TESIS – TI185471

PEMODELAN *PLANT MAINTENANCE* BERDASARKAN ANALISIS AVAILABILITAS PADA PT XYZ

NURFADHILAH JUFRI
02411 8500 77 007

Dosen Pembimbing
Nurhadi Siswanto, ST, MSIE, Ph.D
19700523199601100

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020

TESIS – TI185471

PEMODELAN *PLANT MAINTENANCE* BERDASARKAN ANALISIS AVAILABILITAS PADA PT XYZ

NURFADHILAH JUFRI
02411 8500 77 007

Dosen Pembimbing
Nurhadi Siswanto, ST, MSIE, Ph.D
19700523199601100

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

NURFADHILAH JUFRI
NRP: 02411850077007

Tanggal Ujian: 14 Agustus 2020
Periode Wisuda: September 2020

Disetujui Oleh:
Pembimbing:

1. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D ----------
   NIP: 197005231996011001

Penguji:

1. Prof. Dr. Budisantoso Wirjodirdjo, M.Eng ----------
   NIP: 195503081979031001

2. Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D ----------
   NIP: 197504081998022001

Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Indsutri dan Rekayasa Sistem

Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D
NIP: 197005231996011001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMODELAN *PLANT MAINTENANCE* BERDASARKAN ANALISIS AVAILABILITAS PADA PT XYZ

Nama Mahasiswa : Nurfadhilah Jufri
NRP : 02411850077007
Pembimbing : Nurhadi Siswanto, ST, MSIE, Ph.D

ABSTRAK

Kegiatan pemeliharaan menjadi perhatian khusus di PT XYZ, yang merupakan produsen semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia (KTI). PT XYZ memiliki 5 pabrik utama yang berlokasi di Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan yaitu pabrik unit 1,2,3,4, dan 5. Di tahun 2019, produksi klinker unit 5 PT XYZ hanya mencapai 2.445.515 ton atau 93, 64% dari target. Jika diurai lagi ke sub proses sistem sebelumnya yaitu *Raw mill*, terjadi ketidakcapaian produksi *raw meal* yaitu 4.041.377 ton atau 96,54% dari target yang telah ditetapkan perusahaan. Ketidakcapaian hari operasi *Raw mill* dipengaruhi adanya *unplanned shutdown*. Faktor terjadinya *breakdown* dapat dikendalikan dengan melakukan evaluasi availabilitas untuk meningkatkan availabilitas dan hari operasi (*calendar day*). Metode analisis availabilitas yang digunakan adalah dengan pendekatan simulasi sistem diskrit karena simulasi sistem diskrit dapat mengakomodasi perilaku acak dan ketergantungan antar variabel. Simulasi menggunakan *software* Arena 14.00. Pada kondisi eksisting availabilitas sistem 72,83% dan *calendar day* 239 hari. Kedua parameter ini masih kurang dari target. Untuk mengatasi permasalahan ini, dilakukan ekperimentasi dengan 3 skenario. Berdasarkan hasil simulasi, dapat ditunjukkan bahwa optimasi kegiatan *preventive maintenance* memberikan perubahan pada nilai TTF (*Time to Failure*), TTR (*Time to Repair*) dan mengurangi durasi kegiatan overhaul. Hal ini dapat meningkatkan availabilitas dan *calendar day*. Skenario ini menghasilkan peningkatan availabilitas menjadi 83,04% dan *calendar day* menjadi 255 hari.

Kata Kunci: availabilitas, *calendar day*, simulasi kejadian diskrit, TTF, TTR, overhaul.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PLANT MAINTENANCE MODELING BASED ON AVAILABILITY ANALYSIS IN PT XYZ

Name : Nurfadhilah Jufri
NRP : 02411850077007
Supervisor : Nurhadi Siswanto, ST, MSIE, Ph.D

ABSTRACT

Maintenance activities are a particular concern at PT XYZ, which is the largest cement producer in Eastern Indonesia (KTI). PT XYZ has 5 main factories located in Pangkep, South Sulawesi, units 1,2,3,4, and 5 factories. In 2019, PT XYZ's unit 5 clinker production only reached 2,445,515 tons or 93, 64% of target. The details, Raw meal production was not achieved, namely 4,041,377 tons or 96.54% of the target set by the company. The raw mill's operating days were not achieved due to the unplanned shutdown. The breakdown factor can be controlled by evaluating availability to increase availability and day of operation (calendar day). The availability analysis method used is the discrete event simulation approach because the discrete event simulation can accommodate random behavior and dependence between variables. Simulation using Arena 14.00 software. In the existing condition, system availability is 72.83% and calendar day is 239 days. These two parameters are still less than the target. To overcome this problem, experimentation was carried out with 3 scenarios. Based on the simulation results, it can be shown that the optimization of preventive maintenance activities changes the value of TTF (Time to Failure), TTR (Time to Repair), and reduces the duration of overhaul activities. This can increase the availability and calendar day. This scenario results in an increase in availability to 83.04% and calendar day to 255 days.

Keywords: Availability, Calendar Day, Discrete Event Simulation, TTF, TTR, overhaul

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, rahmat, kesehatan, dan kesempatan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul "Pemodelan *Plant Maintenance* Berdasarkan Analisis Availability Pada PT XYZ" ini dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Penyayang yang selalu mencurahkan rahmat dan kasih sayang-Nya serta memberi kemudahan kepada penulis sehingga penulis bias menyelesaikan tesis ini tepat waktu.
2. Nabi Muhammad SAW atas segala teladan dan panutan yang diberikan.
3. Kedua orang tua; H. Muh. Jufri dan H. Minarni, anak-anakku A.Azkadina Zahirah Mattuju, A.Dzaka Al Fath Mattuju, dan A.Fayyadh Abqari Mattuju, Adikku Nurfaidhah Jufri & iparku Risman Syam, serta seluruh keluarga atas segala doa, dukungan, kasih saying, dan motivasi yang diberikan.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, ST, MSIE, Ph.D, selaku pembimbing yang henti-hentinya memberi semangat, bimbingan, dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
5. Bapak Prof. Dr. Budisantoso Wirdjodirdjo, M.Eng dan Ibu Nani Kurniati, ST, MT, Ph.D, selaku dosen penguji, terima kasih tidak terkira atas masukan, saran, kritik membangun yang diberikan untuk perbaikan tesis ini.
6. Bapak Irvan Afiat, ST, selaku pembimbing dan teman sharing di PT Semen Tonasa yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan materi tentang tesis saya dan juga memberikan motivasi sehingga tesis ini bias terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
7. Mba Nabila Y. Salsabila, selaku pembimbing dan teman sharing tentang tesis, software Arena, dan semua hal terkait tesis ini sehingga tesis ini bias selesai tepat waktu dan penulis bisa memahami tesis ini dengan baik.
8. Saudaraku seperjuangan 'Tim Musafir'; Kak Rusdianto, Kang Inman Yasin, dan Kak Imran, yang telah bersama-sama dalam menjalani proses perkuliahan selama kurang lebih 2 tahun ini yang penuh dengan perjuangan, terima kasih atas motivasi dan semangatnya sehingga kita bisa lulus bersama-sama.

9. Teman-teman S2 TI KKI SMI; Ketua kelas Reza anak Sultan yang juga pengantin baru, Mba Muya sesama Ibu beranak tiga yang masih semangat dan kekeuh menuntut ilmu, Mr. Woles Pak Lilik Agus Sugiyono, Mr. Serius Pak Bayu, Mr Santai Mas Febri, Kak Janu teman seperjuangan siding, Mas Anon ahli IT yang sangat banyak membantu, Sobat Hasad Mr Grosso Modo Pak Nale, Mas Ary pengantin baru, Mr.Nemen nemen Pak Dedy, Mr Cumlaude Pak Roi, Pak Anggoro teman sebimbingan, Pak Dirut Pak Yani, Mr Teratur dan telaten Mas Faris, Mas Imron Pres BEM yang penuh dengan semangat, Pak Hilmi Ahli rekaman, dan Pak Akma teman share ilmu dan share makanan; terima kasih atas segala bantuan dan kerja samanya selama proses perkuliahan, teman seperjuangan bertukar ilmu, informasi, dan semua bahan perkuliahan.
10. Staf Pengajar Bapak/Ibu Dosen yang terhormat dan tercinta; Pak Erwin. Prof. Udisubakti, Prof. Moses, Prof. Nyoman, Pak Bambang, Bu Sri Gunani, Pak Gunarta, Prof. Budi Santosa, Prof. Nyoman, Pak Ahmad Rusdiansyah, Prof. Iwan, Bu Dyah, Bu Ratna, Bu Niniet, Bu Retno, dan lain-lain serta Staf Akademik; Bu Rahayu, Bu Fitri, dan lain-lain; terima kasih atas ilmu dan bantuannya selama ini sehingga penulis bisa menyelesaikan studi S2 TI ITS.
11. Bapak/Ibu staf Learning & Knowledge Management PT Semen Tonasa Bu Nani, Bu Tia, Bu Tuti, Bu Lisna, Pak Asdi, Pak Wahid, Pak Jumhari, Pak Cino, Mahasiswa PMMB Ilham, CS Pak Anas; yang telah memberikan dukungan dan motivasi sehingga penulis bisa menyelesaikan kuliah dan tesis ini tepat waktu.
12. Staf perpustakaan dan berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan kuliah dan menyelesaikan tesis.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna sehingga memerlukan perbaikan, kritik, dan saran dari pembaca. Semoga tesisi ini dapat bermanfaat untuk kemajuan teknologi dan kerekayasaan di bidang Industri bagi siapapun yang membacanya.

Makassar, 24 Agustus 2020

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS ..... **iii**

ABSTRAK ..... **v**

ABSTRACT ..... **vii**

KATA PENGANTAR ..... **ix**

DAFTAR ISI ..... **xii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xv**

DAFTAR TABEL ..... **xviii**

BAB 1 PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang **1**

1.2 Rumusan Masalah **10**

1.3 Tujuan Penelitian **10**

1.4 Batasan Masalah **10**

1.5 Manfaat Penelitian **10**

1.6 Sistematika Penulisan **11**

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA **14**

2.1 *Raw mill* **14**

2.2 Pemeliharaan (*Maintenance)* **17**

2.2.1 *Preventive Maintenance* (PM) 18

2.2.2 *Corrective Maintenance* (CM) 19

2.3 Sistem **19**

2.3.1 Elemen Sistem 20

2.3.2 Kompleksitas Sistem 21

2.3.3 Variabel Sistem 22

2.4 Simulasi **23**

2.4.1 Simulasi Kejadian Diskrit 23
2.4.2 Pengolahan Data Input 24
2.4.3 Analisis *Output* Simulasi 25
2.4.4 Replikasi dalam simulasi..... 28
2.4.5 Kelebihan dan Kekurangan Simulasi 29

2.5 Analisis Availabilitas..... 30
2.5.1. Metode Pendekatan Analitis 31
2.5.2. Metode Pendekatan Simulasi 31
2.5.3. Metodologi dalam Simulasi Availabilitas 32

2.6 Keandalan 33
2.7.1 Definisi Keandalan..... 33
2.7.2 Evaluasi Keandalan Sistem 34

2.7 Penelitian Terdahulu 39

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 29

3.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan..... 30

3.2 Pengumpulan Data..... 33

3.3 Pengolahan Data 34

3.4 Eksperimen 34

3.5 Kesimpulan dan Saran 36

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 38

4.1 Deskripsi Perusahaan 38
4.1.1 Deskripsi Proses Produksi *Raw Meal* 39

4.2 Pengumpulan Data..... 40
4.2.1 Data Struktural 40
4.2.2 Data Operasional..... 41
4.2.3 Data Numerik..... 43

4.3 Pengolahan Data 44
4.3.1 Fitting Distribusi Waktu Antar Kegagalan dan Perbaikan..... 45

BAB 5 PERANCANGAN MODEL SIMULASI 48

5.1 Model Konseptual 48

5.1.1 Submodel *Failure* 48

5.1.2 Submodel Sistem Produksi 55

5.2 Verifikasi Model 58

5.2.1 Verifikasi *Syntax Error* 58

5.2.2 Verifikasi *Semantic Error* 59

5.3 Penentuan Jumlah Replikasi 59

5.4 Validasi Model 61

BAB 6 HASIL DAN PEMBAHASAN 65

6.1 Kondisi Eksisting 65

6.2 Skenario 1 64

6.3 Skenario 2 70

6.4 Skenario 3 73

6.5 Analisa Perbandingan Skenario 75

BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN 79

7.1 Kesimpulan 79

7.2 Saran 81

DAFTAR PUSTAKA 82

LAMPIRAN 85

BIOGRAFI PENULIS 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Aliran Proses Pembuatan Semen 2
Gambar 1. 2 Target dan Realisasi Produksi *Klinker* (ton) (PT XYZ, 2019) 3
Gambar 1. 3 Target dan Realisasi Produksi *Raw mill* (ton) (PT XYZ, 2019) 4
Gambar 1. 4 Hari Operasi *Kiln* (hari) (PT XYZ, 2019) 4
Gambar 1. 5 Hari Operasi *Raw mill* (hari) (PT XYZ, 2019) 5
Gambar 1. 6 Frekuensi *Unplanned Maintenance Kiln* (kali) 5
Gambar 1. 7 *Unplanned Maintenance Raw mill* (hari) 6
Gambar 1. 8 Penyebab Terjadinya Breakdown *Kiln* (PT XYZ, 2019) 6
Gambar 1. 9 Penyebab Terjadinya *Breakdown Raw mill* (PT XYZ, 2019) 7
Gambar 1. 10 Tampilan *Schedulling* SAP modul PM 9
Gambar 2. 1 Bagian-bagian *Raw mill* 15
Gambar 2. 2 Proses Di dalam *Raw mill* 16
Gambar 2. 3 Perbandingan CM dan PM (Alrabghi, Tiwari, & Abdulkarim, 2017) 19
Gambar 2. 4 Metodologi Simulasi Availabilitas (Faulin, Juan, & Martorell, 2010) 32
Gambar 2. 5 *Reliability Block Diagram* (Elsayed, 2012) 35
Gambar 2. 6 *Reliability Block Diagram* sistem seri (Elsayed, 2012) 36
Gambar 2. 7 *Reliability Block Diagram* Sistem Paralel (Elsayed, 2012) 36
Gambar 2. 8 *Reliability Graph* Sistem Paralel (Elsayed, 2012) 37
Gambar 2. 9 Blok Diagram Sistem Campuran (Elsayed, 2012) 38
Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian 29
Gambar 3. 2 Metodologi Penelitian (lanjutan) 30
Gambar 3. 3 Aktivitas proses produksi *raw meal* (Laporan Produksi, 2019) 31
Gambar 4. 1 Subsistem *Raw mill* (Laporan Produksi, 2019) 40
Gambar 4. 2 Kombinasi Kerusakan di PT Semen Tonasa (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004) 42
Gambar 4. 3 Hasil *Fitting* Distribusi Menggunakan *Input Analyzer* 45
Gambar 5. 1 *Reliability Block Diagram Raw mill Feed* (Data Primer, 2019) 48
Gambar 5. 2 *Reliability Block Diagram Raw mill Feed Transport* (Data Primer, 2019) 49
Gambar 5. 3 *Reliability Block Diagram Raw mill* (Data Primer, 2019) 49
Gambar 5. 4 *Reliability Block Diagram Raw Meal Transport* (Data Primer, 2019) 49
Gambar 5. 5 *Reliability Block Diagram Raw Meal Silo* (Data Primer, 2019) 50
Gambar 5. 6 *Reliability Block Diagram* Sistem *Raw mill* (Data Primer, 2019) ... 50
Gambar 5. 7 Model Konseptual Submodel Kegagalan (Data Primer, 2019) 51
Gambar 5. 8 Contoh Subsistem Seri (Data Primer, 2019) 52
Gambar 5. 9 *Flow Diagram* Sistem Seri (Data Primer, 2019) 52
Gambar 5. 10 Contoh Subsistem Paralel (Data Primer, 2019) 53
Gambar 5. 11 *Flow Diagram* Sistem Paralel (Data Primer, 2019) 54

Gambar 5. 12 Model Konseptual Subsistem Produksi (Data Primer, 2019) 56
Gambar 5. 13 Kotak dialog hasil *debug* pada *software* Arena (Data Primer, 2019) 59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 *Resource* simulasi 31
Tabel 3. 2 *Resource* simulasi (lanjutan) 32
Tabel 3. 3 Variabel Sistem 32
Tabel 4. 1 Daftar Mesin dan Peralatan 41
Tabel 4. 2 Produksi *Raw mill* tahun 2019 43
Tabel 4. 3 Data *Calendar day* RM tahun 2019 (Laporan Produksi, 2019) 44
Tabel 4. 5 Laju Produksi *Raw mill* tahun 2019 (Laporan Produksi, 2019) 44
Tabel 4. 6 Tabel hasil fitting distribusi TTF dan TTR *Equipment* di Sistem *Raw mill* 45
Tabel 5. 1 Hasil Parameter *Calendar day/*tahun (hari) 60
Tabel 5. 2 Data *output availability* simulasi dan eksisting 62
Tabel 5. 3 Hasil uji *student's t* 63
Tabel 5. 4 Rangkuman Hasil Validasi 63
Tabel 6. 1 Rangkuman Performansi Kondisi Eksisting 65
Tabel 6. 2 Data Availabilitas per *equipment* sistem eksisting 63
Tabel 6. 3 Kegiatan *plant maintenance* sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan skenario 1 65
Tabel 6. 4 Kegiatan *plant maintenance* sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan skenario 1 (lanjutan) 66
Tabel 6. 5 Kegiatan *plant maintenance* sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan skenario 1 (lanjutan) 67
Tabel 6. 6 Data Perubahan Hasil *Fitting* Distribusi TTF dan TTR *Equipment* setelah dilakukan perbaikan skenario 1 68
Tabel 6. 7 Hasil Skenario 1 68
Tabel 6. 8 Hasil Uji *Student's t* Availabilitas Skenario 1 69
Tabel 6. 9 Hasil Uji *Student's t Calendar Day* Skenario 1 69
Tabel 6. 10 Daftar Kegiatan Overhaul dan Kegiatan Yang Dioptimasi 68
Tabel 6. 11 Daftar Kegiatan Overhaul dan Kegiatan Yang Dioptimasi (lanjutan) 69
Tabel 6. 12 Daftar Kegiatan Overhaul dan Kegiatan Yang Dioptimasi (lanjutan) 70
Tabel 6. 13 Daftar Kegiatan Overhaul dan Kegiatan Yang Dioptimasi (lanjutan) 71
Tabel 6. 14 Hasil Skenario 2 72
Tabel 6. 15 Hasil Uji *Student's t* Availabilitas Skenario 2 72
Tabel 6. 16 Hasil Uji *Student's t Calendar Day* Skenario 2 73
Tabel 6. 17 Hasil Skenario 3 74
Tabel 6. 18 Hasil Uji *Student's t* Availabilitas Skenario 3 74
Tabel 6. 19 Hasil Uji *Student's t Calendar Day* Skenario 3 75
Tabel 6. 20 Perbandingan Availabilitas & *Calendar Day* Skenario 1,2, & 3 terhadap sistem eksisting dan target 76

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1
PENDAHULUAN

Pada Bab 1 akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah, serta rumusan permasalahan, tujuan dan manfaat serta batasan dan asumsi penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Dinamika perubahan lingkungan bisnis yang sangat cepat merupakan salah satu faktor utama pendorong meningkatnya persaingan dalam pasar. Kondisi ini menuntut setiap perusahaan untuk mampu melakukan adaptasi dan penyesuaian agar dapat tetap eksis dan bertahan dalam pasar produk. Salah satu adaptasi dan penyesuaian yang sangat penting saat ini adalah aspek pemeliharaan peralatan pabrik atau operasional.

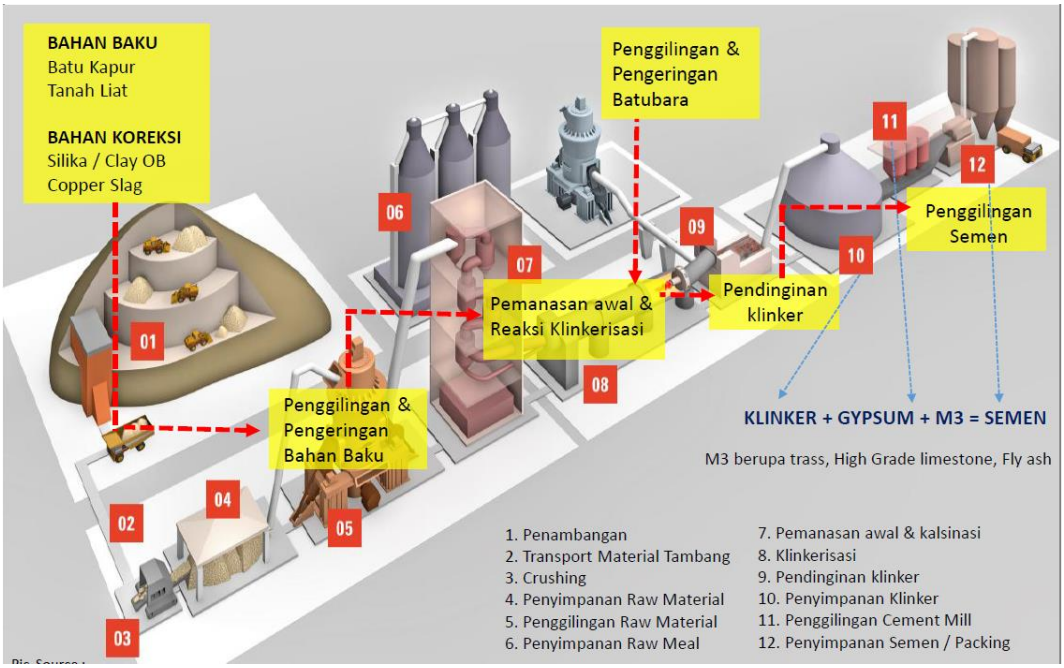
Pemeliharaan adalah semua tindakan yang diperlukan untuk mempertahankan kondisi peralatan atau mengembalikannya ke kondisi tertentu (Dhillon, 2006). Menurut (Assauri, 2008), pemeliharaan merupakan kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas atau peralatan pabrik, dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya tercipta suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan, sesuai dengan apa yang telah direncanakan.

Kegiatan pemeliharaan dibagi menjadi 2 jenis, yaitu pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dan pemeliharaan perbaikan (*corrective maintenance*). *Preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal. Umumnya secara periodik, di mana sejumlah kegiatan seperti inspeksi dan pergantian, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan (Ebeling, 1997). Dengan adanya *preventive maintenance*, diharapkan semua mesin yang ada akan terjamin kelancaran proses kerjanya sehingga tidak ada yang terhambat dalam proses produksinya dan selalu dalam keadaan optima (Abbas, Steven, Christian, & Sumanto, 2009). *Corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami kerusakan atau gangguan sehingga tidak dapat

berfungsi dengan baik. Dalam hal ini, kegiatan *corrective maintenance* sering disebut dengan kegiatan reparasi atau perbaikan.

Pentingnya fungsi pemeliharaan di industri juga menjadi perhatian khusus di PT XYZ, yang merupakan produsen semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia (KTI). PT XYZ memiliki 5 pabrik utama yang berlokasi di Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan yaitu pabrik unit 1,2,3,4, dan 5. Unit pabrik 1 sudah tidak beroperasi lagi sejak tahun 1984 karena teknologi yang digunakan yaitu proses basah yang tidak ekonomis lagi. Saat ini ada 4 pabrik yang beroperasi di PT XYZ dengan kapasitas terpasang 6,5 juta ton per tahun.

Secara umum, proses pembuatan semen dimulai dari proses penambangan batu kapur sebagai bahan utama dan beberapa bahan pendukung serta bahan koreksi yang di-*crushing* atau dihancurkan menjadi ukuran yang sesuai. Hasil *crushing* kemudian digiling di dalam penggilingan dan pengeringan bahan baku atau disebut *Raw mill*. Hasil penggilingan disebut *Raw Meal* dan ditampung di *Blending Silo*.

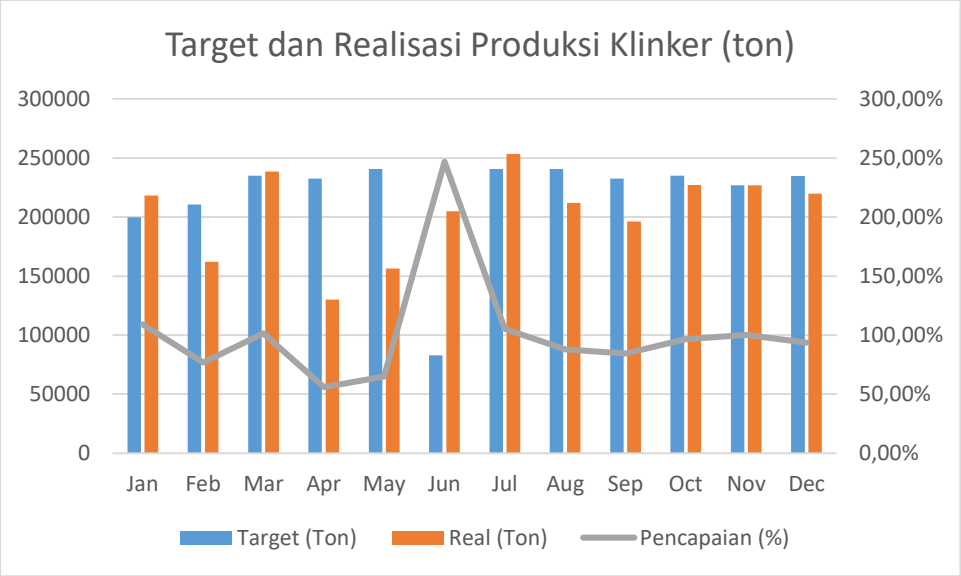


Gambar 1. 1 Aliran Proses Pembuatan Semen
(https://austria.vautidgroup.com/en/products/system-solutions-by-industry/cement-industry)

Dengan komposisi yang tepat, *Raw Meal* akan ditranspor ke *Preheater* untuk dilakukan pemanasan awal dan *Kiln* merupakan peralatan utama dari proses

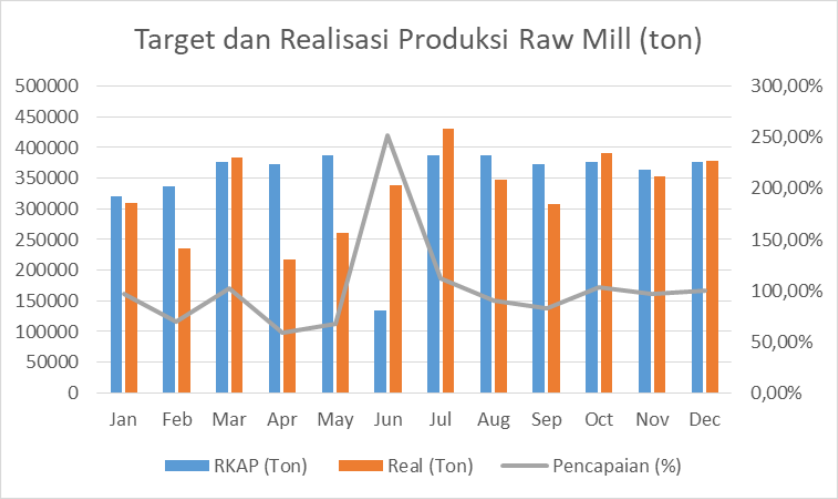
produksi semen yang berfungsi sebagai alat pembakaran material umpan (*Raw Meal*) menjadi *klinker* dengan temperatur operasi hingga 1500 °C. *Kiln* unit 5 ini mempunyai kapasitas 9.000 ton per hari yang memproduksi *klinker* yang akan digunakan sebagai bahan baku utama semen. *Klinker* yang telah diproduksi segera ditranspor ke penyimpanan *klinker*. Kemudian dengan komposisi yang tepat, *klinker* ditambahkan dengan *gypsum* dan material ketiga untuk digiling dan diproses menjadi semen di penggilingan semen (Alsop, 2001).

