



TUGAS AKHIR – TI 184833

**ANALISIS *AVAILABILITY* PADA MESIN KILN DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN PENJADWALAN *OVERHAUL*  
PERALATAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN FMEA DAN  
SIMULASI**

LULUK NUR FAIZAH

NRP. 02411640000068

**Dosen Pembimbing:**

Nurhadi Siswanto, ST, MSIE., Ph.D.

NIP. 197005231996011001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI**

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



TUGAS AKHIR – TI 184833

**ANALISIS *AVAILABILITY* PADA MESIN KILN DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN PENJADWALAN *OVERHAUL*  
PERALATAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN FMEA DAN  
SIMULASI**

LULUK NUR FAIZAH

NRP. 02411640000068

**Dosen Pembimbing :**

Nurhadi Siswanto, ST, MSIE., Ph.D.

NIP. 197005231996011001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI**

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongakan)*



FINAL PROJECT – TI 184833

**AVAILABILITY ANALYSIS ON KILN MACHINE BY  
CONSIDERING EQUIPMENT OVERHAUL SCHEDULING USING  
FMEA AND SIMULATION APPROACH**

LULUK NUR FAIZAH

NRP. 02411640000068

**Supervisor**

Nurhadi Siswanto, ST, MSIE., Ph.D.

NIP. 197005231996011001

**DEPARTEMENT OF INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERING**

Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# LEMBAR PENGESAHAN

## ANALISIS *AVAILABILITY* PADA MESIN KILN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN PENJADWALAN *OVERHAUL* PERALATAN MENGUNAKAN PENDEKATAN FMEA DAN SIMULASI

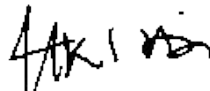
### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**LULUK NUR FAIZAH**  
**NRP 02411640000068**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir



**Nurhadi Siswanto, ST, MSIE., Ph.D.**  
NIP. 197005231996011001



**SURABAYA, AGUSTUS 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**ANALISIS *AVAILABILITY* PADA MESIN KILN DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN PENJADWALAN *OVERHAUL* PERALATAN  
MENGUNAKAN PENDEKATAN FMEA DAN SIMULASI**

Nama : Luluk Nur Faizah  
NRP : 02411640000068  
Pembimbing : Nurhadi Siswanto, ST., MSIE., Ph.D.

**ABSTRAK**

PT X merupakan perusahaan terbesar yang memproduksi semen di Indonesia. Mesin *Kiln* merupakan mesin utama dalam produksi semen yang harus dijaga keandalannya. Pada tahun 2018, terjadi 99 kali *unplanned downtime* pada mesin *Kiln*, yang mana total durasinya mencapai 1.293,7 jam. *Unplanned downtime* merupakan permasalahan yang harus diselesaikan atau dikurangi karena dapat mengakibatkan kerugian pada perusahaan, terutama terhadap *availability* produksi. Pada penelitian ini akan dibahas terkait *downtime* yang diakibatkan oleh faktor internal. *Downtime* yang terjadi karena faktor internal dapat dianalisis dengan menggunakan metode *reliability*, *availability* dan *maintainability* (RAM). *Availability* merupakan salah satu parameter dalam proses produksi yang dapat mempengaruhi *throughput* produksi. Untuk meningkatkan *availability* dapat dilakukan dengan melakukan penjadwalan *overhaul* peralatan yang optimal. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan analisis *availability* dengan mempertimbangkan penjadwalan *overhaul* peralatan untuk mesin *Kiln*. Selain itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis komponen kritis pada mesin *Kiln*. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu metode simulasi kejadian diskrit yang dapat mengakomodasi perilaku acak dan ketergantungan antar variabel. Dan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA) yang digunakan untuk mengetahui komponen kritis dari mesin *Kiln*. Dari penelitian ini diketahui terdapat 15 peralatan kritis yang menjadi penyebab kegagalan mesin *Kiln*. Berdasarkan hasil simulasi, ditunjukkan bahwa penjadwalan *overhaul* peralatan dapat meningkatkan *availability* dan *throughput* produksi. Pada kondisi saat ini, *availability* produksi 87% dan rata-rata *throughput* sebesar 2.504.360 ton, kedua parameter tersebut masih kurang dari target. Skenario penjadwalan *overhaul* dilakukan pada 23 peralatan. Skenario ini menghasilkan peningkatan *availability* menjadi 92,2% dan rata-rata *throughput* produksi mencapai 2.582.198 ton.

**Kata kunci : *Availability*, FMEA ,Komponen Kritis, Penjadwalan *Overhaul* Peralatan, Simulasi Kejadian Diskrit**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **AVAILABILITY ANALYSIS ON KILN MACHINE BY CONSIDERING EQUIPMENT OVERHAUL SCHEDULING USING FMEA AND SIMULATION APPROACH**

Name : Luluk Nur Faizah  
NRP : 02411640000068  
Supervisor : Nurhadi Siswanto, ST., MSIE., Ph.D.

## **ABSTRACT**

PT X is the largest company producing cement in Indonesia. Kiln machine is the main machine in cement production that should be maintained. In 2018, there was 99 times unplanned downtime in Kiln machine. The total duration of unplanned downtime reaches 1,293.7. Unplanned downtime is a problem that must be solved or reduced, because it can cause losses to the company, especially against the availability of production. This research will be discussed about downtime that caused by internal factors. Downtime that caused by internal factors can be analyzed using reliability, availability and maintainability (RAM) method. The availability is one parameter in the production process that can affect the throughput of the production. To improve the availability can be done by doing the optimal equipment overhaul scheduling. Based on the problem, the analysis of availability by considering scheduling of equipment overhaul for Kiln machine will be done in this research. In addition, on this research will be conducted analysis of critical components of the Kiln machine. The method used in this research is discrete event simulation because this method can accommodate random behavior and interdependence. And Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method used to know the critical components of the Kiln machine. From this research, there are 15 critical components that caused failure to Kiln machine. Based on simulated results, it is demonstrated that equipment overhaul scheduling can increase production availability and throughput. In the current conditions, the production availability is 87% and the average throughput is 2.504.360 tons, both parameters are still less than the target. The overhaul scheduling scenarios was experimented on 23 equipment. This scenario results increase the availability to 92,2% and the average throughput of the production reaches 2.582.198 tons.

**Keywords: Availability, FMEA, Critical Components, , Equipment Overhaul Scheduling, Discrete Event Simulation**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir yang dilakukan oleh penulis dengan judul ”Analisis *Availability* pada Mesin *Kiln* dengan Mempertimbangkan Penjadwalan *Overhaul* Peralatan Menggunakan Pendekatan FMEA dan Simulasi” dapat diselesaikan tepat waktu dan berjalan dengan lancar. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan program studi S1 dan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama pelaksanaan dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan, pengarahan, dan dukungan dari pihak-pihak terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih atas segala hal yang telah diberikan oleh pihak terkait dalam rangka terselesaikannya penelitian tugas akhir ini, kepada :

1. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS sekaligus dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran, bantuan, dukungan, serta nasihat selama penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Rohmana sebagai staf PT X yang telah membantu penulis dalam menyediakan data dan informasi yang dibutuhkan penulis dalam penyelesaian penelitian.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, M. Eng., Bapak Stefanus Eko Wiratno, S.T., M.T., Ibu Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng., Sc., Ph.D., dan Bapak Dr. Ir. Mokh. Suef, M.Sc(Eng). selaku dosen penguji selama seminar proposal dan sidang tugas akhir yang telah memberikan saran dan masukan untuk penelitian ini.
4. Kedua orang tua penulis, Ibu Suprapti dan Bapak Parso, serta saudara kandung penulis, Ahmad Farid Ardhani, yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta do'a demi kelancaran penulisan penelitian serta proses kuliah penulis.

5. Mahasiswa Departemen Teknik Sistem dan Industri angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan, bantuan dan motivasi bagi penulis selama masa perkuliahan.

Penulis berharap agar laporan penelitian tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dalam mengembangkan pengetahuan akademik. Penulis juga menyadari bahwa penelitian ini membutuhkan pengembangan lebih jauh. Oleh karena itu, kritik dan saran yang ada akan sangat dihargai oleh penulis.

Tuban, Juli 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	8
1.3 Tujuan .....	9
1.4 Manfaat .....	9
1.5 Batasan .....	9
1.6 Asumsi .....	10
1.7 Sistematika Penulisan .....	10
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	13
2.1 Keandalan .....	13
2.1.1 Reliability Block Diagram .....	13
2.1.2 Sistem Seri .....	14
2.1.3 Sistem Paralel .....	15
2.1.4 Sistem Campuran .....	17
2.2 <i>Availability</i> .....	18
2.3 <i>Analisis Reliability, Availability and Maintenance (RAM)</i> .....	19
2.4 FMEA .....	22
2.5 Sistem .....	23
2.5.1 Elemen Sistem .....	23
2.5.2 Variabel Sistem .....	24

2.5.3	Kompleksitas Sistem .....	25
2.6	Simulasi .....	25
2.6.1	Tipe Simulasi.....	26
2.6.2	Analisis Statistik Untuk Data Numerik .....	27
2.6.3	Verifikasi Model.....	28
2.6.4	Validasi Model Simulasi .....	29
2.6.5	Analisis Output Simulasi.....	29
2.6.6	Kekurangan dan Kelebihan Simulasi .....	31
2.7	Perawatan.....	32
2.8	Calendar Day .....	33
2.9	Penelitian Terdahulu .....	33
BAB 3 METODOLOGI .....		39
3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian.....	39
3.2	Penjelasan <i>Flowchart</i> Penelitian.....	40
3.2.1	Studi Sistem.....	40
3.2.2	Pengumpulan dan Pengolahan Data .....	43
3.2.3	Identifikasi Peralatan Kritis dengan FMEA .....	44
3.2.4	Pembuatan Ide Skenario .....	45
3.2.5	Pembuatan Model Konseptual.....	45
3.2.6	Validasi Model Konseptual .....	46
3.2.7	Model Simulasi.....	46
3.2.8	Perhitungan Jumlah Replikasi .....	46
3.2.9	Verifikasi dan Validasi Model Simulasi.....	47
3.2.10	Eksperimen .....	48
3.2.11	Analisis Output.....	48
3.2.12	Kesimpulan dan Saran .....	49



BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....	51
4.1 Pengumpulan Data .....	51
4.1.1 Data Struktural .....	51
4.1.2 Data Operasional.....	52
4.1.3 Data Numerik .....	54
4.2 PENGOLAHAN DATA.....	56
4.2.1 Fitting Distribusi Waktu antar Kegagalan dan Waktu Perbaikan ...	56
4.2.2 Data Durasi Overhaul.....	59
4.2.3 Pembuatan FMEA.....	59
BAB 5 PERANCANGAN MODEL SIMULASI .....	71
5.1 Model Konseptual .....	71
5.1.1 Sub-model Kegagalan .....	71
5.1.2 Sub-model Predictive Maintenance atau Overhaul.....	77
5.1.3 Sub-model Sistem Produksi .....	78
5.2 Verifikasi .....	79
5.2.1 Verifikasi Syntax Error .....	79
5.2.2 Verifikasi Semantic Error .....	79
5.3 Penentuan Jumlah Replikasi.....	80
5.4 Validasi.....	82
BAB 6 EKSPERIMENTASI DAN HASIL.....	85
6.1 Kondisi <i>Real System</i> .....	85
6.2 Perancangan Skenario .....	87
6.2.1 Skenario Pertama .....	91
6.2.2 Skenario Kedua .....	93
6.2.3 Skenario Ketiga.....	95
6.2.4 Skenario Keempat .....	96

6.2.5	Skenario Kelima .....	98
6.2.6	Skenario Keenam.....	100
6.2.7	Skenario Ketujuh .....	102
6.2.8	Skenario Kedelapan.....	103
6.2.9	Skenario Kesembilan.....	105
6.2.10	Skenario Kesepuluh .....	107
6.2.11	Skenario Kesebelas .....	109
6.2.12	Skenario Dua belas .....	110
6.3	Perbandingan Antar Skenario .....	112
6.4	Rekapitulasi Biaya Kebijakan Penjadwalan <i>Overhaul</i> .....	114
6.5	Analisis .....	118
6.3.1	Analisis Kondisi Saat Ini .....	118
6.3.2	Analisis Skenario.....	119
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN .....		125
7.1	Kesimpulan .....	125
7.2	Saran .....	126
DAFTAR PUSTAKA.....		127
LAMPIRAN .....		129
BIOGRAFI PENULIS.....		151

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu .....	34
Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini .....	35
Tabel 3. 1 Daftar <i>Equipment</i> pada Mesin <i>Kiln</i> .....	41
Tabel 3. 2 Variabel Sistem Simulasi .....	42
Tabel 3. 3 Data Penelitian .....	43
Tabel 4. 1 Daftar Peralatan dan Kode Peralatan .....	51
Tabel 4. 2 <i>Throughput</i> Produksi Tahun 2013-2019 .....	55
Tabel 4. 3 Data <i>Running Time</i> Tahun 2013-2019 .....	55
Tabel 4. 4 Laju Produksi Mesin Kiln .....	56
Tabel 4. 5 Hasil <i>Fitting</i> Distribusi Waktu antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan .....	57
Tabel 4. 6 Rekapitulasi <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> Pada Setiap Peralatan	60
Tabel 4. 7 Kriteria <i>Severity Effect</i> Terhadap <i>Performance</i> .....	66
Tabel 4. 8 Kriteria <i>Severity Effect</i> Terhadap <i>Availability</i> .....	66
Tabel 4. 9 Kriteria <i>Severity Effect</i> Terhadap <i>Output</i> .....	67
Tabel 4. 10 Kriteria <i>Occurance</i> .....	67
Tabel 4. 11 Kriteria <i>Detection</i> .....	67
Tabel 4. 12 Penilaian Risiko FMEA .....	68
Tabel 5. 1 Hasil <i>Running</i> Parameter <i>Calendar Day</i> .....	80
Tabel 5. 2 Hasil Uji Statistik <i>Student't</i> .....	82
Tabel 5. 3 Rangkuman hasil validasi .....	83
Tabel 6. 1 Kriteria Performansi Kondisi Saat Ini.....	85
Tabel 6. 2 Rekap Data <i>Availability</i> Setiap Peralatan Model Awal Replikasi 1-6.	86
Tabel 6. 3 Rekap Data <i>Availability</i> Setiap Peralatan Replikasi 7-8.....	86
Tabel 6. 4 Rekapitulasi kerusakan pada model awal .....	88
Tabel 6. 5 Kebijakan Penjadwalan <i>Overhaul 1</i> .....	89
Tabel 6. 6 Kebijakan Penjadwalan <i>Overhaul 2</i> .....	89
Tabel 6. 7 Hasil Eksperimen Skenario 1 .....	91
Tabel 6. 8 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 1.....	92
Tabel 6. 9 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 1 .....	92

Tabel 6. 10 Hasil Eksperimen Skenario 2 .....	93
Tabel 6. 11 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 2 .....	94
Tabel 6. 12 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 2 .....	94
Tabel 6. 13 Hasil Eksperimen Skenario 3 .....	95
Tabel 6. 14 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 3 .....	95
Tabel 6. 15 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 3 .....	96
Tabel 6. 16 Hasil Eksperimen Skenario 4 .....	97
Tabel 6. 17 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 4 .....	97
Tabel 6. 18 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 4 .....	98
Tabel 6. 19 Hasil Eksperimen Skenario 5 .....	98
Tabel 6. 20 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 5 .....	99
Tabel 6. 21 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 5 .....	99
Tabel 6. 22 Hasil Eksperimen Skenario 6 .....	100
Tabel 6. 23 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 6 .....	101
Tabel 6. 24 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 6 .....	101
Tabel 6. 25 Hasil Eksperimen Skenario 7 .....	102
Tabel 6. 26 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 7 .....	102
Tabel 6. 27 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 7 .....	103
Tabel 6. 28 Hasil Eksperimen Skenario 8 .....	104
Tabel 6. 29 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 8 .....	104
Tabel 6. 30 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 8 .....	104
Tabel 6. 31 Hasil Eksperimen Skenario 9 .....	105
Tabel 6. 32 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 9 .....	106
Tabel 6. 33 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 9 .....	106
Tabel 6. 34 Hasil Eksperimen Skenario 10 .....	107
Tabel 6. 35 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 10 .....	108
Tabel 6. 36 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 10 .....	108
Tabel 6. 37 Hasil Eksperimen Skenario 11 .....	109
Tabel 6. 38 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 11 .....	109
Tabel 6. 39 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 11 .....	110
Tabel 6. 40 Hasil Eksperimen Skenario 12 .....	111
Tabel 6. 41 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Calendar Day</i> Skenario 12 .....	111

Tabel 6. 42 Hasil Uji <i>Student't</i> pada <i>Availability</i> Skenario 12.....	111
Tabel 6. 43 Rangkuman Hasil Eksperimen.....	112
Tabel 6. 44 Rangkuman Perbandingan Skenario .....	113
Tabel 6. 45 Hasil ANOVA Perbandingan Antar Skenario .....	114
Tabel 6. 46 Rekapitulasi Biaya <i>Spare part</i> Kebijakan Penjadwalan 1 .....	114
Tabel 6. 47 Rekapitulasi Biaya <i>Spare part</i> Kebijakan Penjadwalan 2 .....	115
Tabel 6. 48 Biaya Tenaga Kerja.....	116
Tabel 6. 49 Perbandingan Biaya Kebijakan Penjadwalan 1 dan Penjadwalan 2	116
Tabel 6. 50 Pendapatan dari Masing-masing Skenario.....	117
Tabel 6. 51 Profit Masing-masing Skenario .....	117
Tabel 6. 52 Selisih Profit Skenario 4 dan Skenario 11 .....	122

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data <i>Demand</i> Semen di Indonesia .....	1
Gambar 1. 2 Kondisi Industri Semen Nasional.....	2
Gambar 1. 3 Grafik Target dan Realisasi Produksi Semen Tahun 2018 .....	4
Gambar 1. 4 Persentase <i>Shutdown</i> Mesin <i>Kiln</i> Tahun 2018 .....	5
Gambar 1. 5 Grafik Durasi <i>Unplanned Shutdown</i> Mesin <i>Kiln</i> Tahun 2018 .....	5
Gambar 1. 6 Grafik Frekuensi <i>Unplanned Shutdown</i> Mesin <i>Kiln</i> Tahun 2018.....	6
Gambar 2. 1 Contoh <i>Reliability Block Diagram</i> Sistem <i>Tomography</i> Komputer .	13
Gambar 2. 2 Contoh <i>Reliability Block Diagram</i> Sistem Paralel.....	16
Gambar 2. 3 Contoh <i>Reliability Block Diagram</i> Sistem Campuran .....	17
Gambar 2. 4 Metodologi Simulasi RAM.....	21
Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian .....	39
Gambar 3. 2 <i>Reliability Block Diagram</i> Mesin <i>Kiln</i> .....	46
Gambar 4. 6 Hasil <i>Fitting</i> Distribusi Menggunakan <i>Input Analyzer</i> .....	57
Gambar 5. 1 <i>Reliability Block Diagram</i> Mesin <i>Kiln</i> .....	71
Gambar 5. 2 <i>Flow Diagram</i> Model Kegagalan.....	73
Gambar 5. 3 Contoh Sub-sistem Seri.....	74
Gambar 5. 4 <i>Flow Diagram</i> Sistem Seri.....	74
Gambar 5. 5 Contoh Sub-sistem Paralel .....	75
Gambar 5. 6 <i>Flow Diagram</i> Sistem Paralel .....	76
Gambar 5. 7 <i>Flow Diagram Sub-Model Overhaul</i> .....	77
Gambar 5. 8 <i>Flow Diagram</i> Proses Produksi .....	78
Gambar 5. 9 Verifikasi <i>Syntax Error</i> .....	79
Gambar 6. 1 Hasil <i>Availability</i> Kebijakan Penjadwalan 1 .....	120
Gambar 6. 2 Hasil <i>Availability</i> Kebijakan Penjadwalan 2.....	121
Gambar 6. 3 Perbandingan <i>Availability</i> Seluruh Skenario.....	122

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*



# BAB 1

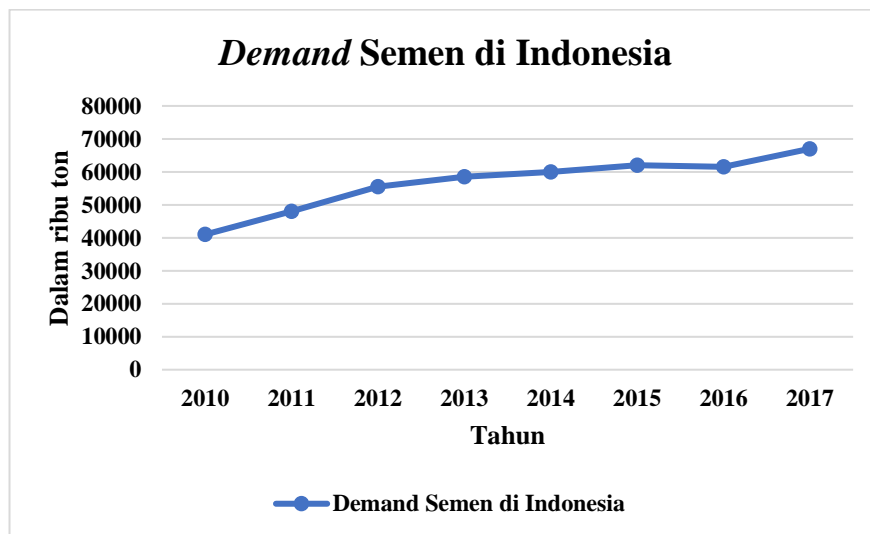
## PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan penelitian, asumsi penelitian dan sistematika penulisan yang akan digunakan dalam penelitian ini.

### 1.1 Latar Belakang

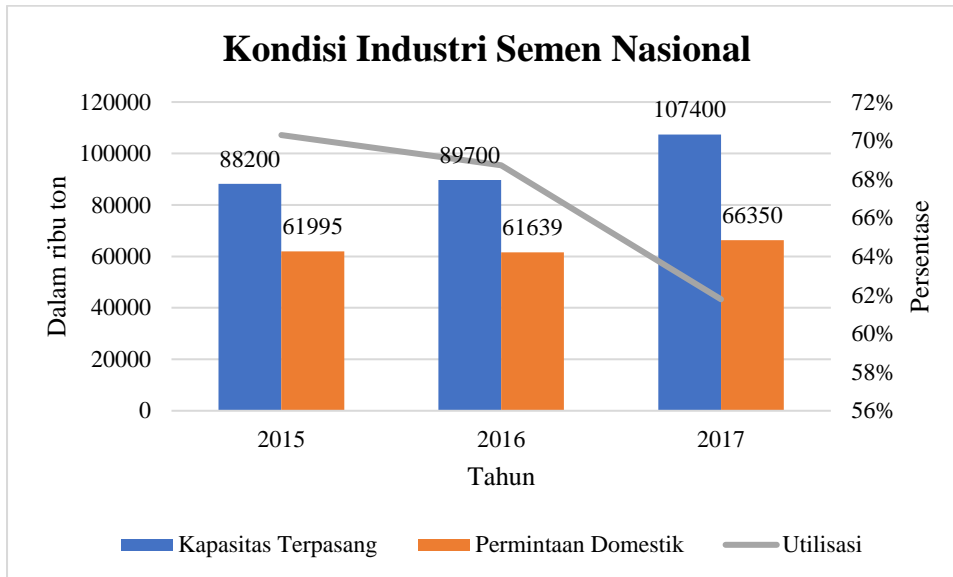
Berdasarkan rencana induk pengembangan industri nasional (RIPIN) tahun 2015 hingga tahun 2035, terdapat sepuluh industri prioritas yang dikelompokkan ke dalam industri andalan, industri pendukung dan industri hulu. Dalam hal ini, industri semen termasuk dalam kategori industri hulu agro dengan jenis industri bahan galian non logam. Industri prioritas ini dipilih dengan beberapa kriteria di antaranya yaitu, 1) untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan substitusi impor, 2) untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas penyerapan tenaga kerja, 3) agar memiliki daya saing internasional, dan 4) agar memiliki nilai tambah yang tumbuh progresif dalam negeri.

Berdasarkan data dari Asosiasi Semen Indonesia (ASI) tahun 2018, permintaan semen di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun mulai dari tahun 2010 hingga tahun 2017. Berikut merupakan grafik permintaan semen di Indonesia.



Gambar 1. 1 Data *Demand* Semen di Indonesia  
(Sumber : Asosiasi Semen Indonesia, 2018)

Berdasarkan Gambar 1.1 ditunjukkan bahwa terjadi peningkatan permintaan semen di Indonesia yaitu sebesar 7,6% secara tahunan pada tahun 2017. Namun jumlah permintaan semen ini tidak sebanding dengan kapasitas terpasang pabrik semen di seluruh Indonesia. Berikut merupakan grafik kondisi industri semen nasional.



Gambar 1. 2 Kondisi Industri Semen Nasional  
(Sumber : PT Semen Indonesia Tbk , 2018)

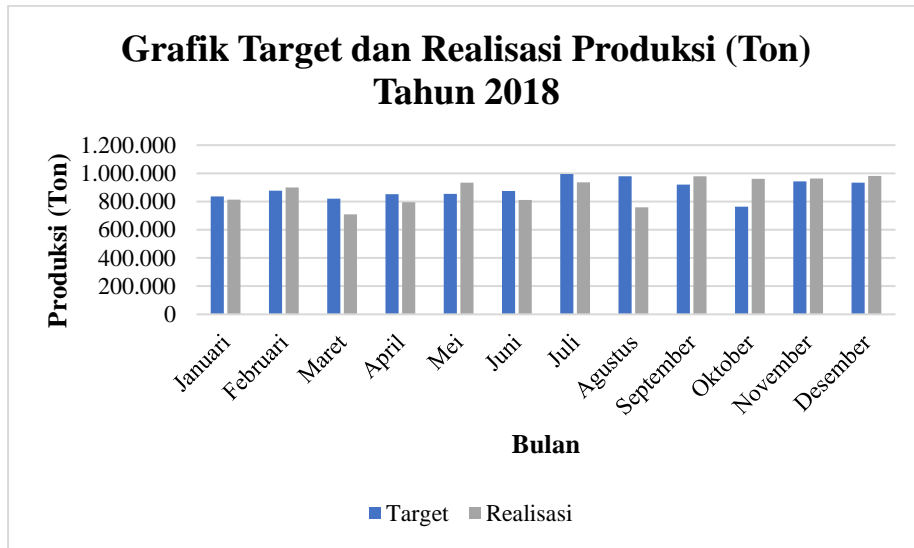
Peningkatan kapasitas terpasang ini terjadi karena adanya industri semen baru yang didirikan di Indonesia. Kapasitas terpasang produksi semen saat ini yaitu sebesar 107.400.000 ton dan total permintaan sebesar 66.349.944 ton. Dari perbandingan kapasitas terpasang dan total permintaan tersebut menunjukkan bahwa ada persaingan ketat di antara industri semen yang ada. Sehingga perusahaan semen harus memiliki strategi yang baik untuk bersaing di pasar.

PT X merupakan salah satu perusahaan semen yang berdiri sejak 1957. Pada tanggal 7 Januari 2013 PT X bertransformasi menjadi *strategic holding company* yang menaungi beberapa perusahaan semen di Indonesia. PT X merupakan perusahaan penghasil semen terbesar di Indonesia dan Asia Tenggara dengan kapasitas produksi mencapai 53 juta ton per tahun. Untuk dapat bersaing dengan perusahaan lain yang menyuplai semen di Indonesia, maka PT X harus memiliki beberapa kriteria produk yang diminati oleh konsumen di antaranya yaitu kualitas, harga, dan ketersediaan produk di pasar. Untuk meningkatkan keuntungan yang diperoleh oleh perusahaan pada kondisi persaingan yang ketat, peningkatan harga produk bukan solusi yang terbaik karena terdapat industri semen yang melakukan

strategi *predatory pricing*. Untuk mendapatkan harga yang terjangkau dan kualitas tetap baik maka perusahaan harus dapat memproduksi dalam kapasitas besar agar harga dapat turun dan melakukan ekspor. Faktor lain yang mempengaruhi minat konsumen akan suatu produk yaitu jumlah ketersediaan produk semen yang ada di pasar. Namun faktor tersebut tidak akan didapatkan jika perusahaan tidak dapat mencapai target produksi yang telah direncanakan.

Dalam memproduksi semen terdapat beberapa mesin utama yang diperlukan di antaranya yaitu mesin *Raw Mill*, mesin *Rotary Kiln*, mesin *Finish Mill*, dan mesin *Packer*. Dari sejumlah mesin yang ada mesin *Rotary Kiln* atau mesin *Kiln* merupakan mesin utama dalam proses produksi semen. Mesin *Kiln* merupakan mesin yang digunakan untuk membakar material yang sudah digiling halus oleh mesin *Raw Mill* dan mengubahnya menjadi *clinker*. Sebelum material masuk ke area mesin *Kiln*, material yang berada di silo akan dipanaskan terlebih dahulu di *Pre Heater* dengan suhu mencapai 400° C, setelah itu material akan memasuki mesin *Kiln* yang bersuhu 1400° C. Material yang masuk di area *Kiln* akan berubah menjadi lava yang kemudian akan didinginkan dan digiling kembali sehingga didapatkan produk berupa *clinker*. *Clinker* inilah yang menjadi bahan baku dasar dari semen. Dikarenakan suhu yang tinggi yang ada di mesin *Kiln*, membuat mesin ini memiliki risiko tinggi untuk mengalami kerusakan. Mesin *Kiln* yang ada di PT X beroperasi selama 24 jam dalam sehari. Biaya yang diperlukan untuk menghentikan mesin sangat besar, sehingga mesin harus memiliki keandalan yang tinggi untuk dapat beroperasi.

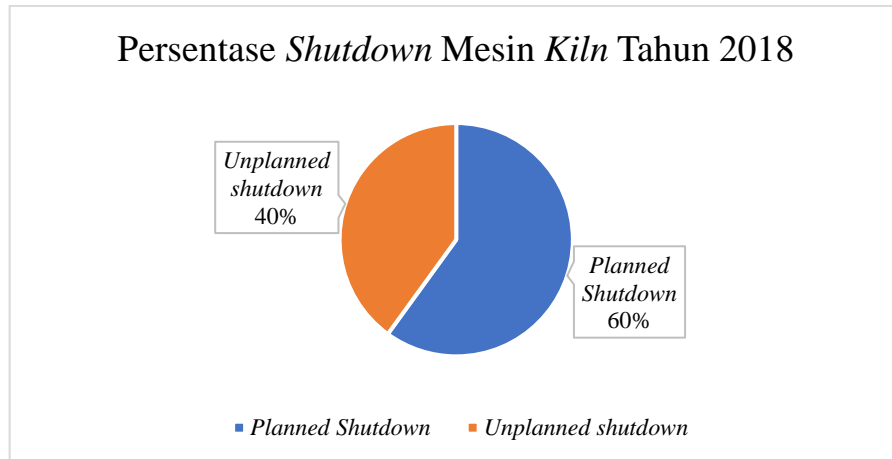
PT X yang berada di Kabupaten Tuban memiliki empat pabrik di antaranya yaitu *Plant I*, *Plant II*, *Plant III* dan *Plant IV*. Masing-masing pabrik memiliki kapasitas terpasang yang berbeda. Untuk *Plant I*, *Plant II* dan *Plant III* masing-masing dapat menghasilkan sejumlah 7.670 *Tons Per Day* (TPD) semen dan untuk *Plant IV* dapat menghasilkan sejumlah 8.183 TPD semen. Pada Gambar 1.2 akan ditampilkan grafik target dan realisasi produksi semen di PT X pada tahun 2018.



Gambar 1. 3 Grafik Target dan Realisasi Produksi Semen Tahun 2018  
(Sumber : Data PT X Tahun 2018)

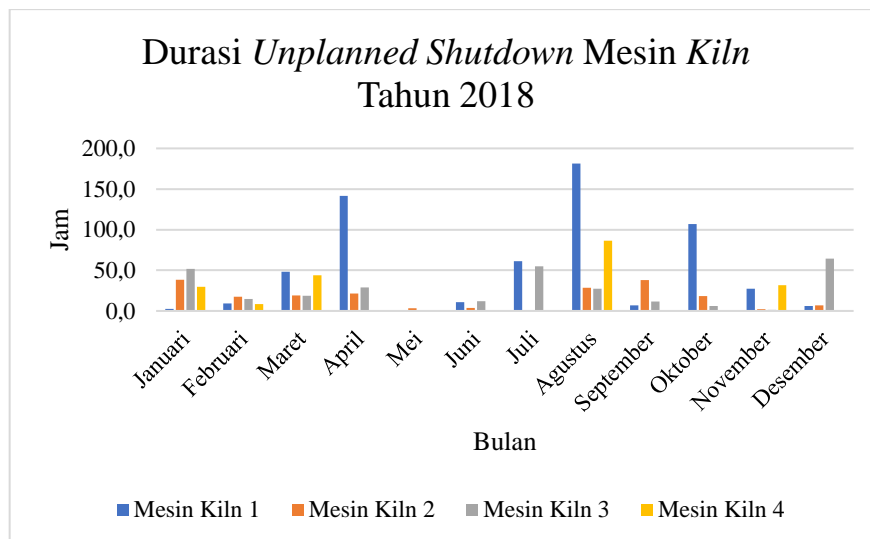
Berdasarkan Gambar 1.2 terdapat perbedaan ketercapaian antara target dan realisasi produksi setiap bulannya. Jumlah target produksi semen pada tahun 2018 adalah 10.655.200 Ton sedangkan realisasi produksi pada tahun 2018 adalah sejumlah 10.545.637 Ton. Produksi yang tidak mencapai target tersebut dapat dipengaruhi oleh ketersediaan waktu produksi yang ada.

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi ketersediaan waktu produksi adalah adanya *shutdown* mesin yang dilakukan karena adanya kerusakan pada mesin atau karena hal-hal tertentu. *Shutdown* pada mesin dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu, *planned shutdown* dan *unplanned shutdown*. *Planned shutdown* biasanya dilakukan jika ada aktivitas *maintenance* rutin yang sudah direncanakan. Kegiatan *planned shutdown* ini dikehendaki oleh perusahaan, dan selalu dilakukan setiap tahun dengan waktu yang telah ditentukan. Sedangkan *unplanned shutdown* bisa terjadi karena adanya kerusakan pada mesin sehingga mesin tidak dapat beroperasi. *Unplanned shutdown* ini sangat dihindari oleh perusahaan karena dapat mengakibatkan kerugian. Pada Gambar 1.3 akan ditampilkan grafik persentase *shutdown* pada mesin *Kiln* di PT X tahun 2018.



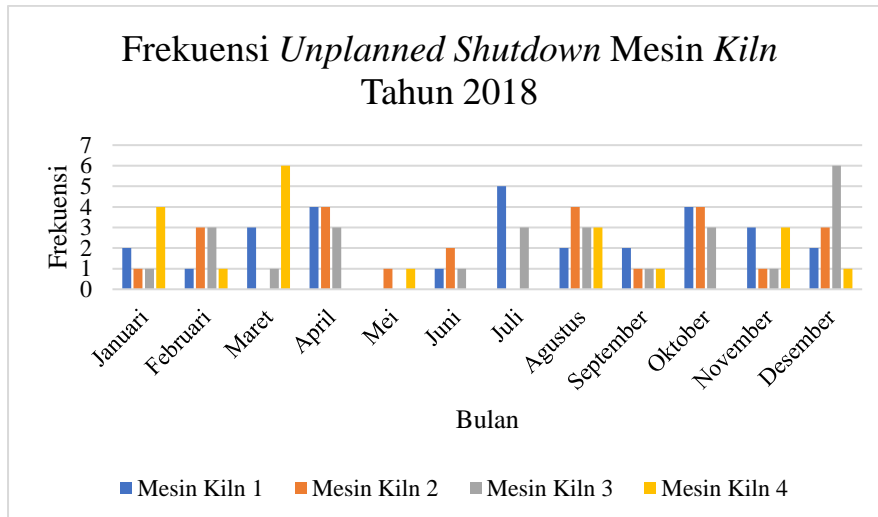
Gambar 1. 4 Persentase *Shutdown* Mesin *Kiln* Tahun 2018  
(Sumber : Data PT X Tahun 2018)

Berdasarkan Gambar 1.3 dapat diketahui bahwa dari sejumlah *shutdown* yang ada, 40% merupakan *unplanned shutdown* dan 60% berupa *planned shutdown*. Dan untuk durasi *unplanned shutdown* dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1. 5 Grafik Durasi *Unplanned Shutdown* Mesin *Kiln* Tahun 2018  
(Sumber : Data PT X Tahun 2018)

Dan dari Gambar 1.4 diketahui bahwa hampir semua mesin *Kiln* mengalami *unplanned shutdown* setiap bulannya dengan durasi yang berbeda-beda. Durasi *unplanned shutdown* yang ada tidak selalu berbanding lurus dengan frekuensi *shutdown*. Pada Gambar 1.5 akan ditampilkan frekuensi *unplanned shutdown* yang terjadi.



Gambar 1. 6 Grafik Frekuensi *Unplanned Shutdown* Mesin Kiln Tahun 2018 (Sumber : Data PT X Tahun 2018)

Berdasarkan Gambar 1.5 ditampilkan frekuensi *unplanned shutdown* dari mesin Kiln. Dari Gambar 1.4 dan Gambar 1.5 diketahui frekuensi dan durasi *unplanned shutdown* tidak selalu berbanding lurus. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 1.4 dan Gambar 1.5 bahwa durasi untuk *unplanned shutdown* pada bulan Agustus untuk mesin Kiln satu merupakan yang tertinggi namun pada bulan tersebut mesin Kiln 1 hanya mengalami dua kerusakan. Hal ini berarti terdapat perbedaan penyebab dari kerusakan itu sendiri. Jika permasalahan *unplanned shutdown* ini terus terjadi, maka dapat menjadi permasalahan yang berkelanjutan dikarenakan mesin Kiln merupakan mesin utama dalam produksi semen, sehingga jika mesin Kiln mengalami *breakdown* akan berpengaruh terhadap keseluruhan sistem produksi semen yang ada. Faktor terjadinya *breakdown* dapat dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Pada penelitian ini akan berfokus pada faktor internal yang dapat dikontrol oleh perusahaan.

Faktor terjadinya *breakdown* oleh faktor internal dapat dikendalikan dengan mengevaluasi *reliability*, *availability*, dan *maintainability* (RAM) untuk meningkatkan *availability* mesin. Analisis RAM ini dapat menghasilkan peningkatan *throughput*, peningkatan *availability* aset dan penghematan biaya (Alrabghi, Tiwari, & Savill, 2017). Kenaikan *availability* mesin akan berdampak pada produksi yang lebih banyak, sehingga dapat menambah profit perusahaan. Analisis RAM merupakan salah satu pendekatan dalam teknik keandalan yang berbasis simulasi. Dalam melakukan analisis RAM terdapat *key performance*

*indicator* (KPI) yang dihasilkan yaitu *availability* dengan menggunakan parameter berupa *mean time to failure* (MTTF) dan *mean time to repair* (MTTR) (Faulin, Juan, Martorell, & Ramirez-Marquez, 2010).

