



TUGAS AKHIR – TI 184833

**PENGEMBANGAN MODEL EVALUASI *TOTAL COST OF OWNERSHIP*
UNTUK MENGESTIMASI UMUR EKONOMIS PADA SEBUAH SUBSISTEM
PRODUKSI YANG TERDIRI DARI BEBERAPA KOMPONEN (STUDI
KASUS DI INDUSTRI SEMEN)**

STANLEY SIMON
NRP. 02411640000101

DOSEN PEMBIMBING:
YUDHA ANDRIAN SAPUTRA S.T., M.B.A.
NIP. 198203122005011002

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



TUGAS AKHIR – TI 184833

**PENGEMBANGAN MODEL EVALUASI *TOTAL COST OF OWNERSHIP*
UNTUK MENGESTIMASI UMUR EKONOMIS PADA SEBUAH
SUBSISTEM PRODUKSI YANG TERDIRI DARI BEBERAPA
KOMPONEN (STUDI KASUS DI INDUSTRI SEMEN)**

STANLEY SIMON

NRP. 02411640000101

Dosen Pembimbing:

Yudha Andrian Saputra, S.T., M.B.A.

NIP. 198203122005011002

Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TI 184833

**DEVELOPMENT OF TOTAL COST OF OWNERSHIP EVALUATION
MODEL TO ESTIMATE ECONOMIC LIFE TIME IN A PRODUCTION
SUBSYSTEM CONTAINING SEVERAL COMPONENTS (CASE STUDY
IN CEMENT INDUSTRY)**

STANLEY SIMON

NRP. 02411640000101

Supervisor:

Yudha Andrian Saputra, S.T., M.B.A.

NIP. 198203122005011002

Department of Industrial and System Engineering
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN MODEL EVALUASI *TOTAL COST OF OWNERSHIP* UNTUK MENGESTIMASI UMUR EKONOMIS PADA SEBUAH SUBSISTEM PRODUKSI YANG TERDIRI DARI BEBERAPA KOMPONEN (STUDI KASUS DI INDUSTRI SEMEN)

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Persyaratan Penyelesaian Studi Strata Satu

Departemen Teknik Sistem dan Industri

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

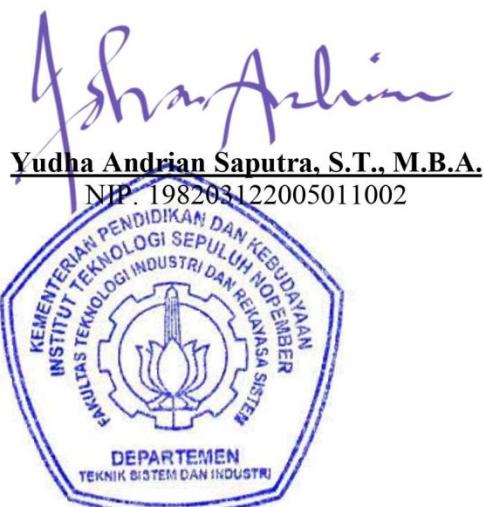
Penulis:

STANLEY SIMON

NRP. 02411640000101

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGEMBANGAN MODEL EVALUASI *TOTAL COST OF OWNERSHIP*
UNTUK MENGESTIMASI UMUR EKONOMIS PADA SEBUAH
SUBSISTEM PRODUKSI YANG TERDIRI DARI BEBERAPA
KOMPONEN (STUDI KASUS DI INDUSTRI SEMEN)**

Nama : STANLEY SIMON
NRP : 02411640000101
Pembimbing : YUDHA ANDRIAN SAPUTRA, ST., MBA

ABSTRAK

Dalam ekonomi global, khususnya untuk item dengan nilai yang besar, pertimbangan biaya tidak berhenti hanya pada akuisisi melainkan sepanjang siklus hidup. *Total Cost of Ownership* (TCO) merupakan penjumlahan dari seluruh biaya dalam produk selama siklus hidup. Penggunaan istilah TCO dibandingkan *life cycle cost* (LCC) dipilih karena penelitian terfokus pada kepemilikan aset fisik. TCO dapat digunakan sebagai alat untuk membantu dalam pembuatan keputusan penggantian aset melalui penentuan umur ekonomis yang dihitung melalui *equivalent uniform annualized cost* (EUAC). TCO dengan mempertimbangkan *discount rate* dan tingkat inflasi per tahun. TCO melalui EUAC diproyeksikan ke dalam jangka waktu tertentu hingga mendapatkan nilai minimum untuk menentukan umur ekonomis. Umur ekonomis pada penelitian ini dipertimbangkan dalam ruang lingkup sistem untuk menemukan jangka waktu pengoperasian sistem yang dapat meminimalkan biaya dan menemukan komponen kritis yang berdampak pada EUAC dan umur ekonomis sistem tersebut. Pada penelitian ini, model TCO akan dikembangkan pada subsistem produksi yaitu Raw Mill dan Packer dengan mengakomodasi faktor ketidakpastian yang berkaitan dengan operasional, pemeliharaan, dan faktor produksi yang digunakan untuk mengestimasi umur ekonomis. Tujuan penelitian ini antara lain adalah melakukan evaluasi atau analisis terkait struktur TCO dan komponen penyusun dari TCO, mengembangkan teknik solusi dan rekayasa matematis yang diperlukan untuk mendapatkan profil TCO yang dapat digunakan untuk mengevaluasi TCO, dan menentukan estimasi umur ekonomis sistem, EUAC, profil biaya komponen, dan komponen kritis pada sistem Raw Mill dan Packer. Pengembangan model TCO dilakukan dengan metode simulasi monte carlo. Hasil estimasi umur ekonomis untuk sistem Raw Mill adalah 15 tahun dan Packer adalah 28 tahun. Nilai umur ekonomis dan EUAC pada sistem Raw Mill dipengaruhi secara signifikan oleh Roller Mill dari aspek kerusakan dan Raw Mill Fan dari aspek operasional, sedangkan untuk Packer dipengaruhi oleh Packing Machine secara keseluruhan.

Kata kunci: *total cost of ownership*, umur ekonomis, *equivalent uniform annualized cost*, komponen kritis, simulasi monte carlo

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DEVELOPMENT OF TOTAL COST OF OWNERSHIP EVALUATION MODEL TO ESTIMATE ECONOMIC LIFETIME IN A PRODUCTION SUBSYSTEM CONTAINING SEVERAL COMPONENTS (CASE STUDY IN CEMENT INDUSTRY)

Name : STANLEY SIMON
Student ID : 02411640000101
Supervisor : YUDHA ANDRIAN SAPUTRA, ST., MBA

ABSTRACT

In a global economy, specifically for items with great value, cost consideration isn't only focused on the acquisition phase but also throughout the life cycle. Total Cost of Ownership (TCO) is the sum of all costs in the product over the life cycle. The use of the term TCO versus life cycle costs (LCC) was chosen because the study focused on the ownership of physical assets. TCO can be used as a tool in making asset replacement decisions through the determination of economic life through equivalent uniform annualized costs (EUAC) by considering the discount rate and inflation rate per year. TCO through EUAC is projected into a certain period to get the minimum value to determine the economic life. Economic life in this study emphasizes the scope of the system to find the period of the system that can save costs and find critical components that increase in EUAC and the age of the economic system. In this research, the TCO model will be developed in the production subsystem, namely Raw Mill and Packer which accommodates uncertainty factors related to operations, maintenance, and production factors used to estimate economic life. The objective of this research is divided into three, there are evaluating or analyzing the structure of the TCO and the constituent components of the TCO, developing the solution techniques and mathematical engineering needed to obtain a TCO profile that can be used to improve the TCO, and determining the economic life of the system, EUAC, component cost profile, and critical components in the Raw Mill and Packer systems. The development of the TCO model is carried out with the Monte Carlo simulation method. The estimated economic life is 15 years for the Raw Mill system and 28 years for the Packer system. Economic life and EUAC values in the Raw Mill system are affected by the Roller Mill from the failure aspect and Raw Mill Fan from the operational aspect, while in the Packer system are affected by the Packing Machine as a whole.

