasi tidak berbeda dengan Aktual.

b. Mesin PLC

Didapat nilai variasi *failure rate* mesin PLC (aktual) adalah 9.96 dan nilai variasi *failure rate* mesin PLC (simulasi) adalah 10.074.

Maka,

$$E_2 = \frac{|S_s - S_A|}{S_A} = \frac{|10.074 - 9.96|}{9.96} = 0.01138$$

E_2 Mesin PLC < 0.05 , jadi variasi *failure rate* simulasi tidak berbeda dengan Aktual.

c. Mesin Muratec

Didapat nilai variasi *failure rate* mesin Muratec (aktual) adalah 20.598 dan nilai variasi *failure rate* mesin Muratec (simulasi) adalah 21.015.

Maka,

$$E_2 = \frac{|S_s - S_A|}{S_A} = \frac{|21.015 - 20.598|}{20.598} = 0.0202$$

E_2 Mesin Bolina < 0.05 , jadi variasi *failure rate* simulasi tidak berbeda dengan Aktual.

Uji Rata-rata dan Homogeneity Kerusakan Mesin Bolina

Tabel 4. 25 Data Kerusakan Mesin Bolina

Bulan	Data aktual	Data simulasi
1	1	0
2	0	0
3	0	1
4	0	0

Bulan	Data aktual	Data simulasi
5	1	0
6	0	1
7	0	0
8	1	1
9	0	1
10	1	0
11	0	1
12	1	1
Mean	0.4167	0.5
Std.deviasi	0.51493	0.5222

Hipotesis statistik : $H_0 : \mu < 1$ dan $H_a : \mu = 1$

Dengan signifikansi 10%, maka $T_{\alpha, n-1} = T_{0,10,11} = 1.363$

$$T_{hitung} = \frac{0.5 - 0.4167}{\frac{0.5222}{\sqrt{12}}} = 0.5525$$

Dari perhitungan tersebut diperoleh kesimpulan $T_{hitung} < T_{tabel}$

Test of Homogeneity of Variances			
simulasi			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.034	1	10	.858

Gambar 4. 28 Tes Homogenitas Mesin Bolina

Signifikansi $0.858 > 0.05$, Artinya data simulasi tidak ada perbedaan dengan data aktual

Uji Rata-rata dan Homogeneity Kerusakan Mesin Muratec

Tabel 4. 26 Data Kerusakan Mesin Muratec

Bulan	Data aktual	Data simulasi
1	0	0
2	0	0
3	0	1
4	1	0
5	0	1
6	0	0
7	0	1
8	2	1
9	1	0
10	1	1
11	0	1
12	1	0
Mean	0.5	0.5
Std.deviasi	0.6742	0.5222

Hipotesis statistik : $H_0 = \mu < 1$ dan $H_a = \mu = 1$

Dengan signifikansi 10%, maka $T_{\alpha, n-1} = T_{0,10,11} = 1.363$

$$T_{hitung} = \frac{0.5 - 0.5}{\frac{0.5222}{\sqrt{12}}} = 0$$

Dari perhitungan tersebut diperoleh kesimpulan $T_{hitung} < T_{tabel}$

Test of Homogeneity of Variances			
simulasi			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.357	1	9	.274

Gambar 4. 29 Tes Homogenitas Mesin Muratec

Signifikansi $0.274 > 0.05$, artinya data simulasi tidak ada perbedaan dengan data aktual

Uji Rata-rata dan Homogeneity Kerusakan Mesin PLC

Tabel 4. 27 Data Kerusakan Mesin PLC

Bulan	Data aktual	Data simulasi
1	0	0
2	1	0
3	1	0
4	0	1
5	0	0
6	0	0
7	0	1
8	1	1
9	0	0
10	1	0
11	0	1
12	0	0
<i>Mean</i>	0.333	0.333
<i>Std.deviasi</i>	0.49237	0.49237

Hipotesis statistik : $H_0 : \mu < 1$ dan $H_a : \mu = 1$

Dengan signifikansi 10%, maka $T_{\alpha, n-1} = T_{0,10,11} = 1.363$

$$T_{hitung} = \frac{0.333 - 0.333}{\frac{0.49237}{\sqrt{12}}} = 0$$

Dari perhitungan tersebut diperoleh kesimpulan $T_{hitung} < T_{tabel}$

Test of Homogeneity of Variances			
simulasi			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.769	1	10	.401

Gambar 4. 30 Tes Homogenitas Mesin PLC

Signifikansi $0.401 > 0.05$, artinya data simulasi tidak ada perbedaan dengan data aktual

Dengan proses pengujian data statistik menggunakan Uji Rata-rata (T) dan Uji Homogenitas diketahui model simulasi dinyatakan valid.