Permasalahan terkait *availability* merupakan masalah kompleks karena memiliki sifat ketidakpastian dan interdependensi antar variabel (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Permasalahan yang kompleks ini dapat diakibatkan oleh adanya ketidakpastian jadwal produksi, kebijakan inventori *spare part*, MTTF, MTTR maupun kondisi lain (Alrabghi, Tiwari, & Savill, 2017). Menurut Faulin tahun 2010, terdapat dua pendekatan dalam analisis RAM, yaitu pendekatan analitis dan pendekatan simulasi. Pendekatan analitis dapat dilakukan dengan merepresentasikan sistem dengan model matematis. Pendekatan ini menggunakan parameter rata-rata, sehingga jika pendekatan analitis ini diterapkan pada sistem yang memiliki perilaku acak akan menghasilkan banyak asumsi. Sedangkan metode yang kedua yaitu dengan pendekatan simulasi. Pendekatan simulasi yaitu pendekatan yang mampu mengakomodasi pola perilaku acak yang terjadi pada jumlah kegagalan, waktu kegagalan dan waktu perbaikan (Faulin, Juan, Martorell, & Ramirez-Marquez, 2010). Pendekatan ini akan menghasilkan lebih sedikit asumsi dibandingkan dengan pendekatan analitis. Sehingga pada penelitian ini akan digunakan pendekatan simulasi yaitu dengan menggunakan *discrete event simulation* (DES). DES telah diterapkan ke berbagai bidang aplikasi karena kemampuannya untuk mewakili sistem stokastik dari waktu ke waktu (Alabdulkarim, Ball, & Tiwari, 2011). Salah bidang aplikasi penerapan DES yaitu pada bidang pemeliharaan.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis RAM untuk peningkatan *availability* pada mesin *Kiln* dengan menggunakan DES. Metode DES ini dilakukan untuk mengakomodasi perilaku stokastik dari sistem yaitu kedatangan kegagalan dari sistem dan perilaku saling ketergantungan dari sistem seri-paralel pada sub-sistem mesin *Kiln*. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi skenario penjadwalan *overhaul* peralatan pada beberapa peralatan yang ada di mesin *Kiln*. Skenario penjadwalan *overhaul* peralatan ini dipilih karena pada mesin *Kiln*, kegiatan *overhaul* merupakan kegiatan *maintenance* rutin yang dikehendaki oleh perusahaan. Hal ini terjadi karena biaya pemberhentian mesin akan lebih besar

dibandingkan dengan biaya produksi jika *maintenance* dilakukan pada saat-saat tertentu. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan formulasi skenario penjadwalan *overhaul* pada peralatan yang ada di mesin *Kiln*. Dari skenario yang dilakukan akan dipilih kebijakan penjadwalan *overhaul* yang paling optimal dengan konsekuensi umur aset akan menjadi lebih pendek karena mengikuti pola *overhaul* dari mesin. Selain berpengaruh pada *availability*, berhentinya mesin *Kiln* juga dapat menimbulkan risiko tinggi pada produksi semen secara keseluruhan. Hal tersebut dikarenakan mesin *Kiln* merupakan mesin utama dalam produksi semen, sehingga diperlukan analisis risiko.

Risiko dapat didefinisikan sebagai ketidakpastian yang menyebabkan distribusi dengan berbagai hasil dengan berbagai kemungkinan. Risiko juga dapat didefinisikan sebagai kerugian yang diakibatkan oleh suatu kejadian yang dapat menghambat ketercapaian tujuan perusahaan (Monahan, 2008). Melihat permasalahan yang ada, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi peralatan kritis yang ada pada mesin *Kiln* yang memiliki risiko tinggi, khususnya pada sistem keandalan mesin *Kiln*. Tahap identifikasi peralatan kritis dilakukan dengan melihat peralatan yang paling sering rusak dan memiliki pengaruh besar terhadap sistem berdasarkan hasil wawancara dan data historis. Evaluasi risiko akan dilakukan dengan menggunakan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA), kemudian akan dilakukan pemetaan risiko agar diketahui risiko yang paling berpengaruh. FMEA adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah masalah pada produk dan proses sebelum terjadi (McDermott, Mikulak, & Beauregard, 2009).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan pada sub-bab 1.1, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana melakukan identifikasi peralatan kritis yang memiliki risiko tinggi pada mesin *Kiln* berdasarkan distribusi kerusakan mesin dan penentuan kebijakan penjadwalan *overhaul* peralatan pada mesin *Kiln* di PT X untuk mengoptimalkan *availability* dan *throughput* produksi dengan menggunakan pendekatan FMEA dan simulasi.



### **1.3 Tujuan**

Tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi peralatan kritis yang memiliki risiko tinggi dalam sistem keandalan mesin *Kiln*.
2. Mengidentifikasi *availability* dan rata-rata *throughput* produksi *clinker* PT X pada kondisi saat ini dan kondisi perbaikan.
3. Memformulasikan kebijakan penjadwalan *overhaul* peralatan untuk mengoptimalkan *availability* mesin.

### **1.4 Manfaat**

Manfaat yang ingin didapatkan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menjadi informasi tambahan bagi PT X untuk mengetahui peralatan kritis dan memprioritaskan risiko yang ada pada mesin *Kiln*.
2. Menjadi informasi tambahan bagi PT X dalam mengidentifikasi risiko penyebab kegagalan peralatan pada mesin *Kiln*.
3. Menjadi dasar perbaikan bagi PT X untuk menentukan kebijakan penjadwalan *overhaul* peralatan pada mesin *Kiln*.

### **1.5 Batasan**

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di PT X yang merupakan perusahaan semen yang ada di daerah Tuban.
2. Sistem amatan pada penelitian ini merupakan sistem keandalan salah satu mesin *Kiln* di PT X yaitu pada *plant 2*.
3. Pada penelitian ini tidak mempertimbangkan biaya terkait *maintenance* secara mendetail.
4. Pada penelitian ini tidak dilakukan skenario perubahan atau penambahan mesin.
5. Peralatan kritis yang akan diteliti untuk dilakukan skenario penjadwalan *overhaul* yaitu sejumlah 23 peralatan.

6. Rekomendasi yang dilakukan untuk formulasi kebijakan penjadwalan *overhaul* hanya sampai pada *reliability block diagram* level dua atau sub-sistem.
7. Analisis *reliability, availability* dan *maintainability* (RAM) yang dilakukan hanya berfokus pada *availability* yang menjadi *key performance indikator* pada penelitian.

## **1.6 Asumsi**

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tidak ada perubahan aturan operasional pada sistem keandalan selama rentang waktu penelitian.
2. Tenaga kerja yang bertugas untuk melakukan proses perbaikan peralatan diasumsikan selalu ada.
3. *Spare part* untuk proses *maintenance* tersedia saat *overhaul* dilakukan.
4. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data historis sehingga diasumsikan merefleksikan keadaan perusahaan dalam kondisi normal.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai sistematika penelitian yang digunakan pada penelitian ini.

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada Bab 1 akan dijelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan permasalahan penelitian yang akan diselesaikan, tujuan penelitian yang akan dicapai, batasan dan asumsi yang digunakan pada penelitian dan sistematika penelitian yang menjelaskan isi dari penelitian ini.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada Bab 2 akan dijelaskan mengenai landasan teori yang digunakan pada penelitian ini. Teori ini akan digunakan penulis untuk menjelaskan secara detail mengenai konsep yang akan digunakan dalam penelitian ini dan sebagai dasar dalam menyelesaikan permasalahan yang ada. Teori yang digunakan dalam tinjauan pustaka didapatkan dari buku, penelitian sebelumnya, *paper* dan jurnal penelitian.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Pada Bab 3 akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian dari awal hingga akhir. Metodologi penelitian ini menggambarkan alur pelaksanaan penelitian dan kerangka berpikir yang digunakan peneliti selama pelaksanaan penelitian.

### **BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada Bab 4 akan dijelaskan mengenai data yang dikumpulkan berdasarkan penelitian yang dilakukan. Data yang didapatkan berupa data primer dan data sekunder. Seluruh data yang didapatkan akan dijadikan *input* dalam penelitian dan akan diproses menggunakan metode serta pendekatan penelitian yang sesuai untuk menghasilkan solusi dari permasalahan yang ada.

### **BAB 5 PERANCANGAN MODEL SIMULASI**

Pada Bab 5 akan dijelaskan mengenai pembuatan model konseptual dan model simulasi dengan model simulasi diskrit. Kemudian model tersebut akan divalidasi dan diverifikasi agar dapat merepresentasikan sistem nyata.

### **BAB 6 EKSPERIMENTASI DAN HASIL**

Pada Bab 6 akan dilakukan dibahas mengenai hasil eksperimen terhadap model simulasi yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Eksperimen dilakukan berdasarkan skenario yang telah dibuat sebelumnya. Kemudian akan dilakukan analisis *output* untuk menentukan skenario terbaik.

### **BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada Bab 7 akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengolahan data sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, dan saran yang direkomendasikan untuk objek amatan dan penelitian selanjutnya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar dalam pengerjaan penelitian ini.

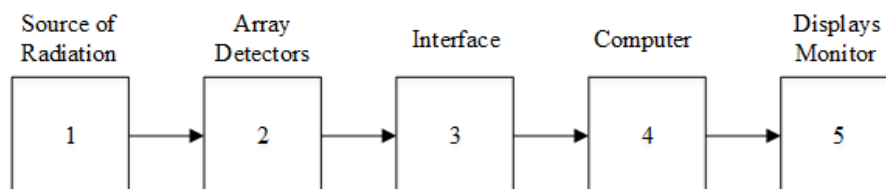
#### 2.1 Keandalan

Keandalan adalah probabilitas sebuah produk akan beroperasi atau jasa akan tersedia dengan baik selama periode waktu tertentu dalam kondisi operasi yang telah didesain tanpa mengalami kegagalan (Elsayed, 2012). Sehingga keandalan dapat digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan suatu sistem dalam menyediakan fungsinya dengan baik selama masa desainnya.

Suatu sistem atau produk didefinisikan sebagai kumpulan komponen yang disusun sesuai desain tertentu untuk mencapai fungsi yang diinginkan dengan kinerja dan ukuran keandalan yang dapat diterima (Elsayed, 2012). Keandalan suatu sistem dapat bergantung pada tipe komponen yang digunakan, kualitas komponen dan desain konfigurasi sistemnya. Oleh karena itu keandalan suatu sistem perlu dievaluasi seiring dengan perubahan sistem tersebut. Berikut merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem.

##### 2.1.1 Reliability Block Diagram

Langkah pertama yang dapat digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem adalah dengan membuat *reliability block diagram* (RBD). RBD adalah representasi grafis dari komponen sebuah sistem dan bagaimana komponen tersebut terhubung satu dengan yang lain (Elsayed, 2012). Gambar 2.1 menunjukkan contoh *reliability block diagram* pada sistem *tomography* komputer.



Gambar 2. 1 Contoh *Reliability Block Diagram* Sistem *Tomography* Komputer (Elsayed, 2012)

### 2.1.2 Sistem Seri

Sistem seri terdiri dari  $n$  komponen atau sub-sistem yang terhubung dalam satu seri. Kegagalan pada satu komponen akan mengakibatkan kegagalan dari seluruh sistem. Suatu sistem atau sub-sistem dapat dianalisis pada tingkat yang berbeda hingga tingkat komponen. Contohnya pada sistem seri yang ada pada sistem mobil memiliki beberapa sub-sistem, di antaranya yaitu sub-sistem bahan bakar, sub-sistem kemudi dan sub-sistem rem. Kegagalan pada satu sub-sistem dapat mengakibatkan mobil tidak dapat berjalan. Namun pada sub-sistem mobil misalnya juga terdapat komponen yang saling terhubung membentuk sistem seri. Contohnya sub-sistem rem yang terdiri dari beberapa komponen atau sub-sistem lagi yaitu rem depan, rem belakang dan rem darurat.

Untuk menentukan keandalan sistem seri, diperlukan probabilitas kesuksesan pada setiap komponen dalam sistem (Elsayed, 2012). Keandalan sistem seri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R = P(x_1 x_2 \dots x_n) \quad (2.1)$$

atau

$$R = P(x_1)P(x_2|x_1)P(x_3|x_2x_1) \dots P(x_n|x_1x_2x_3 \dots x_{n-1}) \quad (2.2)$$

dimana :

$R$  : keandalan sistem

$P(x_i)$  : probabilitas keandalan sub-sistem  $i$

$P(x_{i+1}|x_i)$  : probabilitas keandalan sub-sistem  $i$  apabila  $i + 1$  diketahui

$n$  : jumlah sub-sistem

Persamaan di atas merupakan probabilitas kondisional ketika kegagalan suatu mesin akan berdampak kepada mesin atau komponen yang lain. Sedangkan ketika kegagalan komponen merupakan kejadian yang independen, maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$R = P(x_1)P(x_2) \dots P(x_n) \quad (2.3)$$

atau

(2.4)

$$R = \prod_{i=1}^n P(x_i)$$

dimana

$R$  : keandalan sistem

$P(x_i)$  : probabilitas keandalan sub-sistem  $i$

$n$  : jumlah sub-sistem

Keandalan sistem dapat ditentukan dengan menghitung probabilitas kegagalan sistem dan mengurangnya dari kesatuan. Sistem gagal jika ada komponen yang gagal. Dapat dilihat dari persamaan berikut.

$$P_f = [P(\bar{x}_1) + P(\bar{x}_2) + \dots + P(\bar{x}_n)] - [P(\bar{x}_1\bar{x}_2) + P(\bar{x}_2\bar{x}_3) + \dots] + \dots + [-1]^{n-1}P(\bar{x}_1\bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \quad (2.5)$$

Sehingga keandalan sistem adalah

$$R = 1 - P_f \quad (2.6)$$

dimana

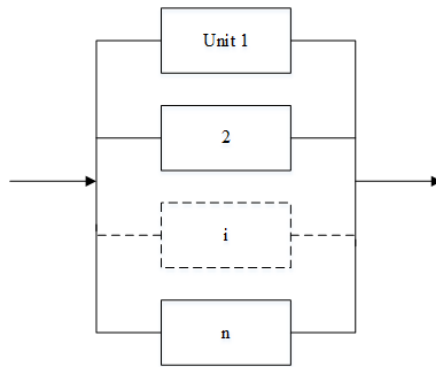
$R$  : keandalan sistem

$P_f$  : probabilitas kerusakan

Persamaan di atas dapat digunakan untuk menghitung keandalan sistem seri. Perlu dicatat bahwa keandalan sistem seri selalu kurang dari komponen dengan keandalan terendah.

### 2.1.3 Sistem Paralel

Pada sistem paralel, komponen atau unit terhubung secara paralel yang mana kegagalan satu atau lebih komponen, tidak akan mengganggu komponen yang lain untuk dapat beroperasi dengan baik (Elsayed, 2012). Contoh *reliability block diagram* pada sistem paralel dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2. 2 Contoh *Reliability Block Diagram* Sistem Paralel (Elsayed, 2012)

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan gambar *block diagram* dari sistem paralel yang terdiri dari  $n$  unit komponen yang terhubung secara paralel.

Sama dengan sistem seri, keandalan sistem paralel dapat ditentukan dengan memperkirakan probabilitas minimal satu jalur dapat beroperasi atau dengan memperkirakan probabilitas sistem gagal kemudian mengurangnya dari kesatuan sistem. Berikut merupakan persamaan yang digunakan.

$$R = P(x_1 + x_2 + \dots + x_n) \quad (2.7)$$

atau

$$R = [P(x_1) + P(x_2) + \dots + P(x_n)] - [P(x_1x_2) + P(x_1x_3) + \dots + P_{i \neq j}(x_ix_j)] + \dots + [-1]^{n-1}P(x_1x_2, \dots, x_n) \quad (2.8)$$

$$P_f = P(\overline{x_1x_2} \dots \overline{x_n}) \quad (2.9)$$

sehingga

$$R = 1 - P_f \quad (2.10)$$

Jika komponen merupakan komponen independen, maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.



$$R = 1 - \prod_{i=1}^n P(\bar{x}_i) \quad (2.11)$$

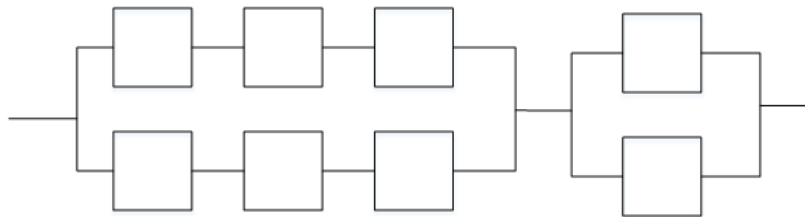
dimana

- $R$  : keandalan sistem
- $P(x_i)$  : probabilitas keandalan sub-sistem  $i$
- $P(\bar{x}_i)$  : probabilitas kerusakan sub-sistem  $i$
- $P_f$  : probabilitas kerusakan
- $n$  : jumlah sub-sistem

Keandalan sistem paralel selalu lebih besar dibandingkan dengan keandalan komponen yang paling andal dalam sistem (Elsayed, 2012). Ini mungkin menyiratkan bahwa semakin banyak unit yang disusun secara paralel, maka sistem akan semakin dapat andal. Pernyataan ini hanya berlaku untuk sistem yang komponennya hanya ada di dua *state*, baik kondisi operasional atau kegagalan (Elsayed, 2012).

#### 2.1.4 Sistem Campuran

Sistem campuran adalah sistem yang komponennya terhubung baik secara seri maupun secara paralel. Pada sistem campuran terdapat dua jenis susunan yang mungkin digunakan yaitu sistem seri-paralel dan sistem paralel-seri. Gambar 2.3 di bawah ini merupakan contoh gambar sistem campuran.



Gambar 2. 3 Contoh *Reliability Block Diagram* Sistem Campuran (Elsayed, 2012)

Sistem paralel-seri merupakan sistem yang terdiri dari  $m$  paralel. Setiap *path* paralel memiliki  $n$  unit yang terhubung secara seri. Persamaan keandalan pada sistem paralel-seri dapat dilihat sebagai berikut.

$$R = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - \prod_{j=1}^n P(x_{ij})] \quad (2.12)$$

dimana

$R$  : keandalan sistem

$P(x_{ij})$  : probabilitas komponen  $j$  dalam sistem  $i$

$n$  : jumlah sub-sistem

Untuk sistem seri-paralel secara umum terdiri dari  $n$  sub-sistem yang terhubung secara seri dengan  $m$  unit paralel pada setiap sub-sistem. Untuk sistem seri-paralel persamaan yang digunakan untuk menghitung keandalannya adalah

$$R = \prod_{i=1}^n [1 - \prod_{j=1}^m (1 - P(x_{ij}))] \quad (2.13)$$

Dimana  $i = 1, 2, \dots, n$  dan  $j = 1, 2, \dots, m$  dan  $P(x_{ij})$  adalah probabilitas komponen  $j$  dalam sistem  $i$  beroperasi. Secara umum sistem seri-paralel memiliki keandalan lebih besar dibandingkan dengan sistem paralel-seri ketika kedua sistem memiliki jumlah unit yang sama dan setiap unit memiliki probabilitas beroperasi dengan baik sama (Elsayed, 2012).

## 2.2 Availability

*Availability* atau ketersediaan merupakan salah satu ukuran kinerja keandalan yang paling penting dari sistem yang dipelihara, karena mencakup tingkat kegagalan dan tingkat perbaikan sistem (Elsayed, 2012). *Availability* dapat diklasifikasikan menurut interval waktu yang dipertimbangkan atau jenis tipe *downtime* yaitu perbaikan dan pemeliharaan. Pada penelitian ini *availability* yang digunakan adalah berdasarkan tipe *downtime*, yaitu *inherent availability* yang hanya mencakup pemeliharaan korektif sistem dan tidak termasuk waktu persiapan, pemeliharaan *preventive*, waktu pasok dan waktu tunggu atau waktu administrasi. Berikut merupakan persamaan untuk *availability*.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.14)$$

dimana

$A$  : *Availability*

$MTBF$  : *Mean Time Between Failure*

*MTTR* : *Mean Time To Repair*

*Mean Time to Repair* merupakan nilai rata-rata waktu perbaikan kerusakan yang terjadi. Perhitungan *MTTR* memerlukan parameter yang menyesuaikan dengan distribusi data yang ada (Soesetyo & Bendatu, 2014). Selain rumus di atas, salah satu cara mengukur keandalan sistem adalah dengan menggunakan *mean time to failure* (*MTTF*). *MTTF* adalah nilai rata-rata interval antar kerusakan dari sebuah distribusi data kerusakan. *MTTF* dapat digunakan untuk mengetahui kinerja dan kemampuan dari peralatan yang digunakan (Soesetyo & Bendatu, 2014). Rumus yang digunakan untuk menghitung *MTTF* sama dengan *MTBF*, namun terdapat perbedaan dalam penggunaan. *MTBF* digunakan untuk komponen yang dapat diperbaiki sedangkan *MTTF* digunakan untuk komponen yang tidak dapat diperbaiki (Elsayed, 2012). Berikut merupakan persamaan untuk *MTTF*.

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.15)$$

dimana

*MTTF* : *Mean Time to Failure*

*R(t)* : Fungsi keandalan

### **2.3 Analisis Reliability, Availability and Maintenance (RAM)**

Analisis *reliability, availability and maintenance* (RAM) merupakan suatu metode dalam perawatan atau *maintenance* untuk memprediksi tingkat keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), dan kemampuan pemeliharaan (*maintainability*) dari komponen atau sistem (Pamboedi, Budiasih, & Atmaji, 2018). Analisis RAM juga merupakan salah satu pendekatan dalam teknik keandalan yang berbasis simulasi (Faulin, Juan, Martorell, & Ramirez-Marquez, 2010). Dalam perusahaan keandalan dapat digunakan untuk mengatasi peningkatan persaingan, masalah anggaran, siklus produksi yang cepat dan peningkatan permintaan. Dalam sistem RAM terdapat dua pendekatan yaitu pendekatan analitis dan pendekatan simulasi.

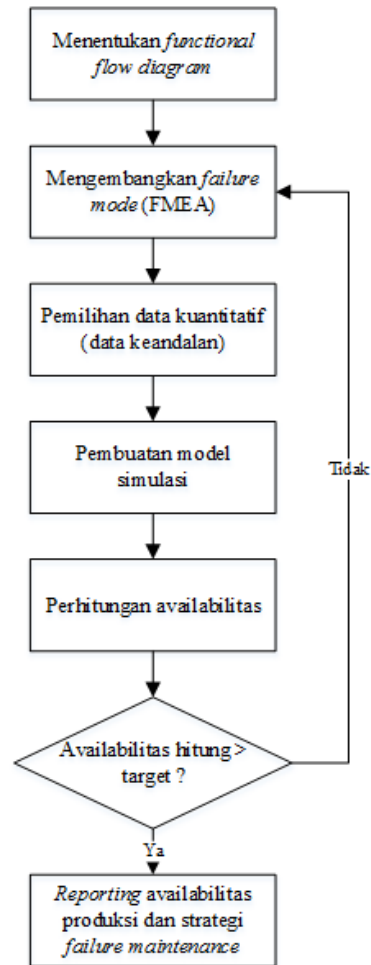
Dalam pendekatan analitis digunakan model matematis untuk mengevaluasi indeks keandalan sebagai solusi. Dalam kasus yang kompleks, pendekatan ini akan

sulit untuk diterapkan. Pendekatan analitis pada umumnya digunakan untuk mengevaluasi nilai rata-rata dari titik beban dan indeks keandalan sistem. Namun, nilai rata-rata tidak merepresentasikan variabilitas dalam indeks keandalan. Distribusi probabilitas pada keandalan menyediakan informasi terkait representasi sistem berdasarkan parameter tertentu. Sehingga pendekatan analitis jika diterapkan pada sistem yang memiliki perilaku acak, informasi distribusi probabilitas sulit untuk didapatkan.

Sedangkan pendekatan simulasi yaitu pendekatan yang mampu mengakomodasi pola perilaku acak yang terjadi pada jumlah kegagalan, waktu kegagalan dan waktu perbaikan. Pendekatan simulasi dapat digunakan untuk memperkirakan indeks keandalan dengan menyimulasikan proses aktual dan perilaku acak pada sistem dan komponen-komponennya. Pendekatan simulasi juga dapat menyimulasikan perilaku saling ketergantungan antar komponen dan variabel dalam sistem. Dengan metode ini, hasil yang didapatkan berupa rata-rata atau distribusi dari sebuah indeks dan informasi lainnya yang tidak bisa didapatkan dengan pendekatan analitis.

Analisis RAM dengan menggunakan pendekatan analitis dapat menjadi kompleks dan menghasilkan banyak asumsi, sehingga susah diterapkan skenario aslinya. Sedangkan pendekatan simulasi dapat mengakomodasi perilaku yang lebih realistis. Namun metode simulasi akan sangat mahal khususnya dalam hal komputasi untuk memodelkan sistem yang memiliki keandalan tinggi. Jika sebuah sistem memiliki laju kegagalan rendah, maka dibutuhkan banyak replikasi agar dapat menghasilkan estimasi yang akurat. Kasus ini sering disebut dengan "*rare-event problem*". Dan dalam penelitian ini akan digunakan pendekatan simulasi, karena dapat memodelkan perilaku acak dan sifat saling ketergantungan.

Pada Gambar 2.4 di bawah ini akan ditunjukkan terkait metodologi dalam melakukan simulasi RAM.



Gambar 2. 4 Metodologi Simulasi RAM  
(Faulin, Juan, Martorell, & Ramirez-Marquez, 2010)

Pada Gambar 2.4 ditunjukkan tahapan simulasi RAM, yang mana tahap pertama yaitu menentukan *functional flow diagram*. Diagram ini dapat digunakan sebagai model konseptual sebelum melakukan simulasi sistem. Tahap kedua yaitu mengidentifikasi *failure mode* atau *potential failure* dari sistem. Model kegagalan ini dapat dikembangkan dengan menggunakan FMEA. Tahap ketiga yaitu pengumpulan data yang digunakan sebagai *input* simulasi. Pada tahap ini dapat dilakukan pengembangan model strategi *maintenance* dengan menggunakan RCM *task decision logic*. Kemudian, tahap keempat yaitu pembuatan model simulasi dibuat berdasarkan *functional diagram*. Setelah model simulasi dibuat, dapat dilakukan *input* data simulasi yang diperlukan. Simulasi dilakukan dengan sejumlah replikasi tertentu agar menghasilkan estimasi yang lebih akurat. Tahap selanjutnya yaitu perhitungan *availability* dengan menggunakan rumus berikut.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^M A_i}{M} \quad (2.16)$$

dimana

$A$  : estimasi *availability* sistem

$A_i$  : *output availability* pada replikasi ke- $i$

$M$  : jumlah replikasi

Kemudian, estimasi *availability* produksi dibandingkan dengan target, apabila hasil simulasi masih belum memenuhi target, maka perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap strategi *maintenance* yang diterapkan.

## 2.4 FMEA

*Failure mode and effect analysis* (FMEA) adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mencegah masalah pada produk dan proses sebelum terjadi (McDermott, Mikulak, & Beauregard, 2009). FMEA berfokus pada pencegahan produk cacat, peningkatan keselamatan kerja dan peningkatan kepuasan pelanggan. Suatu produk atau proses yang gagal disebut dengan mode kegagalan atau *failure mode*. Setiap *failure mode* memiliki efek potensial dan beberapa efek lebih mungkin dapat terjadi. Selain itu, setiap efek potensial memiliki risiko relatif yang terkait.

Proses FMEA merupakan cara untuk mengidentifikasi kegagalan, efek dan risiko dalam proses atau produk yang kemudian dapat dihilangkan atau dikurangi (McDermott, Mikulak, & Beauregard, 2009). Cara mengevaluasi risiko kegagalan dapat ditentukan dengan menggunakan tiga faktor yaitu, *severity*, *occurance* dan *detection*. *Severity* yaitu konsekuensi dari kegagalan jika terjadi. *Occurance* yaitu probabilitas atau frekuensi kegagalan terjadi. Dan *detection* yaitu probabilitas kegagalan terdeteksi sebelum dampak efek direalisasikan.

Penilaian prioritas risiko dapat dilakukan dengan menggunakan data dan pengetahuan tentang proses atau produk. Masing-masing potensi *failure mode* dan efek dinilai untuk masing-masing faktor dengan skala 1 hingga 10 atau dari rendah ke tinggi. Dengan mengalikan peringkat untuk ketiga faktor yaitu *severity*, *occurance* dan *detection*, kemudian *risk priority number* (RPN) akan didapatkan untuk menentukan setiap potensi *failure mode* dan efeknya. Nilai RPN ini akan

berkisar antara 1 hingga 1000 untuk setiap *failure mode*. Nilai ini dapat digunakan untuk menentukan peringkat kebutuhan untuk tindakan korektif untuk menghilangkan atau mengurangi potensi *failure mode*. *Failure mode* dengan nilai tertinggi seharusnya menjadi prioritas pertama, meskipun perhatian khusus harus diberikan ketika *severity* memiliki peringkat tertinggi terlepas dari nilai RPN. Setelah tindakan korektif diambil RPN baru ditentukan dengan mengevaluasi kembali tingkat *severity*, *occurance* dan *detecion*. Perbaikan dan tindakan korektif harus berlanjut sampai RPN yang dihasilkan berada pada tingkat yang dapat diterima untuk semua potensi mode kegagalan.

Salah satu hal yang dapat mengakibatkan proses dapat berhenti yaitu terjadinya kerusakan pada mesin. Analisis kerusakan mesin dengan menggunakan FMEA ini pernah dilakukan oleh (Reza, Supriyadi, & Ramayanti, 2017) pada “Seminar Nasional Riset Terapan” dengan judul “Analisis Kerusakan Mesin *Mandrel Tension Reel* dengan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)”. Penelitian tersebut dilanjutkan lagi oleh (Supriyadi, Reza, Nalhadi, & Nelfiyanti, 2019) dengan judul “*Mandrel Machine Scheduling Determintaion Based On Damage Intervals*”. Dari penelitian tersebut FMEA dapat digunakan untuk menentukan komponen mesin yang menjadi komponen kritis dalam kerja mesin.

## **2.5 Sistem**

Sistem merupakan kumpulan elemen-elemen yang saling bekerja sama untuk mencapai suatu tujuan tertentu (Blanchard & Blyler, 1991). Terdapat beberapa hal penting dalam sistem yaitu sistem terdiri dari beberapa elemen, yang mana elemen-elemen tersebut saling berhubungan dan bekerja sama untuk mencapai suatu tujuan.

### *2.5.1 Elemen Sistem*

Dalam konteks simulasi terdapat beberapa elemen yang ada dalam sistem yaitu entitas, aktivitas, sumber daya (*resources*), dan kontrol. Entitas merupakan item yang diproses dalam sistem. Contoh dari entitas yaitu orang, material, produk, konsumen. Terdapat tiga tipe entitas yaitu, *animate entities* atau makhluk hidup,

*inanimate entities* atau benda mati, dan *intangible entities* seperti *e-mail* atau panggilan.

Aktivitas adalah serangkaian kegiatan baik secara langsung atau tidak langsung yang dilakukan oleh sebuah entitas di dalam sistem. Aktivitas dapat diklasifikasikan menjadi *entity processing* atau proses utama yang bersifat menambah nilai, *entity/resource movement* seperti proses *material handling*, dan *resource adjustment* seperti proses perawatan, perbaikan, dan *set-up*.

*Resources* adalah sesuatu yang digunakan untuk memproses entitas. Contoh dari *resources* antara lain yaitu, mesin, operator, kasir, truk dan lain sebagainya. *Resources* memiliki beberapa karakteristik yaitu, kapasitas, kecepatan, waktu siklus, dan keandalan. *Resources* dapat diklasifikasikan menjadi *dedicated* atau *shared*, *permanent* atau *consumable*, dan *mobile* atau *stationary*.

Kontrol dapat didefinisikan sebagai logika atau aturan yang berlaku dalam sistem. Contoh dari kontrol yaitu antrean *first come first serve* (FCFS) atau aturan *inventory* dalam gudang seperti *first in first out* (FIFO), *last in first out* (LIFO). Kontrol juga dapat berupa urutan rute, perencanaan produksi, jadwal kerja, prioritas pekerjaan dan lain sebagainya.

## 2.5.2 Variabel Sistem

Variabel merupakan informasi yang dapat mencerminkan banyaknya karakteristik dari sebuah entitas. Dengan memahami variabel dalam sistem dapat membantu dalam mengetahui sifat saling mempengaruhi dan tujuan dalam sistem. Dalam simulasi terdapat tiga jenis variabel yaitu.

### 2.5.2.1 Variabel Keputusan

Variabel keputusan merupakan variabel sistem yang nilainya dapat diubah sesuai dengan tujuan mencari perubahan hasil dari perubahan nilai tersebut. Variabel keputusan biasa disebut variabel independen. Variabel keputusan terdiri dari variabel yang dapat dikontrol dan variabel yang tidak dapat dikontrol (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Contoh variabel yang dapat dikontrol yaitu, jumlah operator pada sebuah lini produksi. Sedangkan contoh variabel yang tidak dapat dikontrol yaitu, lama waktu servis dan *defect rate* pada sebuah sistem.



#### 2.5.2.2 Variabel Respons

Variabel respons atau variabel dependen merupakan variabel yang dapat menunjukkan nilai keluaran atau mengukur kinerja dari variabel keputusan (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Contoh dari variabel respons yaitu, jumlah entitas yang diproses dalam sistem, utilitas mesin, lamanya waktu tunggu dan lain sebagainya.

#### 2.5.2.3 Variabel Status

Variabel status merupakan variabel yang melekat dalam sistem yang mana nilainya akan berubah sesuai dengan titik waktu tertentu (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Contoh dari variabel status yaitu, status pekerja (*busy, idle, failed*), jumlah kursi yang tersedia dalam antrean saat tertentu, jumlah persediaan barang di gudang dan lain sebagainya.

#### 2.5.3 Kompleksitas Sistem

Di dalam sebuah sistem terdapat dua faktor yang mengakibatkan kompleksitas yaitu sifat saling mempengaruhi (interdependensi) dalam sistem dan variabilitas. Interdependensi adalah sifat saling mempengaruhi antar satu elemen dengan elemen yang lain dalam suatu sistem. Contohnya yaitu apabila terdapat sebuah sistem operasi seri, jika terjadi *breakdown* pada mesin pertama, maka proses selanjutnya tidak dapat dilakukan karena bisa jadi tidak terdapat item yang akan diproses. Sedangkan sifat kedua yaitu variabilitas atau ketidakpastian dalam sistem. Variabilitas dapat terjadi pada manusia maupun mesin. Contoh dari variabilitas yaitu, terjadinya ketidakpastian pengiriman barang oleh *supplier*, ketidakpastian kegagalan mesin, dan ketidakpastian pada permintaan konsumen.

### 2.6 Simulasi

Simulasi adalah tiruan sistem yang dinamis dengan menggunakan model komputer untuk mengevaluasi dan meningkatkan kinerja sistem (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Simulasi digunakan karena menyediakan cara untuk melakukan validasi apakah keputusan yang dibuat merupakan keputusan terbaik atau tidak. Keuntungan dari penggunaan simulasi yaitu dapat menghindari biaya yang mahal, waktu yang lama dan sifat *disruptive* pada sistem tradisional yaitu *trial* dan *error*. Kelebihan dari simulasi yang lain yaitu menyediakan metode analisis yang tidak

hanya formal dan prediktif, tetapi mampu memprediksi secara akurat kinerja bahkan sistem yang kompleks (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Berikut merupakan karakteristik simulasi yang dapat menjadikan simulasi sebagai alat perencanaan dan pengambilan keputusan yang kuat (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004).

- Dapat melihat sifat saling ketergantungan dalam sistem.
- Dapat mengakomodasi variabilitas sistem.
- Cukup fleksibel untuk memodelkan sistem apa pun.
- Dapat menunjukkan perilaku sistem dari waktu ke waktu.
- Lebih murah, tidak memakan waktu dan tidak mengganggu jalannya sistem sebenarnya.
- Dapat memberikan informasi tentang berbagai ukuran kinerja.
- Menarik secara visual.
- Dapat memberikan hasil yang mudah dimengerti dan dikomunikasikan.
- Dapat berjalan di waktu yang sempit, waktu sebenarnya atau bahkan waktu yang tertunda.
- Fokus pada detail desain.

### 2.6.1 *Tipe Simulasi*

Cara kerja simulasi sebagian besar didasarkan pada jenis simulasi yang digunakan. Terdapat banyak cara untuk mengklasifikasikan simulasi, beberapa jenis simulasi umum digunakan yaitu (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004).

- Statis atau dinamis
- Stokastik atau deterministik
- Diskrit atau kontinu

Simulasi statis adalah simulasi yang tidak didasarkan pada waktu. Simulasi ini sering digunakan untuk menggambarkan sampel acak untuk menghasilkan hasil statistik, sehingga sering disebut dengan “Simulasi Monte Carlo” (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Simulasi dinamis merupakan simulasi yang didasarkan pada waktu. Mekanisme waktu dan variabel keadaan diperbaharui seiring dengan berjalannya waktu (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Simulasi dinamis ini sangat cocok untuk menganalisis sistem manufaktur dan layanan yang beroperasi dari waktu ke waktu. Simulasi stokastik atau simulasi probabilistik adalah simulasi yang

menggunakan satu atau lebih variabel acak sebagai *input* dan menghasilkan *output* berupa variabel acak pula (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Sedangkan simulasi deterministik adalah simulasi yang tidak menggunakan variabel acak atau menggunakan variabel yang konstan dan hasil simulasinya akan sama walaupun dilakukan berulang kali (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Simulasi kejadian diskrit adalah simulasi dengan perubahan variabel status pada model simulasi yang terjadi pada titik diskrit yang dipicu dengan adanya perubahan kejadian (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Status berubah pada sebuah model terjadi ketika adanya perubahan kejadian. Contoh penggunaan simulasi ini yaitu kedatangan entitas pada stasiun kerja, kegagalan sumber daya, selesainya suatu kegiatan, akhir dari sebuah jam kerja. Sedangkan simulasi kontinu adalah simulasi dengan adanya perubahan variabel status secara kontinu berdasarkan waktu (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Contohnya yaitu pengisian tangki minyak. Pada penelitian ini akan digunakan simulasi kejadian diskrit untuk memodelkan kegagalan pada mesin.

#### 2.6.2 Analisis Statistik Untuk Data Numerik

Agar dapat digunakan dalam model simulasi, data mentah harus dianalisis dan diinterpretasikan sehingga sistem operasi direpresentasikan dengan benar oleh model. Sebelum mengembangkan representasi data, data harus dianalisis untuk memastikan kesesuaiannya untuk digunakan dalam model simulasi. Karakteristik data seperti sifat independen atau acak, homogenitas dan stasioner atau distribusi data tidak berubah menurut waktu harus ditentukan (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004).

Data bersifat independen jika nilai satu pengamatan tidak dipengaruhi oleh pengamatan yang lain. Beberapa teknik yang dapat digunakan untuk menentukan ketergantungan atau korelasi data yaitu *scatter plot*, *autocorrelation plot* dan *runs test*. *Scatter plot* dan *autocorrelation plot* adalah uji statistik parametrik yang mana sifat plot bergantung pada distribusi data yang mendasarinya. Sedangkan *run test* adalah uji statistik non-parametrik dan tidak ada asumsi terkait distribusi data.

Data yang digunakan untuk melakukan simulasi harus dipastikan homogenitasnya. Data yang homogen yaitu data yang berasal dari populasi yang sama. Untuk menentukan apakah data berasal dari distribusi yang sama dapat

dilakukan uji homogenitas. Uji homogenitas dapat dilakukan dengan memeriksa secara visual distribusi untuk melihat apakah ia memiliki lebih dari satu modus. Data juga dapat dikatakan tidak homogen jika data berubah terhadap waktu atau bisa disebut non-stasioner.

Setelah data numerik tersebut diuji maka dilakukan pengolahan data untuk dijadikan *input* dalam simulasi. Terdapat tiga cara untuk melakukan pengolahan data numerik di antaranya yaitu. Yang pertama dilakukan dengan menggunakan secara langsung data yang terkumpul. Cara ini dapat dilakukan dengan menggunakan histogram untuk melihat distribusi frekuensi. Kedua, dapat menggunakan distribusi empiris yang mencirikan data numerik. Dan ketiga, dapat menggunakan distribusi teoritis yang paling sesuai dengan distribusi data.