Kata kunci: total cost of ownership, economic life, equivalent uniform annualized cost, critical component, monte carlo simulation

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya dalam proses penggerjaan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengembangan Model Evaluasi *Total Cost Of Ownership* Untuk Mengestimasi Umur Ekonomis Pada Sebuah Subsistem Produksi Yang Terdiri Dari Beberapa Komponen (Studi Kasus Di Industri Semen)” sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana pada program studi S-1 Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian laporan tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Yudha Andrian Saputra, S.T., M.B.A, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, pembelajaran, dan motivasi selama proses penggerjaan Tugas Akhir.
2. Bapak Qunto Wardoyo dari pihak perusahaan yang telah memberikan izin serta akses kepada data yang dibutuhkan untuk penelitian.
3. Bapak Arif Hidayat dari pihak perusahaan pada bagian *maintenance* yang telah memberikan arahan dan bimbingan terkait objek penelitian dan data yang dibutuhkan.
4. Bapak Prof. Dr.Ir. Budisantoso Wirjodirjo,M.Eng, Bapak Erwin Widodo, ST., M.Eng., Dr.Eng., dan Bapak Dody Hartanto, ST., MT., selaku penguji pada seminar proposal Tugas Akhir yang telah memberikan saran dan masukan untuk penelitian ini.
5. Bapak Dr. Ir. Patdono Suwignjo, M.Eng.Sc dan Bapak Stefanus Eko Wiratno, ST., MT. selaku penguji pada sidang Tugas Akhir yang telah memberikan saran masukan untuk penelitian ini.
6. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T, M.S.I.E, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Kedua Orang Tua Penulis, Bapak Paolo Mariono dan Ibu Theresia Pudyastuti yang telah memberikan doa dan dukungan penuh dalam penggerjaan Tugas Akhir.

8. Regine Anciella Susantya Permadi yang memberikan dukungan penuh secara moral dan juga fasilitas penunjang dalam penggerjaan Tugas Akhir.
9. Seluruh teman – teman asisten Laboratorium QMIPA, teman – teman TI ITS 2016, dan teman – teman Wedang Jahe Mas Reno yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir penulis baik secara moral dan sebagai rekan diskusi.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun akan penulis terima untuk memperbaiki penulisan selanjutnya. Semoga penulisan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bagi dunia industry. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih sebanyak – banyaknya.

Surabaya, Juli 2020

Stanley Simon

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	8
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Manfaat.....	8
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	9
1.5.1 Batasan	9
1.5.2 Asumsi	9
1.6 Sistematika Penulisan.....	9
BAB 2	11
TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Total Cost of Ownership	11
2.2. Umur Ekonomis	14
2.3. Keandalan dan Availabilitas.....	15
2.3.1. Keandalan.....	15
2.3.2. Reliability block diagram.....	15
2.3.3. Availabilitas	18

2.4.	Pemeliharaan.....	19
2.5.	<i>Probability plotting</i> untuk analisis distribusi.....	20
2.6.	Sistem.....	22
2.7.	Kriteria Kelayakan Finansial	23
2.7.1.	Net Present Value	23
2.7.2.	Equivalent Uniform Annualized Cost	24
2.8.	Simulasi Monte Carlo	24
2.9.	Teknik Validasi.....	25
2.10.	Posisi Penelitian	30
BAB 3		33
METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1.	Tahap Identifikasi Awal.....	33
3.2.	Tahap Perancangan dan Pengembangan Model	33
3.3.	Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	37
3.4.	Tahap Implementasi Model dan Pembahasan.....	38
3.5.	Tahap Kesimpulan dan Saran	38
BAB 4		39
PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN MODEL		39
4.1.	Pembuatan Model Konseptual	39
4.1.1.	Pembuatan Model Total Cost of Ownership	39
4.1.2.	Pembuatan System Block Diagram	40
4.1.3.	Pembuatan Reliability Block Diagram	41
4.2.	Pembuatan Model Matematis	46
4.2.1.	Model Matematis Biaya Pemeliharaan.....	46
4.2.2.	Model Matematis Biaya Operasional	47
4.2.3.	Model Matematis Biaya Konsekuensi	48

4.3. Pembuatan Model Simulasi	49
4.3.1. Model untuk Membangkitkan Kejadian Kerusakan Sistem.....	53
4.3.2. Model untuk Mengakomodasi Susunan Seri dan Parallel.....	53
4.3.3. Model Perhitungan Hari Efektif dan Kebutuhan Operasional	54
4.3.4. Model Perhitungan Biaya Operasional	55
4.3.5. Model Perhitungan Biaya Pemeliharaan.....	55
4.3.6. Model Perhitungan Biaya Konsekuensi	56
4.3.7. Model Perhitungan Equivalent Uniform Annualized Cost dan Umur Ekonomis	56
4.4. Pengumpulan dan Pengolahan Data	56
4.4.1. Data Operasional dan Biaya Akuisisi Komponen.....	57
4.4.2. Waktu antar Kerusakan	59
4.4.3. Waktu Perbaikan	60
4.4.4. Biaya Pemeliharaan Korektif	61
4.4.5. Biaya Pemeliharaan Preventif	63
4.4.6. Data Parameter	64
BAB 5	67
HASIL DAN PEMBAHASAN	67
5.1. Validasi Model	67
5.2. Hasil.....	72
5.2.1. Data historis TCO	73
5.2.2. Hasil Simulasi Biaya Keseluruhan.....	75
5.2.3. Hasil Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis	84
5.2.4. Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan dan Kerusakan	86
5.2.5. Hasil Simulasi Biaya Operasional dan Hari Efektif Operasional .	100
5.2.6. Hasil Pengolahan Komponen Kritis.....	106

5.3. Pembahasan	107
5.3.1. Pembahasan Komponen Penyusun TCO	107
5.3.2. Pembahasan EUAC dan Umur Ekonomis Sistem	107
5.3.3. Pembahasan Komponen Kritis Sistem	110
BAB 6	115
KESIMPULAN DAN SARAN	115
6.1. Kesimpulan	115
6.2. Saran	116
DAFTAR PUSTAKA.....	119
LAMPIRAN 1	123
LAMPIRAN 2	136

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Tahap siklus hidup asset fisik (Galar, 2017)	2
Gambar 1. 2 Pohon biaya siklus hidup (Barringer, 1996).....	3
Gambar 1. 3 Fase biaya siklus hidup (Barringer, 1996)	3
Gambar 1. 4 <i>Asset & Maintenance Management Level (Oswald et al, 2011)</i>	6
Gambar 2. 1 Pohon biaya akuisisi (Barringer, 2003).....	12
Gambar 2. 2 Pohon biaya berkelanjutan (Barringer, 2003)	13
Gambar 2. 3 <i>Parameter of Economic Decisions</i> (Farr, 2019).....	13
Gambar 2. 4 Rangkaian Seri (Dhillon, 2006)	16
Gambar 2. 5 Rangkaian Parallel (Dhillon, 2006).....	17
Gambar 2. 6 Rangkaian <i>M-out-of-N</i> (Dhillon, 2006).....	18
Gambar 2. 7 Waktu total peralatan dalam sistem (Stapelberg, 2009).....	19
Gambar 2. 8 <i>Two tailed hypothesis test</i> (www.sphweb.bumc.bu.edu)	29
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3. 2 Struktur biaya siklus hidup sistem	35
Gambar 4. 1 Perhitungan EUAC dan Umur Ekonomis	40
Gambar 4. 2 <i>System Block Diagram</i> Raw Mill	43
Gambar 4. 3 <i>System Block Diagram</i> Packer	44
Gambar 4. 4 <i>Reliability Block Diagram</i> Raw Mill	45
Gambar 4. 5 <i>Reliability Block Diagram</i> Packer	45
Gambar 4. 6 Pembuatan Model Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis Bagian 1	50
Gambar 4. 7 Pembuatan Model Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis Bagian 2	51
Gambar 4. 8 Pembuatan Model Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis Bagian 3	52
Gambar 4. 9 Pembuatan Model Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis Bagian 4	52
Gambar 4. 10 Ilustrasi Sistem Seri dan Parallel.....	54
Gambar 4. 11 Susunan Peralatan Parallel Data Dummy	55
Gambar 5. 1 Grafik Data Historis TCO Sistem Raw Mill	74
Gambar 5. 2 Grafik Data Historis TCO Sistem Packer	75
Gambar 5. 3 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel EUAC Sistem Raw Mill	80
Gambar 5. 4 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel EUAC Sistem Packer ...	84