Di tahun 2019, produksi klinker unit 5 PT XYZ hanya mencapai 2.445.515 ton atau 93, 64% dari target, detail per bulan dapat dilihat pada gambar berikut:



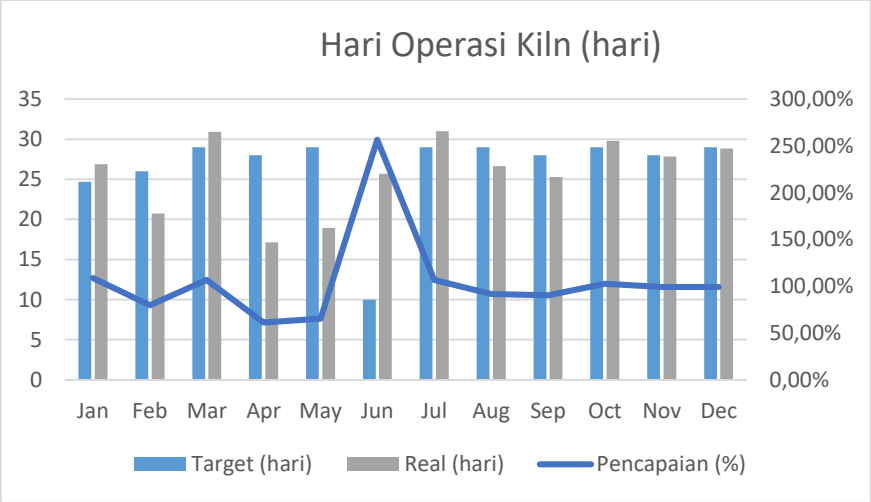
Gambar 1. 2 Target dan Realisasi Produksi *Klinker* (ton) (PT XYZ, 2019)

Jika diurai lagi ke sub proses sistem sebelumnya yaitu *Raw mill*, terjadi ketidakcapaian produksi *raw meal* yaitu 4.041.377 ton atau 96,54% dari target yang telah ditetapkan perusahaan, detail per bulannya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

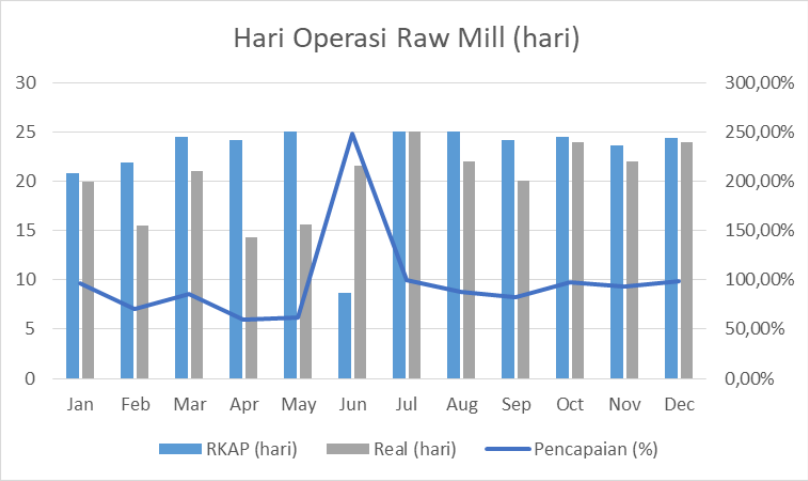


Gambar 1. 3 Target dan Realisasi Produksi *Raw mill* (ton) (PT XYZ, 2019)

Salah satu indikator ketidakcapaian produksi dapat dilihat dari data hari operasi *kiln* dan *Raw mill* pada gambar di bawah ini:



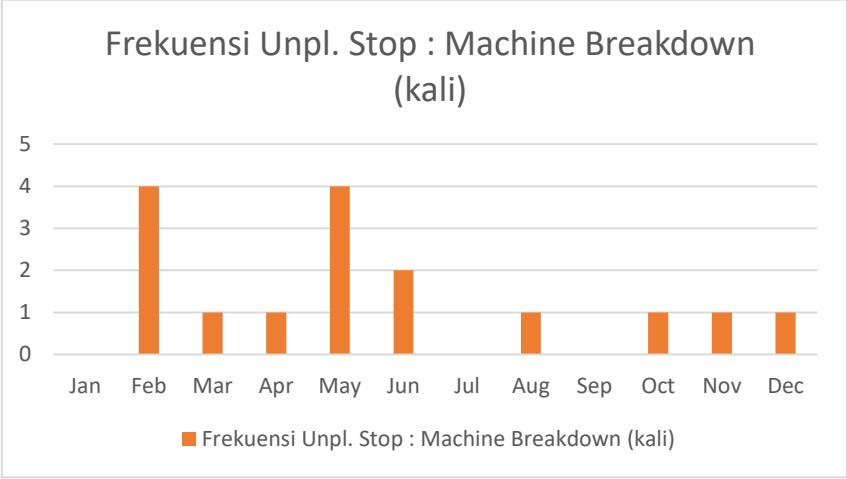
Gambar 1. 4 Hari Operasi *Kiln* (hari) (PT XYZ, 2019)



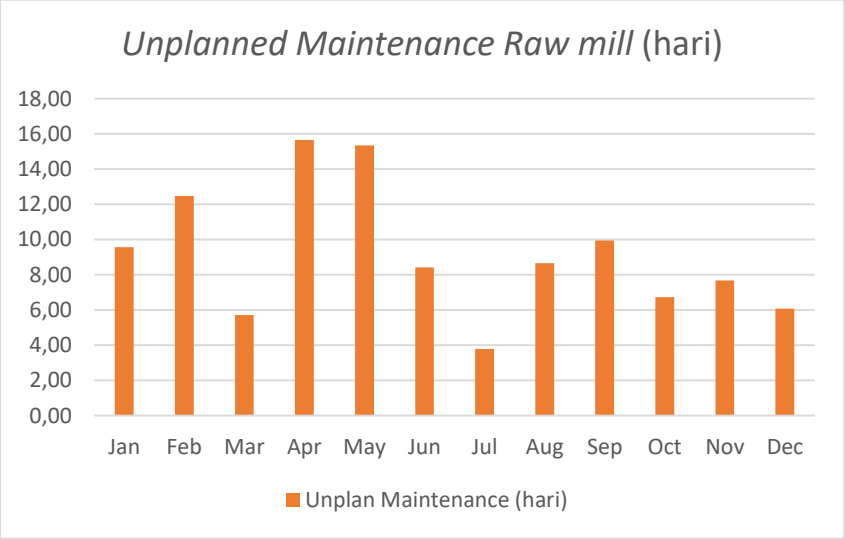
Gambar 1. 5 Hari Operasi *Raw mill* (hari) (PT XYZ, 2019)

Total hari operasi *kiln* selama satu tahun adalah 310 hari atau hanya 97,18% dari target 319 hari. Target ini ditetapkan berdasarkan kapasitas normal produksi. Sama halnya dengan hari operasi *kiln*, hari operasi *Raw mill* pun tidak mencapai targetnya di tahun 2019, yaitu hanya 245 hari atau 90,07% dari target 272 hari.

Ketidakcapaian hari operasi *kiln* dan *Raw mill* dipengaruhi adanya *unplanned shutdown*, dengan detail frekuensi kejadian pada gambar di bawah ini:

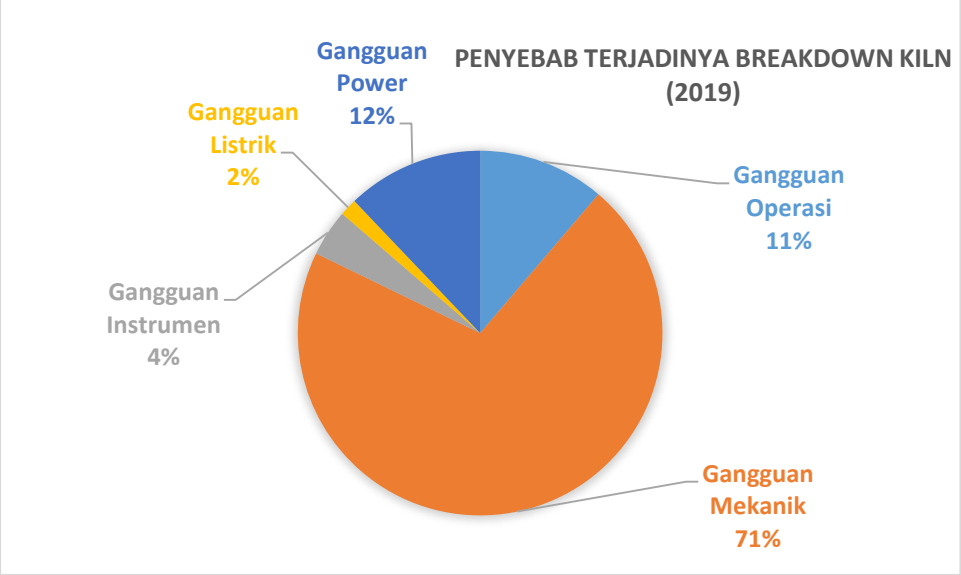


Gambar 1. 6 Frekuensi *Unplanned Maintenance Kiln* (kali)

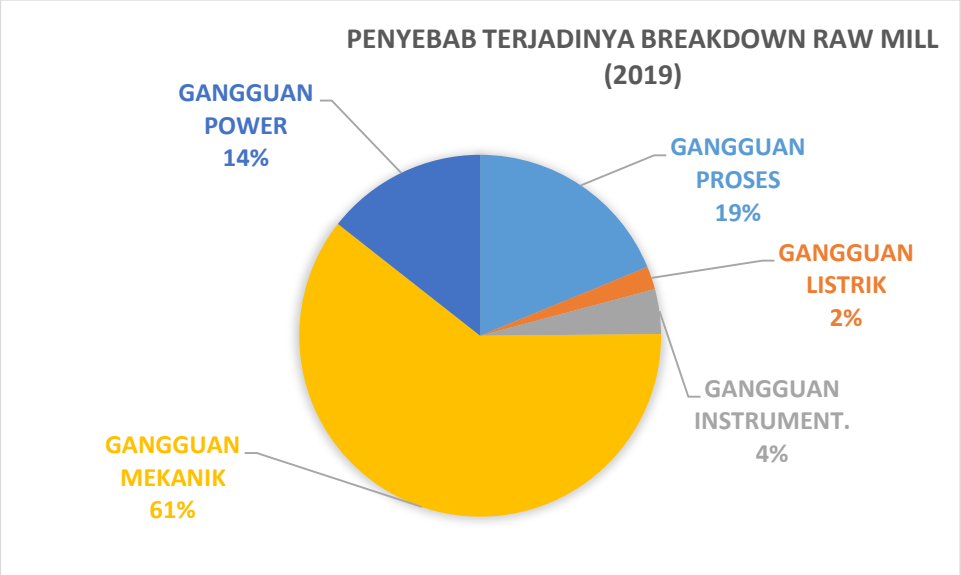


Gambar 1. 7 *Unplanned Maintenance Raw mill* (hari)

Faktor yang menjadi penyebab dari *unplanned breakdown* ini adalah adanya *breakdown* yang terjadi karena adanya gangguan instrumen, gangguan listrik, gangguan power, gangguan operasi, dan gangguan mekanik.



Gambar 1. 8 Penyebab Terjadinya Breakdown *Kiln* (PT XYZ, 2019)



Gambar 1. 9 Penyebab Terjadinya *Breakdown Raw mill* (PT XYZ, 2019)

Faktor terjadinya *breakdown* dapat dikendalikan dengan melakukan evaluasi *availability* untuk meningkatkan availabilitas dan hari operasi (*calendar day*). Adanya evaluasi dan perbaikan menggunakan analisis *reliability*, *availability*, dan *maintainability* dapat menghasilkan peningkatan *throughput*, peningkatan availabilitas asset, serta penghematan biaya (Alrabghi, Tiwari, & Abdulkarim, 2017). Adanya perbaikan availabilitas sebuah sistem selalu berdampak terhadap biaya, sehingga apabila biaya yang dikeluarkan lebih rendah dari sebelumnya, maka perbaikan availabilitas sistem akan menambah keuntungan pada perusahaan tersebut.

Dalam penelitian ini, penulis berfokus pada sub sistem *Raw mill* karena sub sistem ini merupakan salah satu bagian penting dalam pabrik semen yang dikenal dengan "*the heart of the plant*" . Sub sistem ini membutuhkan penanganan yang lebih dibandingkan sub sistem yang lain. (Choudhary & Tripathi, 2017).

Permasalahan availabilitas dalam sistem produksi adalah sebuah sistem yang kompleks, yaitu sistem yang memiliki sifat ketidakpastian pada salah satu atau beberapa variabelnya dan memiliki sifat interdependensi antar variable (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004).

Analisis *reliability*, *availability*, dan *maintainability* (RAM) adalah sebuah alat untuk mengevaluasi kinerja sebuah alat pada tahap berbeda dengan

perencanaan (Corvaro, Gianchetta, Machetti, & Recanati, 2017). Analisis availabilitas dapat mengatasi permasalahan operasional dan keamanan dengan tujuan untuk mengidentifikasi elemen sistem dimana tindakan perbaikan dapat dilakukan. Adapun beberapa *key performance indicator* yang dapat dihasilkan dari analisis RAM ini, yaitu availabilitas, MTTF, dan MTTR (Faulin, Juan, & Martorell, 2010). Availabilitas adalah probabilitas sebuah sistem beroperasi sesuai fungsinya ketika ingin digunakan. *Mean time to failure* adalah waktu rata-rata antar kejadian kerusakan pada suatu sistem. Sedangkan *mean time to repair* adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memperbaiki sebuah sistem yang mengalami *breakdown* atau kerusakan (Groover, 2002).

Kompleksitas pada sistem produksi disebabkan karena adanya ketidakpastian pada MTTF dan MTTR, jadwal produksi, kebijakan inventori *spare part*, serta kondisi operasi. Selain itu peningkatan jumlah aset dan strategi *maintenance* dapat meningkatkan performansi sistem secara keseluruhan, sehingga terdapat sifat interdependensi dalam permasalahan ini (Alrabghi, Tiwari, & Abdulkarim, 2017).

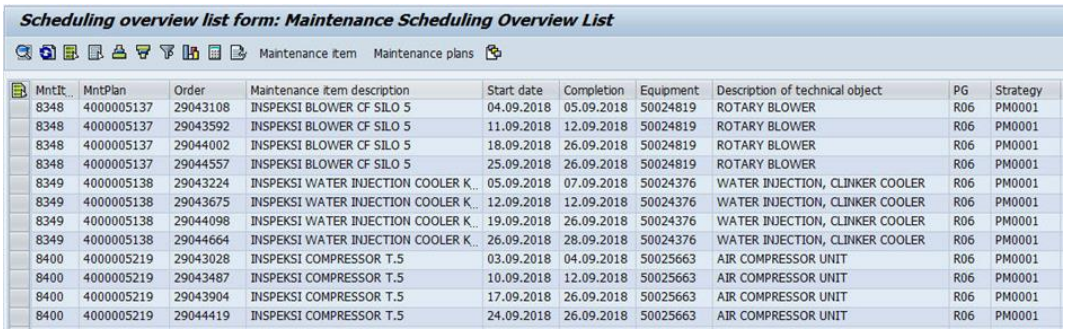
Terdapat dua metode untuk melakukan analisis availabilitas, yaitu dengan pendekatan analitis dan pendekatan simulasi (Faulin, Juan, & Martorell, 2010). Pendekatan analitis dilakukan dengan merepresentasikan sistem dengan model matematis. Metode ini menggunakan input parameter rata-rata, sehingga jika pendekatan analitis diterapkan pada sistem yang memiliki perilaku acak, maka informasi yang dihasilkan akan menghasilkan banyak asumsi dan tidak dapat diterapkan pada sistem aktual. Sedangkan metode simulasi adalah metode yang dapat mengakomodasi perilaku acak dan ketergantungan antar variable. Metode ini akan menghasilkan sedikit asumsi sehingga akan lebih layak untuk diterapkan di sistem aktual. Oleh karena itu, metode yang sesuai untuk mengatasi kedua faktor kompleksitas sistem tersebut adalah dengan pendekatan simulasi, khususnya simulasi kejadian diskrit (*discrete event simulation*/ DES). Simulasi kejadian diskrit adalah metode pemodelan sistem yang berkembang seiring waktu dengan representasi variabel status yang berubah secara instan pada titik waktu yang terpisah (Kelton, Sadowski, & Sadowski, 2002). Dengan menggunakan metode

DES, pengambil keputusan dapat memodelkan dan menghitung kinerja sebuah sistem berdasarkan beberapa alternatif (Rao & Naikan, 2016).

Analisis availabilitas yang dilakukan dapat digunakan untuk mengetahui sub sistem kritikal yang ada di dalam proses produksi semen, sehingga dapat dilakukan peningkatan utilisasi kapasitas produksi peralatan (Choudhary & Tripathi, 2017). Selain itu, analisis ini juga dapat digunakan sebagai panduan untuk pengembangan strategi pemeliharaan dan peningkatan efektivitas pemeliharaan (Saraswat & Yadava, 2007).

Melihat pentingnya keberlangsungan proses produksi, perusahaan melakukan transformasi dan optimasi organisasi dengan membentuk satu unit Departemen di bawah Direktorat Produksi yaitu Departemen Pemeliharaan. Salah satu tanggungjawab unit tersebut adalah melakukan *Preventive* dan *Predictive Maintenance*.

Untuk membantu proses pemeliharaan unit pabrik, PT XYZ menggunakan ERP SAP yaitu modul *Plant Maintenance*. Ada pun Strategi *Preventive Maintenance Schedule* (PMS) yang telah diterapkan sejak tahun 2018 adalah sebagai berikut:



Scheduling overview list form: Maintenance Scheduling Overview List

Maintenance item Maintenance plans

MntIt...	MntPlan	Order	Maintenance item description	Start date	Completion	Equipment	Description of technical object	PG	Strategy
8348	4000005137	29043108	INSPEKSI BLOWER CF SILO 5	04.09.2018	05.09.2018	50024819	ROTARY BLOWER	R06	PM0001
8348	4000005137	29043592	INSPEKSI BLOWER CF SILO 5	11.09.2018	12.09.2018	50024819	ROTARY BLOWER	R06	PM0001
8348	4000005137	29044002	INSPEKSI BLOWER CF SILO 5	18.09.2018	26.09.2018	50024819	ROTARY BLOWER	R06	PM0001
8348	4000005137	29044557	INSPEKSI BLOWER CF SILO 5	25.09.2018	26.09.2018	50024819	ROTARY BLOWER	R06	PM0001
8349	4000005138	29043224	INSPEKSI WATER INJECTION COOLER K...	05.09.2018	07.09.2018	50024376	WATER INJECTION, CLINKER COOLER	R06	PM0001
8349	4000005138	29043675	INSPEKSI WATER INJECTION COOLER K...	12.09.2018	12.09.2018	50024376	WATER INJECTION, CLINKER COOLER	R06	PM0001
8349	4000005138	29044098	INSPEKSI WATER INJECTION COOLER K...	19.09.2018	26.09.2018	50024376	WATER INJECTION, CLINKER COOLER	R06	PM0001
8349	4000005138	29044664	INSPEKSI WATER INJECTION COOLER K...	26.09.2018	28.09.2018	50024376	WATER INJECTION, CLINKER COOLER	R06	PM0001
8400	4000005219	29043028	INSPEKSI COMPRESSOR T.5	03.09.2018	04.09.2018	50025663	AIR COMPRESSOR UNIT	R06	PM0001
8400	4000005219	29043487	INSPEKSI COMPRESSOR T.5	10.09.2018	12.09.2018	50025663	AIR COMPRESSOR UNIT	R06	PM0001
8400	4000005219	29043904	INSPEKSI COMPRESSOR T.5	17.09.2018	26.09.2018	50025663	AIR COMPRESSOR UNIT	R06	PM0001
8400	4000005219	29044419	INSPEKSI COMPRESSOR T.5	24.09.2018	26.09.2018	50025663	AIR COMPRESSOR UNIT	R06	PM0001

Gambar 1. 10 Tampilan *Schedulling* SAP modul PM

Berbagai inisiatif strategi telah diterapkan pada tahun 2018 dan 2019 oleh tim pemeliharaan yaitu dengan penerapan *preventive maintenance* secara berkala, pelaksanaan overhaul secara optimal dan terencana, melakukan *Condition Based Monitoring* dengan pengukuran vibrasi dan temperature pada peralatan yang kritis. Namun pencatatan aktivitas belum terintegrasi dengan optimal walaupun dengan adanya Aplikasi SAP ini, hal–hal seperti ketersediaan *spare part* yang masih harus dikontrol secara manual bukan melalui sistem secara menyeluruh.

Availabilitas sistem dapat diperbaiki dengan pembelian dan pemasangan alat baru, atau melakukan perawatan pada peralatan yang masih memiliki kondisi yang baik (Sabouhi, Abbaspour, & Firuzabad, 2016).

Dalam penelitian ini, penulis akan lebih fokus terhadap optimasi strategi pemeliharaan di sistem *Raw mill*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang telah dipaparkan, dapat dirumuskan suatu permasalahan bagaimana mengoptimalkan aktivitas *Plant Maintenance* melalui analisis availabilitas dengan pendekatan simulasi di PT XYZ.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan analisis availabilitas pada mesin *Raw mill* PT XYZ.
2. Memberikan rekomendasi untuk mengoptimasi aktivitas *Plant Maintenance Schedule* dalam mendukung target KPI.

1.4 Batasan Masalah

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian hanya dilakukan di unit *Raw mill* PT XYZ.
2. Penelitian ini tidak mempertimbangkan biaya inventori dan biaya kerugian yang dihasilkan dari terjadinya *breakdown*.
3. Sistem yang dimodelkan tidak termasuk pengadaan material bahan baku.
4. Penelitian menitikberatkan pada *Preventive Maintenance Schedule*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini antara lain:

1. Menjadi informasi bagi PT XYZ untuk mengetahui kondisi availabilitas sistem eksisting.
2. Menjadi dasar perbaikan sistem *plant maintenance* bagi PT XYZ.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini digunakan sebagai sarana untuk menganalisis dan menyelesaikan permasalahan. Adapun sistematika penulisan yang akan digunakan sebagai berikut:

1. **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, hal yang mendasari penelitian ini, asumsi dan batasan masalah penelitian, tujuan penelitian dan kontribusi yang diberikan oleh penelitian ini.

2. **BAB 2 KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan tentang dasar teori mengenai objek penelitian yang akan dijadikan acuan penelitian ini yang sumbernya dari jurnal, buku, artikel dan lainnya.

3. **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan mengenai metodologi penelitian mulai dari persiapan penelitian sampai dengan pengolahan data agar penelitian ini dapat berjalan secara sistematis.

4. **BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini menjelaskan mengenai data yang dikumpulkan berdasarkan penelitian yang dilakukan. Data yang dikumpulkan dapat didapatkan dari data primer atau data sekunder. Seluruh data tersebut akan dijadikan input dalam penelitian, yang akan diproses menggunakan metode dan pendekatan penelitian untuk menghasilkan solusi dari permasalahan yang ada.

5. **BAB 5 PEMODELAN SIMULASI**

Bab ini menjelaskan mengenai pembuatan model konseptual dan model simulasi menggunakan metode simulasi diskrit. Kemudian model tersebut akan divalidasi dan diverifikasi agar dapat merepresentasikan sistem nyata.

6. **BAB 6 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi mengenai hasil perhitungan yang didapat dari pengolahan data. Hasil dari perhitungan ini nantinya akan dijadikan dasar untuk penetapan strategi optimasi *plant maintenance* untuk meningkatkan *availability* dan *calendar day*.

7. BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini diuraikan kesimpulan berdasarkan keseluruhan pembahasan penelitian dan dilengkapi dengan saran untuk menunjang perbaikan dalam penelitian berikutnya. Pada bab ini juga diberikan saran dari penulis yang dapat dijadikan rekomendasi bagi perusahaan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

Pada Bab 2 akan dijelaskan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar teori dalam mengerjakan penelitian ini.

2.1 *Raw mill*

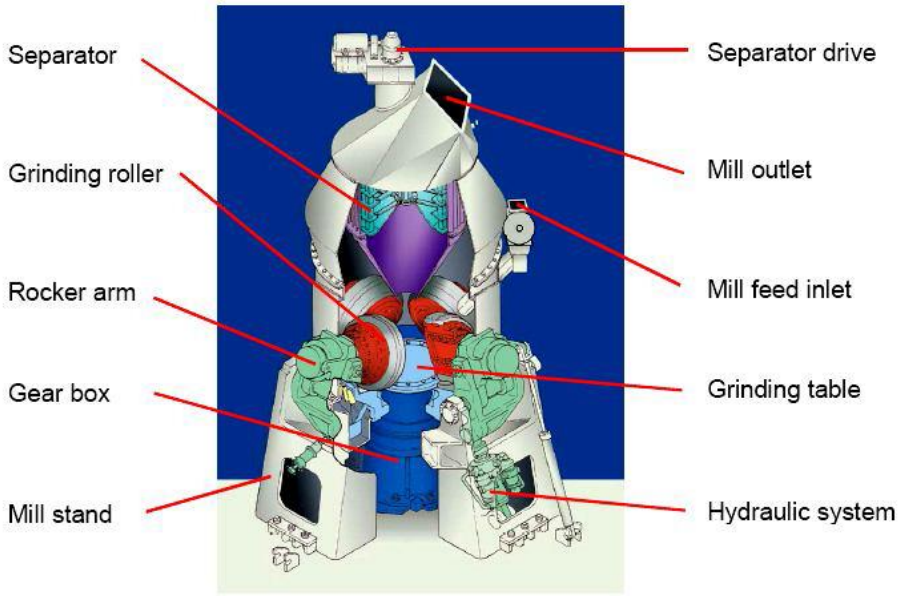
Raw mill sebagai salah satu bagian dari alat produksi semen yang mempunyai peranan yang cukup penting. Selain berfungsi untuk menggiling atau menghaluskan bahan mentah semen, juga sekaligus sebagai pengering material dengan menggunakan gas yang diperoleh gas panas sisa dari *kiln*. *Raw mill* merupakan peralatan yang digunakan untuk menghaluskan *raw material* menjadi butiran halus hingga berukuran partikel (*micron*) yang disebut dengan *raw meal.* Sebelum diumpankan masuk ke dalam mill untuk dihaluskan, masing-masing material seperti batu kapur, tanah liat, pasir silika, dan pasir besi ditimbang terlebih dahulu di *feeder* sesuai dengan kualitas yang telah ditetapkan. (Setiyana, 2007).

Ada 4 proses yang terjadi di dalam *Raw mill*, yaitu :

- ***Grinding***, material akan digiling dari ukuran masuk sebesar 7,5 cm menjadi maksimum 90 µm. penggilingan menggunakan gaya sentrifugal, dimana material yang diumpankan akan terlempar kesamping karena putaran *table* dan akan tergerus oleh *roller* yang berputar karena putaran *table* itu sendiri.
- ***Drying,*** material akan dikeringkan dengan memanfaatkan panas gas sisa dari *preheater kiln* yang bersuhu 300^0C – 400^0C. Material yang tergiling akan berkontak langsung dengan temperatur panas.
- ***Classifying,*** atau biasa disebut pemisahan. Material yang telah digiling akan terangkat naik oleh aliran gas panas menuju *separator* yang berada di atas table. Material yang sudah halus dan lembut sesuai dengan standar, akan lolos melewati *separator*. Sedangkan material yang belum sesuai standar akan jatuh kembali ke *table* untuk digiling kembali.

- ***Transporting***, seperti yang dijelaskan dalam proses *classifying*. Gas panas di dalam *Raw mill* selain berfungsi sebagi pengering juga berfungsi sebagai alat transport ke proses berikutnya.

Raw mill secara umum tersusun dari *shell*, kerangka utama, *stand*, *table*, *roller arm*, *gear reducer*, *roller-pressing unit* dan *separator*. Secara umum detail dari bagian-bagian *Raw mill* terlihat pada gambar di bawah ini:

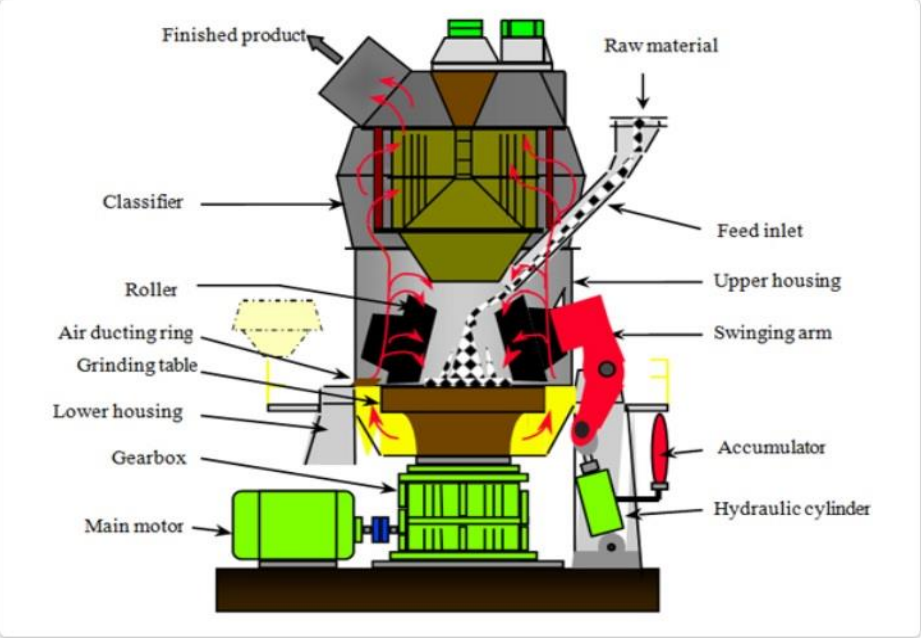


Gambar 2. 1 Bagian-bagian *Raw mill*

Bagian-bagian *Raw mill* adalah sebagai berikut:

a. *Shell* dan bagian-bagiannya
    1. *Shell* (Cangkang)
    2. *Wind box* (kotak udara)
    3. *Nozzle* dan *Armour Ring*
b. Kerangka utama/stand
c. *Table*
d. *Roller*
e. *Arm* (lengan)
f. *Mill Reducer*
g. *Roller-Pressing System*
h. *Water Spraying system*

Gambar 2.2 menunjukkan proses yang terjadi di dalam *Raw mill* dari mulai material diumpankan masuk ke dalam *mill* hingga menjadi produk.