### 2.6.3 Verifikasi Model

Verifikasi adalah proses untuk menentukan apakah model yang dibuat beroperasi sesuai yang diinginkan (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Selain itu, menurut Kelton (2015) verifikasi adalah proses untuk memastikan bahwa model Arena berperilaku sebagaimana mestinya dimaksudkan sesuai dengan asumsi pemodelan yang dibuat. Proses verifikasi dilakukan dengan mendeteksi kesalahan yang tidak diinginkan dalam model dan logika kemudian menghilangkannya. Verifikasi yang dimaksud pada penelitian ini yaitu mengidentifikasi apakah model simulasi yang telah divalidasi sebelumnya telah benar sesuai dengan logika yang ada dengan menggunakan *software* Arena. Inti dari proses verifikasi adalah *debugging* model. *Error* atau *bug* dalam model simulasi terdiri dari dua jenis yaitu, *syntax error* dan *semantic error*. *Syntax error* terjadi karena adanya kesalahan tata bahasa, kesalahan penempatan notasi yang dapat mencegah model berjalan dengan benar. *Semantic error* yaitu kesalahan yang terkait dengan cara pembuat model dalam membuat model, karena itu sulit dideteksi. Sebagian besar kesalahan ini berupa kesalahan logis yang menyebabkan perilaku yang berbeda dari yang dimaksudkan. Adapun beberapa cara yang dapat digunakan untuk melakukan verifikasi model yaitu:

- Melakukan *review* kode model
- Menguji *output*

- Melihat animasi untuk memastikan logika model
- Menggunakan *trace* dan *debug* yang ada pada *software*.

#### 2.6.4 *Validasi Model Simulasi*

Validasi adalah proses menentukan apakah model yang dibuat merupakan representasi yang sesungguhnya dan akurat dari sistem nyata (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Sedangkan menurut Kelton (2015) validasi model, yaitu proses untuk memastikan bahwa model berperilaku sama seperti sistem sebenarnya. Untuk memvalidasi model simulasi, maka harus membandingkan hasil dari model yang dibuat dengan hasil dari sistem nyata (Kelton, Sadowski, & Zupick, 2015). Data kinerja aktual yang diperlukan sebagai masukan untuk model simulasi akan sangat penting untuk validasi. Jumlah data yang tersedia, dalam format yang tepat, menentukan tingkat detail proses validasi. Tidak ada tes sederhana untuk menentukan validitas model. Validasi adalah proses induktif di mana pembuat model menarik kesimpulan tentang keakuratan model berdasarkan bukti yang tersedia. Validasi yang dimaksud pada penelitian ini yaitu menguji atau mengidentifikasi apakah model simulasi yang dibuat berdasarkan model konseptual yang dibuat telah sesuai dengan kondisi *real system* di perusahaan. Beberapa teknik yang dilakukan untuk validasi yaitu :

- Membandingkan dengan sistem aktual
- Membandingkan dengan model yang lain
- Melakukan tes degenerasi dan kondisi ekstrem
- Meminta bantuan pihak yang lebih memiliki pengetahuan untuk menguji validitas model
- Menguji data historis
- Melakukan analisis sensitivitas
- Menggunakan animasi

#### 2.6.5 *Analisis Output Simulasi*

Simulasi menganut sistem *random input, random output* (RIRO), artinya *input* dari simulasi bersifat acak yang menyebabkan hasil luarannya bersifat acak pula. Dengan menjalankan simulasi sebanyak satu kali belum tentu hasilnya akan

cukup merepresentasikan *real system*. Oleh karena itu replikasi diperlukan untuk mengatasi sifat RIRO tersebut. Replikasi merupakan sebuah mekanisme yang mana simulasi perlu dijalankan beberapa kali untuk mengatasi hasil *random* yang diakibatkan variabilitas dari sistem dengan harapan model simulasi nantinya mampu mewakili hasil dari *real system*. Penentuan jumlah replikasi dapat dilakukan dengan menentukan *confidence interval* pada jumlah tertentu untuk mengetahui *absolute error* ( $e$ ) di antara titik estimasi rata-rata ( $\bar{x}$ ) dan *true mean* ( $\mu$ ) yang tidak diketahui. Untuk menentukan *confidence interval*, dilakukan perhitungan *point estimates*.

*Point estimate* merupakan sebuah nilai estimasi pada sebuah parameter (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Dalam hal ini yang dimaksud adalah rata-rata dan standar deviasi. Berikut ini merupakan persamaan rata-rata ( $\bar{x}$ )

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.17)$$

dimana  $n$  adalah jumlah sampel dan  $x_i$  adalah nilai observasi ke- $i$ . Rata-rata sampel digunakan untuk mengestimasi *true mean* ( $\mu$ ). Berikut merupakan persamaan standar deviasi ( $s$ )

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n-1}} \quad (2.18)$$

standar deviasi ( $s$ ) adalah *point estimate* yang digunakan untuk mengestimasi standar deviasi populasi ( $\sigma$ ).

Sedangkan *interval estimate* mengestimasi seberapa jauh rata-rata sampel ( $\bar{x}$ ) terhadap *true mean* ( $\mu$ ) (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). *Interval estimates* juga biasa disebut dengan *confidence interval estimates*. Interval yang ada pada *confidence interval* bersifat simetris dengan  $\bar{x}$ , dan jarak dari setiap titik ujung dari  $\bar{x}$  disebut dengan *half width* ( $hw$ ).

Probabilitas terjadinya *unknown true mean* berada dalam *interval*  $\bar{x} \pm hw$  disebut dengan  $P$  atau *confidence level*. Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung *half width* sebuah *confidence interval* dengan *confidence level* yang telah diketahui.

$$hw = \frac{(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}})^s}{\sqrt{n}} \quad (2.19)$$

dimana  $(t_{n-1, \alpha/2})$  adalah faktor yang dapat ditemukan dari tabel *Student's t*,  $\alpha$  adalah komplemen dari  $P$ , dan  $n$  adalah jumlah sampel.

## 2.6.6 Kekurangan dan Kelebihan Simulasi

Menurut Harrel et al (2004), terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dari simulasi di antaranya yaitu.

### 2.6.6.1 Kekurangan Simulasi

Berikut merupakan beberapa kekurangan dari simulasi, di antaranya :

- Jika model tidak valid ketika dilakukan proses validasi, maka hasil model simulasi dianggap tidak merepresentasikan sistem yang sebenarnya.
- Jika dalam tahap pengumpulan data dan data historis yang dikumpulkan tidak cukup untuk menjadi parameter simulasi, maka perlu dilakukan observasi langsung yang memerlukan tambahan waktu dan biaya.
- Karena dalam model simulasi *input* dan *output* bersifat acak atau *random*, maka perlu dilakukan beberapa kali simulasi atau replikasi agar dapat menghasilkan simulasi yang merepresentasikan sistem sebenarnya.

### 2.6.6.2 Kelebihan Simulasi

Berikut merupakan kelebihan dari simulasi, di antaranya yaitu :

- *Return on investment*  
Dengan melakukan simulasi, pengambil keputusan dapat memperhitungkan biaya, seperti biaya operasional, biaya investasi, biaya inventori dan biaya tenaga kerja.
- Konsep acak  
Model simulasi dijalankan dengan menggunakan konsep acak, di mana dalam konsep tersebut menggunakan probabilitas terjadinya suatu peristiwa. Konsep acak ini dijalankan berdasarkan data yang ada,

sehingga hasil dari simulasi dapat disimpulkan sebagai gambaran berbagai kemungkinan kejadian dapat merepresentasikan *real world*.

- Antisipasi  
Dengan menjalankan simulasi, pengambil keputusan dapat menghindari risiko yang mungkin terjadi karena adanya penerapan sistem baru.
- Pemilihan peralatan dan estimasi biaya  
Simulasi dapat digunakan sebagai estimasi performansi sistem apabila dipasang peralatan baru dan juga biaya yang akan dikeluarkan selama pengoperasian peralatan tersebut.

## 2.7 Perawatan

Perawatan atau *maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan sesuai dengan ketentuan prosedur dengan melihat probabilitas suatu sistem atau komponen dapat mengalami kerusakan (Ebeling, 1997). Perawatan secara umum dapat dikategorikan menjadi dua yaitu *reactive maintenance* dan *proactive maintenance* (Ebeling, 1997). *Reactive maintenance* dapat dibagi lagi menjadi dua yaitu *corrective maintenance* dan *breakdown maintenance*. *Corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan ketika proses produksi yang dijalankan tidak memenuhi target. Sedangkan *breakdown maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mengatasi kejadian *unplanned downtime* atau *downtime* yang tidak terjadwal. Biasanya *downtime* ini diakibatkan oleh kerusakan pada komponen mesin. Kerusakan pada mesin ini dapat diakibatkan oleh faktor internal yaitu karena kesalahan mesin atau komponen itu sendiri atau faktor eksternal yang dapat berupa kesalahan operator, lingkungan kerja dan sebagainya. *Reactive maintenance* merupakan perawatan yang bersifat darurat karena tidak ada perencanaan di awal. Untuk *proactive maintenance* sendiri juga dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu *predictive maintenance* dan *preventive maintenance*. *Predictive maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan dengan perbaikan atau pergantian komponen berdasarkan hasil estimasi waktu kerusakan terdekat mesin atau komponen (Ebeling, 1997). Sedangkan *preventive maintenance* merupakan kegiatan perawatan sederhana seperti perbaikan, pergantian komponen, penyetelan mesin, pelumasan dan kegiatan *maintenance* lainnya. *Preventive*



*maintenance* ini dilakukan ketika jadwal *downtime* sudah diukur sebelumnya dengan menggunakan analisa laju kerusakan (Ebeling, 1997).

## **2.8 Calendar Day**

*Calendar day* adalah waktu yang dibutuhkan sebuah fasilitas industri proses dalam kondisi operasi biasa untuk memenuhi *demand* produksi (U.S. Energy Information Administration, 2014). *Calendar day* merupakan waktu yang mengakomodasi batasan yang dapat menunda, mengganggu atau memperlambat produksi. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi *calendar day* adalah sebagai berikut.

- Tipe dan kualitas material yang di proses.
- Faktor lingkungan yang mempengaruhi proses produksi.
- Pengurangan kapasitas produksi karena adanya *downtime* yang telah dijadwalkan seperti inspeksi rutin, pemeliharaan, perbaikan, dan *turnaround*.
- Pengurangan kapasitas produksi karena adanya *downtime* yang tidak terjadwal seperti masalah mekanis, perbaikan, dan perlambatan produksi.

## **2.9 Penelitian Terdahulu**

Pada bagian ini akan dipaparkan mengenai penelitian terdahulu yang dijadikan referensi oleh penulis dalam melakukan pengembangan penelitian.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

	Judul Penelitian	Nama Penulis	Tahun	Jenis Penelitian	Objek Penelitian
Penelitian Terdahulu	<i>Analisis Reliability, Availability, dan Maintainability</i> dengan Mempertimbangkan Inventori <i>Spare part</i> dan Penyangga Menggunakan Pendekatan Simulasi	Nabila Yuraisyah Salsabila	2018	Tugas Akhir	PT Petrowidada
	<i>Simulation-based Optimisation of Maintenance Systems: Industrial Case Studies</i>	Abdullah Alrabghi, Ashutosh Tiwari, Mark Savill	2017	Artikel Jurnal	Perusahaan Manufaktur Truk dan Perusahaan Manufaktur Polimerisasi
	Penjadwalan <i>Predictive Maintenance</i> dan Biaya Perawatan Mesin <i>Pellet</i> di PT Charoen Pokphand Indonesia – Sepanjang	Ivan Soesetyo, Liem Yenny Bendatu	2014	Artikel Jurnal	PT Charoen Pokhpand Indonesia (Perusahaan Manufaktur Pakan Ternak)
	<i>Using a Hybrid Cost-FMEA Analysis for Wind Turbine Reliability Analysis</i>	Nacef Tazi, Eric Chatelet, Youcef Bouzidi	2017	Artikel Jurnal	<i>Wind Turbine Machine</i>
	Penggunaan FMEA dalam Mengidentifikasi Risiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin)	Nia Budi Puspitasari, Arif Martanto	2014	Artikel Jurnal	PT Asaputex Jaya Tegal
	Perhitungan <i>Plant Reliability</i> dan Pengendalian Risiko di Pabrik Phonska PT. Petrokimia Gresik	IGP Raka Arthama	2006	Master Thesis	PT Petrokimia Gresik
	<i>A Discrete Event Simulation Model For Reliability Modeling of A Chemical Plant</i>	Bikram Sharda, Scott J. Bury	2008	Artikel Jurnal Proceeding	The Dow Chemical Company

Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini

	Judul Penelitian	Metode					Output										
		Simulasi	TQM	Analitis	Penilaian Risiko	Analisis RBD	Manajemen Inventori	Keandalan Lantai Produksi	Availability Lantai Produksi	Mitigasi Risiko	Komponen Kritis	Kebijakan Inventori	Predictive Maintenance	Alokasi Maintenance Resources	Perbandingan Metode Simulasi	Minimum Cost	
Penelitian Terdahulu	Analisis <i>Reliability, Availability, dan Maintainability</i> dengan Mempertimbangkan Inventori <i>Spare part</i> dan Penyangga Menggunakan Pendekatan Simulasi	V				V	V	V	V		V	V					
	<i>Simulation-based Optimisation of Maintenance Systems: Industrial Case Studies</i>	V	V	V								V					
	Penjadwalan <i>Predictive Maintenance</i> dan Biaya Perawatan Mesin <i>Pellet</i> di PT Charoen Pokphand Indonesia – Sepanjang			V				V	V		V		V				V
	<i>Using a Hybrid Cost-FMEA Analysis for Wind Turbine Reliability Analysis</i>			V	V			V		V	V						V
	Penggunaan FMEA dalam Mengidentifikasi Risiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin)			V	V						V	V					
	Perhitungan <i>Plant Reliability</i> dan Pengendalian Risiko di Pabrik Phonska PT. Petrokimia Gresik	V			V			V		V							

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Saat Ini (Lanjutan)

	Judul Penelitian	Metode						Output								
		Simulasi	TQM	Analitis	Penilaian Risiko	Analisis RBD	Manajemen Inventori	Keandalan Lantai Produksi	Availability Lantai Produksi	Mitigasi Risiko	Komponen Kritis	Kebijakan Inventori	Predictive Maintenance	Alokasi Maintenance Resources	Perbandingan Metode Simulasi	Minimum Cost
	<i>A Discrete Event Simulation Model For Reliability Modeling of A Chemical Plant</i>	v		v			v					v	v			
Penelitian Ini	Analisis <i>Reliability, Availability, dan Maintainability</i> (RAM) serta Penentuan Komponen Kritis dengan Mempertimbangkan Penjadwalan Prediktif Menggunakan Pendekatan FMEA dan Simulasi	v			v	v		v	v		v		v			

Penelitian terkait *reliability* pernah dilakukan oleh (Arthama, 2006). Pada penelitian tersebut metode yang digunakan yaitu *discrete event simulation* untuk menentukan *reliability* pabrik. Pada penelitian ini juga dilakukan penilaian risiko dengan cara memetakan nilai risiko yang diakibatkan oleh kegagalan yang terjadi. Selain itu terdapat juga penelitian terkait *reliability* dengan menggunakan analisis *reliability*, *availability* dan *maintainability* oleh (Salsabila, 2018). Pada penelitian tersebut dilakukan analisa terhadap sistem RAM pada industri proses dengan menggunakan pendekatan simulasi dengan mempertimbangkan inventori *spare part* dan penyangga. Sedangkan pada (Sharda & Bury, 2008) juga dilakukan analisa reliabilitas sistem dengan menggunakan *discrete event simulation*. Model pada analisa tersebut dibangun dengan menggunakan skenario pada *inventory spare part*. Pada kedua penelitian tersebut peralatan kritis diidentifikasi dengan menggunakan diagram *pareto* terhadap kerusakan peralatan.

Selain menggunakan diagram *pareto*, penentuan peralatan kritis dapat dilakukan dengan menggunakan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA). Pada (Puspitasari & Martanto, 2014) pernah dilakukan identifikasi risiko kegagalan proses produksi pada mesin tenun dengan menggunakan metode FMEA. Penelitian terkait FMEA sendiri juga mengalami perkembangan dengan memperhitungkan biaya, yaitu pada (Tazi, Chatelet, & Bouzidi, 2017). Pada penelitian tersebut dilakukan pengembangan identifikasi FMEA menggunakan aspek biaya. Untuk FMEA biasanya menggunakan tiga indikator yaitu *severity*, *occurance* dan *detection*. Setelah dilakukan identifikasi peralatan kritis maka dapat diketahui peralatan utama yang harus diprioritaskan untuk perbaikan.

Penjadwalan perbaikan merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi adanya *unplanned breakdown* pada peralatan. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Alrabghi, Tiwari, & Savill, 2017) telah dilakukan analisis keandalan dengan menggunakan metode optimasi dan metode *discrete event simulation* yang menghasilkan kebijakan *preventive maintenance*. Pada penelitian tersebut juga dilakukan analisis kebijakan inventori *spare part* dan analisis biaya. Selain *preventive maintenance* tipe perbaikan lain yaitu *predictive maintenance*. Menurut (Ebeling, 1997) *predictive maintenance* merupakan kegiatan perawatan

yang dilakukan dengan perbaikan atau pergantian komponen berdasarkan hasil estimasi waktu kerusakan terdekat mesin atau komponen. Penelitian terkait *predictive maintenance* pernah dilakukan oleh (Soesetyo & Bendatu, 2014). Pada penelitian tersebut menggunakan metode analitis untuk menjadwalkan *predictive maintenance*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini akan dikembangkan terkait analisis RAM dengan menggunakan pendekatan FMEA dan simulasi dengan menentukan kebijakan penjadwalan perawatan pada peralatan pada saat *overhaul*.

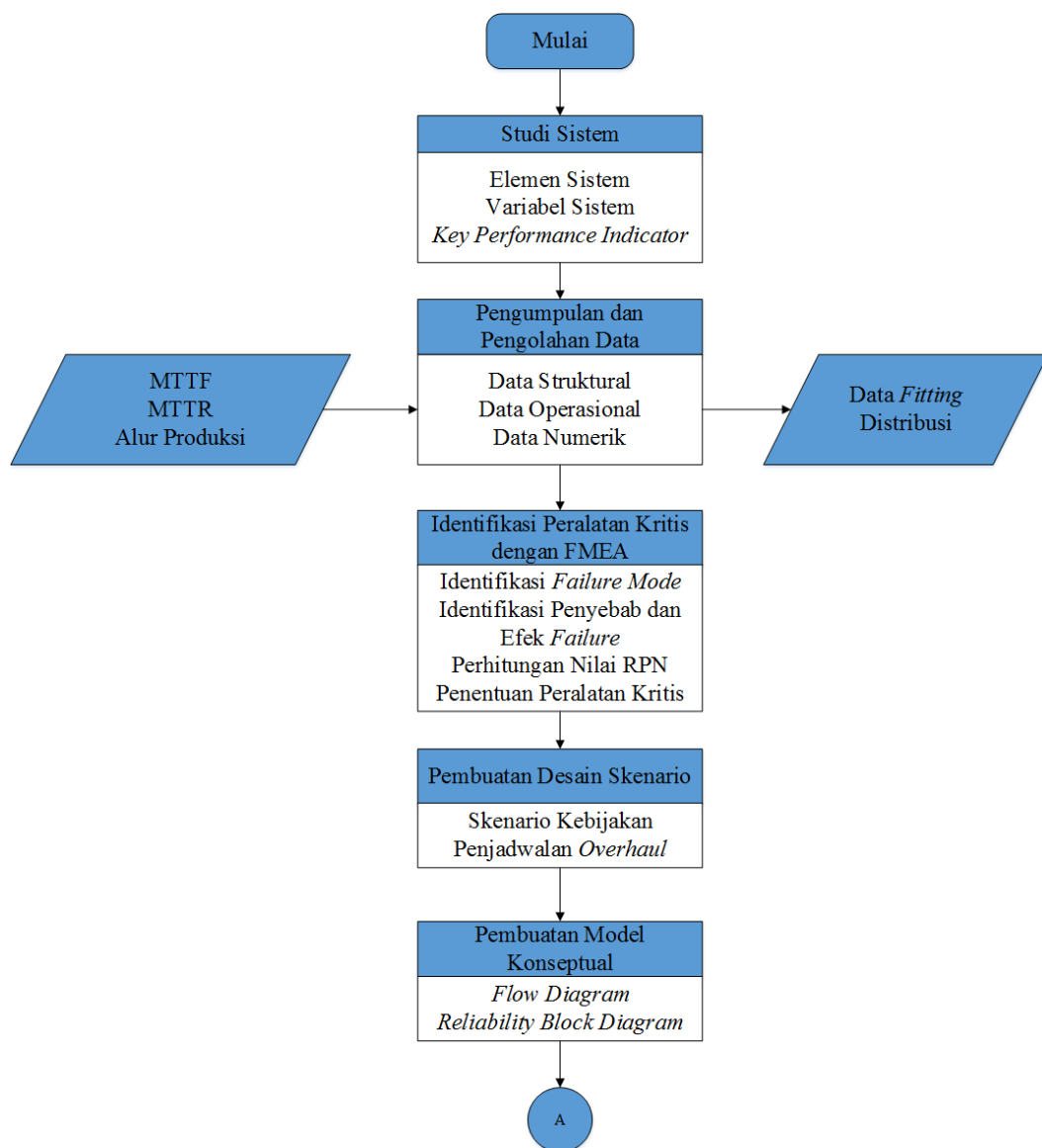
## BAB 3

### METODOLOGI

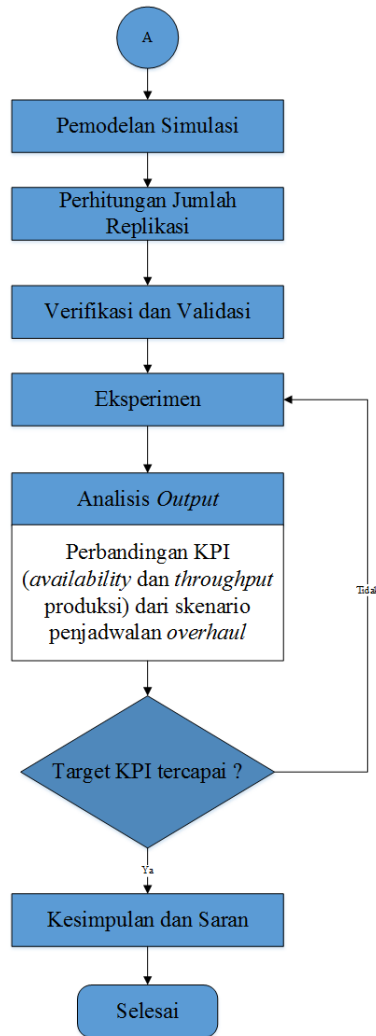
Pada Bab 3 akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang akan dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian tugas akhir yang terdiri dari *flowchart* penelitian dan penjelasan tahapan pada *flowchart* penelitian.

#### 3.1 *Flowchart* Penelitian

Berikut ini merupakan langkah-langkah penelitian tugas akhir dalam bentuk *flowchart*.



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian (Lanjutan)

### 3.2 Penjelasan *Flowchart* Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari *flowchart* metodologi dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini.

#### 3.2.1 *Studi Sistem*

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi sistem untuk mengetahui permasalahan yang terjadi. Setelah diketahui permasalahan yang ada di perusahaan kemudian dilakukan studi literatur untuk menyelesaikan permasalahan. Setelah diketahui cara menyelesaikan masalah, kemudian dilakukan pencarian informasi berupa elemen sistem, variabel sistem dan *key performance indicator*.



### 3.2.1.1 Elemen Sistem

Dalam simulasi terdapat beberapa elemen sistem di antaranya yaitu entitas, aktivitas, *resources*, dan kontrol. Pada penelitian ini elemen-elemen sistemnya yaitu.

1. Entitas pada sistem ini yaitu material *dust raw material* yang akan di proses menjadi *clinker* di mesin *Kiln*. Pada penelitian ini *dust* adalah material yang bersifat kontinu dan akan disimulasikan dalam satuan Ton.
2. Aktivitas yang akan disimulasikan dari sistem ini yaitu aktivitas produksi *clinker* dan aktivitas perbaikan mesin.
3. *Resource* yang disimulasikan pada sistem ini terdiri dari sub-sistem yang ada pada mesin *Kiln*. Berikut merupakan daftar nama peralatan yang akan disimulasikan dalam penelitian ini.

Tabel 3. 1 Daftar *Equipment* pada Mesin *Kiln*

No.	Mesin	Equipment	Kode Equipment	
1	<i>Kiln</i>	<i>ID Fan</i>	342FN6	
2		<i>Air Slide</i>		352AS1
3				352AS7
4				352AS8,9
5		<i>Drag Conveyor</i>	352CV1	
6		<i>Pan Conveyor</i>	352DB2	
7		<i>Bucket Elevator</i>		422BE1
8				422BE2
9		<i>Rotary Feader</i>	422RF5	
10		<i>Analyzer</i>		442AN1
11				442AN2
12		<i>Clinker Cooler</i>	442CC1	
13		<i>Clinker Breaker</i>		442CR1
14				442CR2
15		<i>Electrostatic Precipitator</i>	442EP1	
16		<i>ID Fan</i>		442FN1
17				442FN2
18		<i>Rotary Kiln</i>	442KL1	
19		<i>Pre Heater</i>	442PH1	

Tabel 3.1 Daftar *Equipment* pada Mesin *Kiln* (Lanjutan)

No.	Mesin	Equipment	Kode Equipment
20		<i>Pan Weigher</i>	482PW1
21			482PW2
22			482PW3
23		<i>Rotary Blower</i>	483BL3
24		<i>Electrical Room</i>	ER#11
25			ER1#13

4. Kontrol yang digunakan dalam sistem ini yaitu alur proses produksi dan sistem seri-paralel pada *reliability block diagram*.

### 3.2.1.2 Variabel Sistem

Pada simulasi, variabel terdiri dari variabel keputusan, variabel respons dan variabel status. Variabel keputusan pada sistem ini yaitu *scheduling maintenance* mesin. Variabel respons dari sistem ini yaitu keandalan mesin. Dan variabel status dari sistem ini yaitu status setiap *resource*. Berikut merupakan tabel variabel dalam sistem simulasi penelitian ini.

Tabel 3. 2 Variabel Sistem Simulasi

Variabel Keputusan	Variabel Respons	Variabel Status
Kebijakan <i>equipment overhaul scheduling</i>	<i>Availability</i> mesin <i>Kiln</i>	Status <i>resource</i> ( <i>busy/idle/failure</i> )
<i>Throughput</i> produksi		

### 3.2.1.3 Key Performance Indicator

*Key Performance Indicator* (KPI) merupakan suatu parameter yang digunakan untuk mengukur apakah suatu sistem berhasil mencapai tujuan yang diinginkan. Dalam penelitian ini KPI yang diukur yaitu *availability* dari mesin dan *throughput* produksi *clinker* yang dihasilkan oleh mesin.

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (3.1)$$

dimana

*A* : *availability*  
*MTTF* : *mean time to failure*  
*MTTR* : *mean time to repair*

Rumus pada persamaan 3.1 merupakan rumus yang akan digunakan dalam menghitung *availability* sistem yang akan dimodelkan. Sedangkan untuk KPI *throughput* produksi di dapatkan dari jumlah *output clinker* yang dihasilkan.

### 3.2.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai proses pengumpulan dan pengolahan data penelitian.

#### 3.2.2.1 Pengumpulan Data

Pada tahap ini akan dijelaskan mengenai proses pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini. Data yang dikumpulkan akan menjadi masukan dalam model simulasi. Berikut merupakan data-data yang dikumpulkan.

1. Data struktural, meliputi objek yang akan dimodelkan yang berupa elemen-elemen sistem pada simulasi seperti entitas (produk), *resources* (mesin) dan lokasi (area, stasiun kerja). Data struktural ini akan menggambarkan konfigurasi sistem yang akan dimodelkan.
2. Data operasional, yaitu data yang menjelaskan bagaimana sebuah sistem beroperasi. Data operasional dalam model simulasi ini berupa informasi di mana, kapan dan bagaimana aktivitas terjadi. Sebagai contoh yaitu informasi *downtime* terjadi, informasi waktu perbaikan mesin.
3. Data numerik, yaitu semua data kuantitatif dalam sistem. Seperti kapasitas, tingkat kedatangan, waktu antar *failure* dan waktu proses.

Berikut merupakan tabel data yang dibutuhkan dalam penelitian.

Tabel 3. 3 Data Penelitian

Data Struktural	Data Operasional	Data Numerik
Sub-sistem mesin	Alur proses produksi	Waktu antar kegagalan
	Proses <i>maintenance</i>	Waktu lamanya perbaikan

Tabel 3.3 Data Penelitian (Lanjutan)

Data Struktural	Data Operasional	Data Numerik
		Target produksi
		Jadwal produksi
		Laju Produksi

Dalam proses pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu dengan menggunakan data sekunder yang berupa data historis dan data primer dari hasil wawancara.

### 3.2.2.2 Pengolahan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengolahan data dari data yang telah di dapatkan pada proses sebelumnya. Data yang diolah ini nantinya akan menjadi masukan dalam model simulasi. Data-data yang bersifat stokastik seperti waktu kegagalan dan lamanya perbaikan dilakukan *fitting distribusi* terlebih dahulu untuk mencari distribusi yang sesuai.

### 3.2.3 Identifikasi Peralatan Kritis dengan FMEA

Pada tahap ini penulis akan melakukan identifikasi untuk mengetahui peralatan kritis apa saja yang ada pada sistem mesin *Kiln*. Identifikasi peralatan kritis ini dilakukan dengan menggunakan *failure mode and effect analysis* (FMEA) yang nantinya akan dicari nilai *risk priority number* (RPN) untuk mengetahui peralatan apa yang harus menjadi prioritas perbaikan. Pembuatan FMEA dimulai dengan mengidentifikasi *failure mode* atau potensi kegagalan yang dapat terjadi. Dari *failure mode* yang ada kemudian dicari penyebab dan efek yang dapat ditimbulkan. Masing-masing *failure mode* kemudian akan ditentukan nilai tingkat keparahan (*severity*), frekuensi terjadinya kegagalan (*occurance*), dan kemudahan dalam mendeteksi (*detection*). Kemudian dilakukan perhitungan nilai RPN dengan cara mengalikan nilai *severity*, *occurance* dan *detection*. Peralatan kritis dapat dilihat dengan mengurutkan nilai RPN. Semakin tinggi nilai RPN maka peralatan semakin penting untuk dilakukan *maintenance*. Dari nilai RPN juga dapat dikategorikan risiko, yaitu risiko rendah, sedang, dan tinggi pada peralatan. Dengan

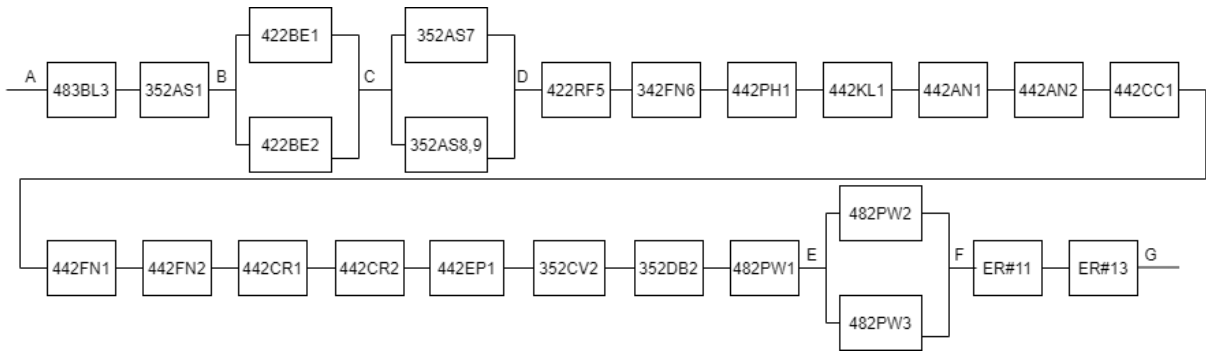
metode FMEA ini dapat menjawab tujuan penelitian yang pertama yaitu identifikasi peralatan kritis yang memiliki risiko tinggi.

#### 3.2.4 *Pembuatan Ide Skenario*

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan skenario yang diuji pada model simulasi. Hasil skenario ini nantinya akan dibandingkan untuk mengetahui skenario terbaik. Skenario yang akan digunakan dalam permasalahan ini yaitu menentukan kebijakan penjadwalan *overhaul* peralatan pada mesin *Kiln*. Pada PT X, pergantian komponen kritis pada mesin *Kiln* tidak dapat dilakukan setiap waktu. Karena biaya pemberhentian mesin akan lebih besar dibandingkan dengan biaya kehilangan produksi. Sehingga pergantian komponen dilakukan ketika ada *overhaul* atau dalam kurun waktu satu tahun. Namun karena tidak semua komponen memiliki nilai *life time* yang sama, maka tidak semua *equipment* akan diganti setahun sekali. Sehingga dari penelitian ini akan dilakukan identifikasi penjadwalan *overhaul* peralatan pada mesin *Kiln* untuk menghasilkan nilai *availability* dan *throughput* produksi yang optimal. Skenario akan dilakukan pada beberapa *equipment* kritis yang telah didapatkan dari perhitungan nilai RPN pada FMEA. Kemudian akan dibuat beberapa skenario kapan waktu pergantian komponen harus dilakukan pada peralatan tersebut.

#### 3.2.5 *Pembuatan Model Konseptual*

Pada tahap ini akan dibuat model konseptual dengan menggunakan *reliability block diagram* (RBD) dan *flow diagram*. RBD yang dibuat ini menggunakan logika sistem seri-paralel untuk sistem kegagalan dan sistem produksi. Dan *flow diagram* dibuat untuk memudahkan dalam memahami sistem. Berikut merupakan gambar *reliability block diagram* dari sistem yang akan dimodelkan.



Gambar 3. 2 Reliability Block Diagram Mesin Kiln

### 3.2.6 Validasi Model Konseptual

Sebelum menyusun model simulasi, harus dilakukan validasi model konseptual untuk memastikan model yang dibuat sudah merepresentasikan sistem yang ada. Pada tahap ini validasi model konseptual dilakukan dengan melakukan wawancara.

### 3.2.7 Model Simulasi

Pada tahap ini akan dibuat model simulasi yang berupa simulasi kejadian diskrit dengan menggunakan arena. Model simulasi yang dibuat disusun berdasarkan model konseptual yang telah disusun pada tahap sebelumnya. Dan hasil *fitting* data yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya akan menjadi masukan pada tahap ini.

### 3.2.8 Perhitungan Jumlah Replikasi

Dikarenakan *input* simulasi berupa *random input* sehingga *output* yang dihasilkan juga *random* maka harus dilakukan replikasi. Replikasi dilakukan agar hasil simulasi cukup merepresentasikan sistem asli. Salah satu pendekatan untuk mengetahui jumlah replikasi yang diperlukan adalah dengan mencoba menjalankan replikasi awal sebanyak  $n$  dan menghitung interval estimasi nilai rata-rata populasi atau *half width* berdasarkan sampel replikasi yang dicoba (Kelton, Sadowski, & Zupick, 2015). Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung *half width*.

$$hw = \frac{(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}})s}{\sqrt{n}} \quad (3.2)$$

dimana

- $hw$  : *half width* hasil simulasi  
 $t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$  : nilai pada tabel *student t*  
 $s$  : standar deviasi simulasi  
 $n$  : jumlah replikasi

Nilai  $hw$  yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan nilai *point estimate* yang didapatkan dari hasil rata-rata sampel replikasi awal yang telah dilakukan. Hal ini digunakan untuk mengetahui persentase *error* dari *point estimate*. Namun jika ingin mengetahui tepatnya nilai jumlah replikasi ( $n$ ) atau menghitung jumlah replikasi yang dibutuhkan dengan nilai  $hw$  yang diinginkan, dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$n' = \left[ \frac{Z_{\alpha/2} s}{hw} \right]^2 \quad (3.3)$$

dimana

- $n'$  = jumlah replikasi  
 $hw$  = nilai *half width* simulasi  
 $Z_{\alpha/2}$  = nilai pada tabel normal  
 $s$  = standar deviasi

### 3.2.9 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi

Verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa logika model simulasi yang dibuat benar. Berikut merupakan langkah yang bisa dilakukan untuk melakukan proses verifikasi.

1. Menggunakan fasilitas *debug* pada *software*
2. Menggunakan animasi untuk menampilkan variabel tertentu dalam sistem.

Sedangkan validasi dilakukan untuk menguji apakah model simulasi sudah merepresentasikan sistem yang asli. Validasi model simulasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan statistik inferensi. Yaitu dengan membandingkan

apakah ada perbedaan dengan data historis. Jika tidak ada perbedaan yang signifikan maka model simulasi dapat dikatakan valid.

### 3.2.10 Eksperimen

Setelah melakukan simulasi pada dengan kondisi *real system*, selanjutnya dilakukan eksperimen terhadap model simulasi. Eksperimen dilakukan berdasarkan skenario yang telah disusun sebelumnya. Skenario yang dibuat yaitu penjadwalan *overhaul* peralatan yang berfokus pada waktu pergantian peralatan. Peralatan yang akan diskenariokan berupa peralatan kritis yang di dapatkan dari hasil perhitungan RPN pada FMEA.

### 3.2.11 Analisis Output

Pada tahap ini akan dilakukan perbandingan antara *real system* dengan skenario hasil eksperimen. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan maka akan dipilih skenario yang lebih baik. Pada tahapan ini, jika target KPI belum tercapai maka dapat dikembangkan skenario lain yang menghasilkan hasil eksperimen yang lebih optimal. Skenario yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, skenario kebijakan penjadwalan *overhaul* peralatan. Penulis akan dimodelkan beberapa skenario yang berkaitan dengan penjadwalan pergantian beberapa komponen yang dapat menghasilkan nilai *availability* dan *throughput* produksi terbaik. KPI yang digunakan untuk penelitian ini yaitu, *availability* dan *throughput* produksi. Skenario yang menghasilkan nilai paling baik akan dipilih sebagai rekomendasi untuk digunakan perusahaan. Dengan menganalisis *output* hasil simulasi ini, maka dapat dijawab tujuan kedua dan tujuan ketiga pada penelitian ini. Yang mana tujuan kedua yaitu, mengidentifikasi *availability* dan rata-rata *throughput* produksi *clinker* PT X pada kondisi saat ini dan kondisi perbaikan. Dan tujuan ketiga yaitu, mengidentifikasi kebijakan penjadwalan *overhaul* peralatan yang dapat mengoptimalkan *availability*.



### *3.2.12 Kesimpulan dan Saran*

Pada tahap ini akan disimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Yaitu dengan memilih skenario yang optimal dari hasil simulasi eksperimen. Kemudian akan diberikan saran terhadap penelitian selanjutnya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab 4 akan dijelaskan mengenai hasil pengumpulan dan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini. Data yang digunakan berupa data sekunder yang di dapatkan dari perusahaan. Pengolahan data yang akan dilakukan pada bab ini yaitu menentukan komponen kritis dengan FMEA dan menentukan *input* model simulasi dengan menggunakan *fitting distribusi*.

#### 4.1 Pengumpulan Data

Pada sub-bab ini akan dipaparkan mengenai hasil pengumpulan data berupa data struktural, data operasional dan data numerik yang akan digunakan penulis dalam pemodelan simulasi.

##### 4.1.1 Data Struktural

Data struktural merupakan data yang meliputi objek yang akan dimodelkan yang berupa elemen-elemen sistem pada simulasi (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Berikut data struktural yang akan digunakan dalam pemodelan simulasi.