Gambar 5. 5 Umur Ekonomis Sampel Komponen Tunggal pada Sistem Raw Mill	86
Gambar 5. 6 Umur Ekonomis Sampel Komponen Tunggal pada Sistem Packer .	86
Gambar 5. 7 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Biaya Pemeliharaan Sistem Raw Mill	89
Gambar 5. 8 Persentase Biaya Pemeliharaan tiap Peralatan Sistem Raw Mill	92
Gambar 5. 9 Persentase Jumlah Kerusakan tiap Peralatan Sistem Raw Mill.....	93
Gambar 5. 10 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Biaya Pemeliharaan Sistem Packer	95
Gambar 5. 11 Persentase Biaya Pemeliharaan tiap Peralatan Sistem Packer.....	99
Gambar 5. 12 Persentase Jumlah Kerusakan tiap Peralatan Sistem Packer	99
Gambar 5. 13 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Hari Efektif Operasional, Biaya Operasional, dan Biaya Konsekuensi Sistem Raw Mill.....	101
Gambar 5. 14 Persentase Waktu Perbaikan tiap Peralatan Sistem Raw Mill.....	102
Gambar 5. 15 Persentase Kebutuhan Operasional tiap Peralatan Sistem Raw Mill	103
Gambar 5. 16 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Hari Efektif Operasional dan Biaya Operasional Sistem Packer	104
Gambar 5. 17 Persentase Waktu Perbaikan tiap Peralatan Sistem Packer	105
Gambar 5. 18 Persentase Kebutuhan Operasional tiap Peralatan Sistem Packer	105
Gambar 5. 19 Perbandingan EUAC dan Umur Ekonomis antara Sistem Raw Mill dengan biaya konsekuensi dan tanpa konsekuensi	108
Gambar 5. 20 Perbandingan Umur Ekonomis Sampel Komponen Tunggal dan Sistem Raw Mill	109
Gambar 5. 21 Perbandingan Umur Ekonomis Sampel Komponen Tunggal dan Sistem Packer	110
Gambar 5. 22 Tingkatan Dampak Komponen Kritis Sistem Raw Mill	111
Gambar 5. 23 Tingkatan Dampak Komponen Kritis Sistem Packer.....	112
Gambar 5. 24 Kontribusi Biaya Komponen Kritis dan non Kritis pada Sistem Raw Mill	113
Gambar 5. 25 Kontribusi Biaya Komponen Kritis dan non Kritis pada Sistem Packer	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Fungsi distribusi.....	21
Tabel 2. 2 Posisi Penelitian	30
Tabel 4. 1 Data Operasional dan Biaya Akuisisi Sistem Raw Mill	57
Tabel 4. 2 Data Operasional dan Biaya Akuisisi Sistem Packer.....	58
Tabel 4. 3 Distribusi Waktu Antar Kerusakan Sistem Raw Mill	59
Tabel 4. 4 Distribusi Waktu Antar Kerusakan Sistem Packer	60
Tabel 4. 5 Distribusi Waktu Perbaikan Sistem Raw Mill	60
Tabel 4. 6 Distribusi Waktu Perbaikan Sistem Packer	61
Tabel 4. 7 Distribusi Biaya Pemeliharaan Korektif Sistem Raw Mill	61
Tabel 4. 8 Distribusi Biaya Pemeliharaan Korektif Sistem Packer	62
Tabel 4. 9 Distribusi Biaya Pemeliharaan Preventif Sistem Raw Mill	63
Tabel 4. 10 Distribusi Biaya Pemeliharaan Preventif Sistem Packer	64
Tabel 4. 11 Data Historis Tarif Listrik.....	64
Tabel 4. 12 Biaya Konsekuensi tiap ton.....	65
Tabel 5. 1 Hasil Simulasi Data Validasi	68
Tabel 5. 2 Jumlah Replikasi Hasil Simulasi Data Validasi.....	69
Tabel 5. 3 Validasi Jumlah Kerusakan Raw Mill	70
Tabel 5. 4 Data Historis untuk Validasi	71
Tabel 5. 5 Hasil Validasi Keseluruhan.....	71
Tabel 5. 6 Data Historis TCO Sistem Raw Mill	73
Tabel 5. 7 Data Historis TCO Sistem Packer.....	74
Tabel 5. 8 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel TCO Sistem Raw Mill	76
Tabel 5. 9 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel EUAC Sistem Raw Mill	78
Tabel 5. 10 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel TCO Sistem Packer	80
Tabel 5. 11 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel EUAC Sistem Packer	82
Tabel 5. 12 Hasil Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis dengan Replikasi	84
Tabel 5. 13 Hasil Pengolahan Data Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis.....	85
Tabel 5. 14 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Biaya Pemeliharaan Sistem Raw Mill.....	87
Tabel 5. 15 Hasil Pengolahan Data Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Sistem Raw Mill	89

Tabel 5. 16 Rincian Biaya Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Preventif tiap Peralatan Sistem Raw Mill	90
Tabel 5. 17 Rincian Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Korektif tiap Peralatan Sistem Raw Mill	91
Tabel 5. 18 Rincian Hasil Simulasi Jumlah Kerusakan tiap Peralatan Sistem Raw Mill	92
Tabel 5. 19 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Biaya Pemeliharaan Sistem Packer	93
Tabel 5. 20 Hasil Pengolahan Data Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Sistem Packer	96
Tabel 5. 21 Rincian Biaya Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Preventif tiap Peralatan Sistem Packer.....	96
Tabel 5. 22 Rincian Biaya Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Korektif tiap Peralatan Sistem Packer.....	97
Tabel 5. 23 Rincian Hasil Simulasi Jumlah Kerusakan tiap Peralatan Sistem Packer	99
Tabel 5. 24 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Hari Efektif Operasional Sistem Raw Mill.....	100
Tabel 5. 25 Rincian Hasil Simulasi Waktu Perbaikan tiap Peralatan Sistem Raw Mill	101
Tabel 5. 26 Rincian Hasil Simulasi Waktu Perbaikan tiap Peralatan Sistem Packer	104
Tabel 5. 27 Persentase Total Biaya tiap Peralatan Sistem Raw Mill	106
Tabel 5. 28 Persentase Total Biaya tiap Peralatan Sistem Packer.....	106

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah, serta rumusan permasalahan pada penelitian ini. Selain itu, juga dijelaskan mengenai tujuan dan manfaat serta batasan dan asumsi penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