Gambar 2. 2 Proses Di dalam *Raw mill*

Cara kerja *Raw mill* ini terdiri dari *roller* yang memiliki bentuk *roller grinding* yang dapat menghasilkan kehalusan yang baik dan pada bagian atasnya terdapat *classifying part* dari baling-baling berputar tipe *separator* dengan bagian dalam berbentuk kerucut. Material yang telah dipisahkan dan ditransportasikan dengan tipe *belt* tertutup diumpankan pada ruangan tertutup ditengah-tengah *mill*.

Material yang akan digiling sekali melewati *roller mill* akan dibawa oleh gaya sentrifugal yang dihasilkan dari putaran *table* dan digiling, dikeringkan dan dibawa oleh aliran gas yang naik dari *nozzle* di luar *table* sehingga dapat memasuki separator pada *mill* bagian dalam.

Separator memisahkan partikel kasar dari material yang akan digiling dan mengeluarkan partikel halus sebagai produk sepanjang aliran gas dan ditangkap oleh *Dust Collector* (*Electrostatic Precipitator*). Partikel kasar jatuh pada bagian dinding kerucut di bagian dalam *mill* dan kembali ke tengah *table* untuk digiling kembali. Di sisi lain partikel kasar yang tidak dapat ditiup oleh *nozzle* untuk naik ke ruang penggilingan akan dikeluarkan dari *mill*.

Material kasar yang dikeluarkan termasuk besi dikembalikan ke dalam *mill* dan digiling kembali. setelah material dipecah oleh *magnet separator*. Tiga *roller* dirancang pada jarak yang sama pada jalur penggilingan yang juga didukung oleh bantalan melalui *roller arm* dan *cylinder arm*. Setiap *cylinder arm* pada bagian bawahnya ada sebuah *hydraulic cylinder* yang memberi gaya tekan yang dipindahkan pada *roller*.

Roller kemudian menekan dan berputar karena putaran *table* sehingga memungkinkan penggilingan material secara berkelanjutan. Bantalan dari *roller* dilengkapi dengan sistem sirkulasi pelumasan bertekanan dari unit pelumasan oli. Gaya utama dari *roller mill* dihasilkan dari motor elektrik dimana setelah memutar *table* gaya tersebut dipindahkan melewati material yang digiling ke *roller*.

2.2 Pemeliharaan (*Maintenance)*

Secara umum pemeliharaan (*maintenance*) dapat didefinisikan sebagai serangkaian aktivitas yang diperlukan untuk mempertahankan dan menjaga suatu produk atau sistem tetap berada dalam kondisi yang aman, ekonomis, efisien, dan pengoperasian yang optimal. Aktivitas pemeliharaan dalam perusahaan sangat diperlukan karena setiap peralatan mempunyai umur penggantian (*useful life*), di mana suatu saat dapat mengalami kegagalan atau kerusakan, kerusakan (*failure*) dari suatu peralatan atau mesin tidak dapat diketahui secara pasti, dan manusia selalu berusaha untuk meningkatkan umur penggunaan dengan melakukan pemeliharaan (*maintenance*) (Abbas, Steven, Christian, & Sumanto, 2009).

Secara umum *maintenance* dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yakni *preventive* dan *corrective maintenance*. Menurut (Lewis, 1994) *preventive maintenance* merupakan aktivitas penggantian part, penggantian oli, dan *adjustment* dilakukan sebelum terjadinya kegagalan. Tujuan dari kegiatan *preventive maintenance* adalah untuk mengingkatkan kehandalan sistem dari efek penuaan seperti keausan, korosi, *fatique*, dan fenomena lain yang berhubungan. Sedangkan *corrective maintenance* merupakan tindakan yang dilakukan setelah kegagalan terjadi, sehingga butuh untuk dikembalikan sesegera mungkin agar proses produksi dapat berjalan kembali.

2.2.1 *Preventive Maintenance* (PM)

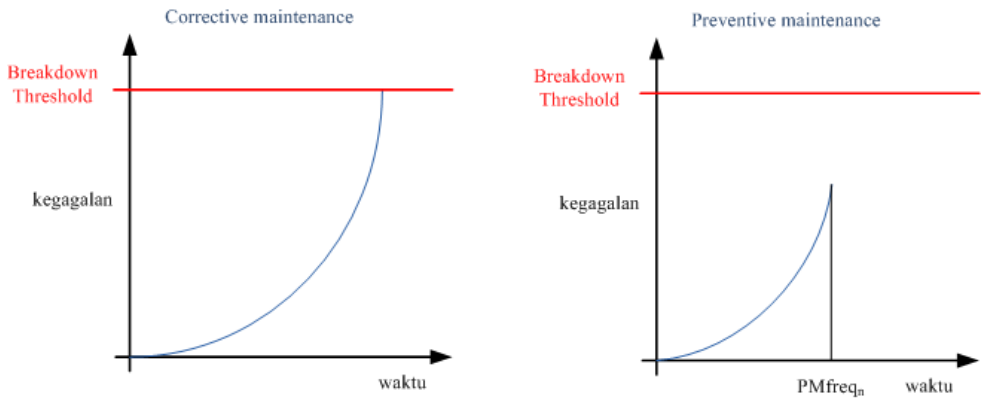
Menurut (Ebeling, 1997) *preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal. Umumnya secara periodik, dimana sejumlah kegiatan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan.

Menurut (Assauri, 2008) *preventive maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan fasilitas atau mesin produksi mengalami kerusakan pada waktu melakukan produksi. Dengan adanya *preventive maintenance*, diharapkan semua mesin yang ada akan terjamin kelancaran proses kerjanya sehingga tidak ada yang terhambat dalam proses produksinya dan selalu dalam keadaan optimal.

Pertanyaan utama dalam melakukan *preventive maintenance* adalah seberapa sering sebuah mesin dirawat. Apabila terjadi perawatan yang berlebihan, maka akan menghasilkan biaya yang tidak diperlukan. Sebaliknya, jika kurang dilakukan perawatan maka akan menghasilkan *unplanned breakdown* yang dapat menghasilkan biaya yang sangat tinggi. Analisis *preventive maintenance* dapat menghasilkan data-data sebagai berikut (Elsayed, 2012):

a. Frekuensi PMRI (*preventive maintenance, replacement, and inspection*)
b. Aturan penggantian komponen
c. Dampak perubahan teknologi pada keputusan penggantian
d. Jumlah teknisi perawatan
e. Tingkat inventori *spare part* yang optimal
f. Aturan urutan dan jadwal untuk pekerjaan perawatan
g. Jumlah dan tipe mesin yang tersedia pada stasiun kerja perawatan

Gambar 2.3 merupakan perbandingan *corrective maintenance* dan *preventive maintenance*:



Gambar 2. 3 Perbandingan CM dan PM (Alrabghi, Tiwari, & Abdulkarim, 2017)

2.2.2 *Corrective Maintenance* (CM)

Menurut (Assauri, 2008) *corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami kerusakan atau gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Dalam hal ini, kegiatan *corrective maintenance* sering disebut dengan kegiatan reparasi atau perbaikan. *Corrective maintenance* biasanya tidak dapat direncanakan dahulu karena kegiatan ini menunggu sampai kerusakan mesin terjadi terlebih dahulu, kemudian baru diperbaiki agar dapat beroperasi kembali. *Corrective maintenance* jauh lebih mahal biayanya, maka sebisa mungkin harus dicegah dengan mengintensifkan kegiatan *preventive maintenance*. Selain itu, diperlukan juga pertimbangan bahwa dalam jangka waktu yang panjang untuk mesin-mesin yang mahal dan termasuk dalam *critical unit* dari proses produksi, maka *preventive maintenance* jauh lebih menguntungkan dibandingkan dengan *corrective maintenance*.

2.3 Sistem

Sistem didefinisikan sebagai kumpulan dari beberapa elemen yang berfungsi bersama untuk mencapai tujuan tertentu. Poin utama dari pengertian ini adalah (1) sistem terdiri dari beberapa elemen, (2) elemen-elemen ini saling berhubungan dan bekerja sama, dan (3) sistem ada untuk mencapai tujuan tertentu. Contoh dari sistem adalah sistem lalu lintas, sistem manufaktur, dan sistem jasa.

Berikut ini merupakan elemen-elemen sistem serta penjelasan dari kompleksitas sistem dalam simulasi (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004).

2.3.1 Elemen Sistem

Dalam menyusun simulasi, elemen sistem dibedakan menjadi empat, yaitu: entitas, sumber daya (*resources*), aktivitas, dan kontrol (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017).

Entitas adalah item yang diproses melalui sebuah sistem seperti produk, *customer*, dan dokumen. Entitas dapat mengalami perpindahan, perubahan status, mempengaruhi, dan dipengaruhi oleh entitas lainnya. Di dalam suatu model simulasi, entitas adalah obyek yang dinamis. Mengidentifikasi entitas adalah hal utama yang dilakukan untuk memodelkan sebuah sistem. Untuk membedakan sebuah entitas dengan entitas lainnya dapat dilakukan dengan bantuan atribut yang melekat pada entitas. Atribut adalah karakteristik entitas yang mempunyai spesifikasi yang berbeda dengan entitas lainnya (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017).

Aktivitas adalah apa yang dilakukan oleh *resource* di dalam sistem, yang berkaitan dengan pemrosesan entitas secara langsung maupun tidak langsung. Aktivitas dapat diklasifikasikan menjadi proses entitas, perpindahan entitas dan *resources*, serta penyesuaian, pemeliharaan, dan perbaikan *resources*. Contoh dari aktivitas proses entitas adalah proses inspeksi, *check-in*, dan proses produksi. Contoh dari aktivitas perpindahan entitas dan *resources* adalah proses *material handling*, dan perpindahan *forklift*. Contoh dari aktivitas penyesuaian dan pemeliharaan *resources* adalah proses *set up* mesin dan perbaikan mesin.

Resources adalah alat, tenaga kerja, mesin, atau fasilitas yang digunakan untuk memproses entitas dengan cara melakukan aktivitas. *Resources* berperan sebagai penyedia fasilitas, sehingga apabila *resources* tidak memadai dapat mengakibatkan aktivitas dalam sistem yang tidak maksimal. *Resources* memiliki beberapa karakteristik, seperti kapasitas, kecepatan, waktu siklus, dan keandalan. *Resources* dapat diklasifikasikan menjadi *dedicated* atau *shared, permanent* atau *consumable,* dan *mobile* atau *stationary*.

Kontrol dalam sistem berperan untuk mengatur bagaimana, kapan, dan dimana aktivitas dilakukan (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017). Kontrol mengendalikan bagaimana sistem berjalan dan berperilaku, sehingga kontrol dapat mempengaruhi sistem itu sendiri. Kontrol pada sistem sebenarnya dapat berupa banyak hal, diantaranya adalah jadwal, rencana, peraturan, kebijakan, prosedur tertulis, *manual book*, dan instruksi kerja. Kontrol mencakup informasi dan logika tentang bagaimana seharusnya sistem berjalan.

2.3.2 Kompleksitas Sistem

Menurut Oxford Dictionary, kompleks berarti terdiri dari bagian-bagian yang berbeda dan berhubungan atau terkait satu sama lain. Berdasarkan definisinya, maka dapat kita maknai bahwa kompleksitas dari suatu sistem terbentuk karena: 1) adanya variasi yang tinggi dalam sistem dari sisi elemen-elemennya, dan 2) adanya keterkaitan atau ketergantungan antar elemen-elemen dalam sistem. Yang pertama bisa kita sebut sebagai variabilitas, dan yang kedua adalah interdependensi atau saling ketergantungan.

2.3.2.1 Variabilitas

Variabilitas adalah salah satu karakteristik yang melekat pada sistem. Variabilitas dari elemen-elemen di dalam sistem seringkali menyebabkan ketidakpastian di dalam sistem. Misalnya dalam suatu sistem produksi, waktu operasi dari setiap proses produksi berbeda-beda, performansi mesin, dan sifat produk yang dihasilkan juga bervariasi. Untuk menurunkan kompleksitas sistem yang dianalisis, variabilitas dalam sistem seharusnya dikurangi bahkan apabila memungkinkan dapat dihilangkan untuk menurunkan tingkat ketidakpastian. Simulasi dapat digunakan untuk mengetahui tingkat perbaikan yang dapat diperoleh jika variabilitas diturunkan atau dieleminasi.

2.3.2.2 Interdependensi

Kompleksitas sistem berhubungan dengan adanya interaksi antar elemen sistem yang mengakibatkan saling ketergantungan. Saling ketergantungan yang tinggi antar elemen sistem meningkatkan kompleksitas dari sistem tersebut. Perkara

menyederhanakan sistem, tentu tidak selalu bisa dilakukan pada setiap permasalahan. Pada akhirnya semua akan kembali pada tujuan awal dari permasalahn yang dikaji. Semakin detail solusi yang diinginkan, maka metode analitik kemungkinan tidak akan dapat memenuhi ekspektasi analis. Maka dalam hal ini dapat digunakan model simulasi.

2.3.3 Variabel Sistem

Dalam melakukan perbaiakn terhadap suatu sistem, perlu diperhatikan ukuran performansi yang digunakan dalam system yang biasa mengacu pada tujuan dari sistem tersebut. Mengidentifikasi variabel sistem dapat membantu dalam memahami bagaimana sistem saling mempengaruhi satu sama lain dan tujuan dari sistem tersebut. Berikut ini merupakan variabel-variabel sistem yang perlu diidentifikasi dalam menjalankan simulasi yaitu:

2.3.2.1 Variabel Keputusan

Variabel keputusan terkadang juga bisa disebut sebagai variabel independen pada sebuah eksperimen. Mengubah nilai pada variabel keputusan dapat memberikan dampak pada sistem secara keseluruhan. Variabel keputusan terdiri atas variabel yang dapat dikontrol maupun variabel yang tidak dapat dikontrol (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Contoh dari variabel yang dapat dikontrol adalah jumlah operator pada lini produksi dan penentuan *shift*-nya. Variabel yang tidak dapat dikontrol dapat berupa lamanya waktu servis dan *defect rate* pada sebuah sistem operasi.

2.3.2.2 Variabel Respon

Variabel respon mengukur kinerja dari sebuah sistem yang berdampak dari perubahan variabel keputusan (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Contoh dari variabel respon adalah jumlah entitas yang diproses, utilitas mesin, lamanya waktu tunggu, dan ukuran kinerja lainnya. Dalam sebuah eksperimen, variabel respon merupakan variabel dependen, yaitu variabel yang bergantung pada kebijakan variabel independen.

2.3.2.3 Variabel Status

Variabel status merupakan status dari sebuah variabel pada titik dan waktu tertentu (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Contoh variabel status adalah status dari jumlah entitas yang pada waktu tertentu, selain itu juga status pada sebuah *resource* (*idle, busy, down*). Pada umumnya, variabel respon adalah respon dari variabel status yang diukur dari awal hingga akhir sistem disimulasikan. Sebagai contoh, status *resource* mesin (*idle, busy,* dan *down*) dapat dirangkum menjadi satu periode sehingga dapat menjadi variabel respon utilitas mesin.

2.4 Simulasi

Pemodelan simulasi adalah salah satu metode untuk menganalisis suatu sistem yang kompleks dengan membuat representasi sebuah sistem penelitian (Altiok & Melamed, 2007). Melalui penelitian ini kemudian dapat dilakukan eksperimen berdasarkan tujuan. Tujuan tersebut diantaranya adalah untuk melakukan perbaikan sebuah sistem, analisis keuntungan dan biaya, melakukan analisis sensitivitas, dan lainnya. Eksperimen dilakukan dengan membuat sistem pada kondisi eksisting dan mengamati sistem tersebut. Di samping melakukan eksperimen pada sistem yang sudah ada, melalui pemodelan simulasi, pemodel dapat melakukan eksperimen pada sistem yang belum ada. Melalui pemodelan simulasi, dapat dilakukan prediksi, evaluasi, dan analisis alternatif tanpa diperlukannya biaya dan waktu tambahan untuk melakukan perubahan sistem.

2.4.1 Simulasi Kejadian Diskrit

Secara simulasi diklasifikasikan sebagai berikut (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004):

a. Statis atau dinamis
b. Stokastik atau deterministic
c. Diskrit atau kontinyu

Simulasi kejadian diskrit adalah simulasi dengan perubahan sebuah variabel status pada model simulasi yang terjadi pada titik diskrit dipicu dengan adanya perubahan kejadian (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Status berubah pada sebuah model ketika terjadi perubahan kejadian. Contoh dari simulasi kejadian diskrit adalah perubahan jumlah *customer* pada sebuah restoran, perubahan ini secara diskrit akan mengubah variabel status. Sedangkan simulasi kejadian kontinu adalah simulasi dengan adanya perubahan sebuah variabel status secara kontinu berdasarkan waktu (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004).

2.4.2 Pengolahan Data Input

Sebelum dilakukan pemodelan simulasi, dilakukan analisis dan interpretasi statistik pada data numerik. Data harus dianalisis untuk memastikan kecocokan data untuk digunakan dalam model simulasi. Terdapat karakteristik data yang harus dipenuhi, yaitu independen (*randomness*), homogenitas, dan stasioner (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004).

Data bersifat independen apabila nilai pada sebuah pengamatan tidak dipengaruhi oleh pengamatan lainnya (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Adapun beberapa teknik untuk melakukan uji korelasi atau independensi. Diantaranya adalah *scatter plot*, *autocorrelation plot*, dan *run test*. *Scatter plot* dan *autocrrelation plot* adalah uji statistik parametrik yang memiliki sifat plot yang tergantung pada distribusi data yang ada. Sedangkan *runs test* adalah uji non parametrik dan tidak membuat asumsi terhadap distribusi data.

Uji homogenitas adalah uji untuk memastikan distribusi data bersifat identik (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Salah satu cara untuk menguji homogenitas adalah dengan menginspeksi secara visual distribusi dari data untuk melihat apakah data tersebut memiliki dua modus. Dengan cara ini, maka dapat diketahui bahwa data berasal dari satu atau lebih populasi. Selain itu, data juga bersifat tidak homogen apabila distribusi berubah terhadap waktu. Dalam sifat ini, data juga dapat disebut dengan non stasioner.

Setelah dilakukan pengujian data, langkah selanjutnya adalah mengolah data numerik untuk dijadikan input dalam simulasi. Terdapat tiga cara dalam melakukan pengolahan data numerik. Cara pertama adalah dengan secara langsung

menggunakan data yang terkumpul. Cara ini dilakukan dengan menggunakan histogram untuk mengetahui distribusi frekuensi. Kedua, yakni dengan menggunakan distribusi empiris yang mencirikan data numerik. Ketiga, dengan menggunakan distribusi teoritis yang paling sesuai dengan data.

2.4.3 Analisis *Output* Simulasi

Karena adanya variabel *random input* yang digunakan untuk menjalankan model, *output* yang diukur pada simulasi juga akan menjadi *random*. Hal ini berarti hasil *performance metrics* berdasarkan *output* model hanya berupa estimasi dan bukan ukuran yang pasti. Untuk mengatasi hal ini, maka diperlukan adanya beberapa kali replikasi dalam melakukan simulasi. Penentuan jumlah replikasi dilakukan dengan menentukan *confidence interval* pada jumlah tertentu untuk mengetahui absolut eror (e) di antara titik estimasi rata-rata ($\bar{x}$) dan *true mean* (μ) yang tidak diketahui. Untuk menentukan *confidence interval*, dilakukan perhitungan *point estimates*.

Point estimate adalah 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 ($\bar{x}$):

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{2. 1}$$

dimana *n* adalah jumlah sampel dan *xi* adalah nilai observasi ke-*i*. Rata-rata sampel digunakan untuk mengestimasikan *true mean* (μ). Persamaan standar deviasi adalah sebagai berikut (s):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n-1}} \tag{2. 2}$$

standar deviasi (s) adalah *point estimate* yang digunakan untuk mengestimasikan standar deviasi populasi (σ).

Interval estimate mengestimasikan seberapa jauh rata-rata sampel ($\bar{x}$) terhadap *true mean* (μ) (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Sehingga dapat disimpulkan bahwa *interval estimates* tersusun dari hasil perhitungan *point*

estimates. *Interval estimates* juga biasa disebut dengan *confidence interval estimates*. Interval 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:

$$hw = \frac{(t_{n-1,\frac{\alpha}{2}})s}{\sqrt{n}} \tag{2. 3}$$

dimana ($tn-1,\alpha 2$) adalah faktor yang dapat ditemukan dari table *Student's t*, α adalah komplemen dari *P*, dan *n* adalah jumlah sampel.

2.4.3.1 Verifikasi Model

Verifikasi model adalah proses menentukan apakah model simulasi sudah merepresentasikan model konseptual (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Tujuan dari dilakukannya varifikasi model adalah untuk memastikan bahwa model sudah dibangun dengan benar. Pada proses verifikasi, pemodel berusaha mengidentifikasi dan menghilangkan *error* (proses *debugging*) pada model. Terdapat dua tipe error pada model simulasi, yaitu *syntax error* dan *semantic error*. *Syntax error* merupakan kesalahan penulisan kode atau notasi yang menyebabkan model tidak dapat berjalan dengan benar. Sedangkan *semantic error* adalah kesalahan logika pada model dan pada umumnya sulit untuk diidentifikasi. Adapun beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melakukan verifikasi model (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017):

a. Meninjau ulang kode dan teks pada model
b. Memeriksa kewajaran *output*
c. Melihat animasi
d. Menggunakan fasilitas lacak dan *debug* yang tersedia pada *software*.

2.4.3.2 Validasi Model

Validasi adalah menentukan apakah model merupakan representasi akurat dari *real system* (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Validasi model bertujuan untuk menilai apakah model sudah sesuai dengan data empiris atau model pada *real system*. Apabila model sudah sesuai dengan *real system*, maka ukuran performansi juga akan sesuai apabila diterapkan pada *real system*. Adapun beberapa teknik dalam melakukan validasi model adalah sebagai berikut (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017):

a. Melihat animasi dan tampilan model (visual), untuk mengetahui apakah urutan aktivitas yang seharusnya dialami sentitas sudah sesuai dengan sistem yang sebenarnya. Cara validasi ini aka lebih mudah apabila dilakukan oleh orang yang betul-betul mengenal sistem aktualnya.
b. Membandingkan model dengan sistem aktualnya; perbandingan bisa dilakukan pada *output* secara umum (performansi akhir), *output* sebagian, membandingkan input model dan data historis, serta kondisi-kondisi yang berlaku pada model dan pada sistem aktual.
c. Membandingkan dengan model lain yang dibuat, misalnya model matematis, model simulasi sederhana, dan model analitis lainnya.
d. Melakukan uji sensitivitas dan uji kondisi ekstrim. Uji sensitivitas dapat dilalukan dengan cara mengubah suatu variabel untuk melihat apakah respon berubah sesuai dengan yang seharusnya. Pada uji kondisi ekstrim, perubahan variabel dilakukan dalam jumlah yang ekstrim, misalnya kedatangan entitas dihentikan atau ditingkatkan dua sampai tiga kali kondisi sebenarnya.
e. Uji data historis, yaitu membandingkan data *output* simulasi dengan menggunakan data historis sebagai input langsung smulasi. Seharusnya apabila data input sama persis dengan kondisi sebenarnya, maka *output* simulasi juga akan sama atau mendekati sama dengan *output* sistem actual.

2.4.4 Replikasi dalam simulasi

2.4.4.1 Mengapa Replikasi Diperlukan?

Karakter dari input yang random dalam simulasi menyebabkan simulasi dilakukan secara berulang. Satu kali percobaan dengan suatu model simulasi mewakili satu sampel. Dengan banyaknya proses dan entitas dalam suatu model simulasi, ditambah dengan bilangan random sebagai input simulasi, maka hamper bisa dipastikan bahwa *output* suatu percobaan (*run*) akan berbeda dengan percobaan lainnya. Untuk mendapatkan sampel sejumlah *n*, maka model simulasi harus dijalankan sebanyak *n* kali. Tanpa pengulangan (replikasi), *output* suatu model simulasi tidak akan dapat membentuk suatu rentang estimasi. Untuk mendapatkan estimasi pada interval yang dapat diterima, maka *n* harus ditentukan sedemikian rupa. Semakin kecil rentang suatu estimasi, semakin baik kualitas infromasi yang diberikan. Pada prinsipnya, penentuan kecukupan jumlah replikasi dalam simulasi sama dengan penentuan kecukupan data atau sampel dalam suatu observasi.

2.4.4.2 Menentukan Jumlah Replikasi

Replikasi dilakukan agar data yang dihasilkan cukup mempresentasikan sistem *real* di lapangan. Hal ini dikarenakan data input merupakan data *random* sehingga hasil dari proses yang ada disimulasi juga merupakan data *random*. Untuk menentukan jumlah replikasi maka tentukan terlebih dahulu jumlah replikasi awal (n), kemudian tentukan nilai hw_s, menentukan nilai e, dan mencari nilai n' (replikasi baru untuk simulasi). Berikut cara mendapatkan nilai hw_s (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017):

$$hw = \frac{(t_{n-1,\frac{\alpha}{2}})s}{\sqrt{n}} \qquad (2.\ 4)$$

Dimana:

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

hw_s juga dapat diperoleh dari *output software* simulasi seperti Arena secara langsung.

Langkah selanjutnya adalah menghitung *hw* pada sistem existing. Berikut ini adalah rumus perhitungan *hw* pada sistem eksisting (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017):

$$hw_r = e \times \bar{x} \quad (2.5)$$

Dimana:

hw_r : *half width* yang diharapkan

e : derajat error yang diharapkan (%)

$\bar{x}$: rata-rata dari variabel yang diukur

Dengan menggunakan pendekatan berikut diperoleh nilai replikasi baru yang akan dijalankan pada simulasi (n') adalah sebagai berikut:

$$n' \cong n \frac{{hw_s}^2}{{hw_r}^2} \quad (2.6)$$

2.4.5 Kelebihan dan Kekurangan Simulasi

Ada beberapa kelebihan dan kekurangan dalam model simulasi, diantaranya adalah sebagai berikut (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004):

2.4.5.1 Kelebihan Model Simulasi

Berikut ini merupakan kelebihan dari model simulasi:

a. *Return on investment*

   Dengan dilakukannya simulasi, pengambil keputusan dapat melakukan keandalan biaya, seperti biaya operasional, investasi, inventori, dan tenaga kerja.

b. Konsep *random*

   Model simulasi dilakukan dengan konsep *random*, dimana dalam konsep ini digunakan probabilitas terjadinya suatu peristiwa. Konsep *random* ini dilakukan berdasarkan data, sehingga dari hasil simulasi dapat

disimpulkan gambaran berbagai kemungkinan kejadian dan lebih merepresentasikan *real world*.

c. Antisipasi

   Dengan dilakukannya simulasi, maka pengambil keputusan dapat menghindari risiko yang mungkin terjadi karena adanya penerapan sistem yang terbaru.

d. Pemilihan peralatan dan estimasi biaya

   Simulasi dapat digunakan sebagai estimasi performansi sebuah sistem apabila diberikan peralatan baru dan juga biaya yang akan dikeluarkan selama mengoperasikan peralatan tersebut.

2.4.5.2 Kekurangan Model Simulasi

Berikut ini merupakan kekurangan dalam model simulasi:

a. Apabila pada saat proses validasi model tidak valid atau tidak sesuai dengan sistem yang sebenarnya, maka hasil model simulasi tidak dapat merepresentasikan kebijakan yang seharusnya dilakukan di sistem yang sebenarnya.
b. Tidak semua sistem memiliki data historis yang cukup untuk menjadi parameter input model simulasi, sehingga apabila data historis tidak cukup, maka perlu dilakukan observasi di lapangan yang akan memerlukan biaya dan waktu tambahan.
c. Karena model simulasi memiliki input parameter yang bersifat *random*, maka perlu dilakukan beberapa kali simulasi (replikasi) agar dapat menghasilkan simulasi yang lebih merepresentasikan sistem yang sebenarnya.

2.5 Analisis Availabilitas

Terdapat dua pendekatan dalam melakukan analisis availabilitas yaitu pendekatan analitis dan pendekatan simulasi.