##### 4.1.1.1 Data Mesin dan Peralatan

Berikut merupakan daftar nama peralatan yang dan kode peralatan yang akan digunakan dalam model simulasi.

Tabel 4. 1 Daftar Peralatan dan Kode Peralatan

No.	Mesin	Equipment	Kode Equipment
1	<i>Kiln</i>	<i>ID Fan</i>	342FN6
2		<i>Air Slide</i>	352AS1
3			352AS7
4			352AS8,9
5		<i>Drag Conveyor</i>	352CV1
6		<i>Pan Conveyor</i>	352DB2
7		<i>Bucket Elevator</i>	422BE1
8			422BE2
9		<i>Rotary Feeder</i>	422RF5
10		<i>Analyzer</i>	442AN1
11			442AN2
12			<i>Clinker Cooler</i>

Tabel 4.1 Daftar Peralatan dan Kode Peralatan (Lanjutan)

No.	Mesin	Equipment	Kode Equipment
13	<i>Kiln</i>	<i>Clinker Breaker</i>	442CR1
14			442CR2
15		<i>Electrostatic Precipitator</i>	442EP1
16		<i>ID Fan</i>	442FN1
17			442FN2
18		<i>Rotary Kiln</i>	442KL1
19		<i>Pre Heater</i>	442PH1
20		<i>Pan Weigher</i>	482PW1
21			482PW2
22			482PW3
23		<i>Rotary Blower</i>	483BL3
24		<i>Electrical Room</i>	ER#11
25			ER1#13

Berdasarkan data pada Tabel 4.1 dapat diketahui terdapat 25 peralatan yang akan dimodelkan pada penelitian ini. Terdapat 15 macam peralatan yang ada pada mesin *Kiln* yaitu *ID Fan*, *Air Slide*, *Drag Conveyor*, *Pan Conveyor*, *Bucket Elevator*, *Rotary Feeder*, *ANalyzer*, *Clinker Cooler*, *Clinker Breaker*, *Electrostatic Precipitator*, *Rotary Kiln*, *Pre Heater*, *Pan Weigher*, *Rotary Blower* dan *Electrical Room*.

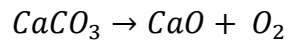
#### 4.1.2 Data Operasional

Data operasional merupakan data yang menjelaskan bagaimana sebuah sistem beroperasi (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Pada penelitian ini digunakan beberapa data operasional produksi yaitu waktu produksi, tahapan proses produksi, dan kebijakan penanganan kerusakan mesin yang ada di PT X. Waktu operasional untuk proses produksi di PT X adalah 24 jam. Pabrik akan berhenti produksi atau *shutdown* jika terjadi kerusakan pada mesin yang membutuhkan penanganan dengan cara mematikan mesin.

##### 4.1.2.1 Operasional Proses Produksi di Mesin *Kiln*

Mesin *Kiln* yang berfungsi untuk mengubah *dust raw material* menjadi produk berupa *clinker*. Terdapat beberapa tahapan proses yang dilalui oleh *raw material* selama berada pada mesin *Kiln*. Tahapan pertama yaitu material akan melewati *preheater* dan akan mengalami proses kalsinasi. Pada mesin *Kiln* terdapat

empat *stage*, dimana pada setiap *stage* terdapat *cyclone* yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pemisahan antara material dan gas panas di dalam *preheater*. Disini material yang sebagian besar berupa *limestone* atau *Calcium Carbonat* akan diurai menjadi *Calcium Oxyde* dan *Carbon Dioxyde* yang kemudian akan masuk pada tahapan berikutnya. Berikut merupakan reaksi penguraian *Calcium Carbonat*.



Setelah mengalami kalsinasi pada *preheater*, tahapan berikutnya material akan masuk ke *Rotary Kiln*. Pada tahapan ini material akan mengalami empat proses. Proses pertama yaitu proses kalsinasi lanjutan pada *calcina zone*. Zona ini memiliki suhu sebesar 900°C hingga 1000°C sehingga material yang belum terkalsinasi akan mengalami kalsinasi lebih lanjut. Proses kedua yaitu material akan mulai berubah dari zat padat menjadi zat cair pada *transition zone*. Zona ini memiliki suhu antara 1000°C hingga 1200°C. Pada proses ketiga, material akan meleleh dan membentuk mineral *clinker* pada *sintering zone*. Zona ini memiliki suhu sebesar 1200°C hingga 1350°C dan sering disebut juga sebagai *burning zone*. Dan pada proses keempat material akan mengalami pendinginan awal pada *cooling zone*.

Tahapan ketiga yaitu proses pendinginan material. *Clinker* panas bersuhu sekitar 1400°C yang keluar dari *rotary kiln* akan turun ke *Clinker Cooler*. Pada tahap ini *clinker* akan didinginkan di dalam *reciprocating grate cooler* yang terdiri dari 14 buah *cooling fan*. *Clinker* hasil pendinginan tahap ini akan keluar dengan suhu 82°C. *Clinker* yang sudah dingin masih berukuran besar sehingga akan dihancurkan oleh *Clinker Breaker* sehingga akan berukuran lebih kecil. Setelah mengalami beberapa tahap tersebut *clinker* yang sudah jadi akan di simpan di dalam *clinker dome*.

#### 4.1.2.1 Operasional *maintenance*

Pada PT X, untuk kegiatan *maintenance* secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. Kedua kegiatan *maintenance* tersebut dikelola oleh departemen yang berbeda. Untuk kegiatan *preventive maintenance* akan dilakukan setiap hari oleh unit yang ditugaskan untuk melakukan *maintenance* pada mesin. Setiap mesin akan diinspeksi oleh unit yang

bertugas. Inspeksi dilakukan secara berkala sesuai dengan jadwal yang telah disusun oleh masing-masing unit. Tidak semua peralatan akan di cek setiap hari, untuk satu peralatan bisa saja dicek satu minggu sekali atau dua minggu sekali menyesuaikan dengan banyaknya peralatan yang dipegang oleh masing-masing unit. Kegiatan *preventive maintenance* ini dilakukan untuk mengetahui adanya tanda-tanda jika kerusakan mesin yang besar atau parah terjadi atau jika kerusakan dapat ditangani oleh unit *preventive maintenance* sendiri maka akan dilakukan perbaikan. Namun jika kerusakan terlalu besar atau membutuhkan mematikan mesin, maka akan diserahkan ke bagian *predictive maintenance*. Setiap petugas *maintenance* akan melakukan pelaporan setiap melakukan inspeksi. Hasil kegiatan inspeksi tersebut yang akan menjadi masukan untuk departemen yang menjalankan *predictive maintenance* terkait peralatan apa saja yang akan di *overhaul*. Selain mendapatkan data dari departemen *preventive maintenance*, departemen *predictive maintenance* juga melakukan inspeksi rutin pada mesin secara berkala. Namun inspeksi yang dilakukan dibantu dengan menggunakan alat, seperti sensor suhu, sensor getaran dan alat-alat lain. Alat-alat tersebut membantu departemen *predictive maintenance* untuk memprediksi atau memperkirakan kapan harus dilakukan perbaikan pada alat-alat tertentu. Untuk mesin *Kiln* tidak semua kerusakan yang ditemukan langsung di eksekusi dengan cara mematikan mesin. Kerusakan yang terjadi akan diidentifikasi terlebih dahulu. Jika kerusakan yang terjadi sangat kritis maka akan dilakukan secara langsung yaitu melakukan perawatan dengan mematikan mesin secara sementara atau sering disebut dengan *patchjob*. Namun jika kerusakan masih bisa di toleransi, perbaikan akan dilakukan ketika ada *overhaul* mesin yang akan dijadwalkan setiap satu tahun sekali.

#### 4.1.3 Data Numerik

Data numerik merupakan semua data kuantitatif dalam sistem (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Data numerik yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu *throughput* produksi mesin *Kiln*, jadwal produksi, dan laju produksi pada mesin *Kiln*.

#### 4.1.3.1 *Throughput* Produksi

Berikut ini merupakan data *throughput* produksi pada mesin Kiln dari tahun 2013 hingga tahun 2019.

Tabel 4. 2 *Throughput* Produksi Tahun 2013-2019

Bulan	<i>Throughput</i> Produksi						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Januari	241.380	230.455	249.800	120.851	169.642	227.743	253.819
Februari	82.561	222.792	227.216	233.894	217.383	222.842	210.138
Maret	229.220	249.101	249.595	243.822	235.796	211.238	242.243
April	209.613	204.318	177.259	220.272	209.393	218.543	223.404
Mei	245.675	192.167	158.983	230.827	87.869	176.832	237.610
Juni	208.936	221.584	242.504	235.904	195.711	152.937	70.271
Juli	239.928	241.252	187.978	237.298	147.476	257.144	95.379
Agustus	223.009	73.430	205.600	245.017	242.934	247.302	232.167
September	217.070	30.168	244.599	224.140	238.298	240.905	237.596
Oktober	226.831	226.147	234.277	236.360	246.411	233.068	243.353
November	216.183	224.407	242.687	177.973	226.716	249.009	219.432
Desember	257.467	258.715	214.504	179.873	237.299	251.712	245.299
Total	2.597.874	2.374.537	2.635.003	2.586.229	2.454.927	2.689.274	2.510.710

#### 4.1.3.2 *Calendar day*

Berikut ini merupakan data *calendar day* atau data *running time* mesin *Kiln* pada tahun 2013 hingga tahun 2019.

Tabel 4. 3 Data *Calendar Day* Tahun 2013-2019

Bulan	<i>Calendar Day (Jam)</i>						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Januari	738,94	718,92	738,36	378,96	535,56	705,75	742,49
Februari	287,31	671,12	656,41	680,14	668,14	654,61	627,3
Maret	667,02	742,61	744	740,42	739,19	701,61	717,15
April	638,58	626,35	607,41	684,50	645,29	698,43	667,24
Mei	744	589,38	483,17	701,08	298,76	544,19	730,63
Juni	703,94	673,84	720	706,71	717,79	475,85	227,53
Juli	743,52	730,8	743,66	720,78	491,79	744	333,95
Agustus	722,72	249,16	700,25	716,7	738,77	715,55	706,02
September	653,95	182,01	714,38	676,57	711,74	682,15	702,28
Oktober	653,9	668,11	711,43	712,84	738,41	725,6	729,16
November	627,46	658,33	720	536,89	676,81	718,06	658,12
Desember	734,22	724,59	704,88	539,38	741,86	737,14	727,66
Total	7915,56	7235,22	8243,95	7794,97	7704,11	8102,94	7569,53

#### 4.1.3.3 Laju Produksi Mesin

Pada bagian ini akan dipaparkan terkait laju produksi pada mesin *Kiln* yang ada pada *plant 2*.

Tabel 4. 4 Laju Produksi Mesin *Kiln*

Mesin	Laju Produksi (TPD)
<i>Kiln</i>	7670

Laju produksi yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 merupakan laju produksi yang digunakan dalam perhitungan *performance* mesin *Kiln* saat ini. Laju produksi tersebut lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas terpasang awal pabrik yaitu 8500 TPD. Pengukuran laju produksi diturunkan dikarenakan *reliability* pabrik yang turun dikarenakan telah digunakan sejak tahun 1997.

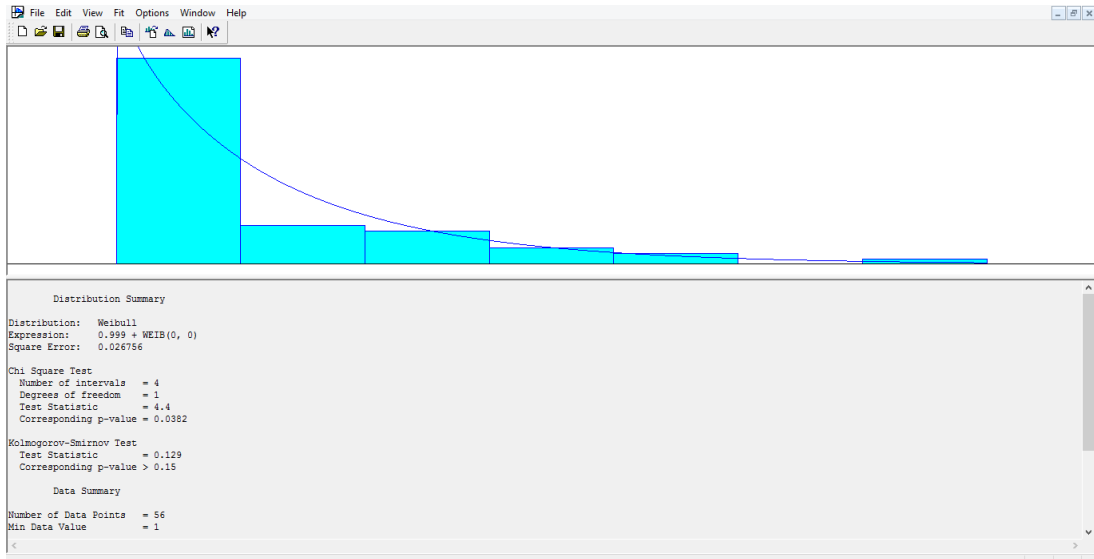
## 4.2 PENGOLAHAN DATA

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang dilakukan pada tahap sebelumnya, selanjutnya akan dilakukan pengolahan data berupa hasil *fitting distribusi* dari setiap unit peralatan. Hasil pengolahan data ini nanti akan digunakan sebagai *input* model simulasi.

### 4.2.1 *Fitting Distribusi Waktu antar Kegagalan dan Waktu Perbaikan*

Berdasarkan data historis mesin *Kiln* pabrik 2 PT X, dilakukan pengolahan data dengan menggunakan *fitting distribusi* untuk mengetahui perilaku acak dari sistem yang ada saat ini. *Fitting distribusi* dilakukan dengan menggunakan fitur *Input Analyzer* pada *software Arena*. Pada gambar di bawah ini akan ditampilkan contoh hasil *fitting distribusi*.





Gambar 4. 1 Hasil *Fitting* Distribusi Menggunakan *Input Analyzer*

Pada Gambar 4.1 di atas menunjukkan contoh hasil *fitting* distribusi menggunakan *input analyzer* pada peralatan 442KL1. Dan pada Tabel 4.5 di bawah ini akan ditunjukkan hasil rekapitulasi *fitting* distribusi dari seluruh peralatan yang akan digunakan dalam memodelkan sistem keandalan mesin *Kiln* yang terdiri dari waktu antar kegagalan (MTTF) dan waktu perbaikan dari 25 peralatan yang ada di mesin *Kiln*.

Tabel 4. 5 Hasil *Fitting* Distribusi Waktu antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan

No.	Equipment	Distribusi MTTF	Distribusi MTTR
1	342FN6	31 + WEIB(199, 0.512)	LOGN(4.5, 6.16)
2	352AS1	1.93e+003 + WEIB(30.2, 0.174)	3.02 + LOGN(5.55, 7.6)
3	352AS7	2.23e+003 + WEIB(23.2, 0.178)	2.23 + LOGN(2.98, 3.97)
4	352AS8,9	2.32e+003 + WEIB(20.8, 0.18)	6.42 + LOGN(2.84, 3.95)
5	352CV1	1.25e+003 + WEIB(37.3, 0.17)	10 + LOGN(1.11e+004, 2.29e+008)
6	352DB2	2.31e+003 + WEIB(10.7, 0.193)	25 + LOGN(386, 6.43e+005)
7	422BE1	883 + WEIB(22.6, 0.179)	0.81 + LOGN(0.116, 0.186)
8	422BE2	883 + WEIB(16.3, 0.185)	1.19 + LOGN(0.44, 0.613)
9	422RF5	122 + WEIB(8.16, 0.209)	LOGN(3.41, 5.81)
10	442AN1	31 + WEIB(199, 0.512)	LOGN(4.5, 6.16)
11	442AN2	5 + WEIB(110, 0.565)	LOGN(2.63, 2.52)

Tabel 4.5 Hasil *Fitting* Distribusi Waktu antar Kerusakan dan Waktu Perbaikan (Lanjutan)

No.	Equipment	Distribusi MTTF	Distribusi MTTR
12	442CC1	7 + WEIB(86.2, 0.504)	LOGN(22.5, 76.2)
13	442CR1	3 + WEIB(151, 0.633)	1 + LOGN(12.3, 27.3)
14	442CR2	-0.001 + WEIB(96.3, 0.637)	LOGN(8.57, 15)
15	442EP1	4 + WEIB(202, 0.403)	1 + LOGN(52.5, 374)
16	442FN1	27 + WEIB(65.6, 0.518)	LOGN(7.22, 27.3)
17	442FN2	765 + WEIB(12.2, 0.191)	14 + LOGN(1.49e+005, 1.2e+011)
18	442KL1	0.999 + WEIB(42.8, 0.947)	LOGN(13, 42.6)
19	442PH1	28 + WEIB(99.3, 0.425)	LOGN(65.2, 421)
20	482PW1	0.999 + WEIB(80.8, 0.264)	LOGN(3.39, 5.23)
21	482PW2	773 + WEIB(16.3, 0.185)	0.58 + LOGN(1.21, 2.15)
22	482PW3	31 + WEIB(168, 0.343)	0.14 + LOGN(1.48, 1.29)
23	483BL3	1.95e+003 + WEIB(21.1, 0.18)	3 + LOGN(0.69, 1.96)
24	ER#11	61 + WEIB(179, 0.312)	1 + LOGN(8.83, 16.4)
25	ER1#13	860 + WEIB(8, 0.2)	2.37 + LOGN(1.5, 2.62)

Berdasarkan hasil *fitting distribusi* dengan menggunakan *input analyzer*, pada penelitian ini digunakan distribusi *Weibull* untuk mendistribusikan waktu antar kerusakan (MTTF). Berdasarkan Robinson, (2014) salah satu distribusi yang dapat digunakan untuk memodelkan waktu antar kerusakan adalah distribusi *weibull*. Dan untuk memodelkan waktu perbaikan, pada penelitian ini digunakan distribusi *lognormal*. Distribusi *lognormal* adalah salah satu distribusi yang dapat digunakan untuk memodelkan waktu perbaikan (Robinson, 2014). Data MTTR di atas merupakan data waktu *repair* ketika peralatan rusak yang mana harus diperbaiki saat itu juga dan diperbaiki oleh staf *maintenance* PT X dan bukan pekerja sub-kontrak. Sehingga digunakan distribusi Lognormal yang berdasarkan Robinson (2014) dapat digunakan sebagai distribusi untuk memodelkan waktu perbaikan. Berdasarkan data yang telah di distribusikan, di dapatkan bahwa pada parameter  $\beta$  pada MTTF menunjukkan nilai  $\beta < 1$  atau laju kegagalannya menurun sepanjang waktu. Namun untuk lebih lanjut akan dilakukan uji validasi pada bab selanjutnya

untuk mengetahui apakah model valid, yang mana dapat menunjukkan bahwa data yang digunakan valid.

#### 4.2.2 Data Durasi *Overhaul*

Data durasi *overhaul* didapatkan dengan melakukan *fitting* distribusi pada lama waktu *overhaul* selama tujuh tahun terakhir. Berdasarkan data tersebut distribusi yang di dapatkan adalah TRIA( 289 , 558 , 1087 ). Untuk *overhaul* pada PT X sendiri dilakukan dengan menggunakan sub-kontrak sehingga waktu *overhaul* sudah ditentukan oleh pihak perusahaan.

#### 4.2.3 Pembuatan FMEA

Selain dilakukan pengolahan data dengan menggunakan *fitting* distribusi peralatan, juga dilakukan analisa peralatan kritis dengan menggunakan *failure mode and effect analysis* (FMEA). Tahapan ini dilakukan agar dapat diketahui prioritas peralatan kritis yang akan dimodelkan pada skenario perbaikan pada mesin *Kiln*. Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengolahan data dengan menggunakan FMEA pada 25 peralatan di mesin *Kiln*. Pada FMEA yang dibuat ditentukan nilai *severity*, *occurance* dan *detection* berdasarkan data historis serta standar perusahaan. Nilai *severity*, *occurance* dan *detection* digunakan untuk menghitung nilai *risk priority number* (RPN) pada masing-masing peralatan. Nilai RPN di dapatkan dengan mengalikan antara *severity*, *occurance* dan *detection*. Nilai RPN ini yang akan digunakan untuk menentukan apakah suatu peralatan dianggap memiliki risiko rendah (warna hijau), risiko sedang (warna kuning) atau risiko tinggi (warna merah).

Tabel 4. 6 Rekapitulasi *Failure Mode and Effect Analysis* Pada Setiap Peralatan

No.	Area	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Effect	Failure Consequences	Severity	Failure Cause	Occurance	Current Preventive Control	Dectection	Current Detect Control	RPN
1	Kiln 2	342FN6	Variable speed drive (VSD) / mengatur kecepatan motor	Fan VSD indikasi bearing kasar	VSD berhenti karena temperatur tinggi	Fan 6 , rawmill dan kiln 2 berhenti	8	1. Lifetime sudah melebihi 50.000 jam 2. Kondisi area kotor	7	Servis rutin saat shutdown dan overhaul	4	Temperature inverter	224
2	Kiln 2	352AS1	Air slide/material transport	Ganti kanvas	Tidak dapat menalirkan material	Proses transport material terganggu	7	Lifetime	3	Inspeksi rutin	5	-	105
3	Kiln 2	352AS7	Air slide/material transport	Transporter buntu	Tidak dapat menalirkan material	Proses transport material terganggu	7	Transporter buntu karena material	3	Inspeksi rutin	4	-	84
4	Kiln 2	352AS8 & AS9	Air slide/material transport	Transporter buntu	Tidak dapat menalirkan material	Proses transport material terganggu	7	Transporter buntu karena material	3	Inspeksi rutin	4	-	84
5	Kiln 2	422BE2	Alat transport Kiln Feed	Belt aus dan tipis, terlihat carcass	Belt putus	Stock umpan Kiln terganggu	7	Lifetime di atas 5 tahun	8	Inspeksi, cek berkala	8	-	448
6	Kiln 2	422RF5	Rotary Feeder	Rotary feeder macet	Umpan material ke preheater terganggu	Kiln berhenti	8	Sludge, Hot Gas line buntu	6	Pembersihan RF saat tripped, Inspeksi rutin 2 mingguan	3	Motion detector	144
7	Kiln 2	442AN1	Mengukur kadar gas CO, O2, NOX di Inlet Kiln	Sensor rusak	Tidak akurat (hunting)	Tidak ada acuan proses pembakaran, proses terganggu	7	Lifetime/obsolete	5	Servis rutin	6	-	210
8	Kiln 2	442AN2	Mengukur kadar gas CO, O2, NOX di Inlet Kiln	Sensor rusak	Tidak akurat (hunting)	Tidak ada acuan proses pembakaran, proses terganggu	7	Lifetime/obsolete	5	Servis rutin	6	-	210
9	Kiln 2	442BE1	Alat transport Kiln Feed	AS reducer putus	Tidak dapat transfer feed kiln	Kiln stop	7	Lifetime	8	Inspeksi rutin	8	-	448

Tabel 4.6 Rekapitulasi *Failure Mode and Effect Analysis* Pada Setiap Peralatan (Lanjutan)

No.	Area	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Effect	Failure Consequences	Severity	Failure Cause	Occurance	Current Preventive Control	Detection	Current Detect Control	RPN
10	Kiln 2	442CC1	Actuator atau penggerak cooler	Pressure rendah, langkah actuator tidak terpenuhi (12 stroke/menit menjadi 6 stroke/menit)	Cooler berat	Kapasitas cooler berkurang	7	Tidak bisa melakukan cek kondisi actuator tanpa mematikan Kiln	6	Penggantian saat <i>overhaul</i> dan inspeksi visual rutin setiap 2 minggu	5	-	210
11	Kiln 2	442CR1	Clinker breaker	Terganjil coating ganti hammer mill	Coating material	Kiln stop	7	Lifetime	6	Inspeksi, cek berkala	5	-	210
12	Kiln 2	442CR2	Clinker breaker	Terganjil coating ganti hammer mill	Coating material	Kiln stop	7	Lifetime	6	Inspeksi, cek berkala	5	-	210
13	Kiln 2	442EP1	Gas Distribution Screen (GDS) EP	Gas Distribution Screen (GDS) Aus	Gas Distribution Screen (GDS) Berlubang	1. Distribusi Gas Tidak Merata 2. Stack ngepul ( <i>high opacity</i> )	7	1. Lifetime 2. Sifat <i>dust</i> yang abrasif	8	Inspeksi Mingguan	4	-	224
14	Kiln 2	442FN1	Menarik gas panas dari Kiln	Vibrasi tinggi	Bearing fan rusak	Kiln stop	9	Filter strainer raw water pada internal drive fan buntu oleh partikel kerak korosif dengan frekuensi yang pendek	8	Servis rutin	3	-	216

Tabel 4.6 Rekapitulasi *Failure Mode and Effect Analysis* Pada Setiap Peralatan (Lanjutan)

No.	Area	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Effect	Failure Consequences	Severity	Failure Cause	Occurance	Current Preventive Control	Detection	Current Detect Control	RPN
15	Kiln 2	442FN1	Menarik gas panas dari Kiln	Power semi conductor rusak	Variable speed drive trip	Kiln stop	7	Tidak ada komponen common mode choke filter	7	Cek temperatur dan vibrasi motor	6	-	294
16	Kiln 2	442FN2	Power transformer/ menurunkan level tegangan sebagai supply rectifier ACS1000	Trafo short circuit	Coil/winding transformator rusak	442FN02 shutdown	7	High temperature, thermal fault, acidity tinggi	4	Inspeksi bulanan	6	level oil, temperatur oil	168
17	Kiln 2	442FN2	Power transformer/ menurunkan level tegangan sebagai supply rectifier ACS1000	Vibrasi tinggi	Speed fan turun	Kapasitas feed kiln berkurang	6	Coating material pada impeller	7	Pembersihan material coating	3	Vibrameter	126

Tabel 4.6 Rekapitulasi *Failure Mode and Effect Analysis* Pada Setiap Peralatan (Lanjutan)

No.	Area	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Effect	Failure Consequences	Severity	Failure Cause	Occurance	Current Preventive Control	Dectection	Current Detect Control	RPN
18	Kiln 2	442KL1	Reaktor atau sebagai tempat proses klinkerisasi dengan temperatur 1400 derajat C	<i>Red spot</i>	Deformasi <i>shell kiln</i>	<i>Kiln stop (pathjob 6 hari atau brickjob 8-14 hari</i>	7	1. <i>Kiln start-stop</i> 2. <i>Kiln overheat/upset (pengendalian operasi kiln- NoX, O2, kebocoran, kiln torque, kiln feed- batubara)</i> 3. <i>Brick performance</i> 4. <i>Kiln allignment kurang baik (kiln axis, ovality, migrasi, axial load)</i>	5	1. Setiap <i>kiln stop</i> harus membuat FMEA 2. Peningkatan kemampuan operator CCR 3. Kepala UK mencari referensi 4. <i>Kiln hot allignmnet dan ovality</i> 3 tahun sekali, migrasi <i>online</i> , cek <i>axial load</i> sebulan sekali 5. Pengendalian kualitas <i>kiln feed</i> dan batubara	3	CAM <i>scanner online</i> , FLIR sebulan sekali, operator <i>raytex</i> setiap <i>shift</i>	105

Tabel 4.6 Rekapitulasi *Failure Mode and Effect Analysis* Pada Setiap Peralatan (Lanjutan)

No.	Area	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Effect	Failure Consequences	Severity	Failure Cause	Occurance	Current Preventive Control	Dectection	Current Detect Control	RPN
19	Kiln 2	442KL1	Reaktor atau sebagai tempat proses klinkerisasi dengan temperatur 1400 derajat C	<i>Tyre crack</i>	Produksi berhenti	<i>Kiln stop</i>	8	1. Ada <i>initial crack</i> 2. Material masuk ke dalam <i>crack</i> 3. <i>Fatigue</i>	4	1. Inspeksi <i>axial load</i> bulanan 2. Pengukuran migrasi, temperatur, inspeksi visual	9	<i>Lifering migration, temperature shell, torque, speed kiln, pemasangan kamera.</i>	288
20	Kiln 2	442KL1	Reaktor atau sebagai tempat proses klinkerisasi dengan temperatur 1400 derajat C	<i>Supporting roll pier 2 retak</i>	<i>Supporting roll</i> mudah <i>cracked impact</i> sehingga <i>tyre</i> bisa retak	<i>Kiln stop</i>	5	<i>Supporting roll pier #2 design</i> lama jari-jari lebih kecil sehingga kuat tekan <i>roll</i> kurang optimal, menyebabkan <i>cracked</i> jari-jari <i>roll</i>	8	<i>Rewelding</i> keretakan, pasang <i>strong bar</i> dan tutup lubang jari-jari	8	<i>Monitoring</i> secara manual	320
21	Kiln 2	442PH1	<i>Center Tube</i>	<i>Coating</i> lepas	<i>Cyclone</i> buntu	Operasi <i>Kiln</i> berhenti	7	<i>Lifetime</i>	8	Inspeksi setiap <i>overhaul</i>	4	-	224
22	Kiln 2	452CV1	<i>Drag conveyor</i>	<i>Bucket</i> buntu	Tidak dapat transfer <i>clinker</i>	Proses transport material terganggu	6	Terganjai material	3	Inspeksi berkala	8	-	144
23	Kiln 2	452DB2	<i>Clinker transport</i>	<i>bucket</i> buntu	Tidak dapat transfer <i>clinker</i>	<i>Clinker transport</i> terganggu, operasi <i>Kiln</i> berhenti	6	Terganjai material	8	Inspeksi	8	-	384



Tabel 4.6 Rekapitulasi *Failure Mode and Effect Analysis* Pada Setiap Peralatan (Lanjutan)

No.	Area	Equipment	Function	Failure Mode	Failure Effect	Failure Consequences	Severity	Failure Cause	Occurance	Current Preventive Control	Detection	Current Detect Control	RPN
24	Kiln 2	482PW1	<i>Pulvurized coal feeder</i>	<i>Trip dan hunting</i>	<i>coating besar jatuh atau material mentah</i>	<i>Operasi Kiln berhenti</i>	7	<i>Mechanical alat aus atau material pulvurized lembab</i>	8	<i>Inspeksi rutin dan monitoring performance di CCR</i>	4	-	224
25	Kiln 2	482PW2	<i>Pulvurized coal feeder</i>	<i>Trip dan hunting</i>	<i>coating besar jatuh atau material mentah</i>	<i>Operasi Kiln berhenti</i>	7	<i>Mechanical alat aus atau material pulvurized lembab</i>	8	<i>Inspeksi rutin dan monitoring performance di CCR</i>	4	-	224
26	Kiln 2	482PW3	<i>Pulvurized coal feeder</i>	<i>Trip dan hunting</i>	<i>coating besar jatuh atau material mentah</i>	<i>Operasi Kiln berhenti</i>	7	<i>Mechanical alat aus atau material pulvurized lembab</i>	8	<i>Inspeksi rutin dan monitoring performance di CCR</i>	4	-	224
27	Kiln 2	483BL3	<i>Rotary blower</i>	<i>Tripped</i>	<i>Rotary blower tidak berfungsi</i>	<i>Kiln stop</i>	7	<i>Kesalahan electrical</i>	3	<i>Inspeksi rutin</i>	4	-	84
28	Electrical & DCS	ER#11	<i>Mensuplai power kiln 2</i>	<i>MVS Incoming/Isolator power block</i>	<i>Short phase to ground</i>	<i>Kiln plant 2 stop</i>	7	<i>Temperatur ruang panas, lifetime part</i>	4	<i>Visual check</i>	5	-	140
29	Electrical & DCS	ER#13	<i>Mensuplai power kiln 2</i>	<i>MVS Incoming/Isolator power block</i>	<i>Short phase to ground</i>	<i>Kiln plant 2 stop</i>	7	<i>Temperatur ruang panas, lifetime part</i>	4	<i>Visual check</i>	5	-	140

Berikut merupakan standar penilaian *severity*, *occurance* dan *detection* yang digunakan untuk menghitung nilai RPN pada FMEA di atas. Untuk penilaian *severity* terdiri dari tiga aspek yaitu *severity effect* terhadap *performance*, *severity effect* terhadap *availability* dan *severity effect* terhadap *output*. Sedangkan untuk *occurance* dan *detection* masing-masing hanya memiliki satu aspek tabel penilaian.

Tabel 4. 7 Kriteria *Severity Effect* Terhadap *Performance*

<b>Effect</b>	<b>Severity of Effect (Dampak Kerusakan)</b>	<b>Ranking</b>
Risiko tanpa peringatan	Rangking tertinggi dari akibat yang ditimbulkan oleh mode kerusakan terhadap sistem operasional dengan tanpa peringatan sebelumnya	10
Risiko dengan peringatan	Rangking tertinggi dari akibat yang ditimbulkan oleh mode kerusakan terhadap sistem operasional dengan peringatan sebelumnya	9
Sangat tinggi	Sistem tidak dapat beroperasi dengan tanpa berkompromi terhadap keselamatan	8
Tinggi	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan peralatan	7
Sedang	Sistem tidak dapat beroperasi dengan sedikit kerusakan peralatan	6
Rendah	Sistem tidak dapat beroperasi tanpa kerusakan	5
Sangat rendah	Sistem beroperasi dengan penurunan secara signifikan terhadap <i>performance</i>	4
Kecil	Sistem beroperasi dengan penurunan pada beberapa <i>performance</i>	3
Sangat kecil	Sistem beroperasi dengan sedikit gangguan	2
Tidak ada	Tanpa akibat	1

Tabel 4. 8 Kriteria *Severity Effect* Terhadap *Availability*

<b>Severity of Effect (Dampak Kerusakan)</b>	<b>Ranking</b>
Satu <i>plant shut down</i> / tidak berproduksi	10
	9
Salah satu atau beberapa proses terhenti berproduksi	8
	7
Penurunan <i>output</i> / <i>availability</i> >50%	6
	5
Penurunan <i>output</i> / <i>availability</i> <50%	4
	3
Tidak berdampak langsung pada produksi	2
	1

Tabel 4. 9 Kriteria *Severity Effect* Terhadap *Output*

<b><i>Severity of Effect (Dampak Kerusakan)</i></b>	<b><i>Ranking</i></b>
Produk tidak memenuhi syarat ( harus di <i>reject</i> )	10
	9
	8
	7
	6
	5
	4
	3
Tidak ada pengaruh terhadap kualitas	2
	1

Tabel 4. 10 Kriteria *Occurance*

<b><i>Probability of Failure</i></b>	<b><i>Failure Probability</i></b>	<b><i>Ranking</i></b>
Sangat tinggi : kerusakan yang pasti terjadi (tidak dapat dielakkan)	>1 in 2	10
	1 in 3	9
Tinggi : kerusakan yang berulang	1 in 8	8
	1 in 20	7
Sedang : kerusakan yang kadang-kadang terjadi	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Rendah : kerusakan yang kemungkinan kejadiannya relatif sangat kecil	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Sangat rendah/ <i>remote</i> : kerusakan yang tidak mungkin terjadi	<1 in 1,500,000	1

Tabel 4. 11 Kriteria *Detection*

<b><i>Detection</i></b>	<b><i>Detection</i></b>	<b><i>Ranking</i></b>
<i>Absolute Uncertainty</i>	Sangat tidak bisa mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	10
<i>Very Remote</i>	Sangat kecil kemungkinan untuk dapat mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	9
<i>Remote</i>	Kecil kemungkinan untuk dapat mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	8
Sangat rendah	Sangat rendah kemungkinan untuk dapat mendeteksi penyebab berpotensi pada kerusakan	7
Rendah	Rendah kemungkinan untuk dapat mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	6

Tabel 4. 11 Kriteria *Detection*

<i>Detection</i>	<i>Detection</i>	<i>Ranking</i>
Sedang	Sedang, kemungkinan untuk dapat mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	5
Sangat sedang	Sangat sedang kemungkinan untuk dapat mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	4
Tinggi	Tinggi kemungkinan untuk dapat mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	3
Sangat tinggi	Sangat tinggi kemungkinan untuk dapat mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	2
Hampir pasti	Hampir pasti dapat mendeteksi penyebab yang berpotensi pada kerusakan	1

Selain beberapa kriteria untuk menentukan nilai FMEA, juga terdapat kriteria untuk menentukan jenis risiko baik risiko rendah, risiko sedang atau risiko tinggi yang akan ditampilkan pada tabel 4.12. Penilaian terhadap risiko tersebut disesuaikan dengan standar yang dipakai oleh perusahaan.

Tabel 4. 12 Penilaian Risiko FMEA

Jenis Risiko	Nilai RPN	Warna
Rendah	1 – 64	
Sedang	65 -192	
Tinggi	> 192	

Data yang didapatkan pada tabel rekapitulasi FMEA merupakan hasil dari data historis FMEA PT X dan hasil wawancara. Berdasarkan hasil pengolahan data pada *failure mode and effect analysis* pada semua peralatan didapatkan bahwa terdapat 18 *failure mode* dengan risiko tinggi pada 16 peralatan. Dan 11 *failure mode* dengan risiko sedang pada 10 peralatan. Peralatan yang memiliki risiko tinggi di antaranya yaitu 342FN6, 422BE2, 442AN1, 442AN2, 442BE1, 442CC1, 442CR1, 442EP1, 442FN1, 442KL1, 442PH1, 452DB2, 482PW1, 482PW2, dan 482PW3. Dan peralatan yang memiliki nilai RPN paling tinggi yaitu 422BE1 dan 422BE2 yaitu sebesar 448. Hal tersebut terjadi karena pada semua nilai *severity*, *occurance* dan *detection* memiliki nilai yang tinggi. Dan peralatan yang memiliki nilai RPN yaitu 483BL3, 352AS7 dan 352AS89. Hal tersebut terjadi karena peralatan tersebut jarang sekali mengalami kerusakan. Dan jika terjadi kerusakan tidak terlalu berpengaruh terhadap performansi mesin secara keseluruhan. Dikarenakan semua

peralatan memiliki risiko sedang sampai tinggi, maka pada penelitian ini akan dilakukan analisis penjadwalan *overhaul* pada 23 peralatan yang ada di mesin *Kiln*. Namun terdapat dua peralatan yang tidak akan dilakukan skenario penjadwalan *overhaul* yaitu peralatan ER#11 dan peralatan ER#13, hal tersebut dilakukan karena peralatan tersebut yang merupakan *electric room* tidak berhubungan secara langsung dengan mesin *Kiln* sehingga pada kondisi yang sebenarnya memang tidak dilakukan *overhaul* bersamaan dengan peralatan yang lain.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## BAB 5

### PERANCANGAN MODEL SIMULASI

Pada Bab 5 akan dijelaskan mengenai tahap-tahap proses pemodelan pada penelitian ini. Model yang akan dibuat yaitu model konseptual dan model simulasi. Model yang dibuat yaitu sub-model kegagalan dari mesin *Kiln*, sub-model *overhaul*, dan sub-model produksi.

#### 5.1 Model Konseptual

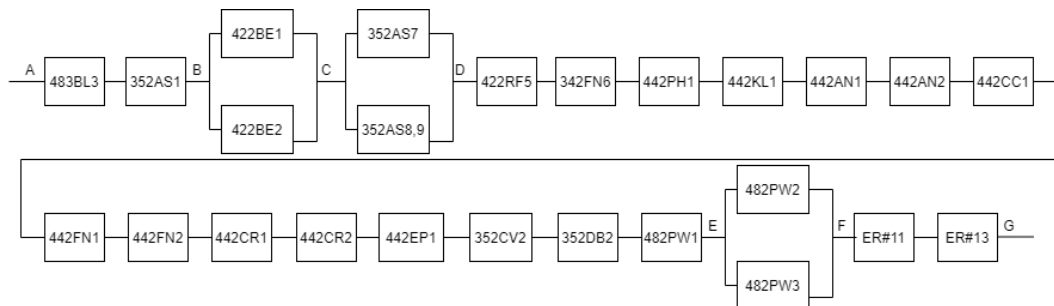
Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai model konseptual yang memperlihatkan logika dalam pembuatan model simulasi yang akan dilakukan pada penelitian ini.