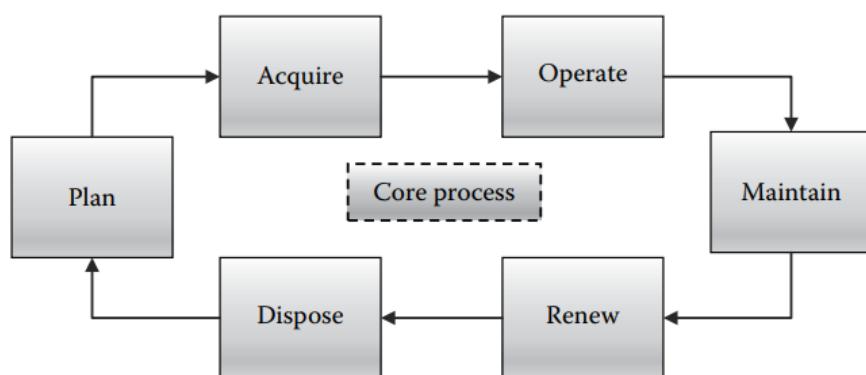
Setiap produk tidak akan pernah lepas dari unsur biaya, kinerja, jadwal, kualitas, resiko dan *trade-off* (Farr, 2019). Saat ini, dalam ekonomi global dan karena berbagai tekanan pasar, keputusan akuisisi dalam keteknikan, khususnya untuk item dengan nilai yang cukup besar seperti peralatan untuk produksi, tidak hanya dibuat berdasarkan biaya pengadaan di awal tetapi mempertimbangkan biaya dalam siklus hidup (Dhillon, 2009). Beberapa kasus mengindikasikan bahwa biaya kepemilikan (di luar biaya pembelian) seringkali melebihi biaya pembelian atau biaya akuisisi. Menurut Farr (2018), biaya akuisisi hanya sebagian kecil dalam keseluruhan biaya apabila dikaitkan dengan biaya kepemilikan dan operasional. Sebanyak 72% dari keseluruhan biaya siklus hidup merupakan biaya operasional, *support*, dan *disposal* (Farr, 2018). Hal ini yang lantas mendasari munculnya konsep TCO (*Total Cost of Ownership*) atau biaya siklus hidup (LCC).

TCO adalah biaya pembelian sebuah asset ditambahkan dengan biaya untuk operasional. TCO merepresentasikan perspektif suatu produk yang memiliki nilai sepanjang masa hidup. Istilah TCO lebih umum mengarah kepada konteks kepemilikan asset dalam bentuk fisik. TCO dalam konteks tertentu dapat diartikan sama dengan *life cycle cost* (LCC) hanya saja seringkali penggunaan istilah LCC ditemui pada penelitian yang berhubungan dengan asset *intangible*, program, dan proyek serta keterkaitan nya dengan dampak lingkungan.

Apabila dilihat dalam perspektif asset fisik, suatu siklus hidup dapat didefinisikan sebagai rangkaian proses perencanaan, akuisisi, operasional, pemeliharaan, pembaharuan, hingga pembuangan (Galar, 2017), seperti yang tertera pada Gambar 1.1. TCO merupakan penjumlahan dari biaya langsung, tidak langsung, berulang, tidak berulang, biaya yang terjadi, atau diestimasikan akan

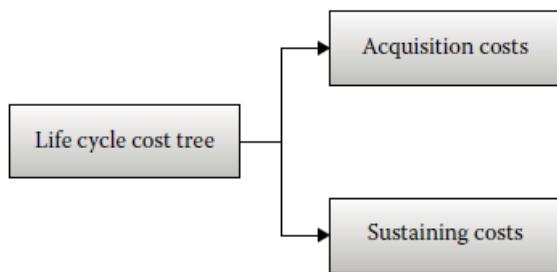
terjadi, di dalam perancangan, penelitian dan pengembangan, investasi, operasional, pemeliharaan, *retirement*, dan biaya lain yang mendukung suatu produk sepanjang siklus hidup (Farr, 2018). Galar (2017) menjelaskan bahwa perhitungan TCO dapat digunakan untuk beberapa tujuan antara lain:

1. Meminimalkan *Total Cost of Ownership* (TCO)
2. Mendukung pertimbangan manajemen dalam membuat keputusan selama siklus hidup
3. Mengidentifikasi atribut aset yang secara signifikan memengaruhi pendorong biaya siklus hidup
4. Mengidentifikasi persyaratan arus kas untuk suatu proyek

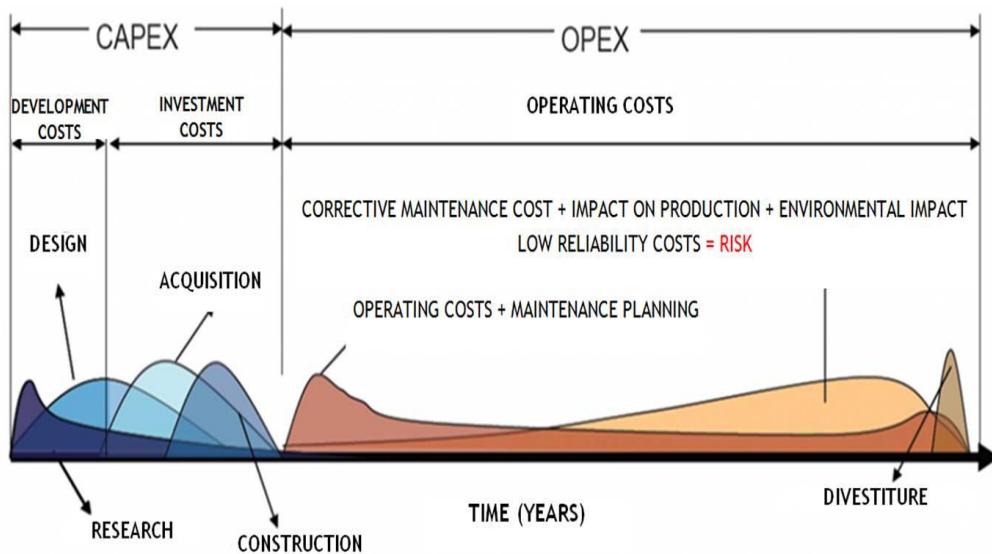


Gambar 1. 1 Tahap siklus hidup asset fisik (Galar, 2017)

Baringer dan Webber (1996), secara garis besar menjelaskan bahwa TCO dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu biaya akuisisi dan biaya berkelanjutan (*sustaining cost*). Selain daripada dua kategori tersebut, istilah yang kerap kali muncul untuk mendefinisikan fase dari biaya siklus hidup adalah *capital expenditure* (CAPEX) dan *operational expenditure* (OPEX). Biaya akuisisi, berdasarkan definisi dari Accounting Tools, merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan untuk pembelian suatu aset sedangkan biaya berkelanjutan merupakan biaya selain pembelian yang dikeluarkan sepanjang siklus hidup. Biaya berkelanjutan sebuah aset dalam industri manufaktur umumnya terdiri dari pemeliharaan, penggunaan fasilitas (operasional), dan biaya pembuangan (Galar, 2017).



Gambar 1. 2 Pohon biaya siklus hidup (Barringer, 1996)



Gambar 1. 3 Fase biaya siklus hidup (Barringer, 1996)

TCO dapat digunakan sebagai alat untuk mengevaluasi komponen biaya dan mengidentifikasi komponen biaya yang signifikan di dalam suatu siklus hidup. Salah satunya adalah biaya pemeliharaan sebagai bagian dari *sustaining cost* yang cukup dipertimbangkan karena berpengaruh terhadap seberapa lama suatu aset dalam sistem bekerja sesuai dengan kebutuhan (Galar, 2017).

Penelitian terkait pengaruh aspek pemeliharaan terhadap TCO atau LCC, salah satunya dilakukan oleh Raghavan dan Chowdhury pada tahun 2012. Penelitian tersebut melakukan implementasi terhadap LCC operasional melalui penelitian terkait manajemen LCC pada komponen pembangkit listrik. Tujuan penelitian terkait adalah menentukan *net present value* (NPV) dari biaya di masa depan yang berasosiasi dengan rencana tertentu dan meminimasi biaya dalam jangka panjang. Raghavan dan Chowdhury pada penelitian ini berfokus pada keandalan sebagai dasar strategi perbaikan. Penelitian ini melakukan

perbandingan komponen biaya antar alternatif dan menunjukkan bahwa kunci utama biaya adalah pemeliharaan preventif dan penggantian.