4.2.5. Desain Eksperimen

Dari hasil simulasi model awal, dapat diketahui *failure rate* dipengaruhi beberapa faktor antara lain *reliability* mesin, pelaksanaan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. Dari faktor-faktor tersebut, beberapa komponen dalam sub-sistem tersebut merupakan variabel yang signifikan berpengaruh pada meningkatnya terjadinya *failure rate* meningkat sampai batas *threshold*.

Pada *reliability* mesin, faktor yang mempengaruhi turunnya nilai *reliability* mesin adalah jam operasional, waktu produksi per unit, jumlah cacat dan jumlah produk yang harus diproduksi tiap hari. Dari faktor-faktor tersebut, kebijakan sistem produksi merupakan poin utamanya. *Plant* KL yang dimiliki PT. MAK merupakan *plant* hulu yang sistem produksinya berorientasi pada sistem *make-to-order*.

Namun untuk meminimasi kesalahan produksi dan beban produksi yang berat pada akhir tahun, maka bagian produksi melaksanakan sistem yang sedikit mengacu pada sistem *make-to-stock*. Hal tersebut terlihat pada gambar 4.19 sampai gambar 4.25 yang menunjukkan perilaku jadwal produksi pada tiap mesin dan perilaku *failure rate*-nya.

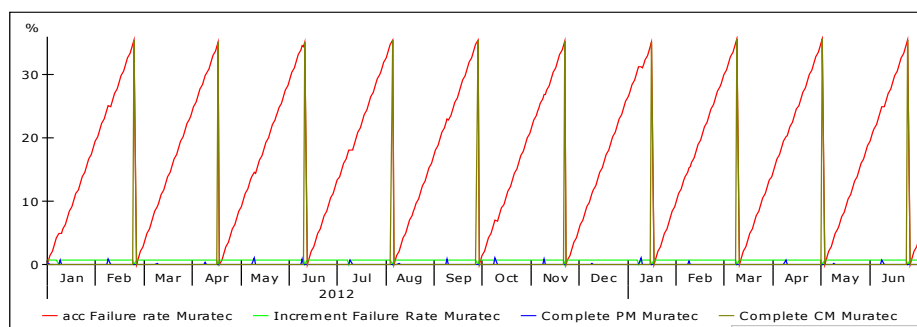
Dengan melakukan perubahan pada sistem produksi ke *make-to-stock*, maka perusahaan akan lebih bisa mengatur sistem produksinya yang akan merubah *failure rate* pada tiap mesin yang ada dalam *plant*. Misalkan melakukan peramalan dan membuat kondisi produksi merata tiap bulannya.