##### 5.1.1 Sub-model Kegagalan

Sub-model kegagalan adalah model yang akan menjelaskan terkait sistem kegagalan pada mesin. Pada sub-model ini akan digunakan *reliability block diagram* dan *flow diagram* untuk memodelkan kegagalan pada sistem.

##### 5.1.1.1 Reliability Block Diagram

*Reliability block diagram* (RBD) adalah representasi grafis dari komponen sebuah sistem dan bagaimana komponen tersebut terhubung satu dengan yang lain (Elsayed, 2012). RBD yang akan ditampilkan pada Gambar 5.1 merupakan RBD dari mesin *Kiln*.



Gambar 5. 1 *Reliability Block Diagram* Mesin *Kiln*

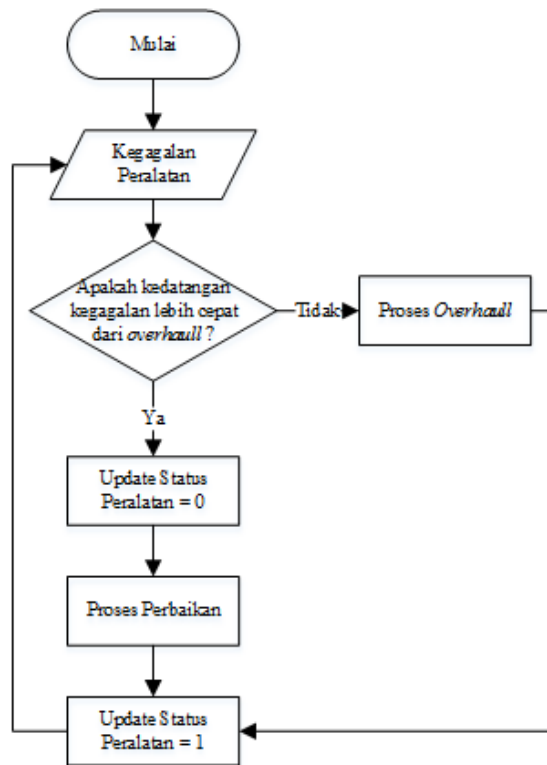
Berdasarkan Gambar 5.1 dapat diketahui bahwa terdapat peralatan yang bersifat paralel dan seri. Peralatan 422BE1 dan 442BE2 merupakan peralatan yang bersifat paralel, karena kedua peralatan memiliki fungsi yang sama, yaitu sebagai alat *transport* material. Begitu juga dengan peralatan 352AS7 dan 352AS8,9 yang memiliki fungsi yang sama yaitu sebagai alat *transport* material. Peralatan yang

memiliki sifat paralel lain yaitu 482PW2 dan 482PW3 yang berfungsi sebagai penimbang material sebelum di transfer ke bagian lain. Jika peralatan memiliki sifat paralel, maka jika terjadi kerusakan pada salah satu peralatan tidak akan mempengaruhi jalannya mesin atau sistem secara keseluruhan. Selain peralatan yang bersifat paralel, dalam sistem ini terdapat peralatan yang bersifat seri. Di antaranya yaitu 483BL3 yang berfungsi sebagai *blower*, 352AS1 yang berfungsi sebagai *transporter*, 422RF5 yang berfungsi sebagai umpan material untuk masuk ke *Kiln*, 342FN6 yang berfungsi sebagai *fan* dalam *preheater*, 442PH1 yang berfungsi sebagai tempat pemanasan awal material, 442KL1 yang berfungsi sebagai tempat pembakaran material, 442AN1 dan 442AN2 yang berfungsi sebagai *analyzer* kadar gas buang dalam *Kiln*, 442CC1 yang berfungsi sebagai tempat pendinginan material, 442FN1 dan 442FN2 yang berfungsi sebagai *fan* pendingin material setelah dibakar, 442CR1 dan 442CR2 yang berfungsi sebagai penghancur *clinker* setelah didinginkan, 442EP1 yang berfungsi sebagai alat untuk menyaring udara atau gas dari debu yang keluar dari *Kiln*, 352DB2 yang berfungsi sebagai alat *transport clinker*, dan ER11, ER13 yang berfungsi sebagai ruang kontrol elektrik pada mesin *Kiln*.

#### 5.1.1.2 Flow Diagram Sistem Kegagalan

Pada sub-bab ini akan dipaparkan mengenai model sistem kegagalan pada mesin *Kiln* dengan menggunakan *flow diagram*. Dalam model kegagalan di bawah, setiap sistem akan dihubungkan dengan sub-model *overhaul* atau *predictive maintenance* yang memiliki nilai berbeda untuk setiap peralatan.





Gambar 5. 2 *Flow Diagram* Model Kegagalan

Gambar 5.2 menunjukkan model konseptual dalam bentuk *flow diagram* untuk sub model kegagalan pada mesin *Kiln*. Berikut merupakan penjelasan dari model konseptual kegagalan dari Gambar 5.2.

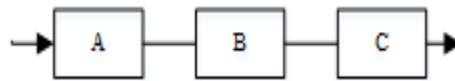
1. Kedatangan kegagalan peralatan  
*Input* waktu kedatangan kegagalan atau kerusakan dari peralatan
2. *Decide* kedatangan kegagalan  
 Apabila terjadi kerusakan pada peralatan lebih cepat dengan kedatangan waktu *overhaul* maka proses akan dilanjutkan dengan *update status* peralatan = 0, jika tidak maka akan dilanjutkan proses *overhaul*.
3. *Update* status peralatan  
 Apabila terjadi kerusakan pada peralatan maka status sub-sistem diubah menjadi 0, atau rusak.
4. Menunggu hingga ketiga peralatan selesai diperbaiki  
 Apabila terjadi kedatangan kerusakan lebih cepat dari *overhaul* maka akan dilakukan perbaikan peralatan pada saat itu juga.
5. *Update* status sub-sistem

Setelah semua sub-sistem selesai diperbaiki, maka status sub-sistem seri di *update* menjadi 1 atau yang berarti dapat dioperasikan.

#### 6. Proses *Overhaul*

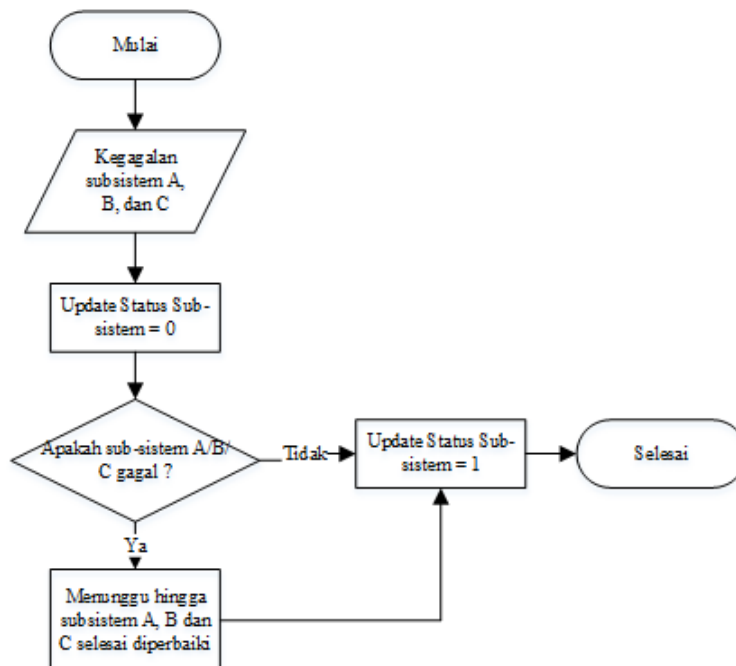
Apabila kedatangan proses *overhaul* lebih cepat dibandingkan dengan kedatangan kerusakan, maka akan dilakukan proses *overhaul* dan kemudian dilanjutkan dengan *update* status peralatan = 1.

Selain sub-model kegagalan secara keseluruhan, terdapat juga model sub-sistem yang bersifat seri atau paralel. Gambar 5.3 berikut merupakan contoh sub-sistem seri.



Gambar 5. 3 Contoh Sub-sistem Seri

Pada Gambar 5.3 diketahui bahwa sub-sistem tersebut bersifat seri, maka apabila satu atau lebih sub-sistem mengalami kegagalan atau kerusakan, maka keseluruhan sistem akan mati. Dan Gambar 5.4 berikut merupakan *flow diagram* dari sub-sistem seri dari contoh pada Gambar 5.4.

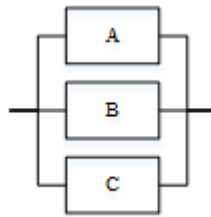


Gambar 5. 4 *Flow Diagram* Sistem Seri

Berikut merupakan penjelasan dari model konseptual sistem seri pada Gambar 5.4.

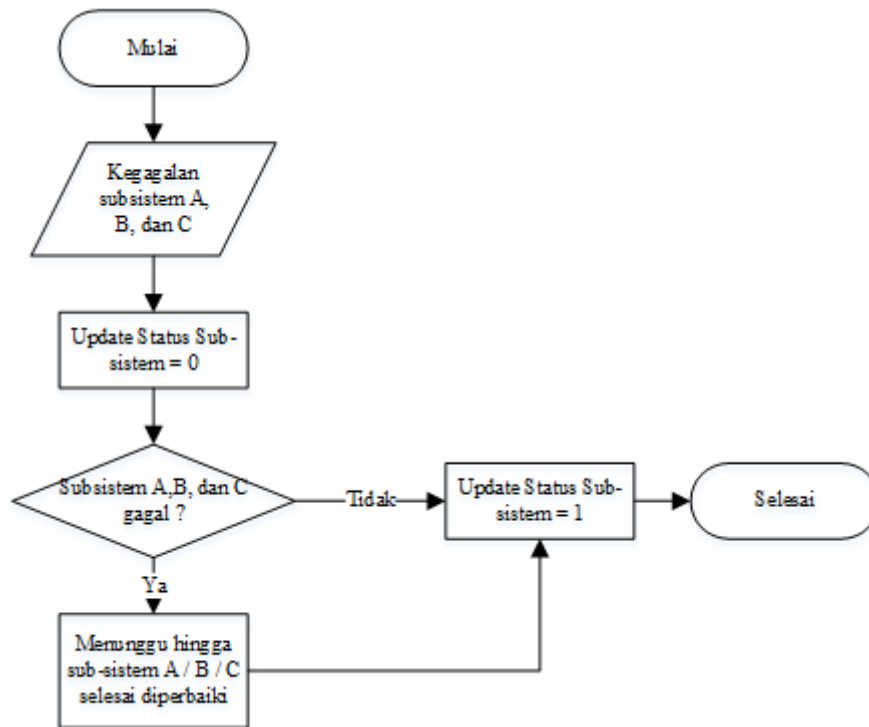
1. Kegagalan sub-sistem A, B dan C  
*Input* waktu kedatangan kerusakan sub-sistem A, B, dan C pada rangkaian seri.
2. *Update* status sub-sistem  
Apabila terjadi kerusakan pada sub-sistem A, B, atau C maka status sub-sistem diubah menjadi 0, atau rusak.
3. Evaluasi kegagalan sub-sistem A, B dan C  
Apabila salah satu sub-sistem mengalami kerusakan, maka sistem akan mati dan perlu dilakukan perbaikan lebih lanjut.
4. Menunggu hingga ketiga sub-sistem selesai diperbaiki  
Apabila terjadi kerusakan pada salah satu sub-sistem maka sistem akan mati, sehingga perlu dilakukan perbaikan hingga semua sub-sistem berjalan dengan normal agar dapat dioperasikan.
5. *Update* status sub-sistem  
Setelah semua sub-sistem selesai diperbaiki, maka status sub-sistem seri di *update* menjadi 1 atau yang berarti dapat dioperasikan.

Sub-sistem selanjutnya yaitu sus-sistem yang membentuk rangkaian paralel. Berikut merupakan contoh rangkaian paralel yang disajikan pada Gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Contoh Sub-sistem Paralel

Pada Gambar 5.5 diketahui bahwa sub-sistem tersebut bersifat paralel, maka apabila sub-sistem A, B, dan C mengalami kegagalan atau kerusakan, maka keseluruhan sistem akan mati. Namun apabila sub-sistem A/B/atau C mati, sistem tidak akan mati. Dan Gambar 5.6 berikut merupakan *flow diagram* dari sub-sistem paralel.



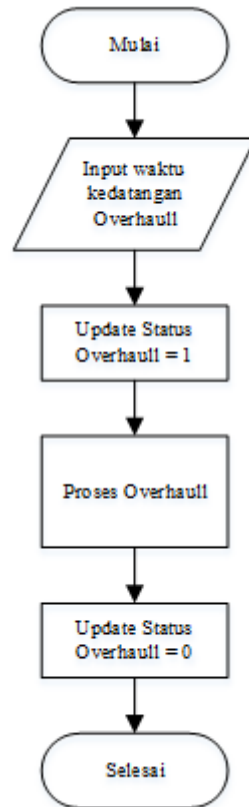
Gambar 5. 6 *Flow Diagram* Sistem Paralel

Berikut merupakan penjelasan dari model konseptual sistem paralel pada Gambar 5.6.

1. Kegagalan sub-sistem A, B dan C  
*Input* waktu kedatangan kerusakan sub-sistem A, B, dan C pada rangkaian paralel.
2. *Update* status sub-sistem  
 Apabila terjadi kerusakan pada sub-sistem A, B, atau C maka status sub-sistem diubah menjadi 0, atau rusak.
3. Evaluasi kegagalan sub-sistem A, B dan C  
 Apabila ketiga sub-sistem mengalami kerusakan, maka sistem akan mati dan perlu dilakukan perbaikan lebih lanjut.
4. Menunggu hingga ketiga sub-sistem selesai diperbaiki  
 Apabila terjadi kerusakan pada ketiga sub-sistem maka akan dilakukan hingga salah satu sub-sistem selesai diperbaiki agar dapat dioperasikan.
5. *Update* status sub-sistem  
 Setelah sub-sistem selesai diperbaiki, maka status sub-sistem seri di *update* menjadi 1 atau yang berarti dapat dioperasikan.

### 5.1.2 Sub-model Overhaul

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai proses kedatangan *overhaul* atau *predictive maintenance*. Sub-model *overhaul* ini akan dibuat dengan beberapa rentang waktu *overhaul* yang diperlukan yaitu 1 tahun, 2 tahun, 3 tahun, 4 tahun, atau 5 tahun.



Gambar 5.7 Flow Diagram Sub-Model Overhaul

Berikut ini merupakan penjelasan dari *flow diagram* pada sub-model *overhaul*.

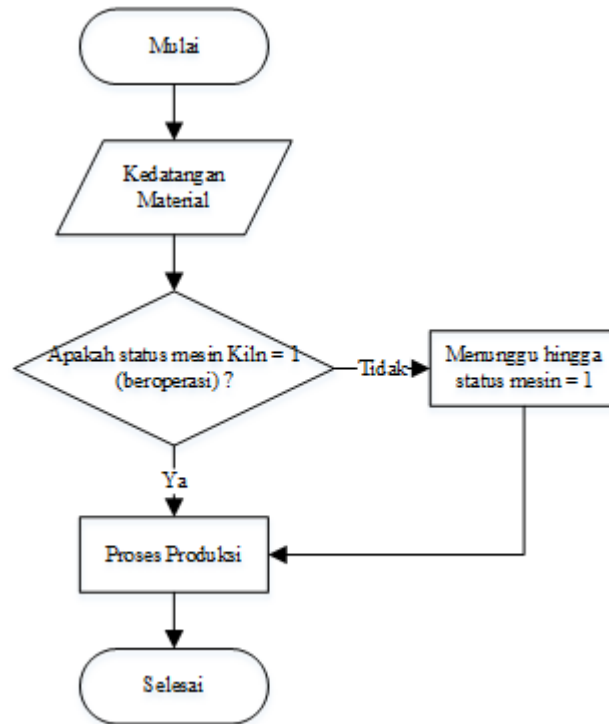
1. Waktu kedatangan *overhaul*  
*Input* dari sub-model *overhaul* yaitu waktu kedatangan *overhaul*.
2. *Update status overhaul*  
Apabila proses *overhaul* dilakukan maka status *overhaul* akan di *update* menjadi 1 atau berarti sedang terjadi proses *overhaul*.
3. Menunggu hingga *overhaul* selesai  
Ketika proses *overhaul* terjadi maka semua peralatan akan dimatikan dan akan beroperasi kembali setelah *overhaul* selesai dilakukan.

#### 4. Update status sub-sistem

Setelah *overhaul* selesai, maka status *overhaul* akan di *update* menjadi 0 atau yang berarti telah selesai dilakukan.

#### 5.1.3 Sub-model Sistem Produksi

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai sub-model proses produksi yang dilakukan dalam model simulasi.



Gambar 5. 8 *Flow Diagram* Proses Produksi

Pada Gambar 5.8 telah ditunjukkan mengenai *flow diagram* dari sub-model proses produksi. Berikut merupakan penjelasan dari sub-model tersebut.

1. *Input* kedatangan material
2. *Decide* kondisi mesin

Proses produksi hanya dapat dilakukan jika mesin beroperasi atau status mesin=1, maka jika status mesin=0, proses produksi akan di hentikan dan akan dimulai ketika status mesin kembali menjadi 1.

3. Menunggu status mesin = 1

Apabila terjadi kerusakan pada saat produksi atau status mesin = 0, maka produksi tidak akan dilakukan hingga status mesin menjadi 1.

#### 4. Proses produksi

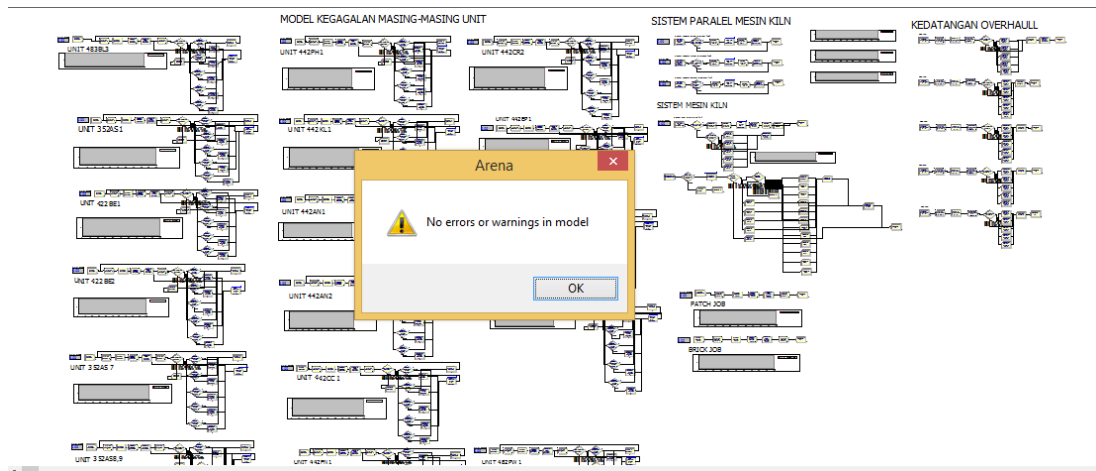
Setelah status mesin = 1 atau dapat beroperasi, maka produksi dapat dilakukan.

### 5.2 Verifikasi

Menurut Harrel et.al (2004) verifikasi adalah proses untuk menentukan apakah model yang dibuat beroperasi sesuai yang diinginkan. Verifikasi bertujuan untuk menghindari *error* pada model yang dibuat. Terdapat dua jenis verifikasi, yaitu *syntax error* dan *semantic error*. *Syntax error* yaitu kesalahan penulisan tata bahasa atau notasi yang dapat membuat model tidak berjalan. Sedangkan *semantic error* yaitu kesalahan yang terkait dengan logika penulis membuat model.

#### 5.2.1 Verifikasi Syntax Error

Dalam melakukan verifikasi *syntax error*, penulis menggunakan fasilitas *debug* yang ada pada *software*. Dari hasil penggunaan *debug* tidak terdapat *syntax error* atau kesalahan notasi pada model simulasi. Gambar di bawah merupakan hasil verifikasi *syntax error* pada model.



Gambar 5. 9 Verifikasi *Syntax Error*

#### 5.2.2 Verifikasi Semantic Error

Dalam melakukan verifikasi *semantic error* penulis menggunakan animasi untuk memastikan model berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Dalam penelitian ini, animasi yang digunakan yaitu berupa variabel pada *software* dan

grafik. Animasi tersebut diterapkan pada seluruh unit peralatan yang ada di *reliability block diagram* yang dibuat.

Variabel dan grafik yang ditampilkan pada sub-sistem kegagalan dan sub-sistem *overhaul* yaitu berupa status sub-sistem. Variabel digunakan untuk menunjukkan status dari sub-sistem apakah berjalan dengan baik atau mengalami kegagalan. Sedangkan grafik yang digunakan dalam sub-sistem menunjukkan apakah pada waktu yang ditunjukkan sub-sistem mengalami kegagalan atau tidak. Grafik yang digunakan juga dapat menunjukkan apakah logika seri-paralel dari model yang dijalankan telah sesuai dengan *reliability block diagram*.

### 5.3 Penentuan Jumlah Replikasi

Simulasi merupakan sistem *random input, random output* (RIRO), artinya *input* dari simulasi bersifat acak yang menyebabkan hasil luarannya bersifat acak pula. Oleh karena itu replikasi diperlukan untuk mengatasi sifat RIRO tersebut. Penentuan jumlah replikasi diperlukan untuk memastikan bahwa jumlah replikasi cukup untuk digunakan. Pada penelitian ini, parameter yang digunakan untuk menentukan jumlah replikasi yaitu *calendar day*. *Calendar day* merupakan waktu operasional yang digunakan untuk memenuhi permintaan dalam satuan bulan atau tahun. Untuk menentukan jumlah replikasi, pada penelitian ini ditentukan terlebih dahulu jumlah replikasi sebagai hipotesis awal untuk menentukan jumlah replikasi yang dibutuhkan nanti. Pada penelitian ini replikasi awal dilakukan sebanyak 10. Berikut merupakan hasil dari replikasi awal yang dijalankan.

Tabel 5. 1 Hasil *Running* Parameter *Calendar Day*

Replikasi	<i>Calendar Day/Tahun (Jam) Simulasi</i>	<i>Calendar Day/Tahun (Jam) Real System</i>
1	8655,75	7915,56
2	8651,78	7235,22
3	8294,83	8243,95
4	8189,64	7794,97
5	8656,13	7704,11
6	8481,91	8102,94
7	8260,49	7569,53
8	8591,00	
9	8601,12	



Tabel 5.1 Hasil *Running* Parameter *Calendar Day* (Lanjutan)

Replikasi	<i>Calendar Day/Tahun (Jam) Simulasi</i>	<i>Calendar Day/Tahun (Jam) Real System</i>
10	8133,07	
<b>Rata-rata</b>	8451,57	7795,18
<b>Standar deviasi</b>	210,15	337,48

Selanjutnya, akan ditentukan nilai *half width* (*hw*) berdasarkan hasil *running* simulasi awal. Dalam penelitian ini, tingkat *error* yang digunakan yaitu 5% dan didapatkan nilai  $t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$  pada tabel *Student's t* sebesar 2,26. Dan replikasi awal dilakukan sebanyak 10 kali. Berikut merupakan hasil perhitungan *hw*.

$$hw = \frac{(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}})s}{\sqrt{n}} = \frac{(2,26) 534,84}{\sqrt{10}} = 382,6$$

dimana

*hw* = *half width* hasil simulasi

$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$  = nilai pada tabel *student t*

*s* = standar deviasi simulasi

*n* = jumlah replikasi awal

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai *half width* sebesar 382,6 jam atau sebesar 4,5% dari rata-rata sampel replikasi awal. Nilai persentase *error* yang didapatkan termasuk kecil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa 10 replikasi cukup untuk dilakukan. Namun, untuk lebih memastikan jumlah replikasi yang dibutuhkan, maka akan dilakukan perhitungan *n'* untuk mengetahui tepatnya jumlah replikasi yang dibutuhkan. Berikut merupakan perhitungan *n'*.

$$n' = \left[ \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}} S}{hw} \right]^2 = \left[ \frac{1,96 \times 534,84}{382,6} \right]^2 = 7,5 \approx 8$$

dimana

*n'* = jumlah replikasi

$hw$  = nilai *half width* simulasi awal

$Z_{\alpha/2}$  = nilai pada tabel normal

$s$  = standar deviasi

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa minimal harus dilakukan 8 kali replikasi untuk simulasi model. Pada penelitian ini replikasi akan dilakukan sebanyak 10 kali.

#### 5.4 Validasi

Validasi adalah proses menentukan apakah model yang dibuat merupakan representasi yang sesungguhnya dan akurat dari sistem nyata (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Dikarenakan sampel yang ada bersifat acak, maka digunakan metode statistik uji hipotesis *Student's t* untuk membandingkan antara rata-rata populasi sistem saat ini dengan sistem simulasi. Berikut merupakan hipotesis awal dan hipotesis alternatif yang digunakan.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

dimana :

$\mu_1$  = rata-rata populasi hasil simulasi

$\mu_2$  = rata-rata populasi kondisi saat ini

Pada penelitian ini digunakan nilai  $\alpha$  sebesar 5%. Kemudian dilakukan *running* uji statistik *Student't* pada *data analysis* di Microsoft Excel dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Uji Statistik *Student't*

	<i>Real System</i>	<i>Model Simulasi</i>
<i>Mean</i>	7795,182857	7643,440155
<i>Variance</i>	113894,8313	286050,8966
<i>Observations</i>	7	10
<i>Pooled Variance</i>	217188,4705	

Tabel 5. 2 Hasil Uji Statistik *Student't* (Lanjutan)

	<i>Real System</i>	<i>Model Simulasi</i>
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	15	
<i>t Stat</i>	0,660714729	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,259407253	
<i>t Critical one-tail</i>	1,753050356	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,518814507	
<i>t Critical two-tail</i>	2,131449546	

Berdasarkan data di atas dengan  $\alpha$  5% dan *degree of freedom* sebesar 15, didapatkan nilai  $t_{(\alpha,df)}$  sebesar 2,13. Dan berikut merupakan perbandingan antara nilai uji validasi pada *real system* dan model simulasi.

Tabel 5. 3 Rangkuman hasil validasi

Parameter	T Hitung	T Tabel (Nilai Kritis)		Kesimpulan
		Batas Bawah	Batas Atas	
<i>Calendar day</i>	0,6607	-2,1314	2,1314	Terima H0

Dari hasil perbandingan pada Tabel 5.3 dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari *real system* dan model simulasi. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai T hitung yang berada pada rentang *critical value* atau nilai kritis. Dan nilai *p-value* menunjukkan angka 0,518 yang artinya lebih dari 0,05 sehingga model dapat disimpulkan valid.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## BAB 6

### EKSPERIMENTASI DAN HASIL

Pada Bab 6 akan dijelaskan mengenai hasil eksperimen dan analisis berdasarkan ide skenario yang telah ditentukan oleh penulis.

#### 6.1 Kondisi *Real System*

Pada kondisi *real system*, penjadwalan *overhaul* peralatan dilakukan ketika terdapat tanda-tanda bahwa kondisi peralatan sudah rusak atau tidak dapat digunakan dari hasil sensor peralatan maupun inspeksi rutin yang dilakukan. Dikarenakan tidak semua peralatan memiliki sensor maka kerusakan peralatan yang terjadi di luar rentang waktu *overhaul* dapat membuat mesin dihentikan atau mengalami *downtime* dan membuat produksi berkurang. Untuk itu akan dilakukan penjadwalan *overhaul* pada mesin *Kiln* untuk mengurangi waktu *downtime* mesin.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa parameter yang digunakan di antaranya yaitu *calendar day*, *availability* dan *throughput* produksi yang digunakan sebagai kriteria performansi mesin.

Tabel 6. 1 Kriteria Performansi Kondisi Saat Ini

Replikasi	<i>Calendar day</i> (Jam)	<i>Availability</i> Sistem	<i>Throughput</i> Produksi (Ton/Tahun)
1	7.003,03	0,80	2.192.086
2	7.882,43	0,90	2.509.624
3	7.081,23	0,81	2.465.138
4	8.400,17	0,96	2.687.568
5	7.635,82	0,87	2.687.568
6	8.157,72	0,93	2.399.176
7	7.562,62	0,86	2.580.188
8	8.143,39	0,93	2.580.188
9	7.752,54	0,89	2.580.188
10	6.815,45	0,78	2.362.360
<b>Rata-rata</b>	7.643,44	0,87	2.504.408,40

Berdasarkan Tabel 6.1, diketahui bahwa rata-rata sistem saat ini yaitu 0,87 dan rata-rata *calendar day* sebesar 7.643,44 jam. Untuk mengetahui nilai peralatan yang memiliki *availability* paling rendah berikut merupakan rangkuman *availability* pada setiap peralatan.

Tabel 6. 2 Rekap Data *Availability* Setiap Peralatan Model Awal Replikasi 1-6

No.	Equipment	Availability					
		Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	Replikasi 6
1	342FN6	0,99980	0,99980	0,99945	0,99915	0,99960	0,99937
2	352AS1	0,99983	0,99975	0,99997	0,99938	0,99974	0,99963
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99992	0,99992	0,99994	0,99994
4	442PH1	0,97942	0,98306	0,97629	0,99638	0,98631	0,99507
5	422RF5	0,99974	0,99977	0,99997	0,99946	0,99924	0,99866
6	422BE1	0,99995	0,99998	0,99995	0,99998	0,99995	0,99997
7	422BE2	0,99997	0,99989	0,99990	0,99991	0,99992	0,99991
8	483BL3	0,99988	0,99987	0,99988	0,99969	0,99990	0,99986
9	442CR1	0,99701	0,99822	0,99909	0,99667	0,99908	0,99750
10	442CR2	0,99667	0,99517	0,99076	0,99753	0,99538	0,99644
11	442CC1	0,99379	0,99585	0,99512	0,99187	0,99310	0,98659
12	442KL1	0,98797	0,98707	0,98579	0,99312	0,99047	0,99277
13	352DB2	0,99942	0,99952	0,99951	0,99950	0,99952	0,99848
14	482PW1	0,99993	0,99944	0,99900	0,99969	0,99904	0,99997
15	482PW2	0,99995	0,99993	0,99991	0,99993	0,99999	0,99995
16	482PW3	0,99954	0,99977	0,99996	0,99986	0,99978	0,99974
17	352CV1	0,99962	0,98567	0,99766	0,99958	0,99951	0,99959
18	442EP1	0,99689	0,99748	0,99206	0,99849	0,99734	0,97928
19	442FN1	0,99654	0,99800	0,99709	0,99854	0,99889	0,99731
20	442FN2	0,99946	0,99902	0,99915	0,99885	0,98789	0,99904
21	442AN1	0,99976	0,99927	0,99896	0,99899	0,99945	0,99897
22	442AN2	0,99992	0,99883	0,99940	0,99888	0,99908	0,99942
23	352AS8,9	0,99980	0,99987	0,99981	0,99987	0,99987	0,99985
24	ER#11	0,99964	0,99948	0,99794	0,99976	0,99989	0,99930
25	ER1#13	0,99976	0,99980	0,99980	0,99980	0,99982	0,99975

Tabel 6. 3 Rekap Data *Availability* Setiap Peralatan Replikasi 7-8

No.	Equipment	Availability				Rata-Rata
		Replikasi 7	Replikasi 8	Replikasi 9	Replikasi 10	
1	342FN6	0,99962	0,99969	0,99982	0,99976	0,99961
2	352AS1	0,99928	0,99962	0,99983	0,99984	0,99969
3	352AS7	0,99989	0,99987	0,99994	0,99993	0,99991
4	442PH1	0,99766	0,98418	0,99463	0,96177	0,98548
5	422RF5	0,99985	0,99942	0,99883	0,99946	0,99944
6	422BE1	0,99996	0,99995	0,99995	0,99995	0,99996
7	422BE2	0,99992	0,99977	0,99992	0,99995	0,99991
8	483BL3	0,99986	0,99988	0,99988	0,99988	0,99986

Tabel 6.3 Rekap Data *Availability* Setiap Peralatan Replikasi 7-8 (Lanjutan)

No.	Equipment	Availability				Rata-Rata
9	442CR1	0,99820	0,99646	0,99821	0,99813	0,99786
10	442CR2	0,99818	0,99813	0,99815	0,99342	0,99598
11	442CC1	0,98582	0,99730	0,99092	0,99791	0,99283
12	442KL1	0,99088	0,99014	0,99022	0,99398	0,99024
13	352DB2	0,99951	0,99941	0,99952	0,99952	0,99939
14	482PW1	0,99939	0,99988	0,99859	0,99950	0,99944
15	482PW2	0,99986	0,99989	0,99986	0,99998	0,99993
16	482PW3	0,99984	0,99991	0,99995	0,99993	0,99983
17	352CV1	0,99075	0,97510	0,99929	0,99961	0,99464
18	442EP1	0,97443	0,99546	0,99322	0,99887	0,99235
19	442FN1	0,99769	0,99826	0,99913	0,99936	0,99808
20	442FN2	0,99902	0,99920	0,99873	0,99830	0,99787
21	442AN1	-0,00066	0,99851	0,99928	0,99916	0,89917
22	442AN2	0,99915	0,99908	0,99879	0,99924	0,99918
23	352AS8,9	0,99981	0,99982	0,99986	0,99985	0,99984
24	ER#11	0,99983	0,99774	0,99978	0,99923	0,99926
25	ER1#13	0,99976	0,99984	0,99984	0,99975	0,99979

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa hampir semua peralatan memiliki nilai rata-rata *availability* di atas 0,9 dan hanya peralatan 442AN1 yang memiliki *availability* di bawah 0,9. Namun secara keseluruhan sistem nilai *availability* yang diperoleh yaitu sebesar 0,87, yang mana nilai tersebut masih kurang dari *key performance indicator availability* mesin *Kiln* yang bernilai 0,9.

## 6.2 Perancangan Skenario

Pada sub-bab ini akan dilakukan perancangan skenario dari model yang dibuat. Terdapat beberapa skenario dasar yang digunakan dalam penelitian ini. Berikut merupakan skenario yang akan disimulasikan.

1. Membuat kebijakan penjadwalan *overhaul* setiap peralatan

Berdasarkan kondisi yang ada saat ini, tidak terdapat jadwal secara pasti kapan peralatan dalam mesin *Kiln* akan dilakukan penjadwalan *overhaul*. Namun peralatan akan dilakukan perawatan *overhaul* paling lama sekitar lima tahun sekali. *Overhaul* yang dimaksud yaitu kegiatan *repair* pada mesin *Kiln* dimana akan dilakukan penggantian pada beberapa peralatan. Kegiatan tersebut dilakukan satu tahun sekali, namun tidak semua peralatan akan diperbaiki dalam kegiatan tersebut. Untuk itu, dalam membuat jadwal *overhaul* peralatan, pada penelitian ini dilakukan *running* model awal

selama 10 tahun untuk mengetahui *mean time to failure* dari masing-masing peralatan sebagai dasar membuat jadwal perawatan. Berikut merupakan tabel rekapitulasi kerusakan yang terjadi pada setiap peralatan di model awal yang disimulasikan dengan sepuluh kali replikasi.

Tabel 6. 4 Rekapitulasi kerusakan pada model awal

No.	Equipment	Jumlah Kerusakan Setiap Replikasi										Rata-rata	MTTF (Jam)	MTTF (Tahun)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	483BL3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1825,00	5,00
2	352AS1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1,9	1921,05	5,26	
3	422BE1	5	2	4	1	3	4	3	5	4	5	3,6	1013,89	2,78	
4	422BE2	4	3	4	4	4	5	3	5	3	1	3,6	1013,89	2,78	
5	352AS7	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1,9	1921,05	5,26	
6	352AS89	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1,9	1921,05	5,26	
7	422RF5	5	16	5	25	26	24	7	8	23	9	14,8	246,62	0,68	
8	342FN6	10	10	1	10	22	7	18	19	9	3	10,9	334,86	0,92	
9	442PH1	10	27	9	21	23	17	8	15	9	19	15,8	231,01	0,63	
10	442KL1	79	105	80	79	93	75	92	87	75	89	85,4	42,74	0,12	
11	442AN1	2	9	17	16	17	10	10	6	14	10	11,1	328,83	0,90	
12	442AN2	16	31	24	27	23	30	36	27	25	6	24,5	148,98	0,41	
13	442CC1	25	10	32	31	30	20	22	16	22	46	25,4	143,70	0,39	
14	442FN1	13	29	28	34	35	26	24	28	34	27	27,8	131,29	0,36	
15	442FN2	2	5	5	4	4	5	5	5	5	5	4,5	811,11	2,22	
16	442CR1	13	10	34	9	23	8	20	9	25	20	17,1	213,45	0,58	
17	442CR2	26	32	25	22	47	23	23	21	29	27	27,5	132,73	0,36	
18	442EP1	9	19	5	18	15	11	4	8	16	19	12,4	294,35	0,81	
19	352CV1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1216,67	3,33	
20	352DB2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1,8	2027,78	5,56	
21	482PW1	5	14	15	8	6	2	6	4	20	13	9,3	392,47	1,08	
22	482PW2	5	5	5	5	5	1	4	3	5	3	4,1	890,24	2,44	
23	482PW3	4	3	3	6	16	10	6	2	9	17	7,6	480,26	1,32	

Nilai *mean time to failure* (MTTF) pada Tabel 6.4 di dapatkan dengan membagi waktu *running* simulasi yaitu 3650 hari dengan rata-rata kerusakan setiap peralatan. Berdasarkan Tabel 6.4 akan dibuat dua jadwal *overhaul* peralatan berdasarkan nilai MTTF. Jadwal pertama yaitu dilakukan dengan membulatkan nilai MTTF ke bawah. Dan jadwal kedua dilakukan dengan membulatkan nilai MTTF ke atas. Berikut merupakan jadwal *overhaul* peralatan yang akan digunakan dalam eksperimen skenario.



Tabel 6. 5 Kebijakan Penjadwalan *Overhaul 1*

No.	Equipment	Jadwal <i>Overhaul</i> (Tahun)
1	483BL3	5 Th Sekali
2	352AS1	5 Th Sekali
3	422BE1	2 Th Sekali
4	422BE2	2 Th Sekali
5	352AS7	5 Th Sekali
6	352AS89	5 Th Sekali
7	422RF5	1 Th Sekali
8	342FN6	1 Th Sekali
9	442PH1	1 Th Sekali
10	442KL1	1 Th Sekali
11	442AN1	1 Th Sekali
12	442AN2	1 Th Sekali
13	442CC1	1 Th Sekali
14	442FN1	1 Th Sekali
15	442FN2	2 Th Sekali
16	442CR1	1 Th Sekali
17	442CR2	1 Th Sekali
18	442EP1	1 Th Sekali
19	352CV1	3 Th Sekali
20	352DB2	5 Th Sekali
21	482PW1	1 Th Sekali
22	482PW2	2 Th Sekali
23	482PW3	1 Th Sekali

Tabel 6.5 di atas merupakan jadwal *overhaul 1* yang akan diskenariokan dalam model. Nilai pada jadwal tersebut di dapatkan dari pembulatan nilai MTTF peralatan. Waktu terpendek *overhaul* adalah satu tahun sekali dan waktu terlama adalah lima tahun sekali. Hal tersebut mengacu dari kebijakan perusahaan terkait waktu *overhaul*.