TCO juga berguna sebagai alat untuk membandingkan objek dari aspek biaya. Perbandingan alternatif menggunakan TCO, salah satunya dilakukan oleh Wadud pada tahun 2017 melalui analisis TCO pada kendaraan yang terotomasi sepenuhnya atau *fully automated vehicle*. Penelitian ini akan membandingkan TCO *fully automated vehicles* pada beberapa sektor kendaraan yang berbeda di UK. Sektor yang dibandingkan adalah kendaraan pribadi dan kendaraan komersil. Hasil penelitian berujung pada sektor dan jenis kendaraan yang akan direkomendasikan untuk *fully automated vehicle* melihat persentase penambahan biaya dari kendaraan saat ini untuk menjadi *fully automated vehicle*.

TCO juga dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan oleh manajemen dalam perusahaan melalui evaluasi siklus hidup (Galar, 2017). Salah satu keputusan yang terkait dengan TCO adalah penggantian peralatan atau aset, perencanaan, dan penganggaran (Dhillon, 2009). Aset merupakan sumber daya yang dimiliki oleh perusahaan dengan nilai ekonomi tertentu untuk dapat menghasilkan keuntungan (Investopedia). Dalam menjalankan fungsinya, aset memiliki masa siklus hidup atau umur ekonomis yang mengacu pada jangka waktu penggunaan aset, dimana penggunaan aset terkini masih lebih menguntungkan daripada melakukan penggantian (Cambridge Dictionary).

Dalam analisis penggantian suatu asset, Sullivan (2014) menjelaskan tentang tiga alasan penggantian atau penghentian aset, antara lain:

- Penurunan efisiensi pada operasional aset (*physical impairment* atau *deterioration*) yang menyebabkan peningkatan biaya pemeliharaan, penggunaan energi, dan penggunaan sumber daya yang lain.
- Perubahan pada kebutuhan produksi seperti perubahan permintaan
- Perubahan teknologi

Secara umum, beberapa aset fisik seperti peralatan produksi memiliki kecenderungan perubahan biaya seiring bertambahnya umur. Biaya pengembalian investasi semakin menurun dan biaya operasional dan pemeliharaan aset cenderung mengalami peningkatan (Park, 2006). Kecenderungan ini menjadi dasar suatu perusahaan lebih memilih mempertimbangkan umur ekonomis

daripada umur fisik, karena relevan terhadap orientasi profit perusahaan. Pada kasus ini, TCO dapat digunakan untuk menentukan umur ekonomis melalui perhitungan elemen – elemen biaya aset.

Pengambilan keputusan dengan aspek biaya dapat dianalisis melalui indikator finansial yang mengakomodasi *time value of money* (TVM). Indikator finansial yang umum digunakan yaitu *net present value* (NPV) dan *equivalent uniform annualized cost* (EUAC). Sullivan (2014) menyatakan bahwa umur ekonomis dapat didefinisikan sebagai periode waktu (tahun) yang menghasilkan minimum EUAC.

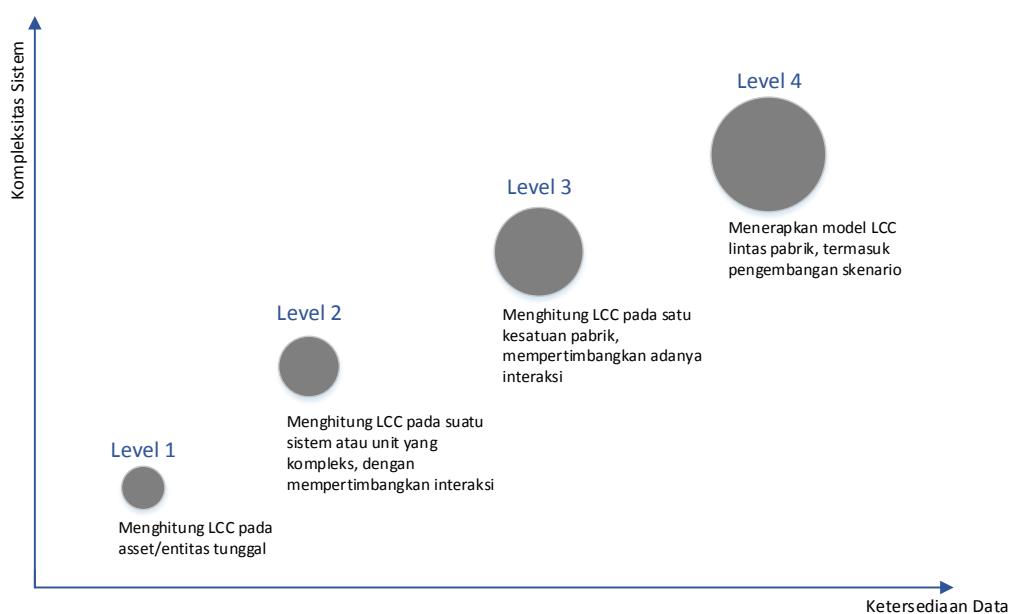
Penelitian terkait penggunaan indikator finansial untuk menentukan umur ekonomis dilakukan oleh Hanafi pada tahun 2019 melalui penelitian tentang manajemen biaya siklus hidup pada suatu komponen atau mesin dalam sistem produksi dengan mempertimbangkan aspek keandalan untuk menentukan umur ekonomis asset. Pada penelitian tersebut, Hanafi melakukan perhitungan EUAC untuk menentukan umur ekonomis dari salah satu asset yang digunakan dalam proses produksi semen. TCO dihitung dari tahun instalasi dan diproyeksikan hingga tahun tertentu menggunakan metode simulasi untuk mendapatkan estimasi EUAC minimum.

Penelitian yang dilakukan oleh Hanafi dan beberapa peneliti sebelumnya menggunakan TCO untuk mengevaluasi dan melakukan perbaikan pada suatu peralatan dari aspek biaya. Objek yang digunakan adalah entitas tunggal yang tidak mengharuskan penelitian mempertimbangkan keterkaitannya dengan entitas lain. Pada kenyataannya dalam industri terutama di bidang manufaktur, aset yang dimiliki akan saling berinteraksi membentuk sebuah sistem untuk menghasilkan produk. Salah satu contoh interaksi yang terjadi adalah terkait kerusakan. Kerusakan satu atau sebagian asset dapat berpengaruh terhadap kelancaran proses produksi yaitu kehilangan waktu produksi.

Penelitian terkait penerapan TCO dalam sistem produksi dilakukan oleh Patil (2013) melalui penelitian tentang optimasi biaya siklus hidup pada mesin *band saw cutting* dengan analisis keandalan. Mesin *band saw cutting* diobservasi sebagai suatu sistem yang dirinci ke dalam beberapa komponen. Perhitungan biaya khususnya pemeliharaan dilakukan menggunakan angka eksak. Penelitian

tersebut lalu dilanjutkan dengan perbaikan di bidang pemeliharaan yaitu dengan memberlakukan beberapa strategi perawatan yang spesifik untuk tiap komponen dan penggantian komponen. Kekurangan dari penelitian oleh Patil adalah tidak mempertimbangkan adanya keacakan pada variabel input seperti pada biaya dan kemungkinan kerusakan mesin.

Penelitian ini akan mencoba untuk melakukan pengembangan model evaluasi TCO atau LCC pada suatu sistem dengan mempertimbangkan adanya unsur ketidakpastian. Gambar 1.4 menjelaskan bahwa evaluasi TCO dalam ruang lingkup sistem menjadi suatu topik bahasan yang perlu dikaji karena melibatkan beberapa komponen yang saling berinteraksi dari aspek biaya dan produktivitas dengan susunan sistem tertentu. Hal ini menyebabkan perhitungan dan analisis menjadi lebih kompleks namun perspektif pemahaman yang didapatkan menjadi lebih luas dibandingkan dengan evaluasi pada komponen tunggal. Perspektif pemahaman yang dimaksud adalah profil biaya setiap peralatan, umur ekonomis sistem, EUAC, pengaruh atau kontribusi setiap komponen, dan komponen kritis yang berdampak signifikan terhadap biaya sehingga perlu menjadi perhatian utama.