2.5.1. Metode Pendekatan Analitis

Pendekatan analitis dilakukan dengan merepresentasikan sistem dengan model matematis dan mengevaluasi indeks keandalan menggunakan solusi matematis (Faulin, Juan, & Martorell, 2010). Dalam kasus yang lebih kompleks, pendekatan analitis bisa menjadi terlalu kompleks 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 mengenai representasi sistem berdasarkan parameter tertentu. Sehingga jika pendekatan analitis diterapkan pada sistem yang memiliki perilaku acak, informasi tentang distribusi probabilitas tidak bisa didapatkan.

Pada umumnya teknik konvensional untuk sistem distribusi evaluasi keandalan berdasarkan *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA). FMEA pada umumnya digunakan untuk mengevaluasi keandalan sebuah sistem dalam jangkauan yang lebih luas. Dalam sistem yang memiliki konfigurasi yang rumit dan komponen yang beragam, FMEA yang dihasilkan dapat menjadi sangat rumit. Oleh karena itu terdapat pendekatan *reliability network*, yaitu pendekatan yang berfungsi untuk menyederhanakan metode pendekatan analitis.

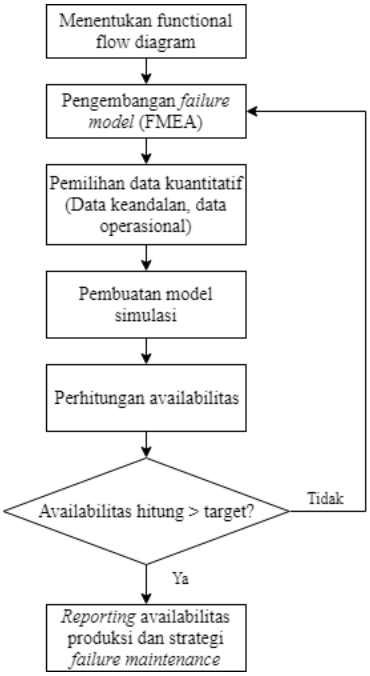
2.5.2. Metode Pendekatan Simulasi

Pola perilaku acak dapat terjadi pada jumlah kegagalan, waktu kegagalan, dan waktu perbaikan. Perilaku dari suatu sistem dapat mengikuti salah satu pola dari sebuah distribusi probabilitas. Pendekatan simulasi digunakan untuk mengestimasikan indeks keandalan dengan mensimulasikan proses aktual dan perilaku acak pada sebuah sistem dan komponen-komponennya. Metode ini mensimulasikan perilaku komponen dan sistem secara kronologis. Selain itu metode ini juga mampu mensimulasikan perilaku saling kebergantungan antar komponen dan variabel dalam sistem. Dengan menggunakan metode pendekatan simulasi, hasil yang didapatkan dapat berupa rata-rata maupun distribusi dari sebuah indeks dan informasi lainnya yang tidak bisa didapatkan hanya dengan pendekatan analitis.

Pendekatan analitis dapat menjadi kompleks dan dapat menghasilkan banyak asumsi. Sehingga analisis availabilitas dengan menggunakan pendekatan analitis menjadi susah untuk diterapkan dalam skenario aslinya. Di sisi lain, pendekatan simulasi dapat mengakomodasi perilaku yang lebih realistis. Namun metode simulasi dikenal sebagai metode yang mahal dalam hal komputasi, khususnya untuk memodelkan struktur yang memiliki keandalan tinggi. Apabila sebuah sistem memiliki laju kegagalan yang rendah, jumlah replikasi simulasi yang dibutuhkan akan sangat banyak agar dapat menghasilkan estimasi yang akurat. Kasus ini sering disebut dengan *"rare-event problem"*. Dalam penelitian ini, penulis memilih untuk menggunakan pendekatan simulasi. Metode ini dipilih karena adanya kelebihan dalam memodelkan perilaku acak dan ketergantungan antar variabel. Sehingga *output* dari metode ini akan lebih representatif dan lebih layak untuk diterapkan pada sistem aktual.

2.5.3. Metodologi dalam Simulasi Availabilitas

Gambar 2.4 menunjukkan metodologi untuk melakukan simulasi availabilitas:



Gambar 2. 4 Metodologi Simulasi Availabilitas (Faulin, Juan, & Martorell, 2010)

Tahap pertama dalam melakukan simulasi availabilitas adalah dengan membuat *functional flow diagram* dalam sistem. Diagram ini juga dapat digunakan sebagai model konseptual sebelum melakukan simulasi. Tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi *potential failure* dari sistem. Model kegagalan ini dapat dikembangkan dengan FMEA. Setelah dibuat *failure model*, langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data dan informasi operasional untuk dijadikan *input* dalam simulasi. Pada tahap ini dapat dilakukan pengembangan strategi *failure management*. Pengembangan strategi *maintenance* ini dapat dilakukan dengan menggunakan RCM *task decision logic*. Kemudian model simulasi dibuat berdasarkan *functional diagram*. Setelah model simulasi dibuat, dilakukan *input* data dalam simulasi, termasuk laju kegagalan, waktu perbaikan, dan informasi operasional sistem. Simulasi dilakukan dalam jumlah replikasi tertentu agar menghasilkan estimasi yang lebih akurat. Availabilitas sistem kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\mathrm{A} = \frac{\sum_{i=1}^{M} Ai}{\mathrm{M}} \tag{2. 7}$$

dimana A adalah estimasi availabilitas sistem, Ai adalah *output* availabilitas pada replikasi ke-*i*, dan M adalah jumlah replikasi. Kemudian, estimasi availabilitas produksi dibandingkan dengan target, apabila hasil simulasi masih belum memenuhi target, maka perlu dilakukan peninjauan ulang pada strategi *maintenance*.

2.6 Keandalan

Pada bagian ini akan dijelaskan tentang definisi cara untuk melakukan evaluasi keandalan sistem.

2.7.1 Definisi Keandalan

Kelancaran proses produksi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan dari peralatan atau mesin. Availabilitas atau ketersediaan adalah salah satu pengukuran keandalan dari sebuah sistem. Untuk meningkatkan keandalan suatu sistem, dapat digunakan komponen *redundant*, menggunakan komponen dengan keandalan yang sangat tinggi, serta menerapkan strategi perawatan yang efisien. Dua parameter

yang paling penting dalam mengukur keandalan adalah availabilitas dan MTBF. Agar availabilitas dapat menjadi optimal, maka pemeliharaan tersebut harus direncanakan dengan baik.

Keandalan adalah probabilitas sebuah produk akan beroperasi atau jasa akan tersedia dengan baik pada periode waktu tertentu tanpa terjadinya kegagalan (Elsayed, 2012). Dengan kata lain, keandalan dapat digunakan untuk mengukur keberhasilan sebuah sistem untuk berfungsi dengan baik selama masa perencanaannya. Analisis sistem keandalan bertujuan untuk menguantifikasi probabilitas kegagalan dari sebuah sistem, dengan menganalisis batas ketidakpastian antara operasi sistem dan kegagalan (Zio, 2013). Analisis sistem keandalan digunakan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut:

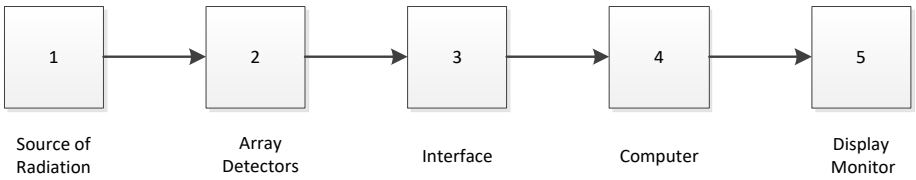
a. Alasan mengapa sebuah sistem gagal.
b. Bagaimana mengembangkan sebuah sistem yang andal.
c. Bagaimana mengukur dan menguji keandalan sebuah perencanaan, operasi, dan manajemen.
d. Bagaimana cara mempertahankan sebuah sistem agar tetap andal.

2.7.2 Evaluasi Keandalan Sistem

Keandalan sebuah sistem perlu dievaluasi seiring dengan perubahan sistem. Metode-metode untuk mengevaluasi keandalan sebuah sistem yang kompleks adalah sebagai berikut:

2.7.2.1 *Reliability Block Diagrams*

Langkah pertama dalam mengevaluasi keandalan sebuah sistem adalah dengan membangun *reliability block diagram*. *Reliability block diagram* adalah representasi grafis pada sebuah komponen pada sebuah sistem dan bagaimana hubungan antar komponen tersebut. Langkah selanjutnya adalah membuat grafik keandalan berdasarkan *block diagram*. Grafik keandalan merepresentasikan blok yang menandakan jalur pada grafik (Elsayed, 2012). Gambar 2.5 menunjukkan contoh *reliability block diagram* pada sistem tomografi komputer.



Gambar 2. 5 *Reliability Block Diagram* (Elsayed, 2012)

2.7.2.2 Sistem Seri

Sistem seri terdiri atas *n* komponen atau subsistem yang terhubung dalam satu seri. Kegagalan pada sebuah komponen menghasilkan kegagalan pada seluruh sistem. Contoh diagram blok sistem seri digambarkan pada Gambar 2.5, sedangkan grafik keandalan sistem seri digambarkan pada Gambar 2.6. Setiap subsistem dapat tersusun atas beberapa komponen yang saling terhubung. Sebuah sistem atau subsistem dapat dianalisis pada level yang berbeda. Untuk menentukan keandalan sebuah sistem seri, diperlukan probabilitas kesuksesan pada setiap komponen sistem. Keandalan sebuah sistem seri dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = P(x_1 x_2 \dots x_n) \tag{2. 8}$$

$$R = P(x_1)P(x_2|x_1)P(x_3|x_2)P(x_4|x_3) \dots P(x_n|x_1 x_2 x_3 \dots x_{n-1}) \tag{2. 9}$$

Dimana:

R : keandalan sistem

P(*xi*) : probabilitas keandalan pada subsistem *i*

n : jumlah subsistem

Selain itu, keandalan sistem seri juga dapat ditentukan dengan menghitung probabilitas kegagalan sistem dengan mengurangi probabilitas kesuksesan dari *unity*.

$$P_f = [P(\overline{x_1}) + P(\overline{x_2}) + \cdots + P(\overline{x_n})] - [P(\overline{x_1 x_2}) + P(\overline{x_2 x_3}) + \cdots] + \cdots + [-1]^{n-1} P(\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n}) , \tag{2. 10}$$

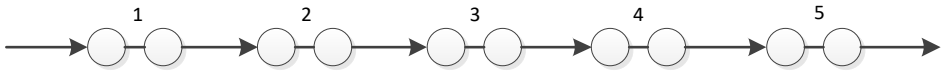
$$R = 1 - P_f \quad (2.\ 11)$$

Dimana:

R : keandalan system

Pf : probabilitas kerusakan

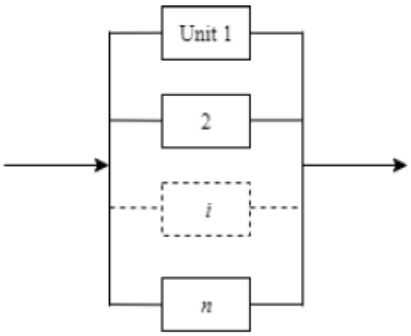
Perhitungan keandalan sistem ini juga dapat digunakan untuk menghitung availabilitas pada sistem seri. Perlu diketahui bahwa keandalan sebuah sistem seri selalu lebih kecil dari pada keandalan sistem terendah (Elsayed, 2012). Oleh karena itu, semakin banyak subsistem seri pada sebuah sistem akan menghasilkan keandalan yang rendah. Hal ini tentunya bukan hal yang diinginkan. Untuk mengatasi hal ini, umumnya diatasi dengan memperbanyak subsistem paralel, umumnya pada subsistem yang memiliki keandalan terendah.



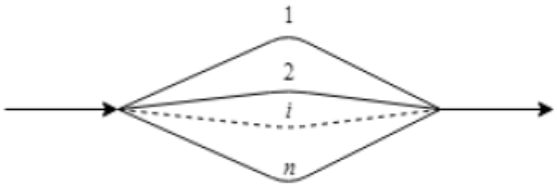
Gambar 2. 6 *Reliability Block Diagram* sistem seri (Elsayed, 2012)

2.7.2.3 Sistem Paralel

Dalam sistem paralel, komponen terhubung dalam susunan paralel, sehingga kegagalan sebuah komponen tidak akan mengganggu komponen yang lain untuk bekerja dengan baik.



Gambar 2. 7 *Reliability Block Diagram* Sistem Paralel (Elsayed, 2012)



Gambar 2. 8 *Reliability Graph* Sistem Paralel (Elsayed, 2012)

Sama seperti sistem seri, keandalan sistem paralel dapat ditentukan dengan mengestimasikan ketidakandalan sebuah sistem dengan menguranginya dengan *unity* atau nilai 1 dalam sebuah probabilitas.

$$R = P\ (x_1 x_2 \ldots\ x_n) \tag{2. 12}$$

$$R = [P\ (x_1) + P(x_2) + \cdots + P(x_n)] - [P(x_1 x_2) + P(x_2) + \cdots] + \cdots + [-1]^{n-1} P(x_1, x_2, \ldots, x_n) \tag{2. 13}$$

$$R = 1 - \prod_{i-1}^{n} P(\overline{x_i}) \tag{2. 14}$$

dimana:

R : keandalan sistem

$P(xi)$: probabilitas keandalan pada subsistem i

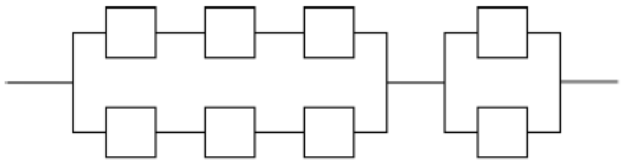
$P(x\bar{i})$: probabilitas kerusakan pada subsistem i

n : jumlah subsistem

Keandalan sistem paralel selalu lebih besar dari pada komponen yang paling andal. Sehingga semakin banyak komponen paralel pada suatu sistem maka sistem akan semakin andal. Pernyataan ini hanya berlaku bagi sistem yang hanya memiliki dua status, yaitu gagal dan beroperasi (Elsayed, 2012). Perhitungan keandalan sistem ini juga dapat digunakan untuk menghitung availabilitas pada sistem paralel.

2.7.2.4 Sistem Campuran

Sistem campuran adalah sistem yang komponennya terhubung secara seri maupun paralel. Terdapat dua jenis kemungkinan susunan sistem campuran, yaitu seri-paralel dan paralel-seri.



Gambar 2. 9 Blok Diagram Sistem Campuran (Elsayed, 2012)

Sistem paralel-seri adalah sistem yang terdiri atas *m* paralel. Setiap paralel memiliki *n* komponen yang terhubung secara seri, sehingga persamaan untuk sistem paralel-seri adalah sebagai berikut:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^{n}\left[1 - \prod_{j=1}^{n} P(x_{ij})\right] \quad (2.\ 15)$$

dimana:

R : keandalan sistem

P(*xij*) : probabilitas komponen *j* dalam sistem *i*.

n : jumlah subsistem

Sedangkan untuk sistem seri-paralel terdiri atas *n* subsistem seri dengan *m* paralel pada setiap subsistem. Berikut ini merupakan persamaan untuk menghitung keandalan sistem seri-paralel:

$$R = \prod_{i=1}^{n}\left[1 - \prod_{j=1}^{m}(1 - P(x_{ij}))\right] \quad (2.\ 16)$$

Dimana *i*=1,2,…,*n* dan *j*=1,2,…,*m* dan *P*(*xij*) adalah probabilitas komponen *j* dalam sistem *i* bekerja.

2.7 Penelitian Terdahulu

Sub bab ini menjelaskan tentang penelitian terdahulu yang dijadikan referensi oleh penulis untuk melakukan pengembangan penelitian.

(Salsabila, Siswanto, & Widodo, 2019) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis Availabilitas dengan mempertimbangkan inventori spare part dan penyangga menggunakan pendekatan simulasi (studi kasus: PT Petrowidada) melakukan analisis availabilitas dengan mempertimbangkan inventori *spare part* dan inventori penyangga. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi sistem diskrit karena simulasi sistem diskrit dapat mengakomodasi perilaku acak dan ketergantungan antar variabel. Berdasarkan hasil simulasi, dapat ditunjukkan bahwa perbaikan kebijakan inventori *spare part* dan penambahan inventori penyangga dapat meningkatkan availabilitas dan *calendar day*. Pada kondisi eksisting, availabilitas produksi 88,43% dan *calendar day* 6716,7 jam atau 23 hari pada setiap bulan. Kedua parameter ini masih kurang dari target. Untuk mengatasi permasalahan ini, dilakukan eksperimentasi dengan skenario inventori penyangga dengan kapasitas penuh pada awal periode serta kebijakan inventori pada tiga *spare part*. Skenario ini menghasilkan peningkatan availabilitas menjadi 90% dan *calendar day* 6483,9 jam atau 22,5 hari pada setiap bulannya.

(Alya & Afefya, 2018) dalam penelitiannya yang berjudul Model Komprehensif Keandalan, Ketersediaan, dan Maintainability (RAM) untuk Evaluasi Sistem Industri menyatakan bahwa analisis keandalan, ketersediaan, dan pemeliharaan dianggap sebagai metrik penting yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem industri. Dalam penelitian ini, model keandalan, ketersediaan, dan pemeliharaan (RAM) terintegrasi dari sistem 3-out-4 untuk mengukur nilai indeks RAM dan untuk mengidentifikasi peralatan yang paling kritis yang terutama mempengaruhi kinerja sistem. Pendekatan Markovian diadopsi untuk memodelkan perilaku sistem. Diagram transisi untuk model yang diusulkan dibangun dan persamaan diferensial dari model yang dirumuskan untuk memperoleh probabilitas keadaan. Ketersediaan pada kondisi tunak, keandalan pada kondisi transien dan rawatan dianalisis dan diselidiki. Model yang diusulkan diverifikasi dan divalidasi. Data dari sistem industri di Perusahaan Minyak dan Gas Mesir diterapkan untuk memvalidasi model dan efek dari kegagalan dan tingkat perbaikan yang dilakukan.

Hasil dari sistem yang diterapkan menyatakan bahwa ketersediaan sistem pada kondisi mapan adalah 99%, keandalan sistem 0,59%, dan kemampuan pemeliharaan sistem adalah 0,99%. Di sisi lain Turbin nomor ketiganya ditemukan item paling kritis dalam sistem dan perlu lebih banyak perhatian untuk meningkatkan kinerja sistem. Dapat dikatakan bahwa model yang diusulkan dianggap sebagai alat yang sangat baik untuk evaluasi kinerja sistem industri.

Selanjutnya, (Choudhary & Tripathi, 2017) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis keandalan, ketersediaan, dan pemeliharaan pabrik semen di India. Pada penelitian ini dilakukan analisis blok diagram. menganalisis waktu perbaikan *cement mill* harus dikurangi untuk meningkatkan *availability system* secara keseluruhan. Dari analisis RAM yang dilakukan memperlihatkan data bahwa 17% kapasitas tidak terutilisasi karena permasalahan pemeliharaan dan 15% kapasitas tidak terutilisasi karena permasalahan manajemen. Setelah itu, penulis menggunakan perangkat lunak profesional EasyFit 5.6 untuk menemukan distribusi data TBF dan TTR yang paling sesuai dan parameternya. Efektivitas kebijakan pemeliharaan preventif dievaluasi dengan mensimulasikan sistem nyata dan yang diusulkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa *Raw mill* dan Coal Mill adalah subsistem kritis dari pabrik semen dari sudut pandang keandalan, sedangkan *kiln* adalah subsistem kritis dari sudut pandang ketersediaan. Analisis RAM menunjukkan bahwa kapasitas perusahaan studi kasus adalah 17 persen kurang dimanfaatkan karena masalah terkait pemeliharaan dan 15 persen kurang dimanfaatkan karena masalah terkait manajemen. Penelitian ini menunjukkan penggunaan analisis UT dalam menentukan program perawatan darurat dari beberapa sistem subsidi yang diterapkan. Oleh karena itu, manajer harus memberikan penilaian untuk keandalan dan manajer perawatan dalam memutuskan strategi pemeliharaan pabrik penegakan hukum serta meningkatkan pemanfaatan kapasitas mereka. Studi ini menunjukkan penggunaan analisis RAM dalam memutuskan program pemeliharaan preventif beberapa subsistem pabrik semen. Terlebih lagi, dengan menggunakan studi simulasi, penulis menunjukkan bahwa pemeliharaan preventif pabrik semen melampaui tingkat tertentu dapat merugikan karena mengarah pada peningkatan waktu henti dan penurunan ketersediaan.

(Kabib, 2012) dalam penelitiannya yang berjudul Optimasi perawatan di industri manufaktur menjelaskan bahwa optimasi system pemeliharaan bertujuan untuk meningkatkan level *reliability* dan *availability* dengan biaya dan resources yang lebih kecil. Optimasi pemeliharaan yang dilakukan adalah *continuous improvement* dengan komponen optimasi penggantian, optimasi biaya penggantian, optimasi prosedur inspeksi dan optimasi penggunaan sumber daya.

(Sharda & Bury, 2008) dalam penelitiannya yang berjudul *A Discrete event simulation model for reliability modeling of a chemical plant* melakukan penentuan kebijakan inventori *spare part* berdasarkan hasil perhitungan keandalan pabrik. Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan kebijakan inventori *spare part* dan penentuan unit yang memiliki keandalan terendah dalam lantai produksi. Penelitian ini menggunakan *Discrete Event Simulation model.*

(Bahri & P., 2005) dalam penelitiannya berjudul Analisis Keandalan Sebagai Dasar Optimasi Interval Pemeliharaan Pada Quay Container Crane Merk Kone Crane, Studi Kasus di PT Portek Indonesia, yang merupakan perusahaan yang bergerak di bidang perawatan dan perbaikan alat-alat berat di pelabuhan yang sangat memperhatikan kualitas dari hasil perawatan. PT TPS sebagai pelanggan utama merupakan penyedia jasa bongkar muat container yang sangat tergantung pada keandalan alat-alat untuk kegiatan bongkar muatnya, sehingga kualitas dari hasil perawatan menjadi prioritas utamanya. Oleh karena itu PT Portek Indonesia berupaya untuk selalu meningkatkan pelayanan agar keandalan dari alat tersebut dapat terus dipertahankan. Untuk itu perlu adanya suatu upaya untuk dapat meningkatkan proses perawatan alat yang optimal. Penelitian ini bertujuan menentukan interval pemeliharaan sub sistem peralatan crane yang optimal. Metode yang digunakan adalah melakukan analisis data kerusakan container crane berdasarkan sub-sub sistem yang merupakan fungsi utama dari crane tersebut sebagai langkah awal dalam menentukan dan menguji distribusi data. Penelitian ini juga menentukan fungsi keandalan, serta menentukan laju kegagalan, dan menentukan MTBF dengan menggunakan aplikasi Weibull. Selanjutnya menentukan indeks kelayakan peralatan dengan menggunakan aplikasi AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Keseluruhan metode tersebut digunakan untuk mendukung penentuan interval pemeliharaan sub sistem peralatan crane yang

menggunakan aplikasi *Quantitative System* dengan metode *non linier programming*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi waktu antar kegagalan dari sub sistem Main Hoist, Trolley, Spreader, Engine & Generador Set dan PLC & Electric Drive Control semuanya mengikuti distribusi Weibull 3. Optimisi interval pemeliharaan dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem dan sub sistem dengan mengikuti interval waktu pemeliharaan yang terpendek.

(Sujatman, Atmaji, & Supratman, 2016) dalam penelitiannya berjudul *Performance Assessment* Berbasis *Reliability* Menggunakan Metode *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM) Dan *Cost of Unreliability* (COUR) Pada Mesin Cincinnati Milacron Di Direktorat Aerostructure PT Dirgantara Indonesia. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa salah satu cara untuk memperkecil kerugian yang harus ditanggung oleh perusahaan adalah dengan meningkatkan *Reliability, Availability* & *Maintainability* dari sistem produksi itu sendiri dan *Cost of Unreliability* untuk mengetahui seberapa besar biaya yang dihasilkan oleh masalah *Reliability, Availability* & *Maintainability*. Data-data berupa *Mean Time To Failure, Mean Time To Repair* dan *Mean Downtime* berguna untuk menilai kinerja sistem yang bekerja. Dari hasil pengolahan data *Reliability, Availability* & *Maintainability Analysis* menggunakan pemodelan *Reliability Block Diagram* berdasarkan pada *analytical approach*, pada waktu 336 jam, sistem memiliki nilai *Reliability* (31%). Rata-rata nilai *Maintainability* sistem pada t= 12 jam adalah 99.60%. Nilai *Inherent Availability* sebesar 99.998% dan nilai Operational Availability sebesar 99.997%. Berdasarkan pada evaluasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *world class maintenance Key Performance Indicator*, indikator dari *leading* dan *lagging availability* sudah mencapai target indikator yang diberikan. Hasil perhitungan *Cost of Unreliability* didapatkan biaya yang disebabkan oleh ketidakhandalan sistem adalah $11.526.92 berdasarkan *active repair time* dan $19.301,95 berdasarkan pada *downtime*.

(Pamboedi, 2018) pada penelitiannya yang berjudul Perancangan Kebijakan Perawatan Mesin Cutting Pada Pabrik Pipa Dengan Menggunakan *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM) *Analysis* dan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) (Studi Kasus: PT XYZ) memaparkan bahwa tingginya tingkat frekuensi downtime pada Mesin *Cutting*, maka diperlukan suatu

kegiatan perawatan yang efektif, cara yang dilakukan pada penelitian keandalan mesin adalah menggunakan metode *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM) *analysis* dan juga untuk menentukan kebijakan perawatan yang efektif dan tepat untuk Mesin *Cutting* adalah menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Mesin *Cutting* merupakan salah satu mesin yang harus selalu siap pakai karena mempengaruhi proses produksi dan target produksi. Karena Berdasarkan perhitungan metode RAM *Analysis* dengan menggunakan pemodelan *Reliability Block Diagram* diketahui bahwa *Reliability* sistem pada waktu 112 jam sistem memiliki nilai *Reliability* (1%). Nilai *Maintainability* sistem pada waktu 5 jam adalah 100%. Nilai *Inherent Availability* sebesar 97,34% dan *nilai Operational Availability* sebesar 88,77%. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan dengan menggunakan *World Class Key Performance Indicator*, indikator dari *Lagging Indicator* belum mencapai target indikator yang diberikan sedangkan *Leading Indicator* telah mencapai target. Dengan metode RCM, didapat 2 *Schedule On-Condition Task, 3 Schedule Restoration Task dan 1 Schedule Discard Task* dengan interval waktu perawatan yang berbeda sesuai dengan subsistemnya masing-masing, serta penurunan biaya *preventive maintenance* sebesar Rp 3.467.688.301.

(Badar, Budiasih, & Alhilman, 2018) dalam penelitiannya berjudul Analisis Performansi Mesin Menggunakan Metode Reliability, Availability, Maintainability (RAM) Analysis dan Penentuan Umur Mesin serta Maintenance Set Crew Optimal Menggunakan Life Cycle Cost (LCC) Analysis pada Mesin Dumping Line 1 di PT XYZ. PT XYZ yang merupakan salah satu industri manufaktur yang menghasilkan *Accu Battery* terbesar di Indonesia. Berdasarkan data dari GAIKINDO sebesar 55% dari penjualan mobil di Indonesia pada tahun 2016 hingga 2017 menggunakan *accu battery* yang diproduksi oleh PT XYZ. Dalam mengoperasikan mesin dan peralatan, PT XYZ memerlukan sistem perawatan mesin yang baik serta optimal terutama pada mesin *Dumping* di *line* 1 yang memiliki frekuensi *downtime* tertinggi pada tahun 2016 hingga 2017 yakni sebesar 292 kerusakan. Oleh karena itu, perlu adanya analisis *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM) dengan pemodelan *Reliability Block Diagram* (RBD) serta analisis *Life Cycle Cost* (LCC) untuk mengetahui performansi mesin *Dumping Line* 1. Berdasarkan hasil pengukuran performansi dengan menggunakan

metode RAM, diperoleh nilai *reliability system* sebesar 61,94% pada t = 112 jam dan untuk mencapai nilai *maintainability* 100% membutuhkan waktu minimal selama empat jam dengan nilai *inherent availability* sebesar 99,81% dan *operational availability* sebesar 99,72%. Dari hasil evaluasi yang telah dilakukan berdasarkan kebijakan perusahaan dan *Key Performance Indicator* IVARA sebagai parameter keberhasilan, indikator *availability* telah mencapai target indikator sebesar 95%. Dari hasil perhitungan dengan metode LCC didapatkan nilai *Life Cycle Cost* terkecil sebesar Rp646.175.379,30,- dengan umur optimal mesin selama tujuh tahun dan jumlah maintenance crew sebanyak satu orang.