Tabel 6. 6 Kebijakan Penjadwalan *Overhaul 2*

No.	Equipment	Jadwal <i>Overhaul</i> (Tahun)
1	483BL3	5 Th Sekali
2	352AS1	5 Th Sekali
3	422BE1	3 Th Sekali
4	422BE2	3 Th Sekali
5	352AS7	5 Th Sekali
6	352AS89	5 Th Sekali
7	422RF5	1 Th Sekali

Tabel 6.6 Kebijakan Penjadwalan *Overhaul* 2 (Lanjutan)

No.	Equipment	Jadwal <i>Overhaul</i> (Tahun)
8	342FN6	1 Th Sekali
9	442PH1	1 Th Sekali
10	442KL1	1 Th Sekali
11	442AN1	1 Th Sekali
12	442AN2	1 Th Sekali
13	442CC1	1 Th Sekali
14	442FN1	1 Th Sekali
15	442FN2	3 Th Sekali
16	442CR1	1 Th Sekali
17	442CR2	1 Th Sekali
18	442EP1	1 Th Sekali
19	352CV1	4 Th Sekali
20	352DB2	5 Th Sekali
21	482PW1	1 Th Sekali
22	482PW2	3 Th Sekali
23	482PW3	1 Th Sekali

Tabel 6.6 di atas merupakan jadwal *overhaul* 2 yang akan diskenariokan dalam model. Terdapat lima peralatan yang dijadwalkan berbeda dibandingkan dengan jadwal satu untuk melihat apakah ada perbedaan signifikan antara kedua jadwal.

2. Mengubah waktu kedatangan *overhaul*.

Berdasarkan kondisi yang ada saat ini, *overhaul* di PT X di jadwalkan pada semester pertama antara bulan Januari hingga bulan Juni. Untuk itu pada penelitian ini akan dibuat skenario perubahan waktu kedatangan *overhaul* antara bulan Januari hingga bulan Juni untuk melihat waktu *overhaul* yang dapat menghasilkan *availability* mesin *Kiln* paling tinggi.

Berikut merupakan daftar skenario yang akan disimulasikan pada penelitian ini.

- Skenario 1 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 1 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Januari.
- Skenario 2 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 1 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Februari.
- Skenario 3 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 1 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Maret.

- Skenario 4 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 1 dan *overhaul* dilakukan pada bulan April.
- Skenario 5 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 1 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Mei.
- Skenario 6 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 1 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Juni.
- Skenario 7 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 2 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Januari.
- Skenario 8 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 2 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Februari.
- Skenario 9 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 2 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Maret.
- Skenario 10 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 2 dan *overhaul* dilakukan pada bulan April.
- Skenario 11 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 2 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Mei.
- Skenario 12 : Kebijakan penjadwalan *overhaul* 2 dan *overhaul* dilakukan pada bulan Juni.

### 6.2.1 Skenario Pertama

Pada skenario pertama ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 1 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Januari. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 1.

Tabel 6. 7 Hasil Eksperimen Skenario 1

<b>Skenario 1</b>			
<b>Replikasi</b>	<b>Calendar Day (Jam)</b>	<b>Availability</b>	<b>Throughput (Tahun)</b>
1	8.319,63	0,9502	2.658.816
2	8.461,03	0,9666	2.704.004
3	8.416,34	0,9614	2.689.723
4	7.031,54	0,8032	2.247.164
5	8.621,10	0,9846	2.755.161

Tabel 6.7 Hasil Eksperimen Skenario 1 (Lanjutan)

<b>Skenario 1</b>			
<b>Replikasi</b>	<b>Calendar Day (Jam)</b>	<b>Availability</b>	<b>Throughput (Tahun)</b>
6	8.192,07	0,9359	2.618.050
7	6.993,86	0,7989	2.235.121
8	7.556,62	0,8632	2.414.969
9	7.822,41	0,8936	2.499.910
10	8.423,01	0,9621	2.691.855
<b>Rata-rata</b>	7.983,76	0,9120	2.551.477,34

Berdasarkan Tabel 6.7 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 8 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 1

	<b>Calendar Day Model Awal</b>	<b>Calendar Day Skenario 1</b>
<i>Mean</i>	7643,440155	7983,76222
<i>Variance</i>	286050,8966	362819,1491
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	324435,0228	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-1,336014725	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,099095548	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,198191097	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 9 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 1

	<b>Availability Model Awal</b>	<b>Availability Skenario 1</b>
<i>Mean</i>	0,873982	0,911952
<i>Variance</i>	0,003743461	0,004732697
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,004238079	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	

Tabel 6.9 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 1 (Lanjutan)

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 1</i>
<i>t Stat</i>	-1,304190669	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,104300114	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,208600228	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 1, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.983,76 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,912. Nilai ini lebih baik daripada kondisi model awal. Dan nilai *availability* pada skenario 1 ini telah melampaui nilai *key performance indikator* (KPI) yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Namun skenario ini belum menunjukkan hasil yang signifikan terhadap *calendar day* dan *availability* pada model awal. Hal tersebut dapat ditunjukkan dari hasil nilai *t stat* yang masih berada dalam interval *t critical two tail*.

### 6.2.2 Skenario Kedua

Pada skenario kedua ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 1 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Februari. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 2.

Tabel 6. 10 Hasil Eksperimen Skenario 2

<b>Skenario 2</b>			
<b>Replikasi</b>	<b><i>Calendar Day</i> (Jam)</b>	<b><i>Availability</i></b>	<b><i>Thoughtput</i> (Tahun)</b>
1	8.306,79	0,9489	2.654.713
2	5.993,90	0,6849	1.915.552
3	7.881,43	0,9003	2.518.774
4	8.035,50	0,9180	2.568.013
5	6.916,66	0,7901	2.210.449
6	8.582,09	0,9802	2.742.691
7	6.963,85	0,7954	2.225.529
8	6.979,85	0,7973	2.230.645
9	7.025,04	0,8023	2.245.086
10	8.494,55	0,9702	2.714.715

Tabel 6.10 Hasil Eksperimen Skenario 2 (Lanjutan)

<b>Skenario 2</b>			
<b>Replikasi</b>	<b>Calendar Day (Jam)</b>	<b>Availability</b>	<b>Throughput (Tahun)</b>
<b>Rata-rata</b>	7.517,97	0,8588	2.402.616,70

Berdasarkan Tabel 6.10 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 11 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 2

	<b>Calendar Day Model Awal</b>	<b>Calendar Day Skenario 2</b>
<i>Mean</i>	7643,440155	7517,966195
<i>Variance</i>	286050,8966	736909,1796
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	511480,0381	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	0,392305381	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,34971952	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,699439039	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 12 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 2

	<b>Availability Model Awal</b>	<b>Availability Skenario 2</b>
<i>Mean</i>	0,873982	0,85876
<i>Variance</i>	0,003743461	0,00960812
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,00667579	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	0,416586672	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,34095315	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,681906299	

Tabel 6.12 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 2 (Lanjutan)

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 2</i>
<i>t Critical two-tail</i>		2,10092204

Berdasarkan hasil skenario 2, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.517,97 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,8588. Nilai pada skenario dua ini lebih rendah dibandingkan dengan nilai pada model awal maupun pada skenario 1.

### 6.2.3 Skenario Ketiga

Pada skenario ketiga ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 1 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Maret. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 3.

Tabel 6. 13 Hasil Eksperimen Skenario 3

<b>Skenario 3</b>			
<b>Replikasi</b>	<b><i>Calendar Day (Jam)</i></b>	<b><i>Availability</i></b>	<b><i>Thoughtput (Tahun)</i></b>
1	8.380,33	0,9571	2.678.213
2	6.792,60	0,6849	2.170.802
3	8.384,66	0,9003	2.679.598
4	8.065,52	0,9180	2.577.605
5	7.953,63	0,7901	2.541.848
6	7.473,08	0,9802	2.388.272
7	8.334,81	0,7954	2.663.665
8	8.490,04	0,7973	2.713.276
9	6.610,52	0,8023	2.112.612
10	8.494,71	0,9702	2.714.768
<b>Rata-rata</b>	<b>7.897,99</b>	<b>0,8596</b>	<b>2.524.065,88</b>

Berdasarkan Tabel 6.13 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 14 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 3

	<i>Calendar Day Model Awal</i>	<i>Calendar Day Skenario 3</i>
<i>Mean</i>	7643,440155	7897,989721

Tabel 6.14 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 3 (Lanjutan)

	<i>Calendar Day Model Awal</i>	<i>Calendar Day Skenario 3</i>
<i>Variance</i>	286050,8966	495343,0614
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	390696,979	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,910620319	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,187264618	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,374529236	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 15 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 3

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 3</i>
<i>Mean</i>	0,886047	0,859578
<i>Variance</i>	0,003234331	0,009778721
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,006506526	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	0,733749735	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,236275564	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,472551129	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 3, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.897,99 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,8597. Nilai pada skenario tiga ini lebih rendah dibandingkan dengan nilai pada model yaitu 0,87.

#### 6.2.4 Skenario Keempat

Pada skenario keempat ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 1 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan April. Berikut



merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 4.

Tabel 6. 16 Hasil Eksperimen Skenario 4

<b>Skenario 4</b>			
<b>Replikasi</b>	<b>Calendar Day (Jam)</b>	<b>Availability</b>	<b>Throughput (Tahun)</b>
1	8.107,20	0,9261	2.590.927
2	7.551,45	0,8625	2.413.317
3	8.310,63	0,9493	2.655.938
4	8.513,39	0,9725	2.720.737
5	7.705,35	0,8803	2.462.502
6	8.453,19	0,9654	2.701.500
7	8.329,14	0,9513	2.661.853
8	8.501,22	0,9710	2.716.847
9	6.770,42	0,7732	2.163.715
10	8.556,91	0,9771	2.734.645
<b>Rata-rata</b>	8.079,89	0,9229	2.582.198,00

Berdasarkan Tabel 6.16 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 17 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 4

	<b>Calendar Day Model Awal</b>	<b>Calendar Day Skenario 4</b>
<i>Mean</i>	7643,440155	8079,889447
<i>Variance</i>	286050,8966	331408,2461
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	308729,5713	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-1,756425285	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,048007473	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,096014947	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 18 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 4

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 4</i>
<i>Mean</i>	0,886047	0,92286
<i>Variance</i>	0,003234331	0,004322198
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,003778264	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-1,339183356	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,098588815	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,197177629	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 4, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 8.079,89 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,9229. Nilai pada skenario ke empat ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan skenario lain pada jadwal 1. Nilai *availability* dari skenario 4 ini juga sudah melebihi KPI. Namun peningkatannya masih belum signifikan dibandingkan dengan model awal.

#### 6.2.5 Skenario Kelima

Pada skenario kelima ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 1 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Mei. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 5.

Tabel 6. 19 Hasil Eksperimen Skenario 5

<b>Skenario 5</b>			
<b>Replikasi</b>	<b><i>Calendar Day (Jam)</i></b>	<b><i>Availability</i></b>	<b><i>Throughput (Tahun)</i></b>
1	8.426,35	0,9624	2.692.920
2	7.727,03	0,8826	2.469.429
3	8.174,40	0,9337	2.612.402
4	8.158,39	0,9319	2.607.286
5	7.989,48	0,9127	2.553.305
6	8.454,86	0,9656	2.702.033

Tabel 6.19 Hasil Eksperimen Skenario 5 (Lanjutan)

<b>Skenario 5</b>			
<b>Replikasi</b>	<b>Calendar Day (Jam)</b>	<b>Availability</b>	<b>Throughput (Tahun)</b>
7	7.489,59	0,8556	2.393.547
8	8.474,20	0,9680	2.708.214
9	4.380,17	0,5004	1.399.828
10	8.491,71	0,9699	2.713.809
<b>Rata-rata</b>	7.776,62	0,8883	2.485.277,39

Berdasarkan Tabel 6.19 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 20 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 5

	<b>Calendar Day Model Awal</b>	<b>Calendar Day Skenario 5</b>
<i>Mean</i>	7643,440155	7776,617634
<i>Variance</i>	286050,8966	1538907,063
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	912478,9796	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,311748488	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,379406868	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,758813736	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 21 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 5

	<b>Availability Model Awal</b>	<b>Availability Skenario 5</b>
<i>Mean</i>	0,886047	0,888269
<i>Variance</i>	0,003234331	0,020064746
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,011649539	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,046033574	

Tabel 6.21 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 5 (Lanjutan)

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 5</i>
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>		0,481895184
<i>t Critical one-tail</i>		1,734063607
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>		0,963790369
<i>t Critical two-tail</i>		2,10092204

Berdasarkan hasil skenario 5, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.776,62 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,8883. Nilai *availability* pada skenario ke lima lebih tinggi dari model awal namun peningkatannya masih belum signifikan.

#### 6.2.6 Skenario Keenam

Pada skenario keenam ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 1 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Juni. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 6.

Tabel 6. 22 Hasil Eksperimen Skenario 6

<b>Skenario 6</b>			
<b>Replikasi</b>	<b><i>Calendar Day</i> (Jam)</b>	<b><i>Availability</i></b>	<b><i>Throughput</i> (Tahun)</b>
1	6.838,79	0,7811	2.185.563
2	6.838,79	0,8935	2.185.563
3	7.822,57	0,9387	2.499.964
4	8.218,25	0,9543	2.626.417
5	8.119,87	0,9276	2.594.977
6	8.567,25	0,9784	2.737.949
7	7.875,10	0,8994	2.516.749
8	7.729,36	0,8829	2.470.176
9	6.953,17	0,7940	2.222.119
10	8.552,74	0,9767	2.733.313
<b>Rata-rata</b>	7.751,59	0,9027	2.477.278,82

Berdasarkan Tabel 6.22 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 23 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 6

	<i>Calendar Day Model Awal</i>	<i>Calendar Day Skenario 6</i>
<i>Mean</i>	7643,440155	7751,589539
<i>Variance</i>	286050,8966	442800,3165
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	364425,6066	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,400594154	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,346716894	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,693433788	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 24 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 6

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 6</i>
<i>Mean</i>	0,886047	0,902656
<i>Variance</i>	0,003234331	0,004762533
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,003998432	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,587331955	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,282138178	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,564276356	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 6, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.751,59 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,9027. Nilai *availability* pada skenario keenam ini lebih tinggi dari model awal dan sudah melebihi nilai KPI perusahaan, namun peningkatannya masih belum signifikan.

### 6.2.7 Skenario Ketujuh

Pada skenario ketujuh ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 2 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Januari. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 7.

Tabel 6. 25 Hasil Eksperimen Skenario 7

Skenario 7			
Replikasi	Calendar Day (Jam)	Availability	Thoughtput (Tahun)
1	6.349,07	0,7252	2.029.056
2	8.302,46	0,9485	2.653.327
3	8.409,67	0,9606	2.687.591
4	3.941,63	0,4504	1.259.680
5	8.419,84	0,9616	2.690.842
6	7.905,44	0,9030	2.526.448
7	7.835,91	0,8949	2.504.227
8	8.574,75	0,9794	2.740.347
9	7.648,16	0,8736	2.444.224
10	8.197,41	0,9363	2.619.756
<b>Rata-rata</b>	7.558,43	0,8634	2.415.549,75

Berdasarkan Tabel 6.25 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 26 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 7

	Calendar Day Model Awal	Calendar Day Skenario 7
Mean	7643,440155	7558,434673
Variance	286050,8966	2023408,134
Observations	10	10
Pooled Variance	1154729,515	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	18	
t Stat	0,176885325	
P(T<=t) one-tail	0,430786783	
t Critical one-tail	1,734063607	

Tabel 6.26 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 7 (Lanjutan)

	<i>Calendar Day Model Awal</i>	<i>Calendar Day Skenario 7</i>
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,861573565	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 27 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 7

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 7</i>
<i>Mean</i>	0,873982	0,911952
<i>Variance</i>	0,003743461	0,004732697
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,004238079	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-1,304190669	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,104300114	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,208600228	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 7, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.558,43 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,8634. Nilai *availability* pada skenario ketujuh ini lebih rendah dibandingkan dengan model awal dan lebih rendah kebijakan penjadwalan *overhaul* pada jadwal 1.

#### 6.2.8 Skenario Kedelapan

Pada skenario kedelapan ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 2 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Februari. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 8.

Tabel 6. 28 Hasil Eksperimen Skenario 8

Skenario 8			
Replikasi	Calendar Day (Jam)	Availability	Throughput (Tahun)
1	6.080,11	0,6948	1.943.102
2	7.798,89	0,8911	2.492.397
3	7.881,43	0,9003	2.518.774
4	7.981,48	0,9116	2.550.747
5	8.431,52	0,9631	2.694.572
6	8.541,73	0,9757	2.729.796
7	8.220,42	0,9390	2.627.109
8	8.217,75	0,9386	2.626.257
9	6.659,54	0,7606	2.128.278
10	8.550,07	0,9768	2.732.460
<b>Rata-rata</b>	7.836,29	0,8952	2.504.349,24

Berdasarkan Tabel 6.28 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 29 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 8

	Calendar Day Model Awal	Calendar Day Skenario 8
Mean	7643,440155	7836,294884
Variance	286050,8966	683102,4365
Observations	10	10
Pooled Variance	484576,6665	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	18	
t Stat	-0,619489634	
P(T<=t) one-tail	0,2716782	
t Critical one-tail	1,734063607	
P(T<=t) two-tail	0,543356399	
t Critical two-tail	2,10092204	

Tabel 6. 30 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 8

	Availability Model Awal	Availability Skenario 8
Mean	0,873982	0,895156
Variance	0,003743461	0,008906138



Tabel 6.30 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 8 (Lanjutan)

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 8</i>
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,006324799	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,595339285	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,279514039	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,559028078	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 8, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.836,29 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,8952. Nilai *availability* pada skenario kedelapan ini lebih tinggi dibandingkan dengan skenario ketujuh dan lebih tinggi dari model awal. Namun peningkatan nilai *availability* belum signifikan.

#### 6.2.9 Skenario Kesembilan

Pada skenario kesembilan ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 2 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Maret. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 9.

Tabel 6. 31 Hasil Eksperimen Skenario 9

<b>Skenario 9</b>			
<b>Replikasi</b>	<b><i>Calendar Day</i> (Jam)</b>	<b><i>Availability</i></b>	<b><i>Throughput</i> (Tahun)</b>
1	6.489,63	0,7416	2.073.978
2	7.990,48	0,9128	2.553.625
3	8.438,85	0,9640	2.696.917
4	8.537,90	0,9753	2.728.570
5	7.542,44	0,8617	2.410.439
6	8.585,75	0,9806	2.743.864
7	8.440,02	0,9640	2.697.290
8	8.403,17	0,9598	2.685.513
9	6.623,86	0,7565	2.116.875

Tabel 6.31 Hasil Eksperimen Skenario 9 (Lanjutan)

Skenario 9			
Replikasi	Calendar Day (Jam)	Availability	Throughput (Tahun)
10	8.571,08	0,9790	2.739.174
<b>Rata-rata</b>	7.962,32	0,9095	2.544.624,48

Berdasarkan Tabel 6.31 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 32 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 9

	Calendar Day Model Awal	Calendar Day Skenario 9
Mean	7643,440155	7962,319095
Variance	286050,8966	653062,9007
Observations	10	10
Pooled Variance	469556,8987	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	18	
t Stat	-1,040559042	
P(T<=t) one-tail	0,155928065	
t Critical one-tail	1,734063607	
P(T<=t) two-tail	0,311856131	
t Critical two-tail	2,10092204	

Tabel 6. 33 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 9

	Availability Model Awal	Availability Skenario 9
Mean	0,873982	0,909531
Variance	0,003743461	0,008511998
Observations	10	10
Pooled Variance	0,006127729	
Hypothesized Mean Difference	0	
Df	18	
t Stat	-1,015459483	
P(T<=t) one-tail	0,16167138	
t Critical one-tail	1,734063607	

Tabel 6.33 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 9 (Lanjutan)

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 9</i>
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>		0,32334276
<i>t Critical two-tail</i>		2,10092204

Berdasarkan hasil skenario 9, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.962,32 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,9095. Nilai *availability* pada skenario kesembilan ini lebih tinggi dibandingkan dengan model awal dan telah melebihi nilai KPI untuk *availability*. Namun peningkatannya tidak signifikan dibandingkan dengan model awal.

#### 6.2.10 Skenario Kesepuluh

Pada skenario kesepuluh ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 2 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan April. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 10.

Tabel 6. 34 Hasil Eksperimen Skenario 10

<b>Skenario 10</b>			
<b>Replikasi</b>	<b><i>Calendar Day (Jam)</i></b>	<b><i>Availability</i></b>	<b><i>Thoughtput (Tahun)</i></b>
1	6.610,19	0,7551	2.112.505
2	8.021,50	0,9163	2.563.536
3	7.686,34	0,8782	2.456.427
4	8.564,08	0,9783	2.736.936
5	8.442,86	0,9645	2.698.196
6	8.629,77	0,9856	2.757.932
7	7.375,20	0,8424	2.356.991
8	6.245,19	0,7133	1.995.857
9	7.084,07	0,8090	2.263.950
10	8.487,38	0,9694	2.712.424
<b>Rata-rata</b>	7.714,66	0,8812	2.465.475,48

Berdasarkan Tabel 6.34 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 35 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 10

	<i>Calendar Day Model Awal</i>	<i>Calendar Day Skenario 10</i>
<i>Mean</i>	7643,440155	7714,656007
<i>Variance</i>	286050,8966	741483,4486
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	513767,1726	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,222166463	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,413342769	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,826685538	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 36 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 10

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 10</i>
<i>Mean</i>	0,873982	0,881221
<i>Variance</i>	0,003743461	0,009676611
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,006710036	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,197606472	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,422783674	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,845567349	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 10, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.714,66 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,8812. Nilai *availability* pada skenario kesepuluh ini lebih tinggi dibandingkan dengan model awal. Namun peningkatannya tidak signifikan dibandingkan dengan model awal.

### 6.2.11 Skenario Kesebelas

Pada skenario kesebelas ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 2 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Mei. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 11.

Tabel 6. 37 Hasil Eksperimen Skenario 11

<b>Skenario 11</b>			
<b>Replikasi</b>	<b>Calendar Day (Jam)</b>	<b>Availability</b>	<b>Throughput (Tahun)</b>
1	8.330,97	0,9516	2.662.439
2	8.577,25	0,9797	2.741.146
3	8.336,64	0,9523	2.664.251
4	8.072,85	0,9223	2.579.949
5	8.499,38	0,9708	2.716.261
6	8.358,98	0,9546	2.671.392
7	6.037,92	0,6895	1.929.620
8	8.341,48	0,9528	2.665.797
9	7.088,40	0,8096	2.265.336
10	8.572,75	0,9792	2.739.707
<b>Rata-rata</b>	<b>8.021,66</b>	<b>0,9162</b>	<b>2.563.589,76</b>

Berdasarkan Tabel 6.37 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 38 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 11

	<b>Availability Model Awal</b>	<b>Availability Skenario 11</b>
<i>Mean</i>	0,873982	0,916235
<i>Variance</i>	0,003743461	0,00879369
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,006268575	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-1,193323347	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,124117341	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	

Tabel 6.38 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 11 (Lanjutan)

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 11</i>
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,248234682	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 39 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 11

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 10</i>
<i>Mean</i>	0,873982	0,881221
<i>Variance</i>	0,003743461	0,009676611
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,006710036	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,197606472	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,422783674	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,845567349	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 11, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 8.021,66 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,9162. Nilai *availability* pada skenario kesebelas ini lebih tinggi dibandingkan dengan model awal dan nilai *availability* lain pada jadwal 2. Namun peningkatannya belum signifikan dibandingkan dengan model awal.

#### 6.2.12 Skenario Dua belas

Pada skenario dua belas ini akan dilakukan penjadwalan *overhaul* peralatan dengan jadwal 2 dan kegiatan *overhaul* dilakukan pada bulan Juni. Berikut merupakan hasil indikator performansi berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan skenario 12.

Tabel 6. 40 Hasil Eksperimen Skenario 12

<b>Skenario 12</b>			
<b>Replikasi</b>	<b>Calendar Day (Jam)</b>	<b>Availability</b>	<b>Throughput (Tahun)</b>
1	7.602,97	0,8686	2.429.783
2	8.238,26	0,9412	2.632.811
3	8.196,91	0,9364	2.619.596
4	8.118,54	0,9275	2.594.550
5	7.375,20	0,8427	2.356.991
6	8.646,45	0,9874	2.763.261
7	7.589,80	0,8669	2.425.573
8	8.120,71	0,9276	2.595.243
9	6.258,36	0,7148	2.000.067
10	8.467,53	0,9673	2.706.082
<b>Rata-rata</b>	<b>7.861,47</b>	<b>0,8980</b>	<b>2.512.395,76</b>

Berdasarkan Tabel 6.40 akan dilakukan uji statistik *student't* untuk menguji perbedaan dengan kondisi model awal.

Tabel 6. 41 Hasil Uji *Student't* pada *Calendar Day* Skenario 12

	<b>Calendar Day Model Awal</b>	<b>Calendar Day Skenario 12</b>
<i>Mean</i>	7643,440155	7861,473047
<i>Variance</i>	286050,8966	479815,2915
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	382933,094	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,787853678	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,220517306	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,441034611	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Tabel 6. 42 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 12

	<b>Availability Model Awal</b>	<b>Availability Skenario 12</b>
<i>Mean</i>	0,873982	0,898023

Tabel 6.42 Hasil Uji *Student't* pada *Availability* Skenario 12 (Lanjutan)

	<i>Availability Model Awal</i>	<i>Availability Skenario 12</i>
<i>Variance</i>	0,003743461	0,00625679
<i>Observations</i>	10	10
<i>Pooled Variance</i>	0,005000125	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	18	
<i>t Stat</i>	-0,760233637	
<i>P(T&lt;=t) one-tail</i>	0,228479024	
<i>t Critical one-tail</i>	1,734063607	
<i>P(T&lt;=t) two-tail</i>	0,456958049	
<i>t Critical two-tail</i>	2,10092204	

Berdasarkan hasil skenario 12, dihasilkan rata-rata *calendar day* sebesar 7.861,47 jam dan rata-rata *availability* sebesar 0,8980. Nilai *availability* pada skenario kesebelas ini lebih tinggi dibandingkan dengan model awal. Namun peningkatannya belum signifikan dibandingkan dengan model awal.

### 6.3 Perbandingan Antar Skenario

Berdasarkan hasil eksperimen dengan menggunakan dua belas skenario yang ada di dapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 6. 43 Rangkuman Hasil Eksperimen

No.	Skenario	<i>Availability Produksi</i>	<i>Calendar Day</i>	<i>Throughput (Ton)</i>	Perubahan
1	Skenario 1	0,91195	7.983,76	2.551.477	Tidak signifikan
2	Skenario 2	0,85876	7.517,97	2.402.617	Tidak signifikan
3	Skenario 3	0,85958	7.897,99	2.524.066	Tidak signifikan
4	Skenario 4	0,92286	8.079,89	2.582.198	Tidak signifikan
5	Skenario 5	0,88827	7.776,62	2.485.277	Tidak signifikan
6	Skenario 6	0,90266	7.751,59	2.477.279	Tidak signifikan



Tabel 6.43 Rangkuman Hasil Eksperimen (Lanjutan)

No.	Skenario	Availability Produksi	Calendar Day	Throughput (Ton)	Perubahan
7	Skenario 7	0,86335	7.558,43	2.415.550	Tidak signifikan
8	Skenario 8	0,89516	7.836,29	2.504.349	Tidak signifikan
9	Skenario 9	0,90953	7.962,32	2.544.624	Tidak signifikan
10	Skenario 10	0,88122	7.714,66	2.465.475	Tidak signifikan
11	Skenario 11	0,91624	8.021,66	2.563.590	Tidak signifikan
12	Skenario 12	0,89802	7.861,47	2.512.396	Tidak signifikan

Berdasarkan rekapitulasi hasil skenario yang ada pada tabel 6.43 diketahui bahwa perbandingan seluruh skenario yang ada dengan model awal tidak signifikan. Untuk itu pada akan dilakukan perbandingan antar skenario dengan menggunakan metode ANOVA untuk mengetahui apakah ada perbedaan signifikan antar skenario.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$H_1$ : setidaknya satu populasi berbeda

Tabel 6. 44 Rangkuman Perbandingan Skenario

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Model awal	10	8,73982	0,87398	0,003743
Skenario 1	10	9,11952	0,91195	0,004733
Skenario 2	10	8,5876	0,85876	0,009608
Skenario 3	10	8,59578	0,85958	0,009779
Skenario 4	10	9,2286	0,92286	0,004322
Skenario 5	10	8,88269	0,88827	0,020065
Skenario 6	10	9,02656	0,90266	0,004763
Skenario 7	10	8,63352	0,86335	0,026383
Skenario 8	10	8,95156	0,89516	0,008906
Skenario 9	10	9,09531	0,90953	0,008512
Skenario 10	10	8,81221	0,88122	0,009677
Skenario 11	10	9,16235	0,91624	0,008794
Skenario 12	10	8,98023	0,89802	0,006257

Tabel 6. 45 Hasil ANOVA Perbandingan Antar Skenario

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
<i>Between Groups</i>	0,0582	12	0,00485	0,50227	0,90966	1,83581343
<i>Within Groups</i>	1,12986	117	0,00966			
Total	1,18807	129				

Berdasarkan hasil dari Tabel 6.45 diketahui bahwa nilai  $F > F_{crit}$  yaitu  $0,50277 > 1,8358$  dan nilai  $p\text{-value} > \alpha$  yaitu  $0,90966 > 0,05$ . Maka kesimpulan dari uji ANOVA ini yaitu Terima  $H_0$ , yang berarti tidak ada perbedaan signifikan antar skenario yang ada. Dikarenakan tidak ada perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji ANOVA, untuk pengambilan keputusan skenario terbaik akan dilakukan dengan menggunakan perbandingan rata-rata *availability*, *calendar day* dan *throughput* yang dihasilkan dari skenario yang ada.

#### 6.4 Rekapitulasi Biaya Kebijakan Penjadwalan *Overhaul*

Dari kebijakan jadwal 1 dan jadwal 2 yang telah dibuat, maka akan dilakukan perhitungan biaya yang digunakan untuk melakukan satu kali *overhaul*. Berikut merupakan rekapitulasi biaya yang *spare part* yang digunakan dalam *overhaul*, nilai biaya tersebut di dapatkan dari data historis *overhaul* perusahaan antara tahun 2015 hingga tahun 2017. Perhitungan rata-rata biaya digunakan waktu 60 tahun sebagai pembanding dikarenakan angka tersebut dapat dibagi oleh angka 1 hingga 5 yang merupakan jadwal *overhaul*. Tabel 6.46 di bawah menunjukkan rekapitulasi biaya *spare part* pada kebijakan penjadwalan 1.

Tabel 6. 46 Rekapitulasi Biaya *Spare part* Kebijakan Penjadwalan 1

No.	<i>Equipment</i>	Biaya <i>spare part</i> ( <i>Overhaul</i> )	Jadwal <i>Overhaul</i> (Tahun)	Biaya <i>Overhaul</i> 60 Th
1	483BL3	Rp 3.279.175	5 Th Sekali	Rp 39.350.100
2	352AS1	Rp 135.000.000	5 Th Sekali	Rp 1.620.000.000
3	422BE1	Rp 159.687.547	2 Th Sekali	Rp 4.790.626.410
4	422BE2	Rp 232.755.404	2 Th Sekali	Rp 6.982.662.120
5	352AS7	Rp 114.283.496	5 Th Sekali	Rp 1.371.401.948
6	352AS89	Rp 114.702.990	5 Th Sekali	Rp 1.376.435.876
7	422RF5	Rp 36.220.200	1 Th Sekali	Rp 2.173.212.000
8	342FN6	Rp 273.031.628	1 Th Sekali	Rp 16.381.897.680

Tabel 6.46 Rekapitulasi Biaya *Spare part* Kebijakan Penjadwalan 1 (Lanjutan)

No.	Equipment	Biaya sparepart (Overhaul)	Jadwal Overhaul (Tahun)	Biaya Overhaul 60 Th
9	442PH1	Rp 68.364.431	1 Th Sekali	Rp 4.101.865.860
10	442KL1	Rp 1.231.296.770	1 Th Sekali	Rp 73.877.806.200
11	442AN1	Rp 81.465.057	1 Th Sekali	Rp 4.887.903.420
12	442AN2	Rp 81.465.057	1 Th Sekali	Rp 4.887.903.420
13	442CC1	Rp 1.656.230.940	1 Th Sekali	Rp 99.373.856.400
14	442FN1	Rp 57.977.000	1 Th Sekali	Rp 3.478.620.000
15	442FN2	Rp 34.067.314	2 Th Sekali	Rp 1.022.019.420
16	442CR1	Rp 335.772.328	1 Th Sekali	Rp 20.146.339.680
17	442CR2	Rp 335.772.328	1 Th Sekali	Rp 20.146.339.680
18	442EP1	Rp 352.933.342	1 Th Sekali	Rp 21.176.000.520
19	352CV1	Rp 670.382.630	3 Th Sekali	Rp 13.407.652.600
20	352DB2	Rp 234.707.754	5 Th Sekali	Rp 2.816.493.048
21	482PW1	Rp 91.718.804	1 Th Sekali	Rp 5.503.128.240
22	482PW2	Rp 97.516.713	2 Th Sekali	Rp 2.925.501.390
23	482PW3	Rp 91.718.804	1 Th Sekali	Rp 5.503.128.240
Total Biaya				Rp 317.990.144.252
Rata-rata biaya tahunan				Rp 5.299.835.738

Dan pada Tabel 6.47 di bawah merupakan rekapitulasi biaya *spare part* untuk kebijakan penjadwalan 2.

Tabel 6. 47 Rekapitulasi Biaya *Spare part* Kebijakan Penjadwalan 2

No.	Equipment	Biaya sparepart (Overhaul)	Jadwal Overhaul (Tahun)	Biaya Overhaul 60 Th
1	483BL3	Rp 3.279.175	5 Th Sekali	Rp 39.350.100
2	352AS1	Rp 135.000.000	5 Th Sekali	Rp 1.620.000.000
3	422BE1	Rp 159.687.547	3 Th Sekali	Rp 3.193.750.940
4	422BE2	Rp 232.755.404	3 Th Sekali	Rp 4.655.108.080
5	352AS7	Rp 114.283.496	5 Th Sekali	Rp 1.371.401.948
6	352AS89	Rp 114.702.990	5 Th Sekali	Rp 1.376.435.876
7	422RF5	Rp 36.220.200	1 Th Sekali	Rp 2.173.212.000
8	342FN6	Rp 273.031.628	1 Th Sekali	Rp 16.381.897.680
9	442PH1	Rp 68.364.431	1 Th Sekali	Rp 4.101.865.860
10	442KL1	Rp 1.231.296.770	1 Th Sekali	Rp 73.877.806.200
11	442AN1	Rp 81.465.057	1 Th Sekali	Rp 4.887.903.420
12	442AN2	Rp 81.465.057	1 Th Sekali	Rp 4.887.903.420
13	442CC1	Rp 1.656.230.940	1 Th Sekali	Rp 99.373.856.400

Tabel 6.47 Rekapitulasi Biaya *Spare part* Kebijakan Penjadwalan 2 (Lanjutan)

No.	Equipment	Biaya sparepart (Overhaul)	Jadwal Overhaul (Tahun)	Biaya Overhaul 60 Th
14	442FN1	Rp 57.977.000	1 Th Sekali	Rp 3.478.620.000
15	442FN2	Rp 34.067.314	3 Th Sekali	Rp 681.346.280
16	442CR1	Rp 335.772.328	1 Th Sekali	Rp 20.146.339.680
17	442CR2	Rp 335.772.328	1 Th Sekali	Rp 20.146.339.680
18	442EP1	Rp 352.933.342	1 Th Sekali	Rp 21.176.000.520
19	352CV1	Rp 670.382.630	4 Th Sekali	Rp 10.055.739.450
20	352DB2	Rp 234.707.754	5 Th Sekali	Rp 2.816.493.048
21	482PW1	Rp 91.718.804	1 Th Sekali	Rp 5.503.128.240
22	482PW2	Rp 97.516.713	3 Th Sekali	Rp 1.950.334.260
23	482PW3	Rp 91.718.804	1 Th Sekali	Rp 5.503.128.240
Total biaya				Rp 309.397.961.322
Rata-rata biaya <i>overhaul</i> tahunan				Rp 5.156.632.689

Berikut merupakan tabel biaya *man power* yang dibutuhkan untuk satu kali *overhaul*. Untuk biaya tenaga kerja di dapatkan dengan mencari nilai upah minimum regional (UMR) daerah PT X. Dan untuk data jumlah tenaga kerja merupakan hasil wawancara dengan pihak PT X.

Tabel 6. 48 Biaya Tenaga Kerja

<b>Jumlah tenaga kerja</b>	500 Orang
<b>Biaya per jam</b>	Rp 12.661
<b>Jumlah jam kerja</b>	240 Jam
<b>Total biaya tenaga kerja</b>	Rp 1.519.340.862

Dan berikut merupakan perbandingan biaya rata-rata *overhaul* tahunan antara kebijakan penjadwalan 1 dan kebijakan penjadwalan 2.

Tabel 6. 49 Perbandingan Biaya Kebijakan Penjadwalan 1 dan Penjadwalan 2

No.	Jenis Biaya	Jumlah biaya penjadwalan 1	Jumlah biaya penjadwalan 2
1	Biaya <i>spare part</i>	Rp 5.299.835.738	Rp 5.156.632.689
2	Biaya tenaga kerja	Rp 1.519.340.862	Rp 1.519.340.862
3	Biaya <i>part and tools</i>	Rp 884.270.704	Rp 884.270.704
Total biaya <i>overhaul</i> per tahun		Rp 7.703.447.304	Rp 7.560.244.255
Selisih biaya		Rp	143.203.049

Berdasarkan Tabel 6.49 diketahui bahwa untuk kebijakan penjadwalan 1 dan kebijakan penjadwalan 2 memiliki selisih biaya sebesar Rp 143.203.049. Hal tersebut terjadi karena pada penjadwalan satu terdapat beberapa peralatan yang mengalami *overhaul* lebih cepat dibandingkan pada penjadwalan 2. Dan pada Tabel 6.50 di bawah ini akan disajikan perbandingan profit yang di dapatkan jika diasumsikan nilai profit 10%, 20% dan 30% dari pendapatan total dan harga jual *clinker* yaitu Rp 733.678 per ton.

Tabel 6. 50 Pendapatan dari Masing-masing Skenario

Skenario	Throughput (Ton)	Harga Jual (Ton)	Pendapatan
Skenario 1	2.551.477	Rp 733.678	Rp 1.871.961.518.223
Skenario 2	2.402.617	Rp 733.678	Rp 1.762.745.811.244
Skenario 3	2.524.066	Rp 733.678	Rp 1.851.850.345.977
Skenario 4	2.582.198	Rp 733.678	Rp 1.894.500.574.988
Skenario 5	2.485.277	Rp 733.678	Rp 1.823.392.098.936
Skenario 6	2.477.279	Rp 733.678	Rp 1.817.523.733.939
Skenario 7	2.415.550	Rp 733.678	Rp 1.772.234.500.016
Skenario 8	2.504.349	Rp 733.678	Rp 1.837.384.689.423
Skenario 9	2.544.624	Rp 733.678	Rp 1.866.933.725.162
Skenario 10	2.465.475	Rp 733.678	Rp 1.808.863.888.192
Skenario 11	2.563.590	Rp 733.678	Rp 1.880.848.122.911
Skenario 12	2.512.396	Rp 733.678	Rp 1.843.288.241.152

Tabel 6. 51 Profit Masing-masing Skenario

Skenario	Profit (10%)	Profit (20%)	Profit (30%)
Skenario 1	Rp 187.196.151.822	Rp 374.392.303.645	Rp 561.588.455.467
Skenario 2	Rp 176.274.581.124	Rp 352.549.162.249	Rp 528.823.743.373
Skenario 3	Rp 185.185.034.598	Rp 370.370.069.195	Rp 555.555.103.793
Skenario 4	Rp 189.450.057.499	Rp 378.900.114.998	Rp 568.350.172.497
Skenario 5	Rp 182.339.209.894	Rp 364.678.419.787	Rp 547.017.629.681
Skenario 6	Rp 181.752.373.394	Rp 363.504.746.788	Rp 545.257.120.182
Skenario 7	Rp 177.223.450.002	Rp 354.446.900.003	Rp 531.670.350.005
Skenario 8	Rp 183.738.468.942	Rp 367.476.937.885	Rp 551.215.406.827
Skenario 9	Rp 186.693.372.516	Rp 373.386.745.032	Rp 560.080.117.549
Skenario 10	Rp 180.886.388.819	Rp 361.772.777.638	Rp 542.659.166.457
Skenario 11	Rp 188.084.812.291	Rp 376.169.624.582	Rp 564.254.436.873
Skenario 12	Rp 184.328.824.115	Rp 368.657.648.230	Rp 552.986.472.346

## 6.5 Analisis

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai analisis model simulasi berdasarkan skenario yang telah dilakukan. Analisis yang akan dilakukan yaitu terkait analisis kondisi saat ini, analisis perubahan kebijakan penjadwalan *overhaul* peralatan dan analisis terkait skenario terpilih.