Tabel 4. 28 Tabel Input Variabel Data Produksi pada Model

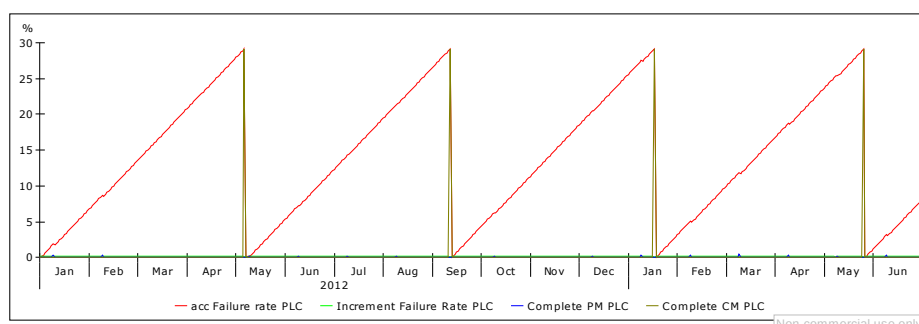
Mesin	Kondisi Awal	Eksperimen
Mesin Bolina	(GRAPH(MONTH(),0,1,CEIL({RANDOM(376,383),RANDOM(293,320),RANDOM(360,381),RANDOM(325,354),RANDOM(330,332),RANDOM(387,400),RANDOM(387,448),RANDOM(559,613),RANDOM(729,802),RANDOM(675,773),RANDOM(513,603),RANDOM(650,722)//MIN:232,MAX:802//})))*1<<produk/da>>)	303 <<produk/da>>
Mesin Muratec	(GRAPH(MONTH(),0,1,CEIL({RANDOM(2130,2210),RANDOM(1789,1820),RANDOM(1787,1886),RANDOM(1690,1701),RANDOM(1671,1884),RANDOM(1776,1879),RANDOM(1874,2319),RANDOM(1938,2247),RANDOM(2291,2370),RANDOM(2380,2493),RANDOM(2490,2520),RANDOM(2189,2507)//MIN:232,MAX:802//})))*1<<produk/da>>)	2090 <<produk/da>>
Mesin PLC	(GRAPH(MONTH(),0,1,CEIL({RANDOM(385,421),RANDOM(370,384),RANDOM(365,375),RANDOM(387,390),RANDOM(325,350),RANDOM(360,385),RANDOM(432,500),RANDOM(466,535),RANDOM(512,580),RANDOM(439,600),RANDOM(485,535),RANDOM(495,585)//MIN:232,MAX:802//})))*1<<produk/da>>)	281 <<produk/da>>



Gambar 4. 31 Failure Rate Desain Eksperimen Mesin Bolina



Gambar 4. 32 Failure Rate Desain Eksperimen Mesin Muratec



Gambar 4. 33 Failure Rate Desain Eksperimen Mesin PLC

BAB V

PEMBAHASAN

1.1. Analisa Hasil Simulasi Model Awal

Model awal simulasi dibangun dengan tujuan untuk menggambarkan perilaku *breakdown* dimana kondisi mesin dioperasikan dengan batasan limit nilai *threshold* yang telah diketahui sebelumnya. Dengan demikian pihak PT.MAK mampu mengetahui perilaku akan kejadian mesin *down* dan mampu menganalisa perilaku tersebut.

Perilaku yang terbentuk pada model awal merupakan bentukan dari representasi sistem pada struktur *maintenance* yang ada di PT. MAK. Struktur *maintenance* yang ada pada PT MAK tersusun dari beberapa aspek didalamnya, antara lain manajemen persediaan *part*, manajemen penjadwalan, manajemen SDM dan tidak ketinggalan pengaruh dari manajemen produksi. Pelaksanaan *maintenance* tidak dapat dilepaskan dari ketersediaan *sparepart* dan operator *maintenance* yang telah dijadwalkan. Dalam hal penjadwalan perusahaan (*preventive maintenance* dan *corrective maintenance*) tidak terlalu mengalami kendala, namun ketika proses produksi yang mengalami peningkatan pada akhir tahun. Mengakibatkan terjadinya peningkatan pada penggunaan mesin, mesin yang biasanya beroperasi normal bisa jadi harus ditambah jam kerjanya. Hal tersebut meningkatkan kemungkinan akan terjadinya *failure* pada akhir tahun (gambar 4.4, gambar 4.8 dan gambar 4.12).

Peningkatan ini terjadi karena jumlah produk yang harus diproduksi mesin meningkat, sehingga rentang pelaksanaan *maintenance* akibat kerusakan (MTBF) lebih pendek. Dari penuturan pihak *maintenance* perusahaan, pelaksanaan terkadang terkendala karena perlu menambah resource untuk mengantisipasinya. Pihak *maintenance* juga memerlukan gambaran dari kejadian *failure* untuk mendukung pengambilan kebijakan dalam perusahaan terutama *plant* KL.

Model awal simulasi yang telah berhasil dibuat dan telah melawati proses pengujian. Pembuatan model awal dibuat melalui asumsi-asumsi dan data yang diperoleh

dari sistem nyata. Dalam proses pengujian, pengujian yang dilakukan menggunakan dua macam uji, yaitu *test of model structure* dan *tests of model behavior*. *Test of model structure* atau uji struktur model dilakukan dengan cara *causal loop diagram structure test* dan *boundary adequacy test*. Kedua tes tersebut dilakukan dengan diskusi dan wawancara pihak *expert* dari PT.MAK *plant* KL dengan pihak pemodel, serta untuk meyakinkan bahwa model pada gambar 4.3, gambar 4.4, gambar 4.8 maupun gambar 4.12 sudah mampu merepresentasikan kondisi nyata.