(Setiaji & Runtuk, 2017) dalam penelitiannya yang berjudul Perencanaan Penjadwalan Perawatan Preventif Pada Mesin Duplex di Pabrik Kertas memaparkan bahwa *maintenance* merupakan aktivitas penting di perusahaan dalam menjamin operasional mesin. Jika aktivitas perawatan dilakukan dengan terencana, maka kegiatan produksi dapat berjalan dengan lancar. Penelitian ini dilakukan di perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang pembuatan kertas kemasan. Berdasarkan data, mesin Duplex memiliki frekuensi kerusakan yang lebih tinggi dibanding dengan mesin lain, yaitu 125 kali dalam 22 bulan. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan *preventive maintenance* pada mesin Duplex. Analisis dimulai dengan menentukan komponen kritis pada mesin Duplex. Selanjutnya dilakukan perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF), *Cost of Failure* (Cf), dan tingkat keandalan. Akhirnya, dilakukan perhitungan biaya perawatan preventif (Cp) untuk mengetahui selang waktu dalam penggantian komponen dengan biaya yang rendah. Setelah dilakukan penerapan *preventive maintenance*, terdapat tiga komponen yang mengalami penurunan biaya perawatan. Komponen bearing mengalami penurunan biaya sebesar 8,30% dengan tingkat keandalan 61%, komponen rantai mengalami penurunan biaya sebesar 15,60% dengan tingkat keandalan 62% dan komponen unwinder mengalami penurunan biaya sebesar 10,70% dengan tingkat keandalan 61%.

(Sugiono, Mulyono, & Santosa, 2016) dalam penelitiannya yang berjudul Penjadwalan Perawatan Mesin Glazing Line 5 di PT Adyabuana Persadadi, PT Adyabuana Persada yang merupakan perusahaan yang memproduksi ubin keramik dengan bermacam- macam ukuran yang berlokasi di daerah Gresik. PT Adyabuana

persada memiliki masalah yaitu terdapat kendala kerusakan mesin terutama pada mesin *glazing line* 5 yang mengakibatkan berkurangnya jumlah waktu saat produksi. Perusahaan biasanya hanya melakukan perbaikan dan perawatan komponen mesin saat mesin tersebut dalam kondisi rusak. Oleh karena itu, perlu dilakukan penjadwalan perawatan mesin. Penentuan jadwal perawatan mesin ini dimulai dengan penentuan komponen kritis pada mesin *glazing line* 5 dengan menggunakan metode FMEA. Setelah itu, data waktu kerusakan diolah menjadi data waktu antar kerusakan dan kemudian diperoleh distribusinya menggunakan Minitab 14. Hasil tersebut digunakan untuk menentukan nilai MTTF (*Mean Time to Failure*) yang merupakan interval waktu maksimal untuk pemakaian komponen sampai komponen tersebut rusak. Interval waktu perawatan yang optimal ditentukan berdasarkan perhitungan C(tp) yang paling optimal. Interval perawatan untuk mesin *glazing line* 5 pada sub mesin *spacer* yaitu: komponen van belt setiap 957 jam, dan komponen motor setiap 4193 jam. Dengan interval waktu yang ada, juga dapat dilakukan penggabungan jadwal perawatan yang kemudian dibandingkan dengan biaya perbaikan yang menghasilkan penghematan sebesar 99,81%.

(Corvaro, Giacchetta, Marchetti, & Recanati, 2016) dalam penelitiannya yang berjudul Studi Keandalan, Ketersediaan, Maintainability (RAM), pada kompresor reciprocating API 618 di Industri Minyak & Gas terus meningkatkan persyaratannya dan bersama dengan kompleksitas tinggi dari sistem teknologi dan daya saing pasar yang lebih tinggi, telah memaksa penyedia untuk menerapkan strategi manajemen yang memadai untuk sistem ini untuk meningkatkan ketersediaan dan produktivitas mereka untuk memenuhi mereka yang lebih menuntut kriteria. Dalam konteks ini, kompleks faktor RAM merupakan pendekatan strategis untuk mengintegrasikan keandalan, ketersediaan dan pemeliharaan, dengan menggunakan metode, alat dan teknik teknik (Nilai Rata-rata Waktu untuk Kegagalan, Waktu Henti Peralatan dan Ketersediaan Sistem) untuk mengidentifikasi dan mengukur peralatan dan sistem kegagalan yang mencegah pencapaian tujuan produktif. Penerapan metodologi semacam itu membutuhkan pengalaman dan pengetahuan yang mendalam bersama dengan kemungkinan untuk memperoleh dan memproses data dalam kondisi operasi. Makalah ini menyajikan

aspek dan temuan paling relevan dari studi yang dilakukan untuk menilai kinerja operasional paket sistem kompresor bolak-balik yang dipasang dan digunakan dalam industri minyak dan gas. Studi ini didasarkan pada analisis perilaku negara yang ditetapkan untuk setiap bagian individu dan komponen kompresor bolak-balik dan juga bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi efek dari faktor-faktor tipe RAM dan dilakukan bekerja sama dengan perusahaan swasta yang, untuk alasan privasi , akan dinamai perusahaan RC. Prosedur Metodologi yang digunakan dalam penelitian deskriptif ini adalah penelitian bibliografi, dokumenter dan analisis isi literatur utama. Mengadopsi strategi perawatan yang paling cocok adalah salah satu tantangan utama yang dihadapi manajer pemeliharaan. Tujuan utama dari pekerjaan ini adalah untuk mengusulkan pendekatan baru untuk mengevaluasi strategi perawatan. Dalam penelitian ini, tiga kriteria yang disebut keandalan, ketersediaan, dan pemeliharaan (RAM) telah digunakan untuk dibandingkan dengan strategi pemeliharaan di masa depan.

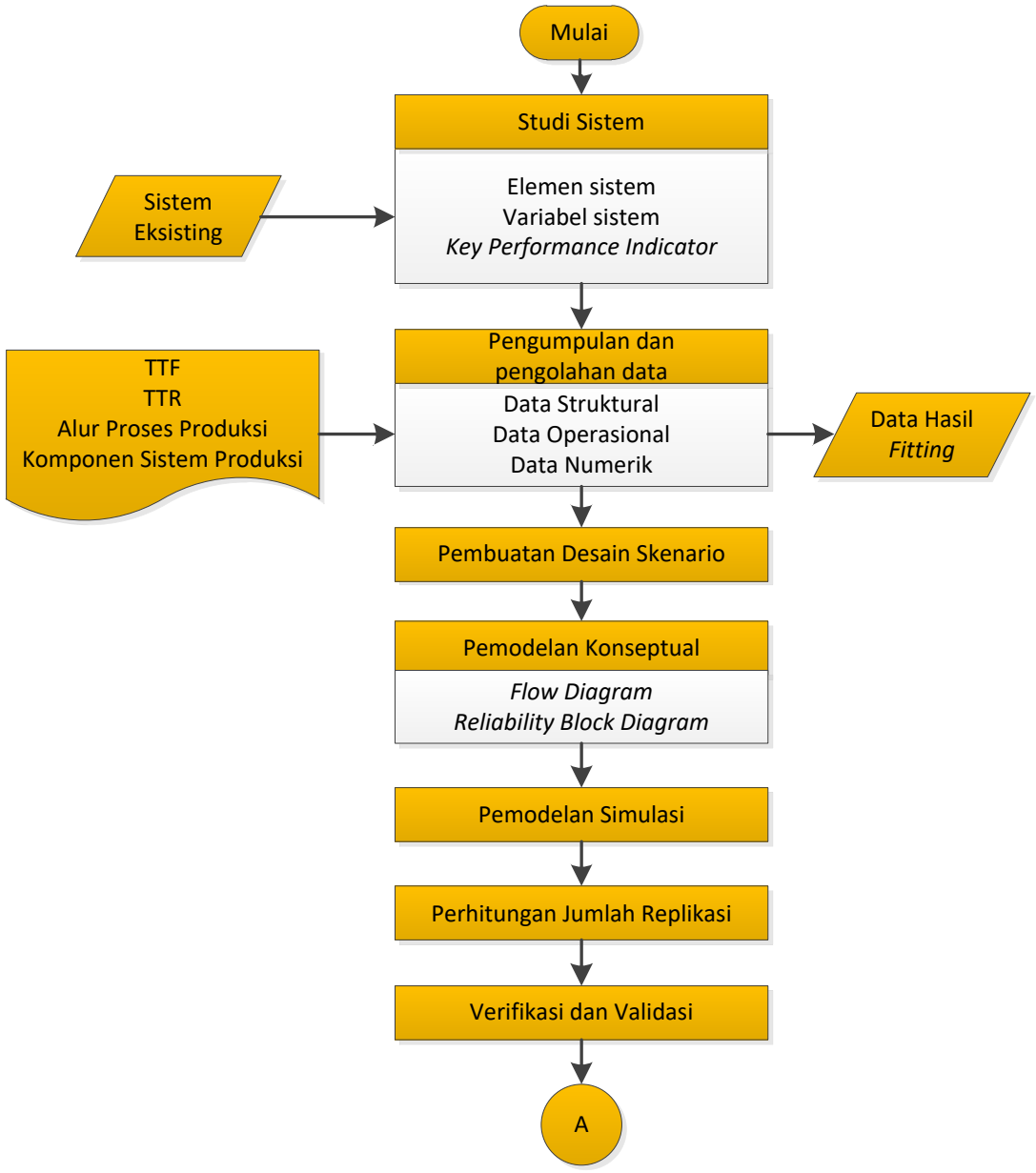
(Barbera, Crespo, Viveros, & Kristjanpoller, 2016) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis RAM proses penambangan; studi kasus proses peleburan tembaga di bidang penambangan menyatakan bahwa kinerja mesin pertambangan tergantung pada keandalan, ketersediaan, dan pemeliharaan peralatan yang digunakan, lingkungan operasi, efisiensi pemeliharaan, proses operasi, keahlian teknis, dll. Seiring dengan ukuran dan kompleksitas peralatan pertambangan yang terus meningkat, implikasinya kegagalan peralatan menjadi semakin kritis. Oleh karena itu, analisis RAM diperlukan untuk mengidentifikasi hambatan dalam sistem. Penting untuk memilih metode yang cocok untuk pengumpulan data serta untuk analisis RAM dalam bidang khusus ini. Makalah ini menyajikan studi kasus yang menggambarkan analisis keandalan, ketersediaan, dan pemeliharaan dari Proses Peleburan Tembaga di Chili. Dalam studi ini, proses dibagi menjadi empat subsistem utama: Pengeringan, fusi Konsentrat, Konversi dan Pemurnian. Parameter dari beberapa distribusi probabilitas, seperti Weibull, Eksponensial, Normal dan distribusi Lognormal telah diperkirakan dengan menggunakan Aplikasi Matlab. Hasil analisis menunjukkan subsistem dan peralatan mana yang sangat penting dari sudut pandang keandalan dan ketersediaan. Data yang relevan dikumpulkan oleh unit pemeliharaan dan disimpan dalam database spreadsheet;

data ini mendukung pemodelan spesifik untuk kegagalan dan proses perbaikan peralatan. Data yang digunakan telah dikumpulkan selama 16 bulan proses dengan menggunakan laporan SAP-PM.

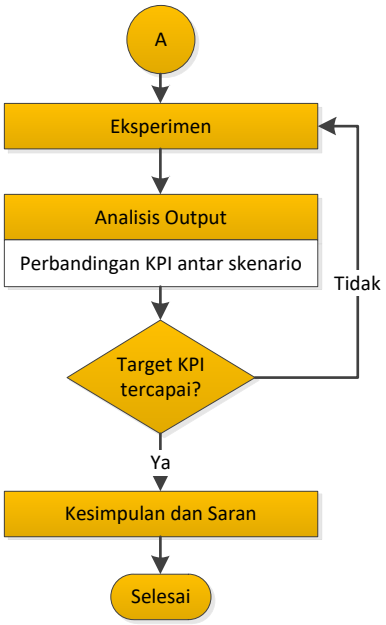
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab 3 akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang akan dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini. Diagram alur berikut merupakan gambaran tahapan yang dilakukan oleh penulis:



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian



Gambar 3. 2 Metodologi Penelitian (lanjutan)

3.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan

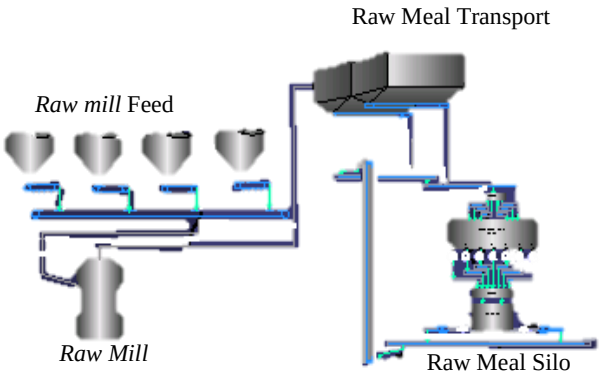
Langkah pertama dalam penelitian ini adalah studi literature dan studi lapangan. Studi literatur mengenai modul SAP *Plant Maintenance* yang telah diterapkan pada perusahaan PT XYZ. Penulis terlebih dahulu mencari informasi mengenai penerapan *Plant Maintenance Schedule* periode tahun 2019. Informasi tersebut terdiri atas elemen sistem, variabel, dan *key performance indicator*. Informasi ini kemudian digambarkan dengan model konseptual untuk mengidentifikasi masalah yang sering muncul dalam kurun waktu tersebut.

3.1.1 Elemen Sistem

Elemen sistem dalam konteks simulasi berupa entitas, aktivitas, *resources*, dan juga kontrol. Berikut ini merupakan elemen-elemen sistem produksi:

1. Entitas yang akan dimodelkan pada sistem ini adalah material Bahan baku (Batu kapur, Tanah liat, Silica) yang nantinya akan diproses menjadi *Raw Meal.* Dalam kasus ini material yang ada adalah produk yang bersifat kontinyu. Satuan entitas adalah ton. Selain itu, entitas berupa gangguan.

2. Aktivitas yang disimulasikan dari sistem produksi ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Aktivitas proses produksi *raw meal* (Laporan Produksi, 2019)

Simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari Material Bahan baku yang berupa batu kapur, tanah liat, pasir besi dan pasir silica berupa entitas dari gudang disimpan di *Raw mill Feed Bin*, yang kemudian ditransport ke *Raw mill* untuk dilakukan proses penggilingan yang menghasilkan produk *Raw Meal*. Yang selanjutnya ditransport melalui *Belt Bucket Elevator* menuju ke *Raw Meal Silo* untuk dilakukan proses homogenisasi.

3. *Resource* yang disimulasikan pada model ini terdiri atas unit-unit produksi yang akan dibagi menjadi beberapa sub sistem, berikut ini merupakan daftar unit yang menjadi *resource* dalam proses produksi beserta subsistemnya:

Tabel 3. 1 *Resource* simulasi

No	Unit	Nama *Equipment*	Kode *Equipment*
1	*Raw mill Feed*	*Limestone Bin*	531BI01
2		*Silicastone Bin*	531BI02
3		*Iron Sand Bin*	531BI03
4		*Clay Bin*	531BI04
5		*Limestone Feeder*	531WF01
6		*Silicastone Feeder*	531WF02
7		*Iron Sand Feeder*	531WF03
8		*Clay Feeder*	531WF04

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel 3. 2 *Resource* simulasi (lanjutan)

No	Unit	Nama *Equipment*	Kode *Equipment*
9	*Raw mill Feed Transport*	*Belt Transport*	531BC02
10		*Belt Transport*	531BC03
11		*Belt Transport*	531BC04
12	*Raw mill*	*Rotary Feeder*	532RF01
13		*Vertical Mill*	532RM01
14		*Separator*	532SR01
15		*Cyclone*	532CY01
16		*Rotary Air Lock*	532RF03
17	*Raw Meal Transport*	*Air Slide*	532AS01
18		*Air Slide*	532AS02
19		*Diverter Gate*	532DG04
20		*Bucket Elevator*	532BE02
21	*Raw Meal Silo*	*Silo*	532SI01

Sumber: (Data Primer, 2019)

3.1.2 Variabel Sistem

Variabel sistem dari simulasi terdiri dari atas variabel keputusan, variabel respon, dan variabel status. Variabel keputusan pada sistem ini kegiatan *maintenance* yang tepat. Variabel respon dari sistem simulasi ini adalah *Availability* dan hari operasi/*calendar day.* Sedangkan variabel status dari sistem simulasi ini adalah status dari setiap *resource*.

Tabel 3. 3 Variabel Sistem

Variabel keputusan	Variabel respon	Variabel status
Kegiatan maintenance	*Availability*	Status resources (*busy/idle/failure*)
	Hari Operasi/*calendar day*	

Sumber: (Data Primer, 2019)

3.1.3 *Key Performance Indicator*

Key performance indicator adalah parameter untuk mengukur keberhasilan suatu sistem agar dapat mencapai tujuan tertentu. Dalam penelitian ini, *key performance indicator* yang akan diukur adalah *availability* dan hari

operasi/*calendar day*. Availabilitas yang dihasilkan dari model simulasi adalah avalabilitas akumulasi dari subsistem. Oleh karena itu, untuk menghitung availabilitas sistem dapat dilakukan dengan persamaan berikut ini:

$$A = (A_1)(A_2)(A_3)(A_4)(A_5) \quad (3.\ 1)$$

Dimana:

A = Availabilitas sistem

A_1= Availabilitas Sub Sistem *Raw mill Feed*

A_2= Availabilitas Sub Sistem *Raw mill Feed Transport*

A_3= Availabilitas Sub Sistem *Raw mill*

A_4= Availabilitas Sub Sistem *Raw Meal Transport*

A_5= Availabilitas Sub Sistem *Raw Meal Silo*

Adapun calendar day merupakan waktu yang digunakan oleh sistem untuk memproduksi produk sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan.

3.2 Pengumpulan Data

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai proses pengumpulan data yang dilakukan oleh penulis. Data-data ini kemudian akan menjadi *input* dalam model simulasi. Berikut ini merupakan jenis-jenis data dalam simulasi (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004):

1. Data struktural, data struktural meliputi objek pada sistem yang akan dimodelkan. Data ini meliputi elemen-elemen sistem pada simulasi, seperti peralatan produksi *Raw mill*, data gangguan per *equipment*, data lama waktu perbaikan per *equipment*, aktifitas *maintenance* dan produksi, dan produk *raw meal*.

2. Data operasional, data operasional adalah data yang menjelaskan bagaimana sebuah sistem beroperasi. Data operasional terdiri atas informasi di mana, kapan, dan bagaimana sebuah aktivitas dan kejadian terjadi. Contoh dari data operasional diantaranya adalah flow proses produksi *raw meal* dan sistem pemeliharaan. Apabila pada *real system* sudah terdefinisi data operasional yang jelas, maka informasi operasional akan didapatkan dengan mudah.

3. Data numerik, data numerik adalah segala data kuantitatif dari sebuah sistem. Data numerik berupa kapasitas produksi, data *downtime*, data produksi *raw meal*, dan laju produksi.

3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan sebelum proses input data dimasukan dalam model simulasi. Tujuannya agar dapat dilakukan pemilahan dan penggabungan data-data yang digunakan untuk satu tujuan. Misalkan data produksi dari operasi, hari operasi, dan data aktifitas perbaikan dari pemeliharaan akan dipilah dan digabungkan untuk menggambarkan *reliability* peralatan. Selain itu dilakukan *fitting* distribusi atas data perawatan dan untuk mencari data historis dan *behavior* data tersebut.

3.4 Eksperimen

Dalam proses eksperimen dilakukan sub proses berikut:

3.4.1 Pembuatan model konseptual

Pada tahap ini, penulis membuat model konseptual dengan menggunakan *Reliability Block Diagram*. *Reliability block diagram* digunakan untuk menyusun logika seri-paralel kegagalan dalam sistem produksi.

3.4.2 Model Simulasi

Dengan menggunakan hasil data *fittin*g distribusi, penulis melakukan input data ke model simulasi. Model simulasi ini disusun berdasarkan model konseptual yang telah disusun pada tahap sebelumnya. Penulis menyusun model simulasi dengan menggunakan metode simulasi diskrit.

3.4.3 Perhitungan jumlah replikasi

Replikasi dilakukan agar data yang dihasilkan cukup mempresentasikan sistem *real* di lapangan. Hal ini dikarenakan data input merupakan data *random* sehingga hasil dari proses yang ada disimulasi juga merupakan data *random*. Untuk menentukan jumlah replikasi maka tentukan terlebih dahulu jumlah replikasi awal (n), kemudian tentukan nilai hw_s, menentukan nilai e, dan mencari nilai n'

(replikasi baru untuk simulasi). Berikut cara mendapatkan nilai hw_s (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017):

$$hw = \frac{(t_{n-1,\frac{\alpha}{2}})s}{\sqrt{n}} \quad (3.\ 2)$$

Dimana:

hw_s : *half width* hasil simulasi

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

s : standart deviasi simulasi

n : jumlah replikasi

hw_s juga dapat diperoleh dari *output software* simulasi seperti Arena secara langsung.

Langkah selanjutnya adalah menghitung *hw* pada sistem existing. Berikut ini adalah rumus perhitungan *hw* pada sistem eksisting (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017):

$$hw_r = e \times \bar{x} \quad (3.\ 3)$$

Dimana:

hw_r : *half width* yang diharapkan

e : derajat error yang diharapkan (%)

$\bar{x}$: rata-rata dari variabel yang diukur

Dengan menggunakan pendekatan berikut diperoleh nilai replikasi baru yang akan dijalankan pada simulasi (n') adalah sebagai berikut:

$$n' \cong n \frac{{hw_s}^2}{{hw_r}^2} \quad (3.\ 4)$$

3.4.4 Pembuatan ide skenario

Pada tahap ini dilakukan pembuatan skenario yang akan diuji pada model simulasi. Hasil skenario ini kemudian akan dibandingkan untuk mengetahui skenario terbaik. Skenario yang akan digunakan pada permasalahan ini merupakan optimasi *schedule plant maintenance* di *Raw mill*. Skenario yang dijalankan ada 3 skenario yaitu:

1. Skenario 1: melakukan optimasi *plant maintenance* untuk mengurangi frekuensi kerusakan sistem dan durasi perbaikan yang berpengaruh pada nilai TTF (*Time to Failure*) dan TTR (*Time to Repair*) *equipment* yang ada dalam sistem.
2. Skenario 2: melakukan optimasi kegiatan overhaul untuk mengurangi durasi pelaksanaan overhaul.
3. Skenario 3: gabungan antara skenario 1 dan 2 yaitu optimasi *plant maintenance* dan kegiatan overhaul.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini adalah tahapan yang terakhir dalam sebuah penelitian yaitu menarik beberapa kesimpulan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan yang nantinya akan dijadikan sebagai sebuah dasar untuk penelitian selanjutnya. Selain itu memberikan saran mengenai peneliti yang akan mengambil topik penelitian yang sama.

(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-data pada penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari dokumentasi perusahaan serta wawancara dengan narasumber. Sedangkan pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan *fitting* distribusi sebagai *input* untuk model simulasi.

4.1 Deskripsi Perusahaan

PT Semen Tonasa adalah produsen semen terbesar di Kawasan Timur Indonesia yang menempati lahan seluas 715 hektar di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, sekitar 68 kilometer dari kota Makassar. Perseroan yang memiliki kapasitas terpasang 5.980.000 ton semen per tahun ini, mempunyai empat unit pabrik, yaitu Pabrik Tonasa II, III, IV dan V. Keempat unit pabrik tersebut menggunakan proses kering dengan kapasitas masing-masing 590.000 ton semen pertahun untuk Unit II dan III, 2.300.000 ton semen per tahun untuk Unit IV serta 2.500.000 ton semen untuk Unit V.

Berdasarkan Anggaran Dasar, perseroan merupakan produsen semen di Indonesia yang telah memproduksi serta menjual semen di dalam negeri dan mancanegara sejak tahun 1968. Proses produksi bermula dari kegiatan penambangan tanah liat dan batu kapur di kawasan tambang tanah liat dan pegunungan batu kapur sekitar pabrik hingga pengantongan semen zak di packing plant. Proses produksi secara terus menerus dipantau oleh satuan *Quality Control* guna menjamin kualitas produksi.

Pendapatan utama perseroan adalah hasil penjualan Semen Portland (OPC), Semen non OPC yaitu Tipe Komposit (PCC), tersebar di wilayah Sulawesi, Kalimantan, Bali, Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua. Didukung dengan merek yang sudah terkenal di Kawasan Timur Indonesia, perseroan berusaha secara terus menerus mempertahankan brand image produk dengan menjaga kestabilan pasokan produk di pasar. Selain itu, dukungan sistem distribusi yang optimal juga

merupakan unsur kesuksesan penjualan semen. Disamping itu, penjualan ekspor juga dilakukan jika terjadi kelebihan produksi setelah pemenuhan pasar dalam negeri.

Proses produksi semen terdiri beberapa unit proses yaitu proses penambangan, proses *crushing*, proses penggilingan bahan baku, proses klinkerisasi, proses penggilingan semen, proses *packing*. Pada unit *crushing*, bahan baku utama seperti batu kapur dan tanah liat yang ukuran besar akan dihancurkan melalui *crusher* untuk memenuhi ukuran standar setelah itu bahan baku tersebut disimpan di gudang untuk dilakukan proses homogenisasi. Hasil penyimpanan tersebut ditransfer melalui *belt conveyor* dan akan ditampung di *Raw mill Feed Bin*. Selain bahan baku juga ada bahan koreksi yang akan ditransfer bersamaan sesuai dengan komposisi yang dipersyaratkan oleh *Quality Control* melalui *belt conveyor* menuju ke *Raw mill* untuk digiling menjadi produk *raw meal* yang akan disimpan di CF Silo untuk dilakukan proses homogenisasi. *Produk raw meal* tersebut ditransfer melalui Fluxoside seperti *Airslide* dan *Bucket Elevator* menuju *Preheater* untuk pemanasan awal yang selanjutnya akan dilakukan pemanasan lanjut di Kiln sampai temperature 1450 Deg. C, dimana bahan bakar didapat dari hasil penggilingan batu bara oleh *Coal Mill*. Produk dari kiln akan didinginkan secara mendadak (*Quenching*) sehingga menjadi klinker di *Grate Cooler* yang kemudian di-*crushing* oleh *Roller Breaker* dan ditransfer melalui *Pan Conveyor* untuk disimpan di Clinker Silo. Komposisi klinker yang mencapai 65 – 80 % dari bahan utama pembuatan semen akan dicampur dengan Gypsum dan trass untuk digiling menjadi produk bubuk di dalam *Finish Mill*. Produk bubuk ini akan ditransfer melalui *air slide* dan *bucket elevator* untuk disimpan di Cement Silo yang selanjutnya akan didistribusikan melalui semen curah atau semen bag.

4.1.1 Deskripsi Proses Produksi *Raw Meal*

Setelah bongkahan batu kapur, tanah liat, pasir silica, dan pasir besi diproses melalui *Crusher* dan ditampung ke dalam *Raw Meal Feed Bin*, dengan komposisi tertentu yang terdiri dari Kalsium, Silicon, Aluminium, dan Oksida besi digiling ke d

alam *Vertical Mill* yang disebut *Atox Raw mill* dan mengeluarkan produk bubuk yang disebut *Raw Meal*. Produk ini diangkut melalui *Belt Conveyor* dan disimpan di dalam *Blending Silo*.

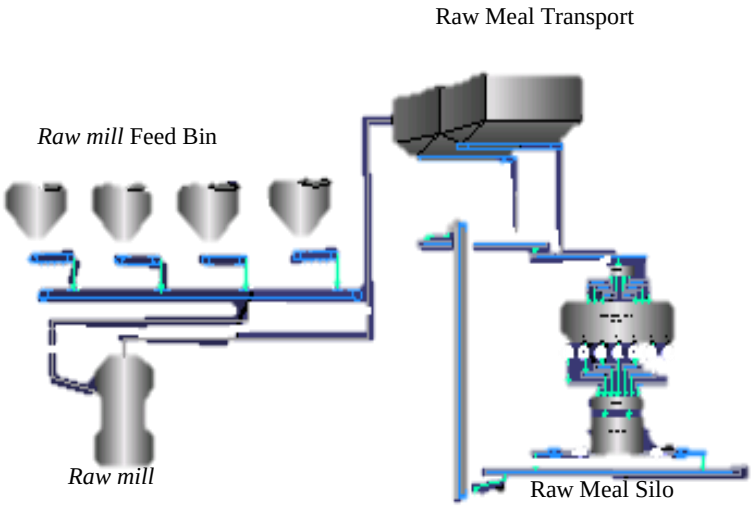
4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Data Struktural

Data struktural adalah data-data yang meliputi objek pada sistem yang dimodelkan. Data ini meliputi elemen-elemen sistem dalam simulasi (Harrel, et al., 2004). Berikut ini merupakan data-data struktural yang digunakan oleh penulis dalam memodelkan simulasi.