### 6.3.1 Analisis Kondisi Saat Ini

Pada saat ini perusahaan menerapkan kebijakan penjadwalan *overhaul* peralatan dilakukan dengan cara melihat kondisi dari masing-masing peralatan. Terdapat beberapa peralatan yang dapat dilihat kondisinya dengan menggunakan sensor yang terpasang pada peralatan tersebut sehingga dapat mengukur tingkat *reliability* peralatan baik dari getaran yang ditimbulkan maupun dari panas yang dihasilkan yang ditangkap oleh sensor. Namun terdapat juga peralatan yang tidak memiliki sensor sehingga pemeriksaan alat tersebut dilakukan dengan cara inspeksi rutin secara berkala. Namun inspeksi yang dilakukan oleh operator terkadang dapat terjadi ketidakakuratan dalam mengukur waktu kerusakan. Sehingga peralatan rusak sebelum waktu *overhaul* dilakukan.

Berdasarkan dari hasil *running* simulasi kondisi awal pada mesin *Kiln* di dapatkan rata-rata *availability* mesin sebesar 0,87 dan nilai *calendar day* sebesar 7.643,44. Angka 0,87 pada parameter *availability* merupakan angka yang cukup tinggi dibandingkan dengan kerja mesin yang beroperasi selama 24 jam sehari. Namun perusahaan memiliki *key performance indicator* sebesar 0,9 untuk nilai *availability* mesin, sehingga perusahaan masih harus meningkatkan *availability* sebesar 0,03 dari kondisi yang ada saat ini. Dan jika dilihat dari nilai *risk priority number* pada mesin *Kiln* yang didapatkan dari analisis *failure mode and effect analysis*, terdapat 18 risiko tinggi dan 11 risiko sedang pada mesin *Kiln*. Risiko yang ada tersebut dapat berupa risiko yang berpengaruh terhadap performansi mesin maupun *output* yang dihasilkan. Dikarenakan nilai RPN yang dihasilkan berada pada rentang risiko sedang hingga tinggi, yaitu sebesar 84-448, maka skenario penjadwalan *overhaul* akan dilakukan pada ke-23 peralatan mesin *Kiln* yang ada. Terjadinya *downtime* dapat mengakibatkan penurunan performansi secara keseluruhan karena mesin pada PT X beroperasi secara seri yang mana jika

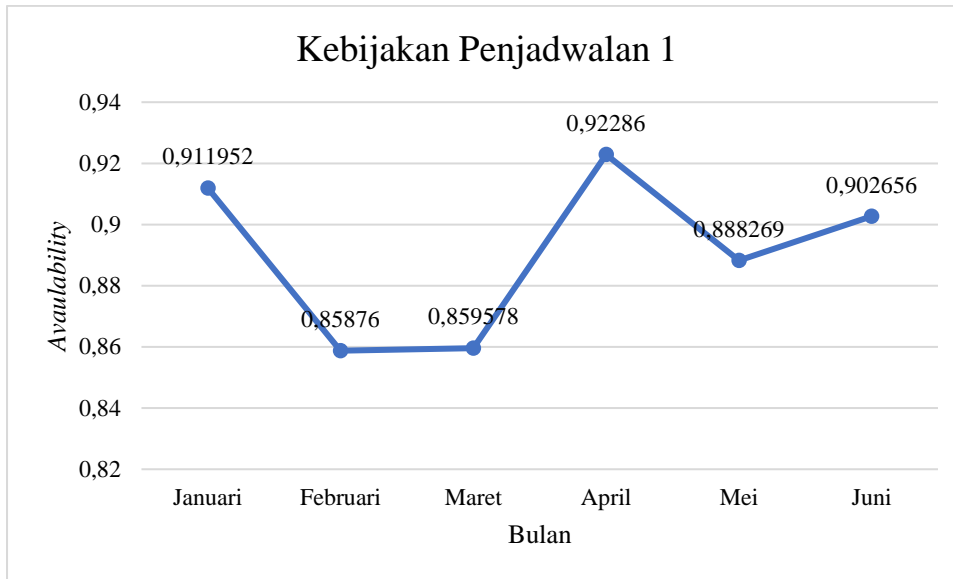
mesin *Kiln* berhenti, maka mesin lain juga ikut berhenti. *Downtime* juga dapat mengakibatkan penurunan produksi dikarenakan *calendar day* atau *running time* pada mesin berkurang.

### 6.3.2 Analisis Skenario

Skenario penjadwalan *overhaul* peralatan dilakukan karena *availability* mesin yang kurang dari *key performance indikator* (KPI) yang ditetapkan oleh perusahaan. Kurangnya nilai *availability* dari KPI ini dapat berpengaruh terhadap jumlah produksi *clinker*. *Availability* yang diharapkan oleh perusahaan adalah 90%, sehingga terdapat cukup waktu untuk memenuhi target produksi. Berdasarkan hasil *running* simulasi dilakukan 12 skenario penjadwalan *overhaul* dengan dua jadwal tahunan perawatan masing-masing peralatan dan enam variasi waktu *overhaul*, yaitu bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei dan Juni.

Pada skenario jadwal satu terdapat 13 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 1 tahun sekali, 4 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 2 tahun sekali, 1 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 3 tahun sekali, dan 5 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 5 tahun sekali. Dan pada skenario jadwal dua terdapat 13 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 1 tahun sekali, 4 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 3 tahun sekali, 1 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 4 tahun sekali, dan 5 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 5 tahun sekali. Penentuan penjadwalan ini dilakukan berdasarkan hasil *running simulasi* model awal selama 10 tahun dan di dapatkan waktu antar kerusakan yang digunakan sebagai acuan penentuan penjadwalan *overhaul* peralatan. Kedua jadwal tersebut kemudian divariasikan dalam beberapa jadwal *overhaul*, yaitu pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, dan Juni.

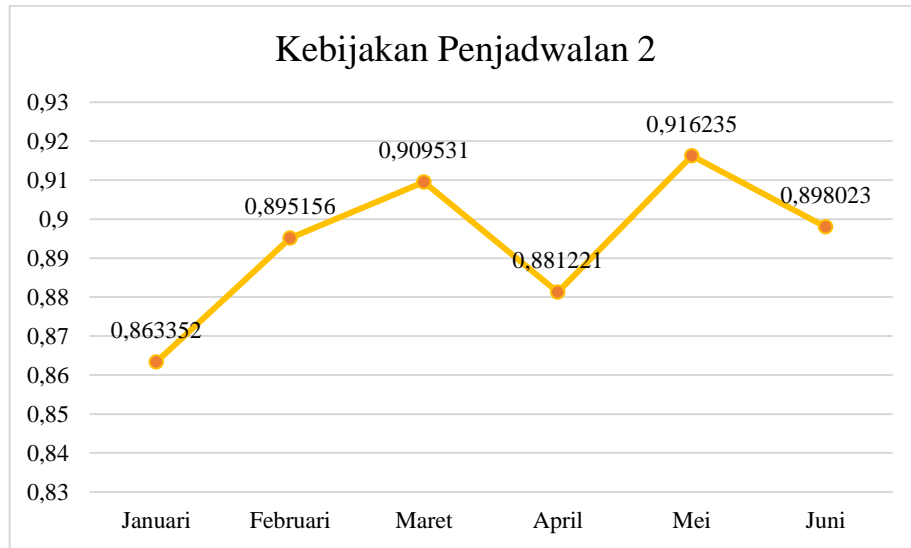
Setelah dilakukan *running* simulasi selama enam tahun dengan sepuluh kali replikasi, di dapatkan nilai *availability* dari setiap skenario penjadwalan. Berikut merupakan grafik *availability* skenario satu hingga skenario enam yang merupakan hasil dari kebijakan penjadwalan satu yang dilakukan pada bulan yang berbeda.



Gambar 6. 1 Hasil *Availability* Kebijakan Penjadwalan 1

Berdasarkan gambar 6.1 diketahui bahwa setiap skenario kedatangan *overhaul* pada bulan yang berbeda menghasilkan nilai *availability* yang berbeda. Pada bulan Januari atau pada skenario 1 dihasilkan *availability* sebesar 0,91. Nilai tersebut lebih besar dari nilai *availability* dari kondisi saat ini. Untuk bulan Februari atau skenario dua menghasilkan *availability* sebesar 0,86, yang mana nilai tersebut lebih kecil dibandingkan dengan *availability* yang ada pada kondisi saat ini yaitu 0,87. Untuk bulan Maret *availability* yang dihasilkan juga lebih kecil dari nilai *availability* saat ini yaitu 0,86. Pada skenario keempat atau pada bulan April menghasilkan nilai *availability* tertinggi untuk kebijakan penjadwalan 1 yaitu sebesar 0,92. Nilai tersebut sudah melebihi nilai *availability* kondisi saat ini dan nilai KPI perusahaan. Untuk skenario kelima atau pada bulan Mei, nilai *availability* yang dihasilkan lebih besar dari kondisi saat ini yaitu 0,88, namun nilai tersebut belum mencapai nilai KPI. Dan untuk skenario keenam atau bulan Juni, nilai yang dihasilkan sudah lebih besar dari kondisi saat ini dan sudah mencapai KPI, namun nilai tersebut lebih kecil dari skenario keempat. Dan berikut merupakan hasil *availability* pada penjadwalan 2.

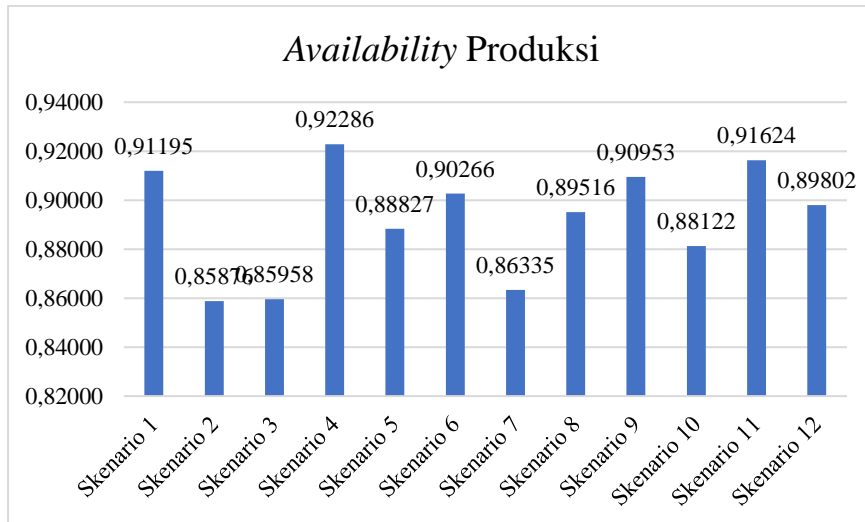




Gambar 6. 2 Hasil *Availability* Kebijakan Penjadwalan 2

Berdasarkan Gambar 6.2 diketahui bahwa untuk kebijakan penjadwalan 2, hanya terdapat satu nilai *availability* yang kurang dari nilai *availability* kondisi saat ini yaitu pada bulan Januari atau skenario 6. Selain dari skenario 6, nilai *availability* yang sudah melebihi nilai dari kondisi saat ini yaitu pada skenario 7 atau bulan Februari, skenario 9 atau bulan April, dan skenario 12 atau bulan Juni. Ketiga skenario tersebut sudah melebihi kondisi saat ini, namun belum mencapai nilai KPI. Dan untuk skenario yang sudah mencapai nilai KPI yaitu skenario 8 atau bulan Maret yaitu sebesar 0,909 dan skenario 11 atau pada bulan Mei dengan nilai sebesar 0,916. Dari keseluruhan kebijakan penjadwalan 2, skenario ke-11 menghasilkan nilai paling tinggi.

Untuk mengetahui nilai terbaik pada keseluruhan skenario, pada Gambar 6.3 di bawah akan disajikan perbandingan nilai keseluruhan skenario.



Gambar 6. 3 Perbandingan *Availability* Seluruh Skenario

Berdasarkan Gambar 6.3 diketahui bahwa dari keseluruhan skenario yang ada, skenario keempat menghasilkan nilai *availability* tertinggi di antara skenario yang lain yaitu sebesar 0,922. Kemudian nilai skenario terbaik kedua yaitu skenario kesebelas, yaitu sebesar 0,916. Kedua skenario tersebut memiliki selisih yang kecil yaitu sebesar 0,006. Kedua skenario tersebut berasal dari kebijakan penjadwalan yang berbeda. Berdasarkan hasil perhitungan biaya, untuk kebijakan penjadwalan 1, biaya *maintenance* yang harus dikeluarkan untuk kebijakan tersebut yaitu sebesar Rp 7.703.447.304. Dan untuk kebijakan penjadwalan 2, biaya *maintenance* yang harus dikeluarkan yaitu sebesar Rp 7.560.244.255. Kebijakan penjadwalan satu mengeluarkan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan kebijakan penjadwalan dua, yaitu dengan selisih sebesar Rp 143.203.049. Berikut merupakan tabel perbandingan profit antara skenario 4 dan skenario 11.

Tabel 6. 52 Selisih Profit Skenario 4 dan Skenario 11

Skenario	Profit (10%)	Profit (20%)	Profit (30%)
Skenario 4	Rp 189.450.057.499	Rp 378.900.114.998	Rp 568.350.172.497
Skenario 11	Rp 188.084.812.291	Rp 376.169.624.582	Rp 564.254.436.873
Selisih profit (Skenario 4 - Skenario 11)	Rp 1.365.245.208	Rp 2.730.490.415	Rp 4.095.735.623

Tabel 6.52 Selisih Profit Skenario 4 dan Skenario 11 (Lanjutan)

Skenario	Profit (10%)	Profit (20%)	Profit (30%)
Selisih biaya <i>maintenance</i> (Skenario 4 - Skenario 11)	Rp 143.203.049	Rp 143.203.049	Rp 143.203.049
Sisa profit skenario 4	Rp 1.222.042.159	Rp 2.587.287.367	Rp 3.952.532.574

Berdasarkan Tabel 6.52 diketahui bahwa, pada setiap variasi profit, skenario 4 masih memiliki sisa profit yang lebih besar setelah dikurangi dengan selisih biaya *maintenance* pada skenario 4 dan skenario 11. Hal ini menunjukkan bahwa walaupun biaya *maintenance* atau *overhaul* yang dikeluarkan untuk kebijakan penjadwalan 1 atau skenario 4 lebih besar dibandingkan kebijakan penjadwalan dua pada skenario 11, nilai profit yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan. Sehingga skenario empat dengan menggunakan kebijakan penjadwalan 1 pada bulan April lebih baik untuk digunakan dalam menjadwalkan *overhaul* peralatan, karena menghasilkan nilai *availability* yang tinggi yaitu 0,922. Nilai *availability* tersebut sudah lebih tinggi dari kondisi saat ini dan sudah mencapai nilai KPI perusahaan.

Pada penelitian ini skenario penjadwalan *overhaul* yang ada dapat meningkatkan nilai *availability*. Hal tersebut terjadi karena dengan memformulasikan penjadwalan *overhaul* yang optimal, kerusakan atau *unplanned downtime* pada peralatan akan berkurang. Sehingga waktu yang tersedia juga akan meningkat. Selain itu pada mesin *Kiln* ini, hal terbesar yang menjadi penyebab *availability* rendah yaitu karena adanya *unplanned downtime*. Setiap terjadi *unplanned downtime* pada beberapa peralatan, maka mesin *Kiln* harus dimatikan secara total. Proses mematikan mesin *Kiln* dan menunggu suhu hingga mesin normal memakan waktu yang cukup lama yaitu setengah hingga satu hari. Sehingga, selain waktu *repair downtime* yang lama, waktu *waiting* sebelum mesin diperbaiki dan waktu *set-up* mesin juga mengakibatkan penambahan waktu total *downtime*. Sehingga jika dilakukan *overhaul*, meskipun terdapat penambahan waktu durasi *overhaul* dikarenakan peralatan yang diperbaiki semakin banyak, namun *waiting time* untuk menunggu mesin dimatikan dan waktu *set up* dari mesin

akan dijadikan satu waktu saat *overhaul* itu terjadi, sehingga waktu total *downtime* selama kurun waktu satu tahun akan berkurang.

## BAB 7

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab 7 akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini dan saran yang dapat diberikan.

#### 7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil perhitungan nilai *risk priority number* pada *failure mode and effect analysis*, dapat disimpulkan bahwa terdapat 15 peralatan yang memiliki risiko tinggi, yang mana nilai risikonya ada pada rentang 192 hingga 1000. Peralatan yang memiliki risiko tinggi di antaranya yaitu 342FN6, 422BE2, 442AN1, 442AN2, 442BE1, 442CC1, 442CR1, 442EP1, 442FN1, 442KL1, 442PH1, 452DB2, 482PW1, 482PW2, dan 482PW3
2. Berdasarkan hasil *running simulasi*, nilai *availability* pada kondisi saat ini di PT X yaitu sebesar 87%. Sedangkan *calendar day* pada PT X adalah 7.643,44 atau sekitar 26 hari dalam sebulan dan *throughput* yang dihasilkan yaitu sebesar 2.504.360 ton per tahun. Nilai *availability* tersebut belum mencapai target KPI yaitu 90%. Dari hasil *running simulasi* pada skenario yang telah dibuat, tidak ada peningkatan signifikan terhadap model awal, sehingga pemilihan skenario terbaik dilakukan dengan membandingkan *availability* dan rata-rata *throughput* produksi dari skenario yang telah dibuat. Dan untuk skenario perbaikan dipilih skenario keempat, dikarenakan pada skenario tersebut menghasilkan nilai *availability* tertinggi yaitu sebesar 92,2% dan nilai *calendar day* sebesar 8.079,89 jam. Serta menghasilkan *throughput* produksi sebesar 2.582.198 ton per tahun.
3. Berdasarkan hasil *running simulasi* dari kedua belas skenario. Skenario keempat yaitu kebijakan penjadwalan 1 pada bulan April menunjukkan nilai *availability* paling besar yaitu sekitar 92,2%. Dalam skenario tersebut rekapitulasi penjadwalan *overhaul* yang dilakukan di antaranya yaitu 13 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 1 tahun sekali, 4

peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 2 tahun sekali, 1 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 3 tahun sekali, dan 5 peralatan yang dijadwalkan *overhaul* dalam kurun waktu 5 tahun sekali.

## **7.2 Saran**

Berikut merupakan saran atau rekomendasi yang dapat diberikan untuk penelitian ini dan penelitian selanjutnya.

1. Melakukan penelitian pada tingkat komponen agar dapat melakukan penjadwalan *overhaul* yang lebih mendetail pada objek.
2. Melakukan analisa biaya yang lebih detail terkait HPP dan biaya *maintenance* untuk setiap proses yang dilakukan dalam *overhaul* agar dapat diketahui kelayakan finansial dari skenario terpilih dengan tepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alabdulkarim, A., Ball, P., & Tiwari, A. (2011). Rapid Modeling of Field Maintenance Using Discrete Event Simulation. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, (hal. 637 - 646).
- Alrabghi, A., Tiwari, A., & Savill, M. (2017). Simulation-based Optimisation of Maintenance System: Industrial Case Studies. *Journal of Manufacturing Systems*, Issue 44, pp. 191-206.
- Arthama, I. R. (2006). *Perhitungan Plant Reliability dan Pengendalian Risiko di Pabrik Phonska PT. Petrokimia Gresik*. Surabaya: Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Asosiasi Semen Indonesia. (2018). *Cement Industry in Indonesia*. Dipetik 04 01, 2020, dari asi.or.id: <https://asi.or.id/cement-industry-in-indonesia/>
- Blanchard, B. S., & Blyler, J. E. (1991). *System Engineering Management 5th Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Ssingapore: McGraw-Hill Book.
- Elsayed, E. A. (2012). *Reliability Engineering*. 2nd edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Faulin, J., Juan, A. A., Martorell, S., & Ramirez-Marquez, J.-E. (2010). *Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Systems. s.l.* London: Springer Science & Business Media.
- Harrel, C., Gosh, B., & Bowden, R. (2004). *Simulation Using Promodel. 2nd ed.* California: Mc. Graw Hill.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Zupick, N. B. (2015). *Simulation with Arena (sixth edition)*. New York: McGraw-Hill Education.
- Kementrian Perindustrian Indonesia. (2015). *Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015-2035*. Jakarta: Pusat Komunikasi Publik Kementrian Perindustrian Indonesia.
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2009). *Introduction to FMEA 2nd Edition*. New York: Productivity Press Taylor & Francis group.

- Monahan, G. (2008). *Enterprise Risk Management*. Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Pamboedi, F. A., Budiasih, E., & Atmaji, F. T. (2018). Perancangan Kebijakan Perawatan Mesin Cutting pada Pabrik Pipa Menggunakan RAM Analysis dan Metode RCM. *e-Procesing of Engineering*, Vol 5(2) : 2696-2703.
- Puspitasari, N. B., & Martanto, A. (2014). Penggunaan FMEA dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin). *J@TI Undip*, Vol 9(2) pp. 93-98.
- Reza, D., Supriyadi, & Ramayanti, G. (2017). Analisis Keusakan Mesin Mandrel Tension Reel Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA). *Seminar Nasional Riset Terapan (SENASSET)*, 190-195.
- Robinson, S. (2014). *Simulation The Practice of Model Development and Use 2nd Edition*. London: Palgrave Macmillan.
- Salsabila, N. Y. (2018). *Analisis Reliability, Availability, dan Maintainability dengan Mempertimbangkan Inventori Spare part dan Penyangga Menggunakan Pendekatan Simulasi*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sharda, B., & Bury, S. J. (2008). A Discrete Event Simulation Model For Reliability Modeling of A Chemical Plant. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, 1736-1740.
- Soesetyo, I., & Bendatu, L. Y. (2014). Penjadwalan Predictive Maintenance dan Biaya Perawatan Mesin Pellet di PT Charoen Pokphand Indonesia - Sepanjang. *Jurnal Titra*, Vol 2(2) : 147-154.
- Supriyadi, S., Reza, D., Nalhadi, A., & Nelfiyanti, N. (2019). Mandrel Machine Scheduling Determination Based on Damage. *1st International Conference on Advance and Scientific Innovation (ICASI) Journal of Physics*, 1-5.
- Tazi, N., Chatelet, E., & Bouzidi, Y. (2017). Using a Hybrid Cost-FMEA Analysis for Wind Turbine Reliability Analysis. *Energies*, 1-20.
- U.S. Energy Information Administration. (2014). *Definitions, Sources and Explanatory Notes of Petroleum and Other Liquid's Refinery and Capacity*. Dipetik 04 14, 2020, dari eia.gov: [https://www.eia.gov/dnav/pet/TblDefs/pet\\_pnp\\_unc\\_tbldef2.asp](https://www.eia.gov/dnav/pet/TblDefs/pet_pnp_unc_tbldef2.asp)



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 : Rekapitulasi *availability* setiap skenario

#### Lampiran 1a : Rekapitulasi *availability* skenario - 1

Skenario 1												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99996	0,99987	0,99957	0,99944	0,99956	0,99963	0,99996	0,99993	0,99983	0,99981	0,99976
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99977	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99975	0,99983
3	352AS7	0,99991	0,99992	0,99990	0,99989	0,99993	0,99993	0,99988	0,99990	0,99980	0,99992	0,99990
4	352AS89	0,99986	0,99967	0,99987	0,99983	0,99981	0,99987	0,99987	0,99982	0,99971	0,99985	0,99982
5	352CV1	0,99968	0,99980	0,99981	0,82131	0,99979	0,99973	0,99981	0,99981	0,96430	0,98353	0,97676
6	352DB2	0,99952	0,99948	0,99952	0,99946	0,99933	0,99952	0,91089	0,99952	0,99952	0,99952	0,99063
7	422BE1	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
8	422BE2	0,99998	0,99998	0,99996	0,99997	0,99997	0,99998	0,99995	0,99994	0,99998	0,99998	0,99997
9	422RF5	0,99988	0,99996	0,99993	0,99999	0,99990	0,99987	0,99963	0,99981	0,99996	0,99992	0,99989
10	442AN1	0,99970	0,99977	0,99993	0,99915	0,99990	0,99954	0,99965	0,99967	0,99896	0,99989	0,99962
11	442AN2	0,99945	0,99950	0,99978	0,99953	0,99980	0,99966	0,99964	0,99969	0,99971	0,99948	0,99962
12	442CC1	0,99877	0,99782	0,99694	0,99926	0,99940	0,99976	0,99974	0,99800	0,99830	0,99678	0,99848
13	442CR1	0,99974	0,99885	0,99946	0,99819	0,99821	0,99942	0,99975	0,99904	0,99964	0,99817	0,99905
14	442CR2	0,99938	0,99814	0,99942	0,99938	0,99969	0,99834	0,99924	0,99958	0,99882	0,99934	0,99913
15	442EP1	0,99994	0,99985	0,99886	0,99933	0,99553	0,99727	0,99505	0,99324	0,98562	0,99994	0,99646
16	442FN1	0,99992	0,99902	0,99916	0,99965	0,99974	0,99972	0,99761	0,99574	0,99994	0,99789	0,99884
17	442FN2	0,99972	0,99966	0,99972	0,99972	0,99968	0,99900	0,99347	0,99973	0,99015	0,99973	0,99806
18	442KL1	0,99819	0,99800	0,99665	0,99667	0,99832	0,99644	0,99586	0,99651	0,99348	0,99542	0,99655
19	442PH1	0,99592	0,99831	0,99061	0,99784	0,99976	0,99698	0,99223	0,99815	0,96600	0,99299	0,99288

Skenario 1												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	482PW1	0,99969	0,99954	0,99927	0,99999	0,99974	0,99974	0,99906	0,99990	0,99981	0,99999	0,99967
21	482PW2	0,99998	0,99998	0,99998	0,99997	0,99999	0,99997	0,99996	0,99994	0,99999	0,99998	0,99997
22	482PW3	0,99985	0,99988	0,99991	0,99984	0,99997	0,99990	0,99991	0,99993	0,99990	0,99998	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99991	0,99992	0,99990	0,99989	0,99993	0,99993	0,99988	0,99990	0,99980	0,99992	0,99990
26	EF	0,99998	0,99998	0,99998	0,99997	0,99999	0,99997	0,99996	0,99997	0,99999	0,99998	0,99998
27	ER11	0,99953	0,99928	0,99978	0,99924	0,99935	0,99755	0,99995	0,99909	0,99813	0,99856	0,99905
28	ER13	0,99983	0,99983	0,99981	0,99985	0,99980	0,99980	0,99983	0,99974	0,99991	0,99984	0,99982
29	KILN	0,95018	0,96656	0,96144	0,80317	0,98462	0,93586	0,79888	0,86317	0,89356	0,96208	0,91195

Lampiran 1b : Rekapitulasi *availability* skenario - 2

Skenario 2												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99979	0,99993	0,99981	0,99985	0,99979	0,99983	0,99938	0,99980	0,99996	0,99993	0,99981
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99977	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99975	0,99983
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,99975	0,99981	0,99981	0,99970	0,99981	0,99095	0,99981	0,99966	0,99981	0,99981	0,99989
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
8	422BE2	0,99997	0,99997	0,99998	0,99994	0,99998	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997
9	422RF5	0,99977	0,99984	0,99985	0,99983	0,99987	0,99980	0,99989	0,99975	0,99979	0,99987	0,99983

Skenario 2												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	442AN1	0,99930	0,99953	0,99971	0,99996	0,99977	0,99947	0,99960	0,99999	0,99976	0,99945	0,99965
11	442AN2	0,99963	0,99973	0,99960	0,99958	0,99991	0,99994	0,99992	0,99994	0,99990	0,99965	0,99978
12	442CC1	0,99907	0,99900	0,99634	0,99743	0,99589	0,99900	0,99929	0,99971	0,99568	0,99445	0,99759
13	442CR1	0,99986	0,99880	0,99913	0,99758	0,99808	0,99905	0,99861	0,99822	0,99941	0,99849	0,99872
14	442CR2	0,99975	0,99821	0,99839	0,99894	0,99946	0,99933	0,99918	0,99785	0,99891	0,99873	0,99888
15	442EP1	0,99989	0,99614	0,99949	0,99581	0,99674	0,99857	0,99722	0,99601	0,99862	0,99857	0,99771
16	442FN1	0,99973	0,99841	0,99953	0,99904	0,99985	0,99947	0,99973	0,99794	0,99984	0,99889	0,99924
17	442FN2	0,99973	0,95092	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99973	0,99941	0,99160	0,99400
18	442KL1	0,99027	0,99252	0,99322	0,99571	0,99528	0,99847	0,99579	0,99817	0,99361	0,99883	0,99519
19	442PH1	0,98486	0,99598	0,99635	0,99351	0,95010	0,99690	0,99924	0,99966	0,99497	0,99395	0,99055
20	482PW1	0,99961	0,99963	0,99997	0,99993	0,99969	0,99957	0,99982	0,99946	0,99954	0,99998	0,99972
21	482PW2	0,99998	0,99999	0,99998	0,99999	0,99995	0,99998	0,99996	0,99995	0,99998	0,99997	0,99997
22	482PW3	0,99999	0,99994	0,99989	0,99981	0,99984	0,99997	0,99991	0,99984	0,99990	0,99999	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99999	0,99995	0,99998	0,99996	0,99998	0,99998	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99815	0,99934	0,99911	0,99926	0,99951	0,99736	0,99871	0,99942	0,99990	0,99927	0,99900
28	ER13	0,99981	0,99994	0,99978	0,99984	0,99965	0,99979	0,99959	0,99966	0,99986	0,99983	0,99978
29	KILN	0,94893	0,68485	0,90034	0,91797	0,79011	0,98022	0,79541	0,79725	0,80233	0,97019	0,85876

Lampiran 1c : Rekapitulasi *availability* skenario - 3

Skenario 3												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99961	0,99997	0,99979	0,99994	0,99965	0,99983	0,99992	0,99984	0,99963	0,99987	0,99981
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99977	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99975	0,99983
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,99975	0,99981	0,99981	0,99970	0,99981	0,99095	0,99981	0,99966	0,99981	0,99981	0,99889
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
8	422BE2	0,99997	0,99997	0,99998	0,99994	0,99998	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997
9	422RF5	0,99948	0,99984	0,99996	0,99967	0,99984	0,99984	0,99987	0,99990	0,99967	0,99987	0,99979
10	442AN1	0,99994	0,99926	0,99971	0,99996	0,99992	0,99948	0,99979	0,99999	0,99975	0,99902	0,99968
11	442AN2	0,99958	0,99980	0,99960	0,99974	0,99983	0,99975	0,99993	0,99957	0,99989	0,99963	0,99973
12	442CC1	0,99960	0,99778	0,99939	0,99705	0,99978	0,99910	0,99883	0,99960	0,99964	0,99368	0,99845
13	442CR1	0,99986	0,99943	0,99938	0,99824	0,99755	0,99845	0,99930	0,99951	0,99894	0,99815	0,99888
14	442CR2	0,99898	0,99391	0,99689	0,99866	0,99851	0,99911	0,99780	0,99982	0,99865	0,99910	0,99814
15	442EP1	0,99308	0,99703	0,98651	0,99607	0,99547	0,99889	0,99672	0,99601	0,99861	0,99365	0,99520
16	442FN1	0,99896	0,99893	0,99976	0,99926	0,99809	0,99854	0,99779	0,99955	0,99963	0,99981	0,99903
17	442FN2	0,99917	0,95092	0,99757	0,99973	0,99946	0,87330	0,99973	0,99973	0,99941	0,99160	0,98106
18	442KL1	0,99408	0,99329	0,99293	0,99721	0,99969	0,99765	0,99973	0,99353	0,99781	0,99711	0,99630
19	442PH1	0,99915	0,99701	0,99819	0,99388	0,94921	0,99895	0,99806	0,99949	0,99775	0,99981	0,99315
20	482PW1	0,99990	0,99973	0,99970	0,99982	0,99988	0,99995	0,99988	0,99982	0,99994	0,99998	0,99986
21	482PW2	0,99996	0,99995	0,99996	0,99997	0,99994	0,99987	0,99996	0,99993	0,99996	0,99997	0,99995
22	482PW3	0,99999	0,99988	0,99992	0,99971	0,99982	0,99983	0,99988	0,99994	0,99991	0,99999	0,99989
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99999	0,99995	0,99998	0,99996	0,99998	0,99998	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99990	0,99926	0,99958	0,99943	0,99876	0,99731	0,99927	0,99949	0,99990	0,99927	0,99922

Skenario 3												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
28	ER13	0,99980	0,99994	0,99979	0,99997	0,99967	0,99980	0,99979	0,99970	0,99986	0,99974	0,99981
29	KILN	0,95711	0,77595	0,95782	0,92135	0,90838	0,85358	0,95196	0,96962	0,75497	0,97024	0,90210

Lampiran 1d : Rekapitulasi *availability* skenario - 4

Skenario 4												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99956	0,99997	0,99967	0,99975	0,99967	0,99983	0,99989	0,99984	0,99974	0,99999	0,99979
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99977	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99975	0,99983
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,99975	0,99981	0,99981	0,99970	0,99981	0,99095	0,99981	0,99966	0,99981	0,99981	0,99889
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
8	422BE2	0,99997	0,99997	0,99998	0,99994	0,99998	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997
9	422RF5	0,99948	0,99980	0,99975	0,99981	0,99993	0,99992	0,99988	0,99973	0,99974	0,99987	0,99979
10	442AN1	0,99916	0,99997	0,99980	0,99996	0,99999	0,99944	0,99970	0,99982	0,99996	0,99976	0,99976
11	442AN2	0,99982	0,99981	0,99973	0,99977	0,99985	0,99988	0,99992	0,99960	0,99993	0,99990	0,99982
12	442CC1	0,99795	0,99309	0,99820	0,99882	0,99787	0,99960	0,99928	0,99932	0,99954	0,99533	0,99790
13	442CR1	0,99924	0,99953	0,99757	0,99919	0,99802	0,99910	0,99897	0,99946	0,99845	0,99778	0,99873
14	442CR2	0,99866	0,99800	0,99953	0,99918	0,99906	0,99847	0,99714	0,99938	0,99943	0,99897	0,99878
15	442EP1	0,99831	0,99913	0,99832	0,99793	0,99754	0,99887	0,99353	0,99585	0,99843	0,99550	0,99734
16	442FN1	0,99976	0,99976	0,99741	0,99971	0,99803	0,99967	0,99967	0,99969	0,99962	0,99951	0,99928
17	442FN2	0,99925	0,95092	0,99973	0,99973	0,99942	0,99947	0,99973	0,99973	0,99941	0,99134	0,99387
18	442KL1	0,99446	0,99845	0,99586	0,99753	0,99613	0,99722	0,99944	0,98945	0,99707	0,99842	0,99640

Skenario 4												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
19	442PH1	0,99174	0,99804	0,99466	0,99893	0,94842	0,98213	0,98881	0,99966	0,99697	0,99790	0,98973
20	482PW1	0,99973	0,99888	0,99918	0,99990	0,99997	0,99995	0,99954	0,99971	0,99992	0,99998	0,99968
21	482PW2	0,99996	0,99997	0,99998	0,99995	0,99984	0,99996	0,99996	0,99992	0,99996	0,99997	0,99995
22	482PW3	0,99999	0,99993	0,99991	0,99993	0,99981	0,99993	0,99981	0,99990	0,99990	0,99997	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99999	0,99995	0,99998	0,99996	0,99998	0,99998	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99973	0,99926	0,99939	0,99777	0,99835	0,99946	0,99971	0,99869	0,99990	0,99980	0,99921
28	ER13	0,99957	0,99994	0,99985	0,99981	0,99967	0,99978	0,99969	0,99963	0,99986	0,99981	0,99976
29	KILN	0,92606	0,86247	0,94932	0,97246	0,88027	0,96538	0,95126	0,97101	0,77323	0,97714	0,92286

Lampiran 1e : Rekapitulasi *availability* skenario - 5

Skenario 5												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99979	0,99996	0,99955	0,99998	0,99976	0,99983	0,99983	0,99989	0,99982	0,99999	0,99984
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99964	0,99983	0,99987	0,99971	0,99973	0,99977	0,99983	0,99975	0,99979
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,99975	0,99981	0,99981	0,99970	0,99981	0,99095	0,99981	0,99966	0,99981	0,99981	0,99889
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
8	422BE2	0,99997	0,99997	0,99998	0,99994	0,99998	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997
9	422RF5	0,99964	0,99984	0,99993	0,99992	0,99960	0,99993	0,99991	0,99959	0,99973	0,99987	0,99980

Skenario 5												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	442AN1	0,99988	0,99984	0,99970	0,99996	0,99996	0,99944	0,99970	0,99928	0,99996	0,99972	0,99974
11	442AN2	0,99978	0,99978	0,99975	0,99975	0,99960	0,99988	0,99971	0,99996	0,99932	0,99980	0,99973
12	442CC1	0,99988	0,99382	0,99472	0,99954	0,99964	0,99960	0,99905	0,99324	0,99942	0,99753	0,99764
13	442CR1	0,99956	0,99972	0,99928	0,99876	0,99747	0,99910	0,99974	0,99940	0,99902	0,99754	0,99896
14	442CR2	0,99613	0,99798	0,99940	0,99905	0,99929	0,99847	0,99931	0,99888	0,99903	0,99804	0,99856
15	442EP1	0,99998	0,99938	0,99944	0,99783	0,99459	0,99887	0,99613	0,99515	0,99575	0,99998	0,99771
16	442FN1	0,99990	0,99917	0,99949	0,99904	0,99977	0,99967	0,99973	0,99855	0,99810	0,99956	0,99930
17	442FN2	0,99947	0,95092	0,99947	0,99973	0,99547	0,99947	0,99947	0,99973	0,79227	0,99134	0,97273
18	442KL1	0,99380	0,99663	0,99385	0,99811	0,99854	0,99740	0,99410	0,99797	0,99752	0,99708	0,99650
19	442PH1	0,99821	0,99794	0,99716	0,99826	0,95004	0,98213	0,99586	0,99662	0,99771	0,99242	0,99064
20	482PW1	0,99972	0,99982	0,99995	0,99991	0,99949	0,99995	0,99950	0,99965	0,99955	0,99998	0,99975
21	482PW2	0,99996	0,99997	0,99998	0,99997	0,99994	0,99996	0,99996	0,99979	0,99996	0,99997	0,99995
22	482PW3	0,99999	0,99993	0,99996	0,99981	0,99988	0,99993	0,99982	0,99985	0,99992	0,99997	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99999	0,99995	0,99998	0,99996	0,99998	0,99998	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99893	0,99873	0,99939	0,99851	0,99842	0,99946	0,99824	0,99818	0,99990	0,99934	0,99891
28	ER13	0,99985	0,99994	0,99987	0,99984	0,99961	0,99978	0,99979	0,99966	0,99986	0,99979	0,99980
29	KILN	0,96244	0,88257	0,93374	0,93187	0,91269	0,96555	0,85555	0,96800	0,50042	0,96986	0,88827