Gambar 1. 4 Asset & Maintenance Management Level (Oswald et al, 2011)

Umur ekonomis dan EUAC menjadi dua indikator kunci dalam evaluasi sistem ini yang memiliki kegunaan masing-masing. Kedua indikator ini tidak bisa dipisahkan karena saling berhubungan walaupun besaran nilai masing - masing

tidak sepenuhnya saling bergantung. Umur ekonomis menjadi indikator yang sesuai untuk mengevaluasi antara nilai pada tingkat komponen dan tingkat sistem secara bersamaan, serta memberikan rekomendasi jangka waktu pengoperasian sistem untuk meminimalisir biaya. Di sisi lain, EUAC dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi biaya pada sistem saat ini yang akan menuntun perusahaan dalam pengambilan keputusan atau strategi selanjutnya.

Sistem yang akan diobservasi adalah subsistem produksi pada industri semen yang terdiri dari beberapa komponen yaitu Raw Mill dan Packer. Kedua sistem ini memiliki fungsi yang berbeda secara signifikan sehingga berpengaruh terhadap aspek biaya dan produktivitas. Sistem Raw Mill berfungsi untuk menghaluskan atau menggiling bahan baku semen menjadi *rawmix* sedangkan Packer berfungsi untuk mengemas barang jadi semen. Sistem Raw Mill melibatkan adanya konsekuensi dari kehilangan produksi karena fungsinya yang memberikan nilai tambah cukup besar, namun sistem Packer tidak memberikan nilai tambah yang signifikan. Selain itu, pemilihan kedua sistem ini didasarkan pada susunan sistem. Keduanya memiliki susunan seri dan parallel, namun sistem Raw Mill memiliki susunan sistem utama berbentuk seri sedangkan Packer berbentuk parallel.

Biaya yang akan dipertimbangkan dalam penelitian ini antara lain adalah biaya akuisisi, biaya operasional, biaya konsekuensi, dan biaya pemeliharaan. Model ini akan mengestimasi biaya siklus hidup untuk beberapa periode ke depan dengan melakukan pengolahan dari data historis untuk menemukan pola distribusi statistik sebagai *input* dan menjalankan metode simulasi monte carlo.

Simulasi monte carlo dipilih karena fungsinya untuk memodelkan resiko dari *outcome* yang tidak pasti seperti kerusakan sistem (Robinson, 2014). Kerusakan sistem sebenarnya juga dimodelkan dengan simulasi kejadian diskrit, namun kerusakan sistem bukan merupakan sistem antrian sebagaimana menjadi poin kritis dalam penggunaan metode tersebut. Disamping itu, penggunaan metode simulasi monte carlo secara keseluruhan cenderung lebih efisien dari segi waktu karena mampu mengakomodasi aspek biaya dan kerusakan secara langsung. Walaupun begitu, terdapat catatan penting yaitu simulasi monte carlo harus dikembangkan untuk dapat mengakomodasi susunan seri dan parallel dalam

reliability network sebagaimana dilakukan pada simulasi kejadian diskrit. Output yang diharapkan dari model TCO ini adalah umur ekonomis sistem, EUAC, profil biaya tiap komponen, dan komponen kritis sistem.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, penelitian ini akan melakukan pengembangan model TCO dengan mengakomodasi faktor ketidakpastian yang berkaitan dengan operasional, pemeliharaan, dan produktivitas yang digunakan untuk mengestimasi umur ekonomis dengan fokus pada sistem Raw Mill dan Packer.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang, penelitian ini akan mencoba untuk mencapai:

1. Melakukan evaluasi atau analisis terkait struktur TCO dan komponen penyusun dari TCO pada sistem Raw Mill dan Packer
2. Mengembangkan teknik solusi dan rekayasa matematis yang diperlukan untuk mendapatkan profil TCO yang dapat digunakan untuk mengevaluasi TCO dari sistem Raw Mill dan Packer.
3. Menentukan estimasi umur ekonomis, EUAC, profil biaya, dan komponen kritis pada sistem Raw Mill dan Packer.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah:

1. Mendapatkan pengembangan model biaya siklus hidup dalam ruang lingkup sistem yang mengakomodasi interaksi antar komponen.
2. Membantu perusahaan dalam melihat dampak yang ditimbulkan dari interaksi antar komponen di dalam subsistem produksi.
3. Membantu memberikan evaluasi terkait komponen kritis di dalam subsistem produksi sehingga memudahkan perusahaan dalam membuat keputusan pengelolaan sistem.
4. Membantu perusahaan dalam menyusun strategi pengelolaan sistem produksi melalui pertimbangan aspek biaya

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan dan asumsi pada penelitian ini akan dijelaskan sebagai berikut:

1.5.1 Batasan

1. Objek penelitian secara spesifik adalah sistem Raw Mill dan Packer pada sistem produksi PT. X.
2. Penelitian ini difokuskan pada divisi *Maintenance*.

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. *Inflation rate* yang digunakan adalah 3%
2. *Discount rate* yang digunakan adalah 11%
3. Peningkatan tarif listrik tiap tahun adalah 1%
4. Efisiensi Peralatan adalah 80%

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri dari delapan bab dengan penjelasan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini akan memberikan penjelasan tentang latar belakang, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan laporan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini akan menjelaskan tentang beberapa teori yang menjadi dasar dalam penelitian ini. Teori yang dipaparkan bisa bersumber dari buku, artikel, *annual report* perusahaan, atau sumber lain yang dapat dipertanggungjawabkan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan tentang alur pelaksanaan penelitian yang dijelaskan secara detail dan komprehensif.

BAB 4 PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini akan menjelaskan tentang pembuatan model konseptual, formulasi model matematis, dan model simulasi biaya siklus hidup secara lebih detail menggunakan *software* tertentu. Pengumpulan dan pengolahan data akan

dilakukan pada bab ini. Data yang dikumpulkan dan diolah dapat berupa nilai eksak atau parameter distribusi

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan tentang pengujian model, hasil penelitian, dan pembahasan hasil. Model simulasi akan diuji untuk membuktikan bahwa model dapat digunakan sebagai representasi sistem lalu dijalankan hingga didapatkan hasil yang diharapkan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menjelaskan tentang kesimpulan dari analisis pada bab sebelumnya guna menjawab tujuan dari penelitian dan memberikan saran dari hasil dan pembahasan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka sebagai dasar teori peneliti dalam melakukan penelitian.

2.1. Total Cost of Ownership

Total cost of ownership (TCO) adalah seluruh biaya yang diasosiasikan dengan proyek, program, atau aset sepanjang hidupnya. Istilah TCO lebih umum mengarah kepada konteks kepemilikan asset dalam bentuk fisik sedangkan *Life cycle costing* mengarah kepada teknik untuk menentukan TCO. TCO dalam konteks tertentu dapat diartikan sama dengan *life cycle cost* (LCC) hanya saja seringkali penggunaan istilah LCC ditemui pada penelitian yang berhubungan dengan dampak lingkungan. TCO atau LCC secara definisi adalah penjumlahan dari biaya langsung, tidak langsung, berulang, tidak berulang, dan biaya lainnya yang dikenakan atau diestimasikan untuk dikenakan pada tahap perancangan, riset dan pengembangan, investasi, operasi, pemeliharaan, *retirement*, dan tahapan lain yang mendukung sepanjang siklus hidup (Farr, 2019). Pada suatu asset, siklus hidup dapat digambarkan sebagai tahap dari perencanaan, akuisisi, operasi, pemeliharaan, pembaharuan, hingga pembuangan seperti pada Gambar 1.1.