4.2.1.1 Mesin dan Peralatan

Berikut ini merupakan gambar dan daftar nama mesin dan peralatan serta kode mesin dan peralatan yang disimulasikan dalam penelitian ini:



Gambar 4. 1 Subsistem *Raw mill* (Laporan Produksi, 2019)

Tabel 4. 1 Daftar Mesin dan Peralatan

No	Sub Sistem	Nama *Equipment*	Kode *Equipment*
1	*Raw mill Feed*	*Limestone Bin*	531BI01
2		*Silicastone Bin*	531BI02
3		*Iron Sand Bin*	531BI03
4		*Clay Bin*	531BI04
5		*Limestone Feeder*	531WF01
6		*Silicastone Feeder*	531WF02
7		*Iron Sand Feeder*	531WF03
8		*Clay Feeder*	531WF04
9	*Raw mill Feed Transport*	*Belt Transport*	531BC02
10		*Belt Transport*	531BC03
11		*Belt Transport*	531BC04
12	*Raw mill*	*Rotary Feeder*	532RF01
13		*Vertical Mill*	532RM01
14		*Separator*	532SR01
15		*Cyclone*	532CY01
16		*Rotary Air Lock*	532RF03
17	*Raw Meal Transport*	*Air Slide*	532AS01
18		*Air Slide*	532AS02
19		*Diverter Gate*	532DG04
20		*Bucket Elevator*	532BE02
21	*Raw Meal Silo*	*Silo*	532SI01

Sumber: (Laporan Bulanan, 2019)

Berdasarkan Tabel 4.1, terdapat peralatan sejumlah 21 yang akan dimodelkan oleh penulis. Pada unit *Raw mill Feed* terdapat 8 peralatan, unit *Raw mill Feed Transport* terdapat 3 peralatan, unit *Raw mill* terdapat 5 peralatan, unit *Raw Meal Transport* terdapat 4 peralatan, dan unit *Raw Meal Silo* terdapat 1 peralatan.

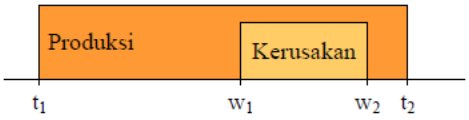
4.2.2 Data Operasional

Data operasional adalah data yang menjelaskan bagaimana sistem beroperasi (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004). Data operasional pada sistem ini adalah jam operasional produksi, tahapan proses produksi, kapasitas produksi, serta data kerusakan dalam proses produksi. Jam operasional pabik PT Semen Tonasa

adalah 24 jam. Pabrik akan mengalami *shutdown* apabila terjadi kerusakan pada salah satu unit atau perbaikan yang terjadwal minimal sekali dalam setahun.

Bahan baku utama seperti batu kapur dan tanah liat yang ukuran besar akan dihancurkan melalui crusher untuk memenuhi ukuran standar setelah itu bahan baku tersebut di simpan di gudang untuk dilakukan proses homogenisasi. Hasil penyimpanan tersebut ditransfer melalui *belt conveyor* dan akan ditampung di *Raw mill Feed Bin*. Selain bahan baku juga ada bahan koreksi yang akan ditransfer bersamaan sesuai dengan komposisi yang dipersyaratkan oleh *Quality Control* melalui *Belt Conveyor* menuju ke *Raw mill* untuk digiling menjadi produk *raw meal* yang akan disimpan di CF Silo untuk dilakukan proses homogenisasi.

Selain data operasional berupa proses produksi, juga diperlukan data operasional kombinasi terjadinya kerusakan proses produksi. Berikut ini merupakan kombinasi terjadinya kerusakan pada proses produksi di PT Semen Tonasa yaitu $t_1 < w_1$ dan $t_2 > w_2$. Pada kombinasi ini, kerusakan dimulai setelah proses produksi dimulai dan berakhir sebelum proses produksi berakhir, sehingga proses produksi akan berhenti di tengah dan akan berlanjut setelah perbaikan dilakukan.



Gambar 4. 2 Kombinasi Kerusakan di PT Semen Tonasa (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004)

Terjadinya kombinasi kerusakan ini mengakibatkan proses produksi bertambah sesuai dengan waktu kerusakan, sehingga waktu proses (T) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$T = (t_2 - t_1) + (w_2 - w_1) \quad (4.1)$$

Dimana:

T = waktu total produksi

t1 = waktu mulai produksi

t2 = waktu selesai produksi

w1 = waktu mulai perbaikan

w2 = waktu selesai perbaikan

4.2.3 Data Numerik

Data numerik adalah segala data kuantitatif dari sistem (Harrel, et al., 2004). Data numerik yang dibutuhkan adalah kapasitas produksi, data laju produksi setiap unit, serta data jadwal pemeliharaan.

4.2.3.1 Data Produksi tahun 2019

Berikut ini merupakan jumlah *raw meal* yang diproduksi pada tahun 2019.

Tabel 4. 2 Produksi *Raw mill* tahun 2019

Bulan	**RKAP (ton)**	**Real (ton)**
Januari	320.320	364.364
Februari	337.260	268.142
Maret	377.300	384.554
April	372.680	217.760
Mei	386.540	261.421
Juni	133.980	337.981
Juli	386.540	431.518
Agustus	386.540	347.356
September	372.680	307.043
Oktober	377.300	390.268
November	363.440	352.787
Desember	375.760	378.182
Total	**4.190.340**	**4.041.377**

Sumber: (Laporan Produksi, 2019)

4.2.3.2 Data *Calendar day* Tahun 2019

Berikut ini Data *Calendar day* unit *Raw mill* tahun 2019:

Tabel 4. 3 Data *Calendar day* RM tahun 2019 (Laporan Produksi, 2019)

Bulan	RKAP (ton)	Real (ton)
Januari	21	20
Februari	22	15
Maret	25	25
April	24	14
Mei	25	15
Juni	9	19
Juli	25	25
Agustus	25	22
September	24	20
Oktober	24	24
November	24	22
Desember	24	24
Total	**272**	**245**

Sumber: (Data Primer, 2019)

4.2.3.3 Data Laju Produksi Tiap Unit

Pada bagian ini dijelaskan mengenai data laju produksi unit *Raw mill.*

Tabel 4. 4 Laju Produksi *Raw mill* tahun 2019 (Laporan Produksi, 2019)

Kapasitas Desain (ton/jam)	750
RKAP (ton/jam)	700
Realisasi (ton/jam)	721
Pencapaian	103%

Sumber: (Data Primer, 2019)

4.3 Pengolahan Data

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang dilakukan pada tahap sebelumnya, selanjutnya dilakukan pengolahan data berupa hasil *fitting*. Hasil pengolahan data ini akan digunakan sebagai *input* dalam model simulasi.

4.3.1 Fitting Distribusi Waktu Antar Kegagalan dan Perbaikan

Berdasarkan data *history card*, dilakukan pengolahan data dengan melakukan *fitting* distribusi untuk mengetahui perilaku acak dari sistem eksisting.

Gambar 4. 3 Hasil *Fitting* Distribusi Menggunakan *Input Analyzer*

Tabel 4. 5 Tabel hasil fitting distribusi TTF dan TTR *Equipment* di Sistem *Raw mill*

No	*Equipment*	TTF	TTR
1	531BI01	144 + WEIB(366, 0.623)	0.5 + ERLA(6.27, 1)
2	531BI02	8760	5
3	531BI03	8760	4
4	531BI04	24 + WEIB(274, 0.496)	0.5 + ERLA(3.14, 2)
5	531WF01	144 + WEIB(226, 0.281)	1.5 + ERLA(1.55, 2)
6	531WF02	8760	5
7	531WF03	8760	4
8	531WF04	48 + WEIB(162, 0.274)	0.5 + ERLA(4.9, 1)
9	531BC02	24 + WEIB(256, 0.34)	0.5 + ERLA(2.67, 1)
10	531BC03	192 + WEIB(737, 0.329)	0.5 + ERLA(0.738, 3)
11	531BC04	1.37e+003 + WEIB(21.4, 0.18)	1.5 + ERLA(2.17, 1)
12	532RF01	6792	5
13	532RM01	24 + WEIB(2.1, 0.195)	0.5 + ERLA(8.75, 1)
14	532SR01	8760	2
15	532CY01	24 + WEIB(0.497, 0.144)	1.5 + ERLA(18.8, 1)
16	532RF03	4.06e+003 + WEIB(22.6, 0.179)	1.5 + ERLA(0.208, 4)
17	532AS01	24 + WEIB(52.8, 0.165)	1.5 + ERLA(2.83, 1)
18	532AS02	8760	10
19	532DG04	24 + WEIB(396, 0.342)	0.5 + ERLA(1.86, 1)
20	532BE02	24 + WEIB(427, 0.478)	0.5 + ERLA(1.19, 2)
21	532SI01	8760	2

Berdasarkan hasil fitting dengan menggunakan input analyzer, penulis menggunakan distribusi Weibull untuk waktu antar kerusakan atau MTTF. Salah satu distribusi yang dapat memodelkan waktu antar kerusakan adalah Distribusi Weibull (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017). Untuk memodelkan waktu perbaikan, penulis menggunakan Distribusi Erlang. Distribusi Erlang adalah salah satu yang dapat dugunakan untuk memodelkan waktu perbaikan (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5
PERANCANGAN MODEL SIMULASI

Pada Bab 5 akan dijelaskan mengenai proses pemodelan yang dilakukan oleh penulis. Penulis melakukan pemodelan konseptual dan simulasi. Model yang dibangun terdiri atas beberapa submodel, yaitu submodel kegagalan atau *failure* dan submodel produksi.

5.1 Model Konseptual

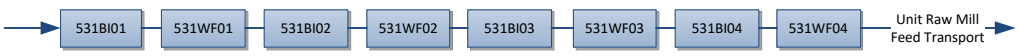
Pada Subbab ini akan ditampilkan pemodelan konsep yang dilakukan oleh penulis.

5.1.1 Submodel *Failure*

Submodel *failure* adalah model yang mendeskripsikan sistem kegagalan pabrik. Dalam submodel ini, penulis menggunakan *Reliability Block Diagram* dan *flow diagram* untuk memodelkan konsep kegagalan sistem.

5.1.1.1 *Reliability Block Diagram*

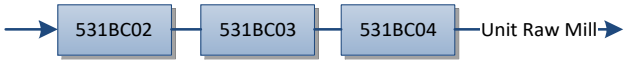
Reliability Block Diagram adalah representasi grafis pada sebuah komponen pada sebuah sistem dan bagaimana hubungan antar komponen tersebut (Elsayed, 2012). *Reliability Block Diagram* dibangun berdasarkan peralatan pada setiap unit. Gambar 5.1 menampilkan *reliability block diagram* pada subsistem *Raw mill Feed*



Gambar 5. 1 *Reliability Block Diagram Raw mill Feed* (Data Primer, 2019)

Berdasarkan gambar 5.1 dapat diketahui bahwa subsistem *Raw mill Feed* yang terdiri dari *equipment* 531BI01, 531WF01, 531BI02, 531WF02, 531BI03, 531WF03, 531BI04, dan 531WF04 bersifat seri. Apabila salah satu *equipment* mengalami kerusakan, maka subsistem *Raw mill Feed* akan *stop*.

Gambar 5.2 menampilkan *reliability block diagram* pada subsistem *Raw mill Feed Transport.*



Gambar 5. 2 *Reliability Block Diagram Raw mill Feed Transport* (Data Primer, 2019)

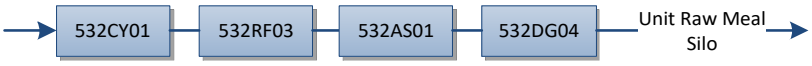
Berdasarkan gambar 5.2 dapat diketahui bahwa subsistem *Raw mill Feed Transport* yang terdiri dari *equipment* 531BC02, 531BC03, dan 531BC04 bersifat seri. Apabila salah satu *equipment* mengalami kerusakan, maka subsistem *Raw mill Feed Transport* akan *stop*.

Gambar 5.3 menampilkan *reliability block diagram* pada subsistem *Raw mill.*

Gambar 5. 3 *Reliability Block Diagram Raw mill* (Data Primer, 2019)

Berdasarkan gambar 5.3 dapat diketahui bahwa subsistem *Raw mill* yang terdiri dari *equipment* 532RF02, 532RM01, dan 532SR01 bersifat seri. Apabila salah satu *equipment* mengalami kerusakan, maka subsistem *Raw mill* akan *stop*.

Gambar 5.4 menampilkan *reliability block diagram* pada subsistem *Raw Meal Transport.*



Gambar 5. 4 *Reliability Block Diagram Raw Meal Transport* (Data Primer, 2019)

Berdasarkan gambar 5.4 dapat diketahui bahwa subsistem *Raw Meal Transport* yang terdiri dari *equipment* 532CY01, 532RF03, 532AS01, dan 532DG04 bersifat seri. Apabila salah satu *equipment* mengalami kerusakan, maka subsistem *Raw Meal Transport* akan *stop*.

Gambar 5.5 menampilkan *reliability block diagram* pada subsistem *Raw Meal Silo.*

Gambar 5. 5 *Reliability Block Diagram Raw Meal Silo* (Data Primer, 2019)

Berdasarkan gambar 5.5 dapat diketahui bahwa subsistem *Raw Meal Silo* yang terdiri dari *equipment* 532BE02, 532AS02, dan 532SI01 bersifat seri. Apabila salah satu *equipment* mengalami kerusakan, maka subsistem *Raw Meal Silo* akan *stop*.

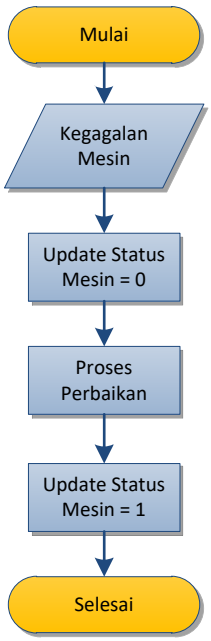
Gambar 5.6 menampilkan *Reliability Block Diagram* Unit *Raw mill* secara menyeluruh yang terdiri dari 5 sub unit.

Gambar 5. 6 *Reliability Block Diagram* Sistem *Raw mill* (Data Primer, 2019)

Berdasarkan gambar 5.6 dapat diketahui bahwa setiap subsistem berhubungan secara seri. Sehingga apabila salah satu subsistem mengalami kerusakan, maka seluruh sistem *Raw mill* akan *stop*.

5.1.1.2 *Flow Diagram Sistem Failure*

Penulis menggunakan flow diagram untuk memodelkan konsep sistem kegagalan pada sistem *Raw mill*. Gambar 5.7 menampilkan flow diagram sistem kegagalan.



Gambar 5. 7 Model Konseptual Submodel Kegagalan (Data Primer, 2019)

Gambar 5.7 menunjukkan model konseptual kegagalan pada setiap mesin. Berikut ini merupakan penejelasan model konseptual kegagalan:

1. Input waktu antar kegagalan mesin

   Model konseptual submodel kegagalan dimulai dari input data waktu antar kegagalan mesin. Waktu antar kegagalan mesin ini didapatkan dari hasil *fitting distribution* menggunakan metode simulasi diskrit.

2. Update status mesin

   Seletah kerusakan datang, dilakukan *update* status menjadi 0, 0 berarti rusak. Status ini nantinya akan membuat penulis lebih mudah dalam mengindentifikasi availabilitas mesin.

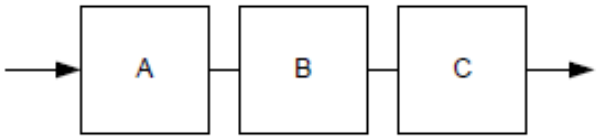
3. Proses Perbaikan

   Pada tahap ini dilakukan *delay* proses perbaikan. Waktu proses perbaikan ditentukan berdasarkan hasil *fitting distribution* yang telah dilakukan sebelumnya.

4. Update status mesin

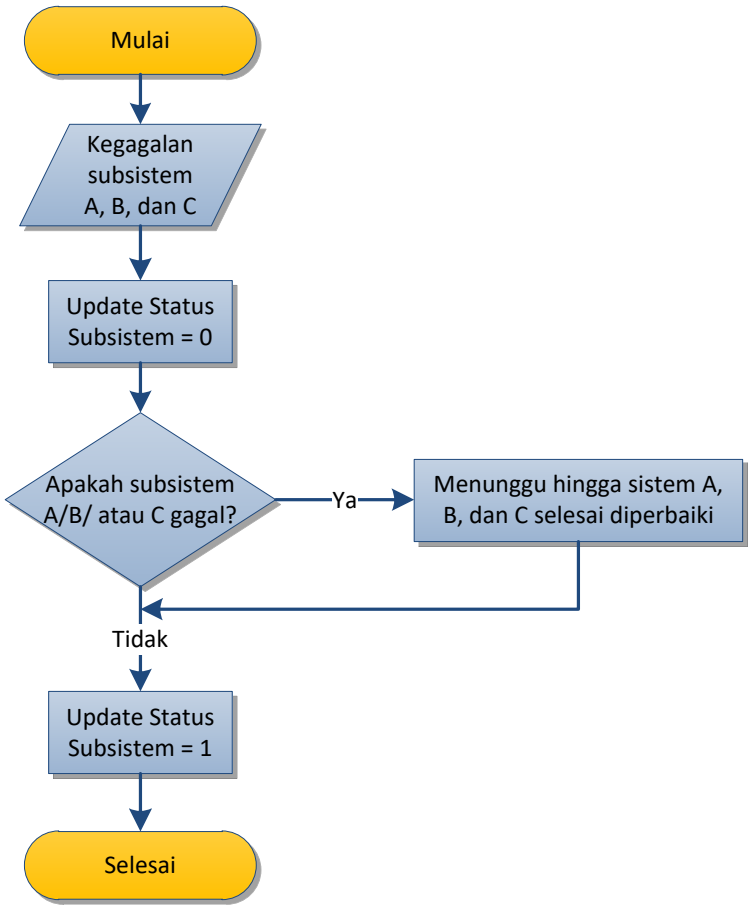
   Pada tahap ini dilakukan *update* kembali status mesin menjadi 1. Status mesin sama dengan 1 berarti mesin sudah dapat beroperasi dengan baik.

Selain submodel kegagalan setiap mesin, penulis juga memodelkan subsistem yang bersifat seri atau paralel. Gambar 5.8 menampilkan flow diagram sistem seri yang direpresentasikan dengan gambar berikut:



Gambar 5. 8 Contoh Subsistem Seri (Data Primer, 2019)

Berdasarkan gambar 5.8, dapat diketahui bahwa ketiga subsistem A, B, dan C bersifat seri, sehingga apabila salah satu subsistem tersebut gagal, maka keseluruhan sistem akan mati.



Gambar 5. 9 *Flow Diagram* Sistem Seri (Data Primer, 2019)

Berikut ini merupakan penejelasan dari model konseptual sistem seri:

1. Kegagalan subsistem A, B, dan C

Input dari submodel rangkaian seri ini adalah data waktu kedatangan kerusakan subsistem A, B, dan C

2. *Update* status subsistem

   Apabila terjadi kerusakan, maka status subsistem diubah menjadi 0, yang artinya rusak

3. Evaluasi kegagalan subsistem A, B, dan C

   Langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi kegagalan subsistem A, B, dan C. Apabila salah satu subsistem tersebut mengalami kerusakan, maka sistem tersebut akan mati. Sehingga perlu dilakukan perbaikan pada tahap selanjutnya.

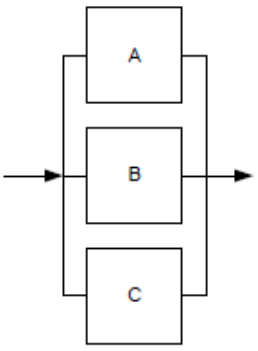
4. Menunggu hingga ketiga subsistem diperbaiki

   Apabila terdapat salah satu subsistem A, B, dan C yang rusak, maka dilakukan perbaikan hingga ketiga subsistem dapat dioperasikan.

5. *Update* status subsistem

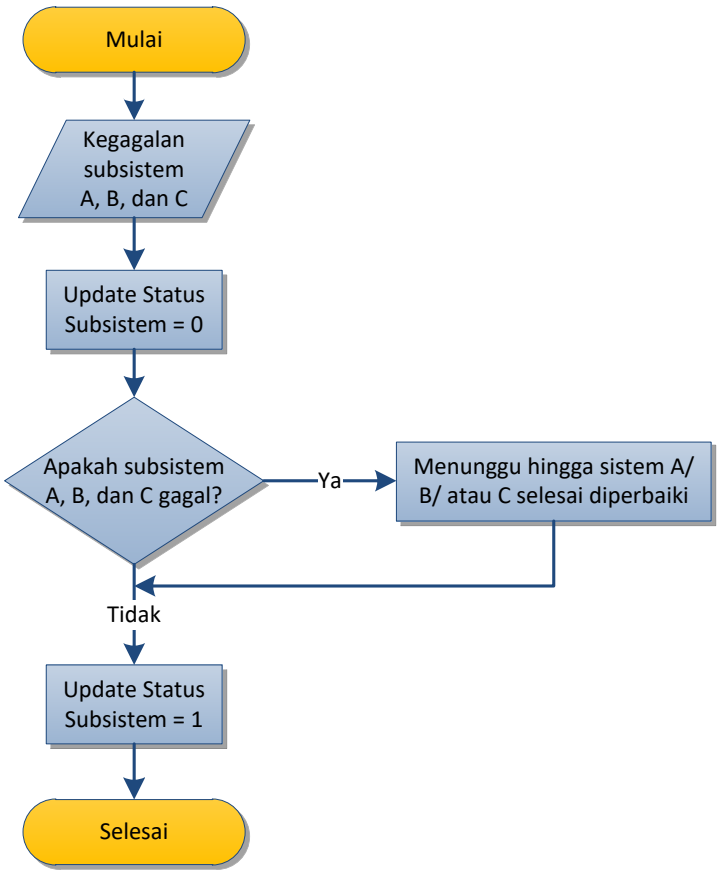
   Setelah dilakukan perbaikan, maka status subsistem di-*update* menjadi 1, yang berarti dapat dioperasikan.

Gambar 5.10 menampilkan flow diagram subsistem paralel yang direpresentasikan dengan gambar berikut:



Gambar 5. 10 Contoh Subsistem Paralel (Data Primer, 2019)

Berdasarkan gambar 5.10, dapat diketahui bahwa ketiga subsistem A, B, dan C bersifat paralel, apabilan subsistem A/B/ atau C mati, sistem tidak akan mati, namun apabila seluruh subsistem A, B, dan C mati, maka sistem akan mati.



Gambar 5. 11 *Flow Diagram* Sistem Paralel (Data Primer, 2019)

Berikut ini merupakan penjelasan dari model konseptual sistem paralel:

1. Kegagalan subsistem A, B, dan C

   Input dari submodel rangkaian seri ini adalah data waktu kedatangan kerusakan subsistem A, B, dan C
2. *Update* status subsistem

   Apabila terjadi kerusakan, maka status subsistem diubah menjadi 0, yang artinya rusak
3. Evaluasi kegagalan subsistem A, B, dan C

   Langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi kegagalan subsistem A, B, dan C. Apabila ketiga subsistem tersebut mengalami kerusakan, maka sistem tersebut akan mati. Sehingga perlu dilakukan perbaikan pada tahap selanjutnya.
4. Menunggu salah satu subsistem diperbaiki

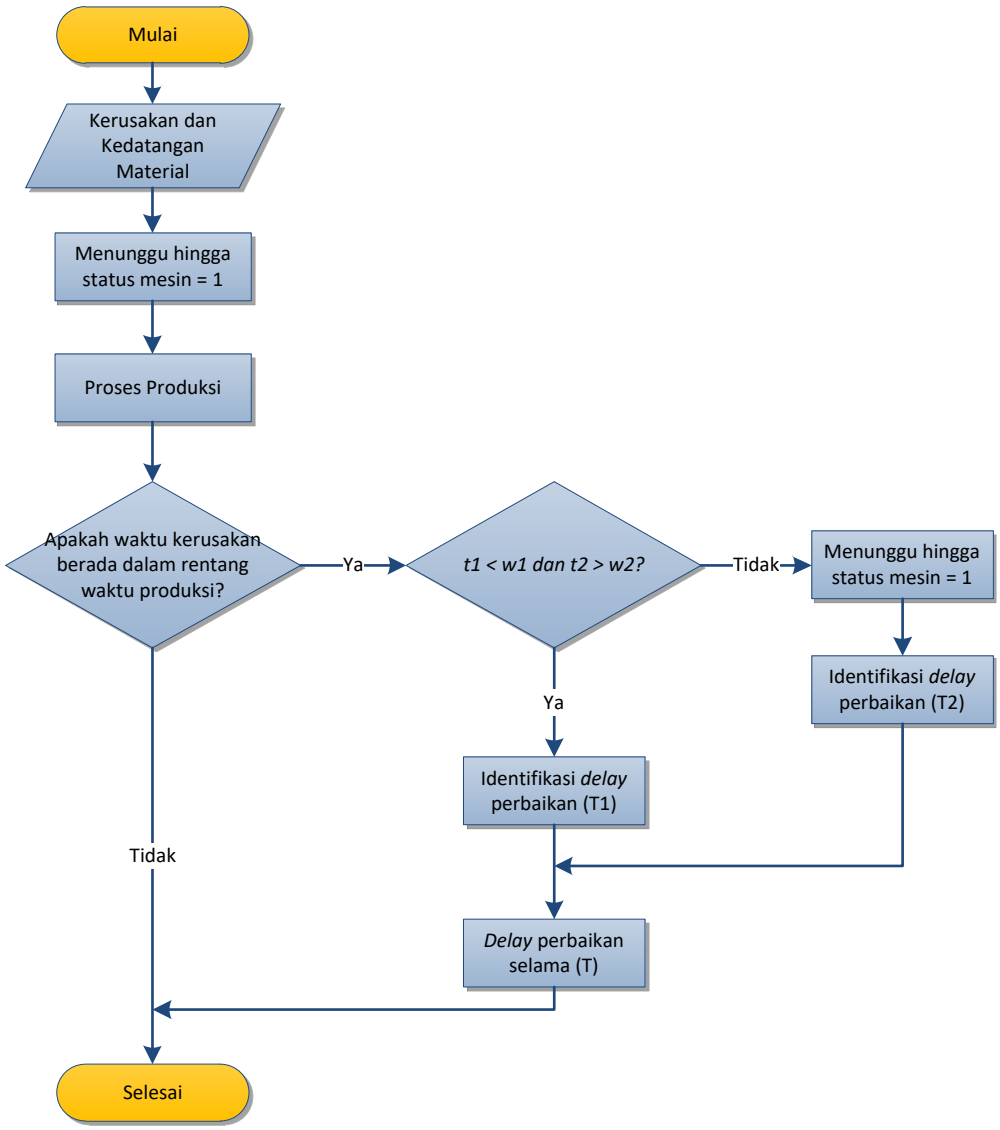
   Apabila terdapat salah satu subsistem A, B, dan C yang rusak, maka dilakukan perbaikan hingga salah satu subsistem dapat dioperasikan.

5. *Update* status subsistem

   Setelah dilakukan perbaikan, maka status subsistem di-*update* menjadi 1, yang berarti dapat dioperasikan.

5.1.2 Submodel Sistem Produksi

Dalam memodelkan sistem produksi, penulis menerapkan sistem *black box*, sehingga proses produksi yang disimulasikan hanya berdasarkan unit dan tidak memodelkan masing-masing sub-unit pada pabrik. Penulis memodelkan sistem produksi dengan mempertimbangkan kombinasi terjadinya kegagalan pada saat proses produksi yang telah dijelaskan pada bagian 4.2.2. Gambar 5.12 menampilkan model konseptual submodel sistem produksi.



Gambar 5. 12 Model Konseptual Subsistem Produksi (Data Primer, 2019)

Model konseptual yang digunakan dalam memodelkan subsistem produksi antara subsistem *Raw mill Feed, Raw mill Feed Transport, Raw mill, Raw Meal Transport*, dan *Raw Meal Silo* adalah sama. Berikut ini merupakan penjelasan dari model konseptual subsistem produksi:

1. *Input* kerusakan kedatangan material

   Submodel produksi berjalan berdasarkan hasil simulasi pada submodel kegagalan dan jumlah material yang masuk.
2. Menunggu hingga status unit = 1

Apabila terjadi keruskan pada saat sebelum produksi dimulai maka produksi tidak dapat dilakukan hingga status mesin menjadi 1, atau dapat beroperasi. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memodelkan kombinasi kerusakan yang dijelaskan pada bagian 4.2.2.

3. Proses produksi

   Setelah status unit kembali mejadi 1, maka proses produksi dapat dilakukan berdasarkan laju produksi setiap unit.