Uji perilaku dijalankan melalui dua cara, yaitu melalui *extreme condition test* dan *behavior reproduction test*. *Extreme condition test* dilakukan dengan cara membuat sebuah scenario apabila terjadi suatu peristiwa ekstrim, yaitu tidak dijalankannya proses produksi. Artinya, jumlah produk yang diproduksi sama dengan 0 produk disetiap harinya. Ketika peristiwa ini terjadi, maka nilai *failure rate* tidak akan mengalami kenaikan, seperti yang tampak pada gambar 4.16, gambar 4.17 dan gambar 4.18. Dengan demikian peristiwa ini tidak ada alokasi *manhours* atau *part* yang digunakan untuk penanganan mesin, kecuali hanya muncul sesuai jadwal yang sebelumnya sudah dijalankan bagian *maintenance plant* KL. Berdasarkan pengujian ini ketiga mesin yang terpilih sudah bisa dikatakan valid.

Pada pengujian *behavior reproduction test*, model diuji dengan cara membandingkan perilaku model simulasi dengan perilaku berdasarkan data historis. Dengan data yang diuji adalah data laju produksi dan kejadian *breakdown* yang ditunjukkan pada tabel CM masing-masing mesin. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat dikatakan perilaku laju produksi model telah menyerupai perilaku laju produksi berdasarkan data historis seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.22, gambar 4.23, dan gambar 4.24. Dari uji tersebut dapat disimpulkan bahwa model memiliki perilaku yang menyerupai perilaku yang ada pada sistem nyata yang didasarkan pada data historis CM masing-masing mesin.

Dengan model yang telah berhasil dibuat dan telah melewati tahap validasi dan verifikasi maka model awal ini sudah mampu menjadi acuan gambaran bagi pihak PT. MAK untuk mengetahui perilaku sistem *maintenance* yang dijalankan. Hal ini berguna untuk menganalisa kebijakan lebih lanjut agar sistem terus mengalami *improvement* dari segi kualitas maupun kuantitas.

1.2. Analisa Hasil Model Eksperimen

Perubahan sistem produksi perusahaan yang menganut *make-to-order* berpengaruh pada keseimbangan beban kerja mesin. Dengan menggunakan sistem tersebut mesin akan bekerja lebih berat pada pertengahan hingga akhir tahun. Hal ini dikarenakan jumlah produksi yang harus dikerjakan mesin lebih banyak pada periode tersebut.

Dengan melakukan perubahan sistem produksi menjadi *make-to-stock* mesin akan bekerja lebih berimbang. Hal tersebut terlihat ketika jumlah produksi yang harus dihasilkan tiap mesin tiap hari memiliki jumlah yang rata-rata sama. Kebijakan ini menimbulkan perubahan signifikan terhadap perubahan perilaku *failure rate* pada tiap mesin, perilaku ini terlihat pada gambar 4.31, gambar 4.32, dan gambar 4.33

Dengan kebijakan perubahan produksi ini mengakibatkan perubahan nilai keandalan mesin produksi.

Tabel 4. 29 Perubahan Nilai Failure Rate

Mesin	Kondisi Awal	Hasil Eksperimen
Manual Shears Bolina	0,45% per hari	0,27% per hari
Pipe Laser Cutter	0,71% per hari	0,46% per hari
CNC Punch Muratec	1,28% per hari	1,28% per hari

Hal ini juga mempengaruhi perubahan pola dan jumlah terjadinya keadaan mesin *failure*, dengan perubahan jumlah *failure* mesin selama 30 bulan mengalami penurunan.

Tabel 4. 30 Perubahan Jumlah Kerusakan

Mesin	Kondisi Awal	Hasil Eksperimen
Manual Shears Bolina	16 Kerusakan	9 kerusakan
Pipe Laser Cutter	11 kerusakan	7 kerusakan
CNC Punch Muratec	17 kerusakan	16 kerusakan

Dengan hasil yang telah diperoleh maka kebijakan penanganan *maintenance* ini merupakan sebuah usulan atau kebijakan bersama dengan departemen produksi terkait dengan beban kerja mesin. Sehingga kebijakan yang ditetapkan bersama ini memperoleh efektivitas kerja bersama yang baik.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan

1. Struktur *maintenance* yang telah berjalan di PT. MAK tersusun dari manajemen penjadwalan, manajemen *sparepart*, dan manajemen *human resource*. Struktur *maintenance* yang ada saat ini berjalan sesuai kebijakan yang ada, baik jadwal *preventive maintenance* maupun *corrective maintenance*. Dari struktur saat ini menunjukkan perilaku *failure rate* yang tinggi di akhir tahun.
2. Dengan struktur tersebut, dibangun sebuah model untuk menunjukkan penyebab terjadinya perilaku *failure rate*. Maka diketahui *failure rate* yang diperoleh dari nilai penurunan *reliability* mesin dipengaruhi oleh laju produksi perusahaan. Dengan perubahan kebijakan melalui alternatif model dengan cara merubah angka produksi dengan angka rata-rata produksi yang mengakibatkan menurunnya nilai *failure rate* masing-masing (0,45% ; 0,71% ; 1,28%) perhari menjadi (0,28% ; 0,46% ; 1,28%) perhari. Selain itu jumlah kerusakan mengalami penurunan masing-masing (16 ; 11 ; 17) menjadi (9 ; 7 ; 16) dalam 30 bulan.

6.2. Saran

Saran yang direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Melakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan kebijakan yang berpengaruh pada manajemen produksi.
2. Melakukan analisis lebih mendalam terhadap manajemen sumber daya manusia maupun *inventory* untuk mendapatkan lingkungan sistem yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, B. S., Steven, E., Christian, H., & Sumanto, T. (2009). Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin B.Flute Pada PT AMW. *Inasea*, Vol 10 No. 2, 97-104.
- Barlas, Y. (2002). System Dynamics: Systemic Feedback Modeling For Policy Analysis. *Encyclopedia Of Life Support System*, 1131-1175.
- Bivona, E., & Montemaggiore, G. B. (2010). Understanding short- and long-term implications of "myopic" fleet maintenance policies: a system dynamics application to a city bus company. *System Dynamics Riview*, 195-215.
- Forrester, J. W., & Senge, P. M. (1980). Test For Buliding Confidence In System Dynamics Models. *TIMS Studies In The Management Sciences*, 209-228.
- Gopalakrishnan, P., & Banerji, A. K. (2013). *Maintenance and Spare Parts Management (Ninth Edition)*. New Delhi: Prentice Hall of India.
- Gu, L., & Chen, S. (2010). A System Dynamics Approach to Human Resource Management. *Management and Service Science (MASS), International Conference on*, 1-4.
- Harraldsson, H. V. (2000). *Introduction to system and causal loop diagrams. System Dynamic Course*. Sweden.: Lumes, Lund University.
- Hill, M. (2002). *Maintenance Engineering Handbook 6th*. New York: McGraw-Hill Professional Publishing.
- Maani, K. E., & Cavana, R. Y. (2011). *System Thinking And Modelling Understanding Change And Complexity*. New Zealand: Prentice Hall.
- Rasouli, M. (2010). *A Game-Theoritic Frame Work for Studying Dynamics of Multi Decision-maker Systems*. Tehran, Iran: Sharif University of Technology.
- Sachdeva, A., Kumar, D., & Kumar, P. (2009). Multi-factor Failure Mode Critically Analysis using TOPSIS. *Journal of Industrial Engineering International*, vol.5, 1-9.
- Sargent, R. G. (2013). *Verification and Validation of Simulation Models*. Syracuse, New York: Simulation Research Group, Syracuse University.

LAMPIRAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Fadhil Nur Fadhil

NIM : 10 522 223

Menyatakan bahwa pada tanggal 30 September 2014 telah menyerahkan model konseptual terkait penelitian yang dilakukan kepada pihak PT. MAK yang dipilih menjadi seorang ahli (expert) untuk melakukan validasi model yang dilakukan peneliti. Pihak dibawah ini yang memberi persetujuan bahwa model yang dibuat sesuai dan mampu merepresentasikan kondisi real.

Nama : Muhammad Syakir, S.T.

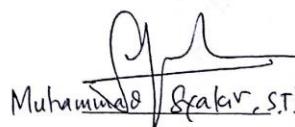
Jabatan : Maintenance Head

Pihak Peneliti



Fadhil Nur Fadhil

Pihak Ahli (Expert)



Muhammad Syakir, S.T.