Menurut Galar (2017), secara matematis biaya siklus hidup dapat diformulasikan sebagai berikut:

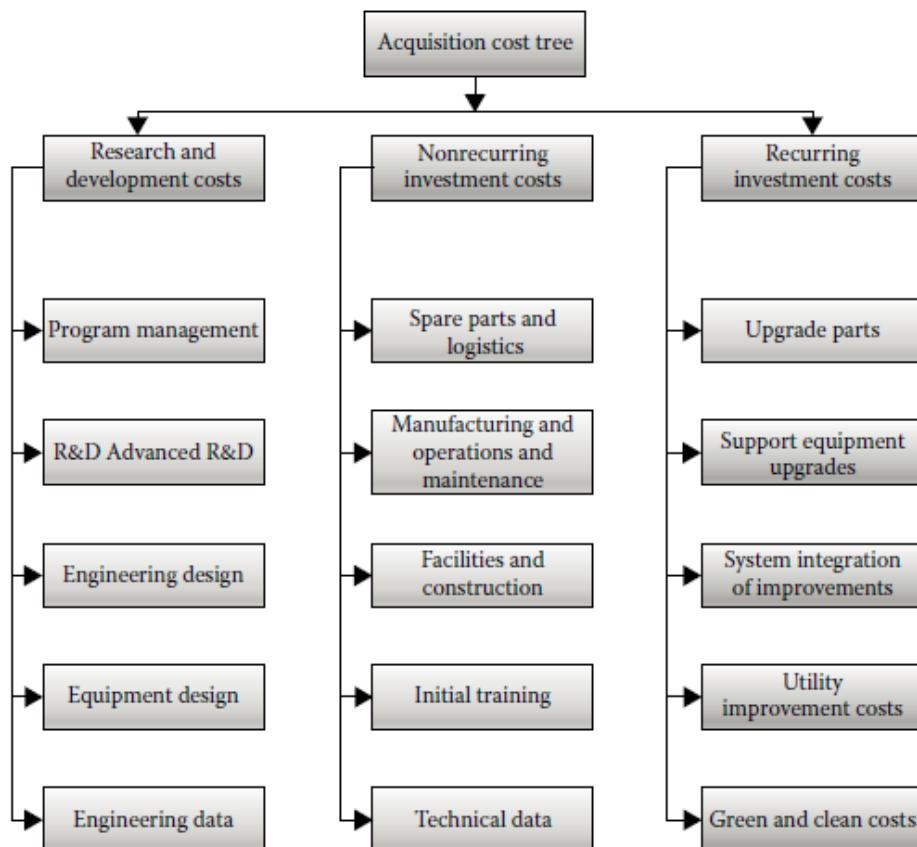
$$\begin{aligned} \text{Life cycle cost} = & \\ & + \text{Initial (projected) capital costs} \\ & + \text{projected lifetime operating costs} \\ & + \text{projected lifetime maintenance costs} \\ & + \text{projected capital rehabilitation costs} \\ & + \text{projected disposal costs} \\ & - \text{projected residual value} \end{aligned} \tag{2. 1}$$

Keuntungan dalam mengidentifikasi biaya siklus hidup antara lain:

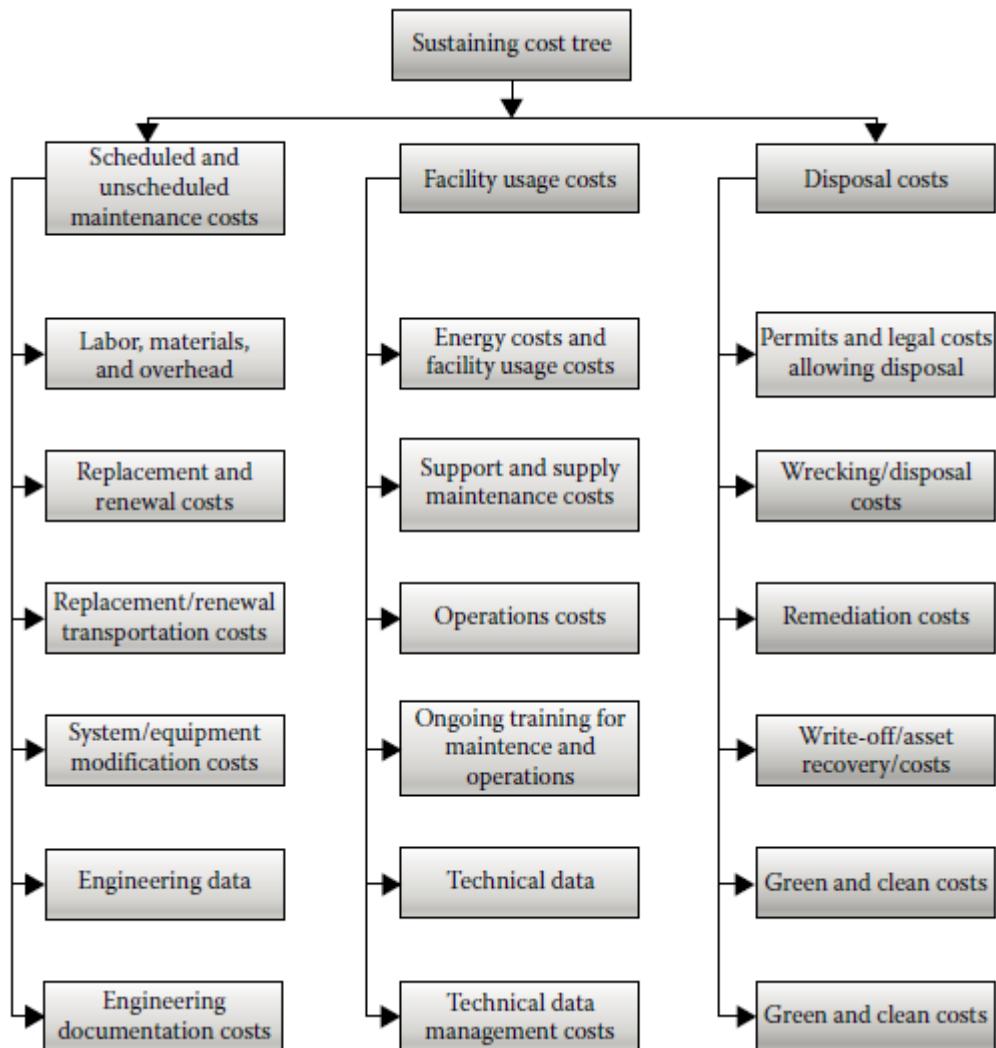
- Berguna untuk mengurangi biaya total
- Mengendalikan proyek atau program

- Membandingkan antara satu proyek dengan yang lain
- Berguna dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan penggantian peralatan, perencanaan, dan penganggaran

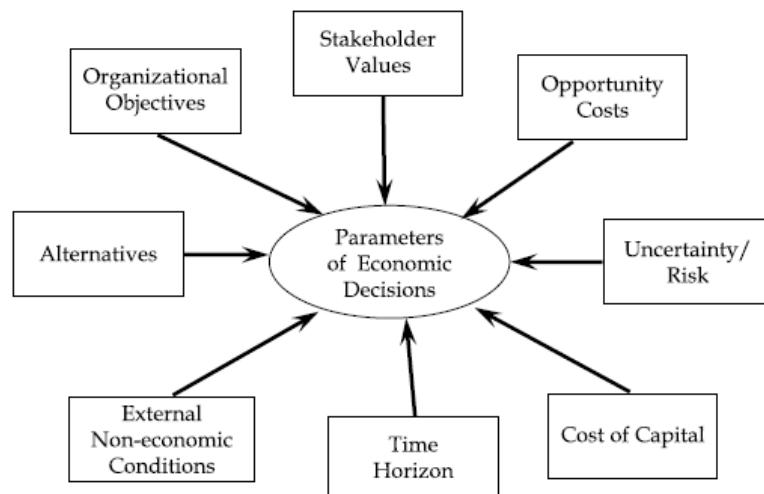
Barringer dan Webber secara umum membagi TCO ke dalam dua kategori yaitu biaya akuisisi dan biaya berkelanjutan. Biaya – biaya tersebut dijabarkan di dalam Gambar 2.1 dan 2.2. Elemen tersebut merupakan contoh struktur biaya. Setiap penelitian memiliki struktur tersendiri sesuai dengan objek yang diobservasi. Biaya siklus hidup terdiri dari beberapa parameter yang dapat digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan. Beberapa parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3 antara lain tujuan organisasi, nilai *stakeholder*, biaya peluang, risiko ketidakpastian, *cost of capital*, *time horizon*, kondisi eksternal non-ekonomi, dan alternatif.