4. Evaluasi waktu kerusakan dan identifikasi delay kerusakan

   Pada bagian ini dilakukan evaluasi waktu kerusakan dengan berbagai kombinasi, diantaranya adalah sebagai berikut:

   a. w2<t1 dan w1<t1

      Kombinasi ini merupakan kerusakan yang tidak terjadi pada rentang waktu produksi.Kejadian kerusakan ini tidak akan mempengaruhi proses produksi, sehingga material dapat diproses pada tahap selanjutnya.

   b. t1<w1 dan t2>w2

      Kombinasi ini merupakan kerusakan yang dimulai setelah proses produksi dimulai dan berakhir sebelum proses produksi berakhir. Pada kombinasi ini, waktu material berada dalam unit produksi bertambah sebesar *T1*.

      $$T = w_2 - w_1 \quad (5.1)$$

      Dimana:

      T1 = waktu tambahan delay

      w1 = waktu mulai perbaikan

      w2 = waktu selesai perbaikan

   c. t1<w1 dan t2<w2

      Pada kombinasi kerusakan ini, kerusakan dimulai di tengah proses produksi namun hingga waktu produksi yang seharusnya berakhir, kerusakan masih terjadi. Terjadinya kombinasi ini mengakibatkan waktu material berada dalam unit bernilai T2. Namun, sebelum dilakukan delay kerusakan, langkah selanjutnya adalah menunggu

hingga status unit menjadi 1. Berikut ini merupakan rumus perhitungan T2.

$$T2 = t_2 - w_1 \quad (5.\ 2)$$

Dimana:

T2 = waktu tambahan delay

w1 = waktu mulai perbaikan

t2 = waktu selesai produksi

5. *Delay* Kerusakan

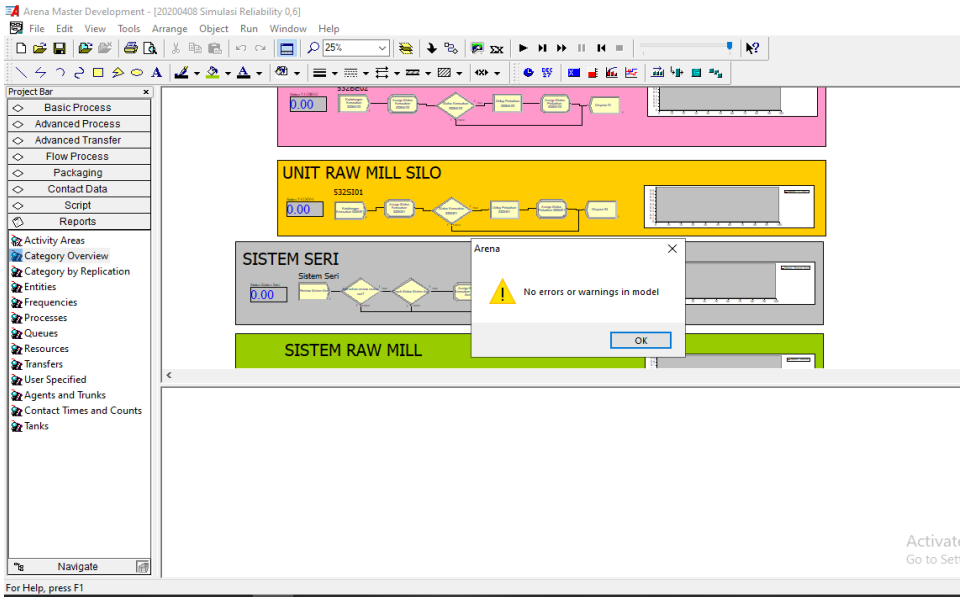
   Proses ini dilakukan apabila kerusakan terjadi pada rentang waktu produksi. Waktu *delay* kerusakan ini ditentukan berdasarkan T1 dan T2 yang telah ditentukan sebelumnya.

5.2 Verifikasi Model

Menurut (Harrel, Gosh, & Bowden, 2004), tujuan melakukan verfiikasi adalah untuk menghindari terjadinya *error* pada model simulasi. Terdapat dua jenis *error* yaitu *semantic error* dan *syntax error*. *Syntax error* adalah kesalahan penulisan kode atau notasi sehingga model tidak dapat berjalan. Sedangkan *semantic error* adalah kesalahan logika model sehingga tidak sesuai dengan model konseptual.

5.2.1 Verifikasi *Syntax Error*

Dalam melakukan verifikasi *syntax error*, penulis menggunakan fasilitas *debug* pada metode simulasi diskrit yang terdapat pada *software* simulasi Arena 14.00 yang digunakan. Dari hasil penggunaan *debug* tidak terdapat *syntax error* atau kesalahan penulisan kode atau notasi pada model simulasi.



Gambar 5. 13 Kotak dialog hasil *debug* pada *software* Arena (Data Primer, 2019)

5.2.2 Verifikasi *Semantic Error*

Salah satu cara untuk melakukan verifikasi *semantic error* adalah dengan melihat animasi. Animasi digunakan untuk melakukan verifikasi secara visual dengan memperhatikan apakah simulasi berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Animasi dapat dijalankan sepelan mungkin agar analis dapat mengikuti alur simulasi secara visual (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017). Teknik verifikasi dengan melihat animasi dapat juga dilakukan secara acak pada titik-titik waktu tertentu. Teknik ini cenderung lebih praktis namun hasilnya tidak seteliti dan sebaik apabila kita memperhatikan animasi secara keseluruhan.

Pada penelitian ini, variabel yang ditampilkan pada subsistem adalah status kegagalan subsistem, status kegagalan sistem secara keseluruhan, dan simulasi produksi dan *calendar day*. Apabila kegagalan terjadi pada rentang proses produksi, maka waktu material di dalam sistem ditambahkan dengan waktu *repair*.

5.3 Penentuan Jumlah Replikasi

Karakter dari input yang random dalam simulasi menyebabkan simulasi dilakukan secara berulang. Satu kali percobaan dengan suatu model simulasi mewakili satu sampel. Dengan banyaknya proses dan entitas dalam suatu model simulasi, ditambah dengan bilangan random sebagai input simulasi, maka hamper

bisa dipastikan bahwa *output* suatu percobaan (*run*) akan berbeda dengan percobaan lainnya. Untuk mendapatkan sampel sejumlah *n* kali. Tanpa pengulang (replikasi), *output* suatu model simulasi tidak akan membentuk suatu rentang estimasi. Untuk mendapatkan estimasi pada interval yang dapat diterima, maka *n* harus ditentukan sedemikian rupa. Semakin kecil rentang suatu estimasi, semakin baik kualitas informasi yang diberikan. Pada prinsipnya penentuan kecukupan jumlah replikasi dalam simulasi sama dengan penentuan kecukupan data atau sampel dalam suatu observasi (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017).

Dalam proses penentuan jumlah replikasi, penulis menggunakan parameter *calendar day*. *Calendar day* adalah waktu operasional pabrik untuk memenuhi *demand* produksi dalam setiap bulan atau tahun.. Parameter ini digunakan karena sudah dapat merepresentasikan seluruh sistem. Untuk penulis terlebih dahulu menentukan jumlah replikasi sebagai hipotesis awal kecukupan jumlah replikasi. Penulis menentukan replikasi awal sejumlah 10. Berikut ini merupakan hasil parameter *calendar day* dalam 10 replikasi.

Tabel 5. 1 Hasil Parameter *Calendar day/*tahun (hari)

Replikasi	***Calendar day*/tahun (hari) simulasi**	***Calendar day*/tahun (hari) eksisting**
1	248	245
2	237	
3	227	
4	250	
5	242	
6	240	
7	229	
8	258	
9	215	
10	246	
Rata-rata	**239,2**	**245**
Standar Deviasi	**11,59**	**0**

Sumber: (Data Primer, 2019)

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai *hw* berdasarkan hasil *running* simulasi. Berdasarkan hasil simulasi, nilai *hw* hasil simulasi sebesar 13,65. Dalam penelitian ini, penulis menetapkan *error* tidak melebihi 5% dari data

historis. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *hw* yang diinginkan melebihi hasil perhitungan berikut:

hw = 5% (245) = 12,25

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut di atas, dapat diketahui bahwa *hw* simulasi melebihi *hw* yang diharapkan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa replikasi sebanyak 10 kali masih kurang. Berikut ini rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah replikasi yang diperlukan:

$$n' = n\frac{hw^2}{(hw'^2)} = 10\frac{(13{,}65)^2}{(12{,}25)^2} = 12{,}41 \approx 13$$

Sehingga dari perhitungan di atas, penulis melakukan replikasi sebanyak 13 kali.

5.4 Validasi Model

Validasi model adalah proses menentukan apakah model telah merepresentasikan *real system* dengan akurat. Jika verifikasi berfokus pada membuat model dengan benar (caranya), maka validasi lebih berfokus pada model yang benar (hasilnya) (Siswanto, Lattifianti, & Wiratno, 2017).

Secara statistik, metode umum yang praktis digunakan untuk validasi suatu model adalah dengan membandingkan performansi model dengan sistem actual. Apabila data pada sistem aktual tersedia, maka uji statistik dapat dengan mudah dilakukan. Uji *student's t* dilakukan untuk menentukan apakah data sampel dari kedua model dan sistem aktual memiliki parameter populasi yang sama, sedangkan *F-test* dapat dilakukan untuk menguji persamaan variansi dari sistem aktual dan simulasi. Karena yang diperbandingkan adalah performansi sistem, dalam hal ini adalah *output* dari model simulasi, maka pendekatan ini disebut dengan *black box validation*.

Adapun hasil simulasi yang akan divalidasi adalah data *availability* pada tabel 5.2 berikut:

Tabel 5. 2 Data *output availability* simulasi dan eksisting

Replikasi	*Availability* Simulasi	*Availability* eksisting
1	0,8131	0,7
2	0,7211	0,7
3	0,7092	0,7
4	0,7654	0,7
5	0,6815	0,7
6	0,7757	0,7
7	0,7187	0,7
8	0,7394	0,7
9	0,5955	0,7
10	0,7447	0,7
11	0,7923	0,7
12	0,7781	0,7
13	0,6335	0,7

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berikut ini langkah validasi dengan Uji student's t yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Menentukan hipotesa

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

Dimana:

μ_1 = rata-rata populasi hasil simulasi

μ_2 = rata-rata populasi eksisting

Apabila H_0 secara statistic dapat dibuktikan benar, maka artinya sistem aktual dan model simulasi tidak berbeda secara signifikan atau model dapat dikatakan valid. Namun apabila yang diterima adalah pernyataan kedua atau H_1 artinya model tidak valid.

Langkah 2: Menentukan α (derajat *error*)

Penulis menggunakan α (derajat *error*) sebesar 5% dan *df* sebanyak 24. Sehingga nilai t(α,*df*) sebesar 2,064.

Langkah 3: Uji *student's t*

Berikut ini merupakan hasil uji hipotesis *student's t* dengan menggunakan *data analysis* pada Microsoft Excel.

Tabel 5. 3 Hasil uji *student's t*

Uji *Student's t*	*Simulasi*	*Eksisting*
Rata-rata	0,728323	0,7
Variansi	0,003925	0
Penelitian	13	13
Pooled Variance	0,001963	
Hipotesis perbedaan rata-rata	0	
df	24	
t Stat	1,629942	
P(T<=t) one-tail	0,058085	
t Critical one-tail	1,710882	
P(T<=t) two-tail	0,11617	
t Critical two-tail	2,063899	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan hasil data analysis di atas, berikut ini merupakan rangkuman hasi uji validasi.

Tabel 5. 4 Rangkuman Hasil Validasi

Paramater	T Hitung	T Tabel (Nilai Kritis)		Kesimpulan
		Batas Bawah	Batas Atas	
Calendar day	1,629942	-2,06389856	2,063898562	**Terima H0**

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan Tabel 5.4 dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan populasi hasil simulasi dan kondisi eksisting karena hasil *t* hitung berada pada rentang *critical value*. Selain itu, hasil perhitungan *p-value* menunjukkan 0,11617 yang berarti lebih besar dari 0,05 sehingga model simulasi dapat disimpulkan valid.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6
HASIL DAN PEMBAHASAN

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

6.1 Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, didapatkan beberapa parameter *ouput* yang dapat diukur untuk menilai kinerja dari sistem eksisting. Pada penelitian ini, penulis menganalisis avalaibilitas dan *calendar day* sebagai kriteria performansi.

Tabel 6. 1 Rangkuman Performansi Kondisi Eksisting

Replikasi	Availabilitas Sistem	*Calendar Day* (hari)
1	0,8131	248
2	0,7211	237
3	0,7092	227
4	0,7654	250
5	0,6815	242
6	0,7757	240
7	0,7187	229
8	0,7394	258
9	0,5955	215
10	0,7447	246
11	0,7923	243
12	0,7781	248
13	0,6335	220
Rata-rata	**0,7283**	**239**

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan Tabel 6.1, dapat diketahui bahwa rata-rata availabilitas sistem adalah 0,7283 dan rata-rata *calendar day* selama 239 hari. Selanjutnya dilakukan evaluasi availabilitas sistem pada setiap *equipment* untuk mengetahui *equipment* yang memiliki availabilitas paling rendah. Availabilitas sistem didapatkan dari hasil perhitungan availabilitas sistem yang tersusun secara seri.

Tabel 6. 2 Data Availabilitas per *equipment* sistem eksisting

No	Parameter *Output Equipment*	Replikasi													Rata-rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	**Availabilitas 532SR01**	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673	0,8673
2	**Availabilitas 531BI02**	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737	0,8737
3	**Availabilitas 531BI03**	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766	0,8766
4	**Availabilitas 532CY01**	0,896	0,8991	0,8969	0,8901	0,8975	0,8891	0,8942	0,8002	0,8883	0,8936	0,8843	0,8937	0,8798	0,8839
5	**Availabilitas 532SI01**	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849	0,8849
6	**Availabilitas 532RF03**	0,8965	0,8965	0,892	0,8965	0,8965	0,8585	0,8961	0,8918	0,8965	0,8965	0,8963	0,8965	0,8241	0,8865
7	**Availabilitas 532RM01**	0,8948	0,8917	0,8899	0,8995	0,8837	0,8923	0,8985	0,8787	0,8877	0,8934	0,8962	0,889	0,8879	0,8907
8	**Availabilitas 532BE02**	0,8757	0,87	0,9	0,9007	0,8996	0,8999	0,8991	0,8959	0,9005	0,8993	0,9004	0,8876	0,8728	0,8938
9	**Availabilitas 531BI04**	0,8978	0,8899	0,8991	0,8957	0,8987	0,8971	0,8914	0,8902	0,8959	0,8965	0,8965	0,8988	0,8981	0,8957
10	**Availabilitas 531BI01**	0,8976	0,8979	0,8973	0,8958	0,8967	0,8974	0,8972	0,8962	0,8941	0,8977	0,8977	0,8973	0,8932	0,8965
11	**Availabilitas 532DG04**	0,9006	0,8963	0,8981	0,8918	0,9009	0,8988	0,9002	0,8973	0,9006	0,9009	0,896	0,9001	0,8987	0,8983
12	**Availabilitas 532RF01**	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036	0,9036
13	**Availabilitas 531WF04**	0,9958	0,9945	0,9995	0,993	0,9978	0,9914	0,9928	0,9895	0,9973	0,9963	0,9936	0,997	0,9927	0,9946
14	**Availabilitas 531BC02**	0,9925	0,997	0,996	0,9969	0,9973	0,9982	0,998	0,9933	0,9984	0,9958	0,9953	0,9967	0,9982	0,9968
15	**Availabilitas 531WF01**	0,9966	0,9958	0,999	0,9978	0,9943	0,9948	0,9981	0,999	0,9967	0,9978	0,9991	0,9936	0,9974	0,997
16	**Availabilitas 531BC04**	0,9981	0,9986	0,9982	0,9986	0,9992	0,999	0,9988	0,9985	0,9978	0,998	0,9982	0,9986	0,9994	0,9986
17	**Availabilitas 531BC03**	0,9996	0,9982	0,9994	0,9985	0,9993	0,9992	0,9982	0,9983	0,9988	0,9999	0,9987	0,9985	0,9987	0,9988
18	**Availabilitas 532AS02**	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989	0,9989
19	**Availabilitas 532AS01**	0,9975	0,9985	0,9988	0,9991	0,9996	0,9993	0,9994	0,9991	0,9997	0,9972	0,9995	0,9992	0,9998	0,9991
20	**Availabilitas 531WF02**	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994
21	**Availabilitas 531WF03**	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan tabel 6.2, dapat diketahui availabilitas *equipment* terendah sampai dengan yang tertinggi.

Dalam penelitian ini, penulis menjalankan 3 skenario ekperimentasi berdasarkan hasil simulasi dan berdasarkan hasil wawancara dengan Manager Pemeliharaan Mesin *Raw mill* PT XYZ.

6.2 Skenario 1

Pada skenario ini penulis melakukan simulasi dengan melakukan optimasi kegiatan *Plant Maintenance* yang berpengaruh terhadap nilai TTF (*Time to Failure*) dan TTR (*Time to Repair*) *equipment* sistem *Raw mill*. Berdasarkan hasil simulasi (tabel 6.2) dan hasil wawancara dengan Manager Pemeliharaan Unit *Raw mill* PT XYZ; *Equipment* yang dioptimasi adalah *Equipment* 532RM01 (*Vertical Raw mill), Equipment* 531WF04 (*Clay Weigh Feeder),* dan *Equipment* 532BE02 (*Belt Bucket Elevator).* Pemilihan ketiga *equipment* ini berdasarkan data gangguan yang diperoleh dari unit kerja. Ketiga *equipment* ini memiliki laju TTF yang lebih besar dibandingkan *equipment* lainnya. Ketiga *equipment* ini juga merupakan *critical part* di sistem *Raw mill* yang merupakan *part* yang sangat penting di sistem dan juga membutuhkan waktu pengadaan yang lebih lama dibandingkan *equipment* yang lainnya.

Pada skenario optimasi TTF (*Time to Failure*) dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penggantian *spare part* dengan mempertimbangkan laju keausan peralatan. Berdasarkan manual *spare part* dan *best practice*, apabila kondisi sudah mencapai 60% sudah seharusnya dilakukan penggantian. Namun, kondisi saat ini, terdapat *spare part* yang sudah tidak memenuhi standar tapi masih dipaksakan untuk dioperasikan karena alasan produksi atau pun alasan teknis lainnya. Dengan kondisi seperti itu akan menyebabkan frekuensi *breakdown* semakin bertambah.
2. Optimasi kegiatan *Preventive Maintenance* yang terintegrasi dengan perencanaan *spare part* di sistem SAP Modul *Plant Maintenance.* Selain itu, dilakukan peningkatan frekuensi pemeliharaan yang dibuat di dalam sistem SAP.

3. Pemakaian *spare part* original dan berkualitas yang sesuai dengan spesifikasi sistem *Raw mill*.
4. Penerapan TPM (*Total Productive Maintenance*).

Pada skenario optimasi TTR (*Time to Repair*) dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penambahan jam lembur dan sumber daya pada saat terjadi *breakdown*,
2. Perbaikan prosedur kerja melalui *sharing knowledge* internal dan pelatihan eksternal ke industri sejenis atau pun ke tim expert,
3. Modernisasi peralatan kerja untuk mempercepat pekerjaan perbaikan.

Kegiatan *plant maintenance* yang dilakukan sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan skenario 1 dapat dilihat pada tabel 6.3 di bawah ini:

Tabel 6. 3 Kegiatan *plant maintenance* sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan skenario 1

Bulan	**Aktivitas Pemeliharaan Sebelum Perbaikan Skenario 1**	**Aktivitas Pemeliharaan Setelah Perbaikan Skenario 1**
Januari	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. *Autonomus Maintenance* 4. Penggantian Spare Part 5. PMC minimal 1 kali sepekan 6. *Adjust Working Pressure Roller* 7. *Adjust Layer Thickness roller* 8. *Sharing Knowledge* Mengenai *Hydraulic System* 9. *Resealing Hydraulic Cylinder*
Februari	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Pemakaian Spare Part Original 4. Penggantian *Clamping* dan Retorsi Baut

Tabel 6. 4 Kegiatan *plant maintenance* sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan skenario 1 (lanjutan)

Bulan	Aktivitas Pemeliharaan Sebelum Perbaikan Skenario 1	Aktivitas Pemeliharaan Setelah Perbaikan Skenario 1
Maret	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Modifikasi *Reject Box* 4. Penggantian *Seal* 5. Servis *Valve Block*
April	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Servis Valve Block 4. Flushing Oil
Mei	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Servis *Valve Block* 4. Servis *Sensor Limit*
Juni	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Servis *Valve Block* 4. Servis *Sensor Limit* 5. Flushing Oil 6. Cleaning Filter Element
Juli	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Kalibrasi Sensor Layer Thickness 4. Penggantian plat sensing
Agustus	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Servis Valve Block 4. Servis Sensor Limit 5. Flushing Oil 6. Cleaning Filter Element

Tabel 6. 5 Kegiatan *plant maintenance* sebelum dilakukan perbaikan dan setelah dilakukan perbaikan skenario 1 (lanjutan)

Bulan	Aktivitas Pemeliharaan Sebelum Perbaikan Skenario 1	Aktivitas Pemeliharaan Setelah Perbaikan Skenario 1
September	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Servis *Valve Block* 4. Servis *Sensor Limit* 5. *Flushing Oil* 6. *Cleaning Filter Element*
Oktober	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Servis *Valve Block* 4. Servis *Sensor Limit* 5. *Adjust Scrapper* 6. Modifikasi Jalur Return Oil 7. *Flushing Oil* 8. *Cleaning Filter Element*
November	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Servis *Valve Block* 4. Servis *Sensor Limit* 5. Modifikasi Jalur *Return Oil* 6. *Flushing Oil* 7. *Cleaning Filter Element*
Desember	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full	1. CILT (*Cleaning, Inspection, Lubrication, Thigthening*) 2. PMC pada saat silo full 3. Servis *Valve Block* 4. Servis *Sensor Limit* 5. Penggantian Filter Jalur Return Oil 6. *Flushing Oil* 7. *Cleaning Filter Element*

Sumber: (Data Primer, 2019)

Dari optimasi kegiatan *Plant Maintenance*/*Preventive Maintenance* yang dilakukan, TTF dan TTR *equipment* mengalami perubahan sesuai dengan data pada tabel 6.6 berikut:

Tabel 6. 6 Data Perubahan Hasil *Fitting* Distribusi TTF dan TTR *Equipment* setelah dilakukan perbaikan skenario 1

No	*Equipment*	Fitting Distribusi Eksisting		Fitting Distibusi Setelah Dilakukan Perbaikan skenario 1	
		TTF	TTR	TTF	TTR
1	532RM01	24 + WEIB(11.6, 0.203)	0.5 + ERLA(8.75, 1)	24 + WEIB(37.2, 0.277)	0.5 + ERLA(4.4, 1)
2	531WF04	48 + WEIB(162, 0.274)	0.5 + ERLA(4.9, 1)	936 + WEIB(49.2, 0.166)	0.5 + ERLA(4.5, 1)
3	532BE02	24 + WEIB(437, 0.475)	0.5 + ERLA(1.19, 2)	312 + WEIB(277, 0.222)	0.5 + ERLA(1.25, 2)

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan perubahan nilai TTF dan TTR tersebut, dilakukan simulasi skenario 1 dengan hasil simulasi yg dibandingkan dengan sistem eksisting adalah sebagai berikut:

Tabel 6. 7 Hasil Skenario 1

Replikasi	Skenario 1: Optimasi TTF dan TTR (532RM01, 531WF04, & 532BE02)			
	Availabilitas		*Calendar Day*	
	Simulasi	Eksisting	Simulasi	Eksisting
1	0,8082	0,7	247	245
2	0,7746	0,7	239	245
3	0,7876	0,7	249	245
4	0,7106	0,7	238	245
5	0,6201	0,7	225	245
6	0,8347	0,7	253	245
7	0,7475	0,7	240	245
8	0,8313	0,7	257	245
9	0,7275	0,7	226	245
10	0,7585	0,7	256	245
11	0,7447	0,7	230	245
12	0,8226	0,7	250	245
13	0,7335	0,7	226	245
Rata-rata	0,7616	0,7	241	245

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan tabel 6.6 dilakukan uji *student's t* untuk mengetahui perbedaan antara kondisi eksisting dengan skenario 1.

Tabel 6. 8 Hasil Uji *Student's t* Availabilitas Skenario 1

Uji *Student's t*	Skenario 1	Eksisting
Mean	0,761646154	0,7
Variance	0,003500744	0
Observations	13	13
Pooled Variance	0,001750372	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	3,756621702	
P(T<=t) one-tail	0,000486137	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	0,000972274	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel 6. 9 Hasil Uji *Student's t Calendar Day* Skenario 1

Uji *Student's t*	Skenario 1	Eksisting
Mean	241,2307692	245
Variance	137,1923077	0
Observations	13	13
Pooled Variance	68,59615385	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	-1,160271229	
P(T<=t) one-tail	0,128675313	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	0,257350626	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan hasil ekperimen yang dilakukan didapatkan rata-rata availabilitas sistem menjadi 0,7616 dan *calendar day* 241. Nilai availabilitas menunjukan nilai yang lebih baik dibanding kondisi eksisting dan nilai tersebut menunjukkan hasil yang signifikan karena *t Stat* berada di luar internal *t Critical two-tail*. Namun, *calendar day* tidak lebih baik dibandingkan kondisi eksisting karena nilainya lebih rendah dari nilai eksisting.