Lampiran 1f : Rekapitulasi *availability* skenario – 6

Skenario 6												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99977	0,99996	0,99983	0,99982	0,99975	0,99983	0,99990	0,99953	0,99966	0,99994	0,99980
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99964	0,99983	0,99987	0,99971	0,99983	0,99988	0,99983	0,99975	0,99981
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,99975	0,99981	0,99981	0,99970	0,99981	0,99095	0,99981	0,99966	0,99981	0,99981	0,99889
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
8	422BE2	0,99997	0,99997	0,99998	0,99994	0,99998	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997	0,99997
9	422RF5	0,99965	0,99963	0,99993	0,99992	0,99976	0,99988	0,99983	0,99988	0,99983	0,99986	0,99982
10	442AN1	0,99985	0,99986	0,99978	0,99996	0,99999	0,99939	0,99971	0,99993	0,99993	0,99977	0,99982
11	442AN2	0,99962	0,99968	0,99968	0,99990	0,99930	0,99988	0,99999	0,99992	0,99971	0,99989	0,99976
12	442CC1	0,99882	0,99721	0,99675	0,99928	0,99771	0,99950	0,99884	0,99635	0,99897	0,99810	0,99815
13	442CR1	0,99964	0,99911	0,99865	0,99932	0,99904	0,99965	0,99891	0,99965	0,99822	0,99779	0,99900
14	442CR2	0,99682	0,99926	0,99976	0,99865	0,99630	0,99907	0,99908	0,99777	0,99915	0,99926	0,99851
15	442EP1	0,99998	0,99610	0,99919	0,99423	0,99455	0,99783	0,99717	0,99685	0,99863	0,99987	0,99744
16	442FN1	0,99985	0,99983	0,99947	0,99994	0,99968	0,99956	0,99871	0,99972	0,99866	0,99961	0,99950
17	442FN2	0,84874	0,95092	0,99947	0,99947	0,99945	0,99931	0,99947	0,99973	0,99915	0,99115	0,97869
18	442KL1	0,99503	0,98933	0,99557	0,99742	0,99376	0,99683	0,99817	0,99474	0,99820	0,99683	0,99559
19	442PH1	0,99925	0,99615	0,99680	0,99542	0,94899	0,99900	0,99614	0,99603	0,99960	0,99745	0,99248
20	482PW1	0,99985	0,99944	0,99995	0,99942	0,99947	0,99995	0,99990	0,99966	0,99993	0,99998	0,99976
21	482PW2	0,99996	0,99996	0,99998	0,99996	0,99993	0,99996	0,99996	0,99993	0,99996	0,99997	0,99996
22	482PW3	0,99999	0,99994	0,99991	0,99993	0,99983	0,99997	0,99978	0,99983	0,99991	0,99997	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99987	0,99975	0,99990	0,99993	0,99986	0,99988	0,99983	0,99994	0,99986	0,99988
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99999	0,99995	0,99998	0,99996	0,99998	0,99998	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99851	0,99841	0,99979	0,99873	0,99866	0,99858	0,99940	0,99881	0,99990	0,99922	0,99900



Skenario 6												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
28	ER13	0,99982	0,99994	0,99969	0,99979	0,99972	0,99983	0,99967	0,99967	0,99986	0,99981	0,99978
29	KILN	0,78112	0,89349	0,93870	0,95431	0,92761	0,97838	0,89938	0,88285	0,79403	0,97669	0,90266

Lampiran 1g : Rekapitulasi *availability* skenario – 7

Skenario 7												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99983	0,99987	0,99988	0,99990	0,99969	0,99983	0,99930	0,99926	0,99992	0,99991	0,99974
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99977	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99975	0,99983
3	352AS7	0,99991	0,99992	0,99990	0,99989	0,99993	0,99993	0,99988	0,99990	0,99980	0,99992	0,99990
4	352AS89	0,99986	0,99967	0,99987	0,99983	0,99981	0,99987	0,99987	0,99982	0,99971	0,99985	0,99982
5	352CV1	0,99958	0,99947	0,99953	0,99866	0,99951	0,99863	0,99367	0,99959	0,98816	0,99694	0,99737
6	352DB2	0,99952	0,99948	0,99952	0,99946	0,99933	0,99952	0,91089	0,99952	0,99952	0,99952	0,99063
7	422BE1	0,99997	0,99998	0,99996	0,99997	0,99997	0,99997	0,99996	0,99996	0,99998	0,99998	0,99997
8	422BE2	0,99992	0,99995	0,99995	0,99998	0,99997	0,99994	0,99991	0,99995	0,99997	0,99995	0,99995
9	422RF5	0,99978	0,99999	0,99954	0,99959	0,99992	0,99958	0,99990	0,99966	0,99989	0,99954	0,99974
10	442AN1	0,99975	0,99978	0,99975	0,99952	0,99991	0,99992	0,99987	0,99925	0,99967	0,99971	0,99971
11	442AN2	0,99964	0,99970	0,99951	0,99952	0,99999	0,99944	0,99961	0,99968	0,99965	0,99996	0,99967
12	442CC1	0,99944	0,99841	0,99891	0,99953	0,99734	0,99948	0,99959	0,99975	0,99663	0,99809	0,99872
13	442CR1	0,99962	0,99819	0,99823	0,99970	0,99952	0,99904	0,99905	0,99817	0,99908	0,99938	0,99900
14	442CR2	0,99848	0,99936	0,99762	0,99800	0,99688	0,99806	0,99776	0,99967	0,99806	0,99952	0,99834
15	442EP1	0,99966	0,99942	0,99900	0,99803	0,99521	0,99752	0,99900	0,99936	0,99486	0,99954	0,99816
16	442FN1	0,99984	0,99516	0,99991	0,99915	0,99973	0,99952	0,99978	0,99875	0,99955	0,99921	0,99906
17	442FN2	0,99946	0,99947	0,99719	0,48460	0,97836	0,99942	0,99931	0,99940	0,99946	0,99932	0,94560
18	442KL1	0,99717	0,99573	0,99678	0,99760	0,99878	0,99593	0,99642	0,99724	0,98887	0,99590	0,99604
19	442PH1	0,99737	0,99805	0,99821	0,98896	0,99834	0,99698	0,98073	0,99955	0,98229	0,99213	0,99326

Skenario 7												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	482PW1	0,99991	0,99957	0,99981	0,99975	0,99991	0,99965	0,99954	0,99979	0,99961	0,99925	0,99968
21	482PW2	0,99996	0,99997	0,99996	0,99996	0,99992	0,99997	0,99990	0,99992	0,99985	0,99996	0,99994
22	482PW3	0,99993	0,99989	0,99997	0,99989	0,99988	0,99983	0,99982	0,99993	0,99997	0,99998	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99991	0,99992	0,99990	0,99989	0,99993	0,99993	0,99988	0,99990	0,99980	0,99992	0,99990
26	EF	0,99999	0,99998	0,99999	0,99998	0,99999	0,99997	0,99997	0,99999	0,99999	0,99998	0,99998
27	ER11	0,99826	0,99857	0,99896	0,99967	0,99957	0,99893	0,99995	0,99775	0,99951	0,99916	0,99903
28	ER13	0,99977	0,99982	0,99985	0,99984	0,99983	0,99978	0,99981	0,99985	0,99991	0,99985	0,99983
29	KILN	0,72519	0,94846	0,96064	0,45040	0,96156	0,90299	0,89494	0,97942	0,87358	0,93634	0,86335

Lampiran 1h : Rekapitulasi *availability* skenario – 8

Skenario 8												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99981	0,99994	0,99979	0,99975	0,99994	0,99991	0,99967	0,99983	0,99987	0,99967	0,99982
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99977	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99975	0,99983
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,98758	0,99958	0,99961	0,99981	0,99898	0,99951	0,99945	0,99843	0,99961	0,99939	0,99820
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99997	0,99996	0,99998	0,99996	0,99997	0,99998	0,99997	0,99997	0,99996	0,99998	0,99997
8	422BE2	0,99993	0,99997	0,99997	0,99995	0,99998	0,99995	0,99998	0,99995	0,99996	0,99994	0,99996
9	422RF5	0,99996	0,99948	0,99985	0,99984	0,99998	0,99943	0,99976	0,99996	0,99994	0,99987	0,99981
10	442AN1	0,99989	0,99966	0,99966	0,99969	0,99993	0,99975	0,99873	0,99964	0,99999	0,99953	0,99965
11	442AN2	0,99928	0,99981	0,99962	0,99977	0,99966	0,99982	0,99957	0,99979	0,99987	0,99961	0,99968

Skenario 8												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
12	442CC1	0,99877	0,99758	0,99710	0,99770	0,99631	0,99929	0,99874	0,98923	0,99458	0,99878	0,99681
13	442CR1	0,99903	0,99967	0,99960	0,99779	0,99958	0,99896	0,99924	0,99886	0,99991	0,99941	0,99921
14	442CR2	0,99728	0,99897	0,99837	0,99979	0,99944	0,99880	0,99658	0,99696	0,99966	0,99896	0,99848
15	442EP1	0,98523	0,99938	0,99965	0,99931	0,99640	0,99410	0,99890	0,99894	0,99170	0,99427	0,99579
16	442FN1	0,99979	0,99791	0,99947	0,99992	0,99989	0,99983	0,99994	0,99945	0,99926	0,99960	0,99951
17	442FN2	0,99896	0,99947	0,99925	0,95483	0,99929	0,99824	0,99946	0,99934	0,99947	0,99947	0,99478
18	442KL1	0,99822	0,99699	0,99862	0,99884	0,99214	0,99390	0,99781	0,99837	0,99806	0,99555	0,99685
19	442PH1	0,99922	0,99610	0,99860	0,99962	0,99931	0,99997	0,99846	0,99891	0,98921	0,99997	0,99794
20	482PW1	0,99999	0,99949	0,99961	0,99994	0,99968	0,99996	0,99936	0,99984	0,99952	0,99942	0,99968
21	482PW2	0,99993	0,99987	0,99996	0,99998	0,99987	0,99998	0,99998	0,99996	0,99979	0,99991	0,99992
22	482PW3	0,99988	0,99988	0,99993	0,99997	0,99985	0,99990	0,99989	0,99992	0,99985	0,99998	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99996	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99892	0,99881	0,99944	0,99776	0,99891	0,99845	0,99965	0,99925	0,99990	0,99881	0,99899
28	ER13	0,99973	0,99994	0,99987	0,99980	0,99962	0,99974	0,99979	0,99975	0,99986	0,99975	0,99979
29	KILN	0,69477	0,89109	0,90032	0,91161	0,96312	0,97566	0,93903	0,93864	0,76057	0,97675	0,89516

Lampiran i : Rekapitulasi *availability* skenario – 9

Skenario 9												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99967	0,99986	0,99990	0,99909	0,99960	0,99993	0,99966	0,99999	0,99966	0,99960	0,99970
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99977	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99975	0,99983
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987

Skenario 9												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,98589	0,99860	0,99961	0,99981	0,99895	0,99960	0,99945	0,99843	0,99961	0,99958	0,99795
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99997	0,99996	0,99998	0,99996	0,99997	0,99998	0,99997	0,99997	0,99995	0,99998	0,99997
8	422BE2	0,99992	0,99997	0,99997	0,99994	0,99998	0,99994	0,99998	0,99991	0,99996	0,99993	0,99995
9	422RF5	0,99989	0,99985	0,99993	0,99986	0,99986	0,99935	0,99979	0,99966	0,99995	0,99975	0,99979
10	442AN1	0,99935	0,99934	0,99981	0,99991	0,99976	0,99959	0,99860	0,99944	0,99999	0,99987	0,99957
11	442AN2	0,99950	0,99981	0,99931	0,99960	0,99950	0,99995	0,99987	0,99983	0,99984	0,99944	0,99967
12	442CC1	0,99791	0,99744	0,99770	0,99911	0,99918	0,99667	0,99867	0,99758	0,98800	0,99731	0,99696
13	442CR1	0,99891	0,99858	0,99925	0,99912	0,99934	0,99936	0,99958	0,99840	0,99986	0,99974	0,99921
14	442CR2	0,99968	0,99884	0,99978	0,99971	0,99928	0,99882	0,99802	0,99729	0,99661	0,99880	0,99868
15	442EP1	0,99964	0,95440	0,99284	0,99965	0,99929	0,99911	0,99890	0,99881	0,99924	0,99936	0,99412
16	442FN1	0,99992	0,99952	0,99958	0,99938	0,99946	0,99983	0,99983	0,99990	0,99927	0,99961	0,99963
17	442FN2	0,99937	0,99947	0,99925	0,99947	0,99929	0,99824	0,99946	0,99946	0,99074	0,99947	0,99842
18	442KL1	0,99686	0,99748	0,99752	0,99913	0,99289	0,99832	0,99853	0,99764	0,99583	0,99762	0,99718
19	442PH1	0,99268	0,99667	0,99888	0,99900	0,99891	0,99894	0,99927	0,99744	0,97245	0,99362	0,99479
20	482PW1	0,99999	0,99994	0,99931	0,99997	0,99983	0,99996	0,99948	0,99989	0,99995	0,99965	0,99980
21	482PW2	0,99997	0,99986	0,99997	0,99998	0,99996	0,99998	0,99998	0,99996	0,99990	0,99990	0,99995
22	482PW3	0,99980	0,99997	0,99992	0,99997	0,99980	0,99994	0,99986	0,99987	0,99988	0,99999	0,99990
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99996	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99703	0,99961	0,99989	0,99852	0,99954	0,99718	0,99957	0,99905	0,99990	0,99876	0,99891
28	ER13	0,99979	0,99994	0,99979	0,99983	0,99965	0,99978	0,99979	0,99963	0,99986	0,99983	0,99979
29	KILN	0,74156	0,91275	0,96404	0,97532	0,86171	0,98060	0,96402	0,95980	0,75649	0,97902	0,90953

Lampiran j : Rekapitulasi *availability* skenario –10

Skenario 10												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99969	0,99992	0,99987	0,99961	0,99897	0,99988	0,99934	0,99999	0,99968	0,99984	0,99968
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99977	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99975	0,99983
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,99700	0,99961	0,99962	0,99962	0,99898	0,99960	0,99943	0,99843	0,99961	0,99958	0,99915
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99997	0,99997	0,99998	0,99996	0,99996	0,99998	0,99997	0,99995	0,99997	0,99998	0,99997
8	422BE2	0,99989	0,99997	0,99997	0,99994	0,99998	0,99995	0,99998	0,99995	0,99996	0,99992	0,99995
9	422RF5	0,99985	0,99997	0,99972	0,99996	0,99996	0,99953	0,99953	0,99973	0,99990	0,99978	0,99979
10	442AN1	0,99933	0,99968	0,99992	0,99962	0,99996	0,99976	0,99958	0,99978	0,99988	0,99982	0,99973
11	442AN2	0,99965	0,99943	0,99941	0,99969	0,99967	0,99990	0,99997	0,99987	0,99982	0,99959	0,99970
12	442CC1	0,99743	0,99507	0,99799	0,99727	0,99938	0,99656	0,99975	0,99957	0,99763	0,99570	0,99764
13	442CR1	0,99925	0,99848	0,99838	0,99882	0,99738	0,99955	0,99883	0,99956	0,99935	0,99948	0,99891
14	442CR2	0,99911	0,99824	0,99952	0,99931	0,99943	0,99847	0,99848	0,99810	0,99727	0,99748	0,99854
15	442EP1	0,99776	0,99956	0,99992	0,99976	0,99967	0,99916	0,99890	0,99881	0,99918	0,98928	0,99820
16	442FN1	0,99907	0,99978	0,99904	0,99921	0,99979	0,99968	0,99875	0,99997	0,99986	0,99979	0,99949
17	442FN2	0,99935	0,99067	0,99925	0,99941	0,99929	0,99824	0,99896	0,99935	0,99947	0,99940	0,99834
18	442KL1	0,99931	0,99618	0,99548	0,99803	0,99225	0,99837	0,99806	0,99857	0,99703	0,99873	0,99720
19	442PH1	0,99374	0,99838	0,99920	0,99838	0,99539	0,99943	0,99981	0,99880	0,99651	0,99996	0,99796
20	482PW1	0,99999	0,99957	0,99936	0,99979	0,99956	0,99996	0,99980	0,99981	0,99997	0,99962	0,99974
21	482PW2	0,99997	0,99987	0,99997	0,99998	0,99996	0,99998	0,99998	0,99995	0,99994	0,99987	0,99995
22	482PW3	0,99994	0,99983	0,99989	0,99997	0,99992	0,99994	0,99988	0,99988	0,99989	0,99999	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99996	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99948	0,99509	0,99811	0,99898	0,99801	0,99703	0,99936	0,99881	0,99990	0,99721	0,99820

Skenario 10												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
28	ER13	0,99977	0,99994	0,99981	0,99984	0,99965	0,99985	0,99982	0,99967	0,99986	0,99982	0,99980
29	KILN	0,75514	0,91634	0,87818	0,97832	0,96451	0,98559	0,84242	0,71332	0,80898	0,96941	0,88122

Lampiran k : Rekapitulasi *availability* skenario –11

Skenario 11												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99965	0,99962	0,99990	0,99976	0,99993	0,99988	0,99983	0,99987	0,99959	0,99984	0,99979
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99964	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99983	0,99964	0,99981
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,99810	0,99957	0,99961	0,99962	0,99897	0,99960	0,99942	0,99824	0,99959	0,99959	0,99923
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99997	0,99997	0,99998	0,99996	0,99997	0,99998	0,99997	0,99997	0,99997	0,99998	0,99997
8	422BE2	0,99993	0,99997	0,99997	0,99994	0,99998	0,99995	0,99998	0,99994	0,99996	0,99993	0,99996
9	422RF5	0,99994	0,99979	0,99984	0,99992	0,99996	0,99944	0,99981	0,99991	0,99992	0,99982	0,99984
10	442AN1	0,99914	0,99965	0,99985	0,99974	0,99995	0,99959	0,99974	0,99949	0,99994	0,99981	0,99969
11	442AN2	0,99964	0,99965	0,99968	0,99985	0,99991	0,99993	0,99990	0,99970	0,99974	0,99959	0,99976
12	442CC1	0,99872	0,99728	0,99871	0,99905	0,99891	0,99959	0,99792	0,99936	0,99807	0,99563	0,99832
13	442CR1	0,99864	0,99796	0,99873	0,99890	0,99942	0,99955	0,99955	0,99870	0,99914	0,99787	0,99885
14	442CR2	0,99595	0,99965	0,99860	0,99959	0,99879	0,99795	0,99742	0,99958	0,99798	0,99779	0,99833
15	442EP1	0,99943	0,99956	0,99992	0,99894	0,99971	0,96741	0,99890	0,99968	0,99839	0,99943	0,99614
16	442FN1	0,99960	0,99952	0,99959	0,99983	0,99909	0,99983	0,99973	0,99897	0,99967	0,99847	0,99943
17	442FN2	0,99937	0,99947	0,99951	0,99947	0,99929	0,99824	0,99946	0,99945	0,99947	0,99947	0,99932
18	442KL1	0,99843	0,99667	0,99540	0,99819	0,99281	0,99892	0,99476	0,99376	0,99716	0,99836	0,99645

Skenario 11												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
19	442PH1	0,99797	0,99864	0,98441	0,99851	0,99823	0,99894	0,99918	0,99179	0,99975	0,99984	0,99673
20	482PW1	0,99999	0,99977	0,99939	0,99979	0,99957	0,99996	0,99973	0,99957	0,99969	0,99967	0,99971
21	482PW2	0,99996	0,99986	0,99992	0,99998	0,99994	0,99998	0,99998	0,99996	0,99994	0,99990	0,99994
22	482PW3	0,99992	0,99977	0,99994	0,99997	0,99990	0,99994	0,99985	0,99992	0,99990	0,99999	0,99991
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99975	0,99990	0,99993	0,99992	0,99994	0,99988	0,99994	0,99992	0,99991
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99996	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99859	0,99918	0,99947	0,99981	0,99952	0,99771	0,99957	0,99903	0,99990	0,99914	0,99919
28	ER13	0,99985	0,99994	0,99979	0,99975	0,99967	0,99977	0,99969	0,99969	0,99986	0,99981	0,99978
29	KILN	0,95162	0,97968	0,95232	0,92226	0,97079	0,95461	0,68952	0,95282	0,80956	0,97917	0,91624

Lampiran 1 : Rekapitulasi *availability* skenario –12

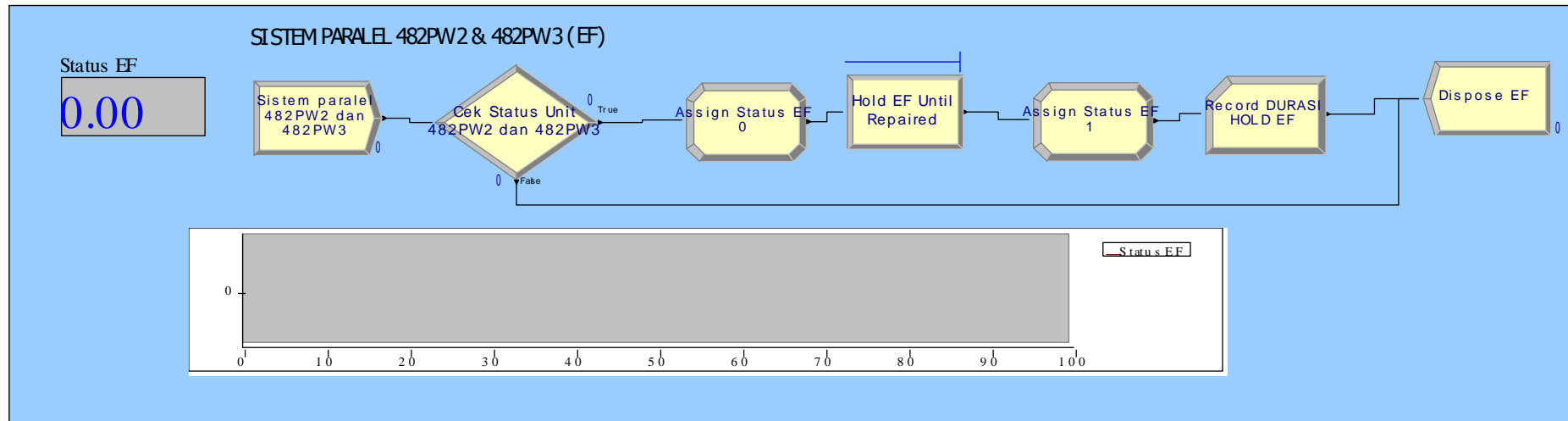
Skenario 12												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	342FN6	0,99980	0,99988	0,99982	0,99954	0,99979	0,99982	0,99977	0,99988	0,99990	0,99987	0,99981
2	352AS1	0,99989	0,99988	0,99937	0,99983	0,99987	0,99971	0,99991	0,99988	0,99968	0,99968	0,99977
3	352AS7	0,99986	0,99991	0,99979	0,99990	0,99987	0,99961	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99987
4	352AS89	0,99966	0,99980	0,99980	0,99986	0,99986	0,99986	0,99900	0,99987	0,99987	0,99973	0,99973
5	352CV1	0,99880	0,99955	0,99951	0,99961	0,98683	0,99932	0,99945	0,99824	0,99981	0,99524	0,99764
6	352DB2	0,99951	0,99952	0,99951	0,99952	0,99952	0,99947	0,99939	0,99952	0,99952	0,99952	0,99950
7	422BE1	0,99997	0,99997	0,99998	0,99996	0,99997	0,99998	0,99997	0,99997	0,99997	0,99998	0,99997
8	422BE2	0,99993	0,99997	0,99997	0,99995	0,99998	0,99994	0,99998	0,99995	0,99996	0,99993	0,99996
9	422RF5	0,99991	0,99955	0,99979	0,99991	10000,00000	0,99948	0,99981	0,99968	0,99995	0,99983	1000,89979
10	442AN1	0,99933	0,99976	0,99972	0,99980	0,99988	0,99971	0,99970	0,99939	0,99991	0,99979	0,99970

Skenario 12												
No.	Equipment	Replikasi										Rata-rata Availability
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
11	442AN2	0,99948	0,99938	0,99946	0,99991	0,99986	0,99988	0,99978	0,99968	0,99957	0,99969	0,99967
12	442CC1	0,99401	0,99777	0,99795	0,99734	0,99843	0,99955	0,99851	0,99939	0,99801	0,99547	0,99764
13	442CR1	0,99847	0,99916	0,99963	0,99866	0,99878	0,99954	0,99943	0,99953	0,99970	0,99950	0,99924
14	442CR2	0,99932	0,99820	0,99879	0,99866	0,99546	0,99883	0,99971	0,99927	0,99975	0,99709	0,99851
15	442EP1	0,99943	0,99930	0,99899	0,99975	0,99604	0,99920	0,99818	0,99980	0,99429	0,99820	0,99832
16	442FN1	0,99954	0,99977	0,99937	0,99984	0,99956	0,99807	0,99966	0,99968	0,99918	0,99976	0,99944
17	442FN2	0,99937	0,99926	0,99951	0,99947	0,99955	0,99798	0,99946	0,99945	0,99944	0,99947	0,99930
18	442KL1	0,99914	0,99817	0,99435	0,99785	0,99164	0,99862	0,99659	0,99457	0,99752	0,99590	0,99644
19	442PH1	0,99942	0,99741	0,99950	0,99816	0,99514	0,99852	0,99981	0,99878	0,99972	0,99194	0,99784
20	482PW1	0,99999	0,99994	0,99967	0,99995	0,99912	0,99996	0,99989	0,99968	0,99997	0,99973	0,99979
21	482PW2	0,99997	0,99987	0,99996	0,99998	0,99997	0,99998	0,99998	0,99997	0,99994	0,99990	0,99995
22	482PW3	0,99992	0,99998	0,99986	0,99997	0,99987	0,99989	0,99978	0,99982	0,99977	0,99999	0,99989
23	483BL3	0,99993	0,99994	0,99969	0,99990	0,99993	0,99986	0,99994	0,99974	0,99994	0,99992	0,99988
24	BC	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998
25	CD	0,99986	0,99991	0,99980	0,99990	0,99987	0,99986	0,99988	0,99995	0,99995	0,99994	0,99989
26	EF	0,99999	0,99999	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99998	0,99996	0,99999	0,99998
27	ER11	0,99746	0,99839	0,99942	0,99981	0,99789	0,99963	0,99710	0,99966	0,99990	0,99905	0,99883
28	ER13	0,99978	0,99994	0,99974	0,99982	0,99965	0,99982	0,99977	0,99962	0,99986	0,99978	0,99978
29	KILN	0,86858	0,94119	0,93639	0,92745	0,84265	0,98736	0,86694	0,92755	0,71483	0,96729	0,89802

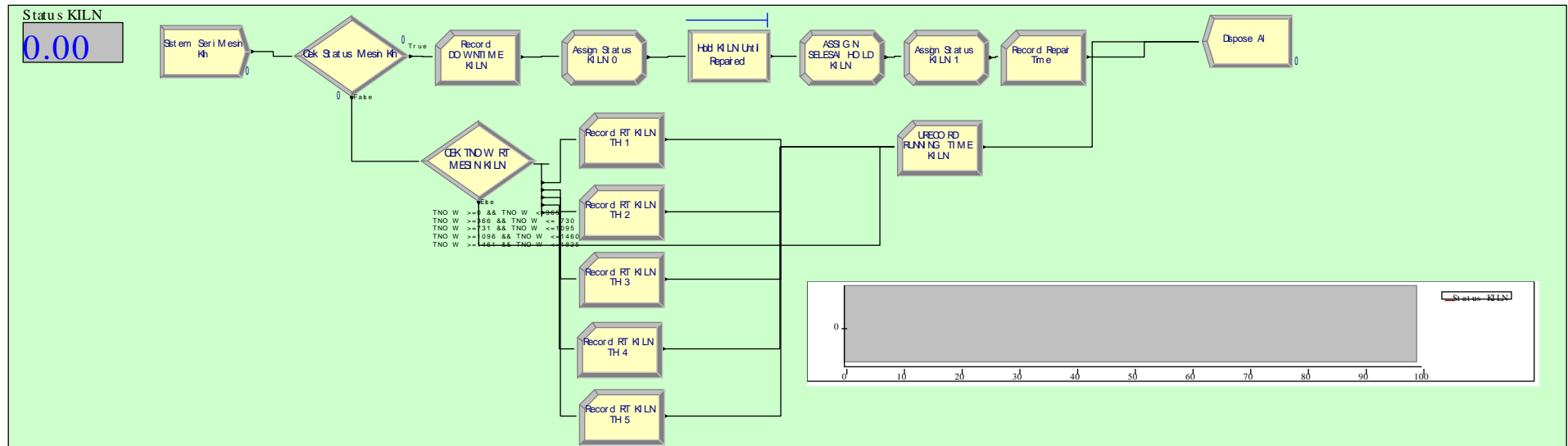


## Lampiran 2 : Model Arena

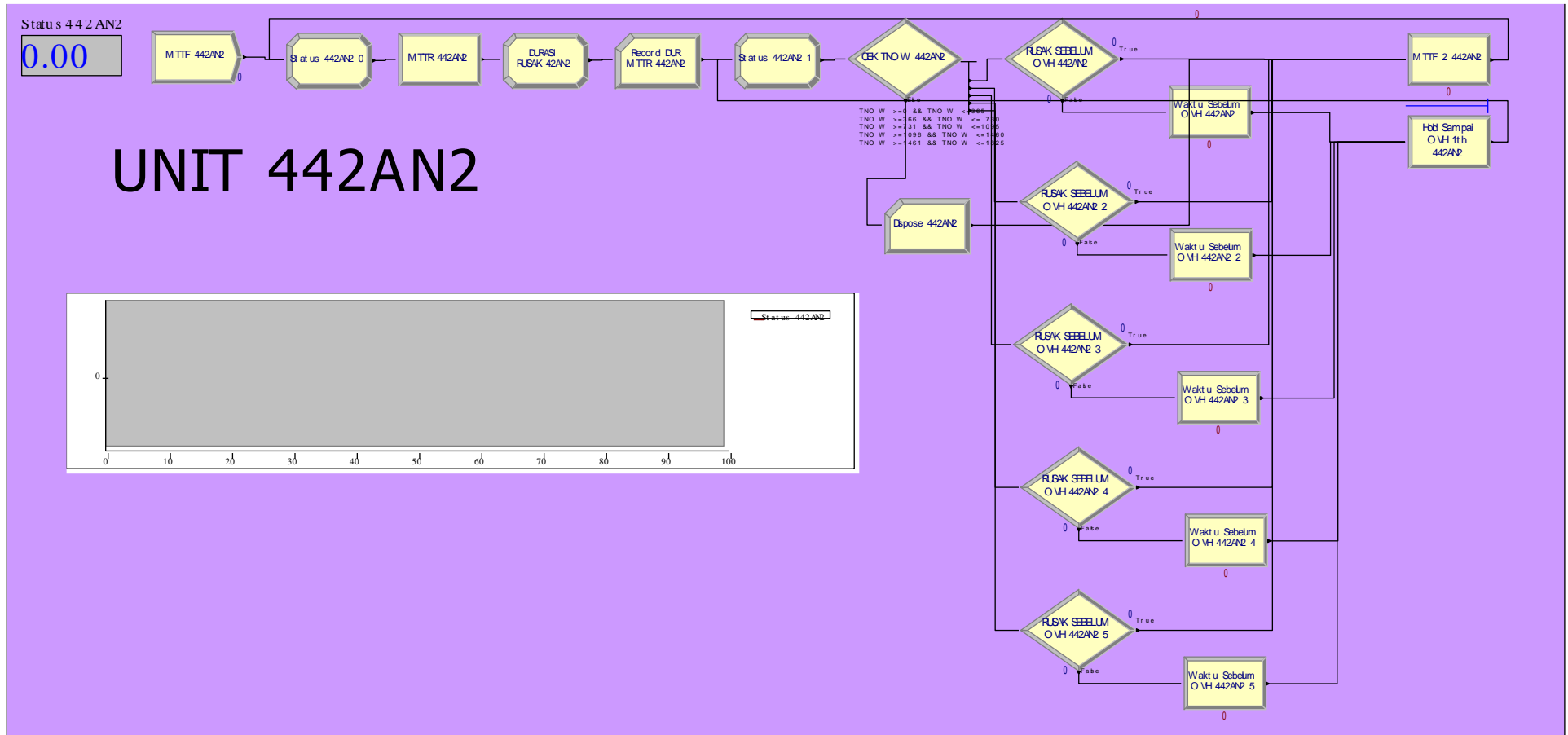
### Lampiran 2a : Contoh sub-model paralel



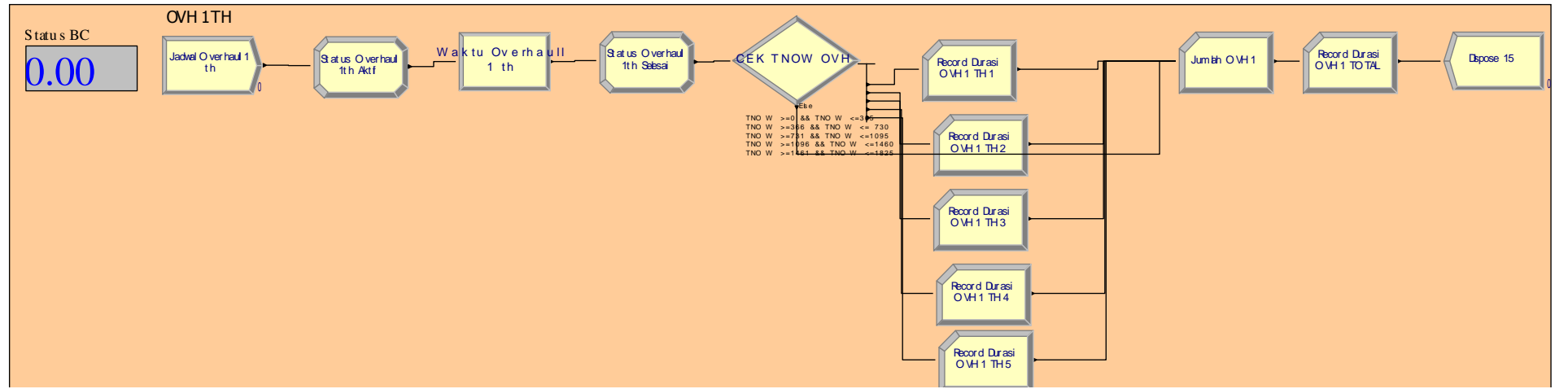
Lampiran 2c : Contoh sub-model seri



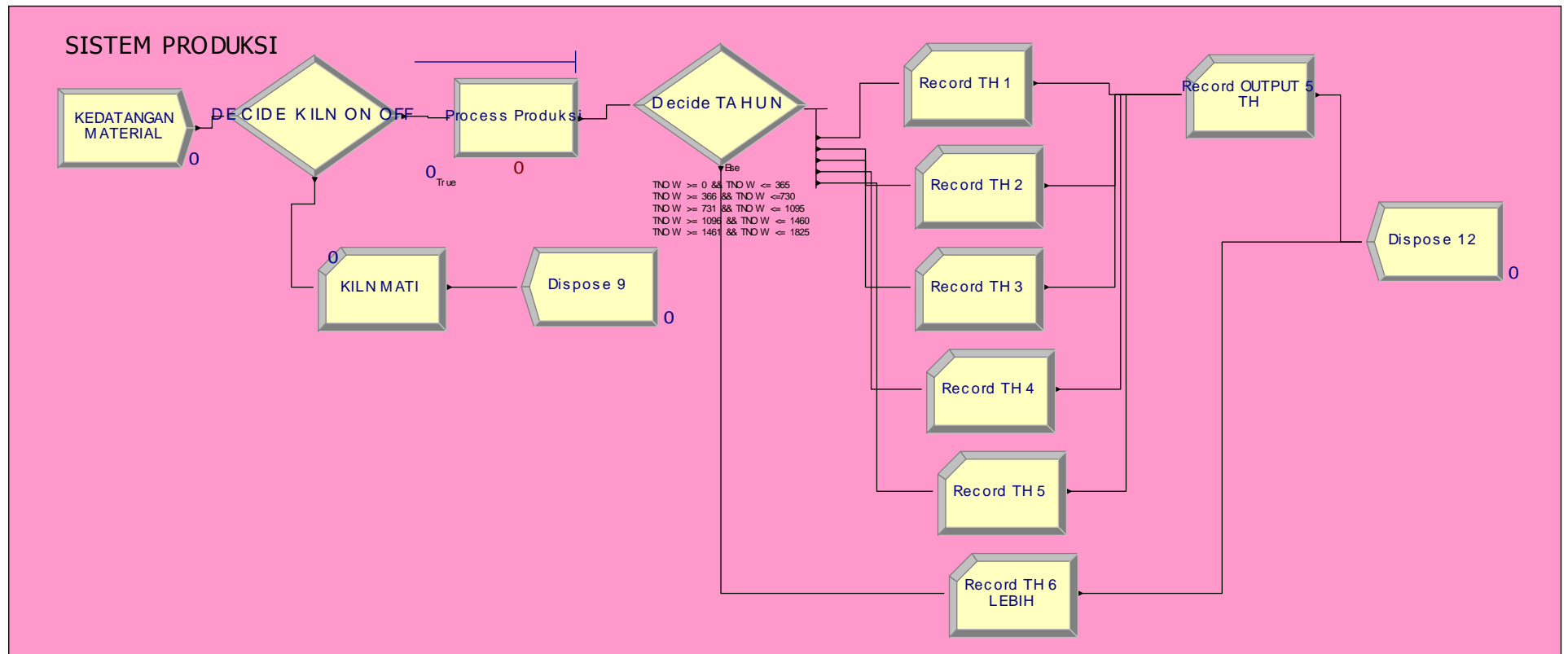
Lampiran 2c : Contoh sub-model kegagalan



Lampiran 2d : Contoh sub-model *overhaul*



Lampiran 2e : Contoh sub-model sistem produksi



*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Luluk Nur Faizah atau biasa dipanggil Luluk. Penulis lahir di Kota Tuban, 27 Juni 1998. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh jenjang pendidikan sekolah dasar di SDN Sambonggede 2 Tuban, sekolah menengah pertama di SMP N 3 Tuban dan sekolah menengah atas di SMA N 1 Tuban. Setelah menempuh pendidikan sekolah, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan program studi S1 Departemen Teknik Sistem dan Industri. Selain aktif dalam kegiatan akademik, penulis juga aktif dalam kegiatan non akademik. Penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Industri ITS (HMTI ITS), yaitu sebagai Staf Departemen Komunikasi dan Informasi (Kominfo) HMTI ITS 2017/2018. Selain aktif dalam organisasi himpunan penulis juga aktif dalam mengikuti kegiatan kepanitiaan di ITS yaitu sebagai Pemandu Integralistik Gerigi ITS tahun 2018. Penulis juga bergabung dengan Asisten Dosen untuk mata kuliah Pengantar Teknik dan Sistem Industri pada tahun 2019/2020. Adapun prestasi penulis yang pernah diraih, yaitu sebagai juara dua lomba karya tulis ilmiah IESCO 2020 yang diadakan oleh Universitas Darussalam Gontor. Untuk memenuhi persyaratan program sarjana, penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik di PT Semen Indonesia divisi *Maintenance Planning and Evaluation*, Tuban Jawa Timur. Selain itu penulis juga pernah melakukan *internship* di program Tokopedia Youth Surabaya Desember 2019 hingga Maret 2020 divisi *social media*. Untuk informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini, penulis dapat dihubungi melalui email [luluk.nurfaizah@gmail.com](mailto:luluk.nurfaizah@gmail.com). Demikian dan terima kasih.