6.3 Skenario 2

Pada skenario ini penulis melakukan simulasi dengan melakukan optimasi pada pelaksanaan overhaul. Jadwal kegiatan overhaul yang telah direncanakan di PT XYZ adalah 19 hari dengan detail kegiatan pada tabel berikut:

Tabel 6. 10 Daftar Kegiatan Overhaul dan Kegiatan Yang Dioptimasi

No	AKTIVITAS PEKERJAAN	Durasi																																												Keterangan
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
***ATOX MILL* (532RM01)**																																														
1	Ganti *Roller Assembly*																																													
2	Balik *Wear Segment Roller* (1-3)																																													
3	Ganti *Fix Clamping Roller* (1-3)																																													Optimasi
4	Penggantian *Table*																																													
5	Ganti Plat *Body Mill*																																													
6	Ganti *Liner Dam Ring*																																													
7	Ganti *Cover Table*																																													
8	Ganti *Nozzle Ring*																																													
9	Ganti *Armour Ring*																																													
10	Pasang *Scraper Device*																																													
11	Ganti Oli *Maindrive Raw Mill*																																													Optimasi
12	*Realignment torque arm roller* 1 - 3																																													

Tabel 6. 11 Daftar Kegiatan Overhaul dan Kegiatan Yang Dioptimasi (lanjutan)

No	AKTIVITAS PEKERJAAN	Durasi																																						Keterangan
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
***SEPARATOR* (532SR01)**																																								
13	Ganti *Guide Vane* yang aus																																							
14	Ganti Rotor Separator Bagian atas (2 Kotak)																																							
15	- Ganti *Sealing Plat Separator*																																							
16	Ganti Oli dan Cek *Inner Part Gearbox Separator*																																							Optimasi
17	Ganti *Expantion Joint Separator*																																							Optimasi
***ROTARY INLET MILL* (532RF01)**																																								
18	Ganti Plat *Blade Rotor Rotary Inlet Mill*																																							
19	Ganti Luncuran *Inlet Rotary*																																							
20	Ganti Luncuran *Inlet Mill*																																							
***RAW MILL FEED BELT TRANSPORT* (531BC02)**																																								
21	Ganti *Belt*																																							
22	Ganti *Chute*																																							

Tabel 6. 12 Daftar Kegiatan Overhaul dan Kegiatan Yang Dioptimasi (lanjutan)

No	AKTIVITAS PEKERJAAN	Durasi																																				Keterangan
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
***BIN CLAY* (531BI04)**																																						
23	Ganti *Chain Rec. Clay*																																					Optimasi
24	Ganti *Head Sprocket Rec. Clay*																																					Optimasi
25	Ganti *Tail Sprocket Rec. Clay*																																					Optimasi
26	Ganti *Bearing Sprocket Tail 4 ea*																																					Optimasi
27	Ganti *Rail Chain Rec. Clay* 12x80x28000																																					Optimasi
28	Ganti *Belt Conveyor*																																					Optimasi
29	Ganti *Outlet Chute*																																					Optimasi
FEEDER BATU KAPUR (531WF01)																																						
30	Ganti Oli *Gear Box Rec Limestone*																																					Optimasi
31	Ganti Oli *Gear Box Belt Conveyor*																																					
32	Pasang *Belt Cleaner*																																					Optimasi
33	Pasang Dan *Repair Plate Rakine Rec Limestone*																																					
34	Ganti *Scraper Reclaimer Limestone*																																					
***SILICA FEEDER* (531WF02)**																																						
35	Pasang Kuku *Scraper Rec Silica*																																					Optimasi
36	Ganti *Plate Outlet Chute*																																					
37	Ganti *Oli Gear Box*																																					

Tabel 6. 13 Daftar Kegiatan Overhaul dan Kegiatan Yang Dioptimasi (lanjutan)

No	AKTIVITAS PEKERJAAN	Durasi																																				Keterangan
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
***CLAY FEEDER* (531WF04)**																																						
38	Ganti *Outlet Chute* 531 AF 01 (AF Clay)																																					
39	Ganti *Plate Bin Clay* Bagian Utara Dan Selatan																																					
40	Ganti Oli *Gear Box AF Clay*																																					Optimasi
41	Balik *Sprocket (Head) Dosimat Feeder*																																					
42	Ganti *Plate* Pengarah *Material* 531 BC 02																																					Optimasi
43	Ganti Pengarah *Material* 531 BC 03																																					Optimasi
44	Ganti *Belt Cleaner* 531 BC 03																																					Optimasi
***BUCKET ELEVATOR* (532BE02)**																																						
45	Ganti oli *gear box*																																					Optimasi
46	Ganti *bearing tension*																																					
47	Ganti *friction lining*																																					
48	Service *clamping connection*																																					Optimasi
49	Service timba-timba																																					

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan hasil wawancara dengan Manager Pemeliharaan *Raw mill* PT XYZ, dapat dilakukan optimasi di kegiatan *Plant Maintenance/Preventive Maintenance* yaitu dengan memasukkan kegiatan yang ada di kegiatan overhaul ke dalam list kegiatan *Preventive Maintenance* harian, mingguan ataupun bulanan, sehingga dapat dilakukan pengurangan durasi pelaksanaan overhaul yang awalnya 19 hari (456 jam) menjadi 12 hari (288 jam). Dari perubahan variabel tersebut diperoleh hasil skenario 2 sebagai berikut:

Tabel 6. 14 Hasil Skenario 2

Replikasi	**Skenario 2: Optimasi Pelaksanaan Overhaul**			
	Availabilitas		***Calendar Day***	
	Simulasi	**Eksisting**	**Simulasi**	**Eksisting**
1	0,8827	0,7	262	245
2	0,7894	0,7	251	245
3	0,757	0,7	235	245
4	0,8424	0,7	266	245
5	0,7596	0,7	250	245
6	0,8431	0,7	253	245
7	0,7757	0,7	240	245
8	0,8164	0,7	267	245
9	0,6646	0,7	229	245
10	0,8139	0,7	259	245
11	0,86	0,7	256	245
12	0,8473	0,7	262	245
13	0,7086	0,7	236	245
Rata-rata	0,7970	0,7	252	245

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel 6. 15 Hasil Uji *Student's t* Availabilitas Skenario 2

Uji *Student's t*	**Skenario 1**	**Eksisting**
Mean	0,796976923	0,7
Variance	0,003962204	0
Observations	13	13
Pooled Variance	0,001981102	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	5,554841649	
P(T<=t) one-tail	5,13859E-06	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	1,02772E-05	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel 6. 16 Hasil Uji *Student's t Calendar Day* Skenario 2

Uji *Student's t*	Skenario 1	Eksisting
Mean	251,2307692	245
Variance	158,525641	0
Observations	13	13
Pooled Variance	79,26282051	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	1,784282367	
P(T<=t) one-tail	0,043513538	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	0,087027077	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan hasil ekperimen yang dilakukan didapatkan rata-rata availabilitas sistem menjadi 0,7969 dan *calendar day* menjadi 252 hari. Nilai availabilitas menunjukan nilai yang lebih baik dibanding kondisi eksisting dan nilai tersebut menunjukkan hasil yang signifikan karena *t Stat* berada di luar internal *t Critical two-tail.* Nilai *calendar day* juga lebih baik dibandingkan kondisi eksisting, namun belum menunjukkan hasil yang signifikan karena nilai *t Stat* berada di dalam internal *t Critical two-tail.*

6.4 Skenario 3

Pada skenario ini penulis melakukan simulasi dengan melakukan penggabungan antara skenario 1 dan 2 yaitu dengan optimasi kegiatan *Plant Maintenance* yang berpengaruh terhadap TTF dan TTR 3 *equipment* (532RM01, 531WF04, dan 532BE02) dan mengurangi durasi pelaksanaan overhaul dari awalnya 19 hari (456 jam) menjadi 12 hari (288 jam).

Dari perubahan variabel tersebut diperoleh hasil skenario 3 sebagai berikut:

Tabel 6. 17 Hasil Skenario 3

Replikasi	Skenario 3: Optimasi TTF dan TTR 3 *Equipment* & Optimasi Overhaul			
	Availabilitas		*Calendar Day*	
	Simulasi	Eksisting	Simulasi	Eksisting
1	0,878	0,7	261	245
2	0,8396	0,7	253	245
3	0,8536	0,7	262	245
4	0,7824	0,7	253	245
5	0,6899	0,7	241	245
6	0,9023	0,7	267	245
7	0,8084	0,7	252	245
8	0,8984	0,7	272	245
9	0,7941	0,7	239	245
10	0,8361	0,7	265	245
11	0,812	0,7	243	245
12	0,8904	0,7	263	245
13	0,8097	0,7	242	245
Rata-rata	0,8304	0,7	255	245

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel 6. 18 Hasil Uji *Student's t* Availabilitas Skenario 3

Uji *Student's t*	Skenario 3	Eksisting
Mean	0,830376923	0,7
Variance	0,003410644	0
Observations	13	13
Pooled Variance	0,001705322	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	8,049228095	
P(T<=t) one-tail	1,41539E-08	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	2,83077E-08	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel 6. 19 Hasil Uji *Student's t Calendar Day* Skenario 3

Uji *Student's t*	Skenario 3	Eksisting
Mean	254,8462	245
Variance	121,9744	0
Observations	13	13
Pooled Variance	60,98718	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	3,21443	
P(T<=t) one-tail	0,001854	
t Critical one-tail	1,710882	
P(T<=t) two-tail	0,003709	
t Critical two-tail	2,063899	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Berdasarkan hasil ekperimen yang dilakukan didapatkan rata-rata availabilitas sistem menjadi 0,8304 dan *calendar day* menjadi 255 hari. Nilai availabilitas menunjukan nilai yang lebih baik dibanding kondisi eksisting dan menunjukkan hasil yang signifikan karena *t Stat* berada di luar internal *t Critical two-tail.* Nilai *calendar day* juga lebih baik dibandingkan kondisi eksisting dan menunjukkan hasil yang signifikan karena nilai *t Stat* berada di luar internal *t Critical two-tail.*

6.5 Analisa Perbandingan Skenario

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan skenario 1, 2, dan 3, penulis melakukan analisa terhadap parameter *output* yaitu availabilitas & *calendar day*. Tabel 6.13 menyajikan data perbandingan hasil simulasi ketiga skenario tersebut.

Tabel 6. 20 Perbandingan Availabilitas & *Calendar Day* Skenario 1,2, & 3 terhadap sistem eksisting dan target

	Parameter *Output*	**Simulasi**	**% Eksisting**	**% Target**
Skenario 1	Availabilitas	0,7616	9%	2%
		Lebih baik & signifikan		
	CD	241	-2%	-12%
		Tidak lebih baik & Tidak signifikan		
Skenario 2	Availabilitas	0,797	14%	6%
		Lebih baik & Signifikan		
	CD	251	2%	-8%
		Lebih baik & Tidak signifikan		
Skenario 3	Availabilitas	0,8304	19%	11%
		Lebih baik & Signifikan		
	CD	255	4%	-7%
		Lebih baik & Signifikan		

Sumber: (Data Primer, 2019)

Beberapa hasil analisa data parameter *output* adalah sebagai berikut:

1. Nilai availabilitas sistem pada simulasi skenario 1 lebih baik dan signifikan yaitu 0,7616 atau lebih besar 9% dibandingkan dengan eksisting dan 2% lebih baik dibandingkan dengan target. Hal ini berarti skenario optimasi kegiatan *plant maintenance* yang dilakukan untuk meningkatkan TTF telah memberikan hasil yang lebih baik dan signifikan. Namun untuk nilai *calendar day* yang dihasilkan tidak memberikan nilai yang lebih baik yaitu hanya 241 hari atau lebih kecil 2% dibanding eksisting atau lebih kecil 12% dibandingkan target. Hal ini terjadi karena pemilihan 3 *equipment* ini tidak sepenuhnya didasarkan pada peringkat nilai availabilitas terendah yang dihasilkan dari hasil simulasi. Pemilihannya didasarkan pada pertimbangan dari Manager Pemeliharaan *Raw mill* PT XYZ ketiga *equipment* merupakan *critical part* di sistem *Raw mill*.
2. Nilai availabilitas sistem pada simulasi skenario 2 lebih baik dan signifikan yaitu 0,797 atau lebih besar 14% dibandingkan sistem eksisting dan 6% lebih baik dibandingkan target. Hal ini berarti optimasi kegiatan *plant maintenance* dengan mengalihkan beberapa kegiatan overhaul ke list kegiatan *preventive maintenance* dapat mengurangi durasi overhaul dan mampu meningkatkan

availabilitas sistem secara signifikan. Untuk nilai *calendar day* yang dihasilkan memberikan nilai yang lebih baik namun tidak signifikan yaitu 251 hari atau lebih besar 2% dibandingkan sistem eksisting tapi masih lebih kecil 8% dibandingkan target.

3. Nilai availabilitas sistem pada simulasi skenario 3 lebih baik dan signifikan yaitu 0,8304 atau lebih besar 19% dibandingkan sistem eksisting dan 11% lebih besar dibandingkan target. Hal ini berarti kombinasi optimasi plant maintenance/preventive maintenance yang berpengaruh terhadap TTF dan TTR dan pengurangan durasi overhaul mampu meningkatkan availabilitas sistem secara signifikan. Begitu pun dengan nilai *calendar day* yang dihasilkan memberikan nilai yang lebih baik dan signifikan yaitu 255 hari atau lebih besar 4% dibandingkan dengan eksisting tapi masih kecil 7% dibandingkan target. Kegiatan-kegiatan yang dilakukan pada skenario ini belum bisa memberikan hasil yang ditargetkan.
4. Dari ketiga skenario yang disimulasikan, skenario 3 memberikan nilai availabilitas dan calendar day yang lebih baik dari skenario lainnya dibandingkan dengan sistem eksisting dan target. Begitu pun untuk nilai calendar day, nilai dari skenario 3 lebih baik dibandingkan skneario lainnya dan sistem eksisting. Namun, skenario tersebut belum memberikan nilai *calendar day* sesuai dengan yang ditargetkan.
5. Dari analisa yang dilakukan dapat diberikan pertimbangan untuk melakukan optimasi kegiatan *Preventive Maintenance* melalui optimasi dan pengintegrasian modul *Plant Maintenance* SAP yang sudah diterapkan di PT XYZ sehingga mampu menghasilkan beberapa data berikut yaitu:
    a. Frekuensi PMRI (*preventive maintenance, replacement, and inspection*) masing-masing equipment dalam sistem,
    b. Aturan penggantian komponen yang didasarkan pada laju keausan, performansi alat, tingkat kritikal dan urgensi *equipment* tersebut,
    c. Dampak perubahan teknologi pada keputusan penggantian
    d. Jumlah teknisi pemeliharaan dan kemampuan teknis minimal yang harus dimiliki,

e. Tingkat inventori *spare part* yang optimal yang disesuaikan dengan laju pemakaian,
f. Aturan urutan dan jadwal untuk pekerjaan pemeliharaan berdasarkan skala prioritas,
g. Sumber daya atau alat kerja yang harus disediakan untuk kegiatan pemeliharaan.

6. Dari analisa skenario yang dilakukan, penulis merekomendasikan untuk menerapkan skenario 3 pada optimasi kegiatan *preventive maintenance* di PT XYZ

BAB 7
KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab 7 akan dijelaskan kesimpulan yang dapat diambil dan saran yang dapat diberikan.

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini dilakukan simulasi sistem eksisting pemeliharaan mesin raw mill PT XYZ. Sistem yang telah dimodelkan diverifikasi menggunakan fungsi *debug* pada software Arena 14.00. Setelah itu, hasil simulasi divalidasi dengan menggunakan uji *Student's t*. Dari hasil simulasi tersebut diperoleh nilai availabilitas rata-rata sistem adalah 72,83% dan rata-rata *calendar day* selama 239 hari.
2. Pada penelitian ini dilakukan ekperimen skenario 1 yaitu skenario untuk peningkatan availabilitas sistem dengan mengoptimasi kegiatan *Preventive Maintenance/Plant Maintenance* pada 3 *equipment* yang memiliki availabilitas rendah sesuai dengan hasil simulasi dan merupakan *critical part*. Perbaikan skenario 1 tersebut berpengaruh terhadap nilai TTF (*Time To Failure*) dan TTR (*Time To Repair*). Berdasarkan hasil ekperimen yang dilakukan didapatkan rata-rata availabilitas sistem menjadi 76,16% dan *calendar day* 241 hari. Nilai availabilitas menunjukan nilai yang lebih baik dibanding kondisi eksisting dan nilai tersebut menunjukkan hasil yang signifikan setelah melalui validasi *student's t*. Namun, nilai *calendar day* tidak lebih baik dibandingkan kondisi eksisting karena nilainya lebih rendah dari nilai eksisting.
3. Pada penelitian ini dilakukan ekperimen skenario 2 yaitu skenario untuk peningkatan availabilitas sistem dengan mengoptimasi kegiatan *Preventive Maintenance/Plant Maintenance* yaitu dengan memasukkan

kegiatan yang ada di kegiatan overhaul ke dalam list kegiatan *Preventive Maintenance* harian, mingguan ataupun bulanan, sehingga dapat dilakukan pengurangan durasi pelaksanaan overhaul yang awalnya 19 hari (456 jam) menjadi 12 hari (288 jam). Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan didapatkan rata-rata avaliabilitas 79,69% dan *calendar day* 252 hari. Nilai availabilitas menunjukan nilai yang lebih baik dibanding kondisi eksisting dan nilai tersebut menunjukkan hasil yang signifikan setelah dilakukan uji *student's t*. Namun, nilai *calendar day* tidak lebih baik dibandingkan kondisi eksisting karena nilainya lebih rendah dari nilai eksisting.

4. Pada penelitian ini dilakukan ekperimen skenario 3 yaitu gabungan antara skenario 1 dan 2 dengan melakukan optimasi kegiatan *Preventive Maintenance/Plant Maintenance* pada 3 *equipment* yang memiliki availabilitas rendah dan merupakan *critical part* serta dengan memasukkan kegiatan yang ada di kegiatan overhaul ke dalam list kegiatan *Preventive Maintenance* harian, mingguan ataupun bulanan, sehingga dapat dilakukan pengurangan durasi pelaksanaan overhaul yang awalnya 19 hari (456 jam) menjadi 12 hari (288 jam). Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan didapatkan rata-rata availabilitas 83,04% dan *calendar day* 255 hari. Nilai availabilitas dan *calendar day* menunjukan nilai yang lebih baik dibanding kondisi eksisting dan nilai tersebut menunjukkan hasil yang signifikan setelah dilakukan uji *student's t*.
5. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, skenario yang direkomendasikan adalah skenario 3 karena memberikan nilai availabilitas dan calendar day yang lebih baik dari skenario lainnya dibandingkan dengan sistem eksisting dan target yaitu 83,04%. Begitu pun untuk nilai *calendar day*, nilai dari skenario 3 lebih baik dibandingkan skenario lainnya dan sistem eksisting yaitu 255 hari. Namun, skenario tersebut belum memberikan nilai *calendar day* sesuai dengan yang ditargetkan.

7.2 Saran

1. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan mengoptimasi semua *equipment* yang ada pada sistem *Raw mill*.
2. Melakukan analisis kelayakan finansial pada skenario yang terpilih.

DAFTAR PUSTAKA

Abbas, B. S., Steven, E., Christian, H., & Sumanto, T. (2009). Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin B.Flute Pada PT AMW. *INASEA*, 97-104.

Alrabghi, A., Tiwari, A., & Abdulkarim, A. (2017). Simulation Based Optimization of Joint Maintenanceand Inventory for Multi-components Manufacturing Systems. *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*.

Alsop, P. A. (2001). *The Cement Plant Operations Handbook.* United Kingdom: Tradeship Publications Ltd.

Altiok, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with Arena.* New Jersey: Elsevier.

Alya, M. F., & Afefya, I. H. (2018). Model Komprehensif Keandalan, Ketersediaan, dan Maintainability (RAM) untuk Evaluasi Sistem Industri.

Assauri, S. (2008). *Manajemen Produksi dan Operasi.* Surabaya: Erlangga.

Badar, M., Budiasih, E., & Alhilman, J. (2018). Analisis Performansi Mesin Menggunakan Metode Reliability, Availability, Maintainability (RAM) Analysis dan Penentuan Umur Mesin serta Maintenance Set Crew Optimal Menggunakan Life Cycle Cost (LCC) Analysis pada Mesin Dumping Line 1 di PT XYZ.

Bahri, H. S., & P., B. O. (2005). Analisis Keandalan Sebagai Dasar Optimasi Interval Pemeliharaan Pada Quay Container Crane Merk Kone Crane, Studi Kasus di PT Portek Indonesia.

Barbera, L., Crespo, A., Viveros, P., & Kristjanpoller, F. (2016). Analisis RAM proses penambangan; studi kasus proses peleburan tembaga di bidang penambangan.

Choudhary, D., & Tripathi, M. (2017). Reliability, Availability, and Maintainability Analysis of A Cement Plant: A Case Study.

Corvaro, F., Giacchetta, G., Marchetti, B., & Recanati, M. (2016). Studi Keandalan, Ketersediaan, Maintainability (RAM), pada kompresor reciprocating API 618.

Corvaro, F., Gianchetta, G., Machetti, B., & Recanati, M. (2017). Reliability, Availability, Maintainability (RAM) study . (3).

Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability.* london: Taylor & Francis Group.

Ebeling, C. E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.* United Kingdom: McGraw-Hill.

Elsayed, E. A. (2012). *Reliability Engineering.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Faulin, J., Juan, A. A., & Martorell, S. (2010). Simulation Moethods for Reliability and Availability of Complex Systems.

Feedback Instruments Ltd. (2006). *Digital Pendulum: Control in a Matlab Environment.* Sussex, UK: Feedback Instruments Ltd.

Groover, M. P. (2002). *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing* (Vol. 3rd). New Jersey: Prentice Hall.

Harrel, C., Gosh, B. K., & Bowden, R. O. (2004). *Simulation Usig Promodel* (Vol. 2nd ed). California: Mc-Graw Hill.

IEEE. (n.d.). *IEEE Citation Reference*. Retrieved from www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf

Kabib, M. (2012). Optimasi Perawatan di Industri Manufaktur. *Researchgate*.

Kelton, W. D., Sadowski, P., & Sadowski, D. A. (2002). *Simulation With Arena* (Vol. 2nd). Mc-Graw Hill.

(2019). *Laporan Produksi.*

Lewis, E. E. (1994). *Introduction to Reliability Engineering* (Vol. 2nd). Evanston: John Wiley & Sos, Inc.

Pamboedi, F. A. (2018). Perancangan Kebijakan Perawatan Mesin Cutting Pada Pabrik Pipa Dengan Menggunakan Reliability, Availability, Maintainability (RAM) Analysis dan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) (Studi Kasus: PT XYZ).

Rao, M. S., & Naikan, V. A. (2016). Review of Simulation Approaches in Reliability and Availability Modeling. (12(4)).

Sabouhi, H., Abbaspour, A., & Firuzabad, M. F. (2016). Reliability Modelling and Availability of Combined Cycle Power. (79).

Salsabila, N. Y., Siswanto, N., & Widodo, E. (2019). Analisis Availabilitas dengan mempertimbangkan inventori spare part dan penyangga menggunakan pendekatan simulasi (studi kasus: PT Petrowidada). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.

Saraswat, S., & Yadava, G. S. (2007). An Overview on Realibility, Availability, Maintainability, and Supportability (RAMS) Engineering. *25 No.3*.

Setiaji, G., & Runtuk, J. K. (2017). Perencanaan Penjadwalan Perawatan Preventif Pada Mesin Duplex di Pabrik Kertas.

Setiyana, B. (2007). Analisis Efisiensi Raw Grinding Mill Pada Proses Pembuatan Semen. *ROTASI, 9*, 60-65.

Sharda , B., & Bury, S. J. (2008). A Discrete Event Simulation Model For Realibility Modelling of A Chemical Plant .

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.

Siswanto, N., & Wiratno, S. E. (2017). Simulasi Sistem Diskrit.

Siswanto, N., Lattifianti, E., & Wiratno, S. E. (2017). *Simulasi Sistem Diskrit; Implementasi dengan Software Arena.* Surabaya: ITS Tekno Sains.

Sugiono, R., Mulyono, I. J., & Santosa, H. (2016). Penjadwalan Perawatan Mesin Glazing Line 5 di PT Adyabuana Persada.

Sujatman, E. S., Atmaji, F. T., & Supratman, N. A. (2016). Performance Assessment Berbasis Reliability Menggunakan Metode Reliability, Availability, Maintainability (RAM) dan Cost of Unreliability (COUR) pada Mesin Cinncinnati Milacron di Direktorat Aerostructure PT Dirgantara Indonesia.

Tanaka, K., & Sugeno, M. (1992). Stability analysis and design of fuzzy control. *Fuzzy Sets and Systems*, *45*, 135-156.

Zio, E. (2013). *The Monte Carlo Simulation Method for System Reliability and Risk Analysis*.

LAMPIRAN

Lampiran A : Data Hasil Simulasi

Tabel a. 1 Data Hasil Simulasi

Replikasi	Availabilitas Sistem	*Calendar Day* (hari)
1	0,8131	248
2	0,7211	237
3	0,7092	227
4	0,7654	250
5	0,6815	242
6	0,7757	240
7	0,7187	229
8	0,7394	258
9	0,5955	215
10	0,7447	246
11	0,7923	243
12	0,7781	248
13	0,6335	220
Rata-rata	**0,7283**	**239**

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel a. 2 Uji S*tudent's t Availability* Simulasi

Uji *Student's t*	*Simulasi*	*Eksisting*
Rata-rata	0,728323	0,7
Variansi	0,003925	0
Penelitian	13	13
Pooled Variance	0,001963	
Hipotesis perbedaan rata-rata	0	
df	24	
t Stat	1,629942	
P(T<=t) one-tail	0,058085	
t Critical one-tail	1,710882	
P(T<=t) two-tail	0,11617	
t Critical two-tail	2,063899	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel a. 3 Uji T Tabel *Availability* simulasi

Paramater	T Hitung	T Tabel (Nilai Kritis)		Kesimpulan
		Batas Bawah	Batas Atas	
Availability	1,629942393	-2,063898562	2,063898562	**Terima H0**

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel a. 4 Uji *student's t calendar day* simulasi

Uji Student's t	***Simulasi***	**Eksisting**
Rata-rata	238,6923	245
Variansi	158,5641	0
Penelitian	13	13
Pooled Variance	79,28205	
Hipotesis perbedaan rata-rata	0	
df	24	
t Stat	-1,80609	
P(T<=t) one-tail	0,041731	
t Critical one-tail	1,710882	
P(T<=t) two-tail	0,083462	
t Critical two-tail	2,063899	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel a. 5 Uji T Tabel *Calendar day* simulasi

Paramater	T Hitung	T Tabel (Nilai Kritis)		Kesimpulan
		Batas Bawah	Batas Atas	
Calendar Day	-1,80609	-2,063898562	2,063898562	Terima H0

Sumber: (Data Primer, 2019)

Lampiran B : Hasil Validasi Skenario 1

Tabel b. 1 Data Perbandingan Hasil Skenario 1 dan Eksisting

Replikasi	Skenario 1: Optimasi TTF dan TTR (532RM01, 531WF04, & 532BE02)			
	Availabilitas		*Calendar Day*	
	Simulasi	Eksisting	Simulasi	Eksisting
1	0,8082	0,7	247	245
2	0,7746	0,7	239	245
3	0,7876	0,7	249	245
4	0,7106	0,7	238	245
5	0,6201	0,7	225	245
6	0,8347	0,7	253	245
7	0,7475	0,7	240	245
8	0,8313	0,7	257	245
9	0,7275	0,7	226	245
10	0,7585	0,7	256	245
11	0,7447	0,7	230	245
12	0,8226	0,7	250	245
13	0,7335	0,7	226	245
Rata-rata	0,7616	0,7	241	245

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel b. 2 Uji S*tudent's t Availability* Skenario 1

Uji *Student's t*	Skenario 1	Eksisting
Mean	0,761646154	0,7
Variance	0,003500744	0
Observations	13	13
Pooled Variance	0,001750372	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	3,756621702	
P(T<=t) one-tail	0,000486137	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	0,000972274	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel b. 3 Uji S*tudent's t Calendar Day* Skenario 1

Uji *Student's t*	Skenario 1	Eksisting
Mean	241,2307692	245
Variance	137,1923077	0
Observations	13	13
Pooled Variance	68,59615385	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	-1,160271229	
P(T<=t) one-tail	0,128675313	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	0,257350626	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Lampiran C: Hasil Validasi Skenario 2

Tabel c. 1 Data Perbandingan Hasil Skenario 2 dan Eksisting

Replikasi	Skenario 2: Optimasi Pelaksanaan Overhaul			
	Availabilitas		*Calendar Day*	
	Simulasi	Eksisting	Simulasi	Eksisting
1	0,8827	0,7	262	245
2	0,7894	0,7	251	245
3	0,757	0,7	235	245
4	0,8424	0,7	266	245
5	0,7596	0,7	250	245
6	0,8431	0,7	253	245
7	0,7757	0,7	240	245
8	0,8164	0,7	267	245
9	0,6646	0,7	229	245
10	0,8139	0,7	259	245
11	0,86	0,7	256	245
12	0,8473	0,7	262	245
13	0,7086	0,7	236	245
Rata-rata	0,7970	0,7	251	245

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel c. 2 Uji S*tudent's t Availability* Skenario 2

Uji *Student's t*	Skenario 1	Eksisting
Mean	0,796976923	0,7
Variance	0,003962204	0
Observations	13	13
Pooled Variance	0,001981102	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	5,554841649	
P(T<=t) one-tail	5,13859E-06	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	1,02772E-05	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel c. 3 Uji S*tudent's t Calendar Day* Skenario 2

Uji *Student's t*	**Skenario 1**	**Eksisting**
Mean	251,2307692	245
Variance	158,525641	0
Observations	13	13
Pooled Variance	79,26282051	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	1,784282367	
P(T<=t) one-tail	0,043513538	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	0,087027077	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Lampiran 4: Hasil Validasi Skenario 3

Tabel d. 1 Data Perbandingan Hasil Skenario 3 dan Eksisting

Replikasi	Skenario 3: Optimasi TTF dan TTR 3 Equipment & Optimasi Overhaul			
	Availabilitas		*Calendar Day*	
	Simulasi	Eksisting	Simulasi	Eksisting
1	0,878	0,7	261	245
2	0,8396	0,7	253	245
3	0,8536	0,7	262	245
4	0,7824	0,7	253	245
5	0,6899	0,7	241	245
6	0,9023	0,7	267	245
7	0,8084	0,7	252	245
8	0,8984	0,7	272	245
9	0,7941	0,7	239	245
10	0,8361	0,7	265	245
11	0,812	0,7	243	245
12	0,8904	0,7	263	245
13	0,8097	0,7	242	245
Rata-rata	0,8304	0,7	255	245

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel d. 2 Uji S*tudent's t Availability* Skenario 3

Uji *Student's t*	Skenario 3	Eksisting
Mean	0,830376923	0,7
Variance	0,003410644	0
Observations	13	13
Pooled Variance	0,001705322	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	8,049228095	
P(T<=t) one-tail	1,41539E-08	
t Critical one-tail	1,71088208	
P(T<=t) two-tail	2,83077E-08	
t Critical two-tail	2,063898562	

Sumber: (Data Primer, 2019)

Tabel d. 3 Uji S*tudent's t Calendar Day* Skenario 3

Uji *Student's t*	**Skenario 3**	**Eksisting**
Mean	254,8462	245
Variance	121,9744	0
Observations	13	13
Pooled Variance	60,98718	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	24	
t Stat	3,21443	
P(T<=t) one-tail	0,001854	
t Critical one-tail	1,710882	
P(T<=t) two-tail	0,003709	
t Critical two-tail	2,063899	

Sumber: (Data Primer, 2019)

BIOGRAFI PENULIS

Nama lengkap penulis Nurfadhilah Jufri atau bisa dipanggil ila. Penulis lahir di desa Polewali, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan, 18 Juni 1985. Penulis merupakan anak pertama dari 4 orang bersaudara. Seorang Ibu dari 3 orang anak.

Penulis menempuh jenjang pendidikan di SD 13 Biru Watampone, SMP 3 Watampone, SMK Telkom Sandhy Putra 2 Makassar, STT Telkom Bandung (sekarang Institute Teknologi Telkom), Magister Manajemen Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis seorang karyawati di PT Semen Tonasa sebagai Manager Training & Knowledge Management.

Untuk informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini dapat dihubungi melalui email ilajufri2019@gmail.com atau nurfadhilah.jufri@sig.id.

Demikian dan terima kasih.