Gambar 2. 1 Pohon biaya akuisisi (Barringer, 2003)



Gambar 2. 2 Pohon biaya berkelanjutan (Barringer, 2003)



Gambar 2. 3 Parameter of Economic Decisions (Farr, 2019)

2.2. Umur Ekonomis

Umur ekonomis secara konsep umum didefinisikan sebagai jangka waktu penggunaan aset, dimana penggunaan aset terkini masih lebih menguntungkan daripada melakukan penggantian (Cambridge Dictionary). Secara teknis, umur ekonomis dapat didefinisikan sebagai periode waktu (tahun) yang menghasilkan minimum EUAC untuk memiliki dan mengoperasikan aset (Sullivan, 2014). Hal ini yang mendasari TCO harus dikonversi menjadi EUAC atau biaya tahunan seragam untuk mendapatkan umur ekonomis. Berikut ini penjelasan terkait proses untuk mengkonversi TCO ke umur ekonomis:

- Melakukan penghitungan TCO untuk setiap periode
- Untuk periode yang belum dilalui, TCO dihitung dengan melakukan estimasi biaya menggunakan metode simulasi.
- Nilai elemen - elemen yang berpengaruh terhadap biaya diestimasi dengan terlebih dahulu melakukan pencarian pola menggunakan *fitting distribution*.
- Melakukan proyeksi TCO hingga periode tertentu dalam bentuk biaya tahunan seragam atau EUAC, apabila EUAC pada periode tersebut menyentuh nilai minimum maka dicatat sebagai batas periode umur ekonomis.
- Melakukan replikasi dengan jumlah tertentu untuk mendapatkan rentang kemungkinan nilai batas periode umur ekonomis beserta probabilitas nya.
- Nilai rata – rata untuk estimasi batas periode umur ekonomis dijadikan sebagai batas umur ekonomis yang digunakan lalu dihitung selisihnya dengan tahun instalasi untuk mendapatkan estimasi umur ekonomis.

Penelitian terkait umur ekonomis dilakukan oleh Hanafi pada tahun 2019. Hanafi meneliti TCO dan umur ekonomis untuk komponen tunggal Raw Mill dalam proses produksi semen. Periode perhitungan TCO dimulai dari tahun 2011 yaitu tahun instalasi. TCO historis dihitung hingga 2019 lalu diproyeksikan hingga tahun tertentu. Setelah dilakukan replikasi dengan jumlah tertentu, didapatkan hasil yaitu tercapainya nilai minimum TCO dalam EUAC dengan probabilitas tertinggi pada tahun 2059.

2.3. Keandalan dan Availabilitas

Keandalan dan Availabilitas merupakan dua konsep penting dalam suatu sistem terutama dalam produksi. Setiap peralatan atau *asset* yang digunakan memiliki risiko untuk mengalami kerusakan sehingga dapat menghambat proses produksi. Dampak dari kejadian ini tentunya akan menjadi sangat vital apabila suatu sistem produksi memiliki jadwal yang tetap dan permintaan yang cukup tinggi untuk dipenuhi setiap periode nya.

2.3.1. Keandalan

Keandalan dalam definisi formal adalah peluang yang dimiliki suatu item untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik pada periode tertentu dalam kondisi operasi tertentu pula tanpa adanya kerusakan atau *failure* (Dhillon, 2006). Nilai keandalan berbanding terbalik dengan nilai peluang kerusakan. Semakin tinggi nilai keandalan maka nilai peluang kerusakan akan semakin rendah. Pernyataan ini dapat digambarkan dengan formula sebagai berikut:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2. 2)$$

Keterangan:

R(t): Reliability

F(t): Unreliability

Keandalan dapat dihitung secara matematis dengan menghitung rasio antara jumlah item yang bertahan dengan jumlah seluruh kejadian (sukses dan rusak). Misalkan n_s merupakan jumlah sukses, n_f merupakan jumlah rusak, dan t merupakan periode waktu, maka:

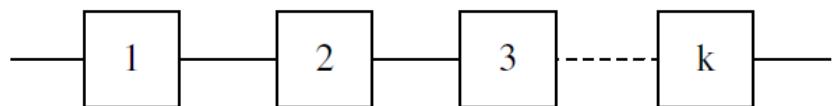
$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} \quad (2. 3)$$

2.3.2. Reliability block diagram

Reliability block diagram merupakan suatu penggambaran dalam bentuk grafis dari jaringan keandalan yaitu hubungan kerusakan dari beberapa komponen dalam sebuah sistem. Konsep ini didasarkan pada sebuah fakta bahwa kerusakan pada komponen dalam sistem dapat mempengaruhi kinerja sistem. Keandalan dari suatu sistem sangat bergantung pada rangkaian sistem tersebut

- Rangkaian Seri

Rangkaian seri merupakan rangkaian yang paling umum dalam suatu sistem dimana komponen disusun dalam sebuah garis lurus berdasarkan fungsi nya masing – masing dalam menghasilkan suatu produk. Permasalahan yang muncul pada rangkaian ini adalah kerusakan salah satu dari sekumpulan komponen tersebut yang menyebabkan sistem tidak dapat bekerja dengan normal. Rangkaian seri dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Rangkaian Seri (Dhillon, 2006)

Secara matematis, fungsi keandalan pada suatu sistem dapat digambarkan sebagai berikut:

$$Rs = \prod_{j=1}^k Pi \quad (2. 4)$$

Keterangan:

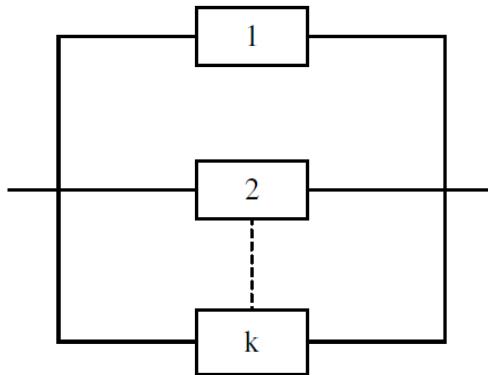
Rs: Series system reliability

Pi: Reliability pada komponen ke – j

k: jumlah komponen pada rangkaian sistem seri

- Rangkaian parallel

Rangkaian parallel merupakan rangkaian yang memisahkan komponen dalam lini yang berbeda sehingga semua komponen dapat bekerja secara bersamaan. Pada rangkaian ini setidaknya terdapat satu komponen yang bekerja secara normal untuk menjalankan sistem. Rangkaian parallel dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 5 Rangkaian Parallel (Dhillon, 2006)

Secara matematis, penghitungan keandalan untuk rangkaian seri adalah sebagai berikut:

$$Rp = 1 - Fs \quad (2. 5)$$

$$Rp = 1 - \prod_{j=1}^k F_j \quad (2. 6)$$

Keterangan:

Rp : Keandalan sistem parallel

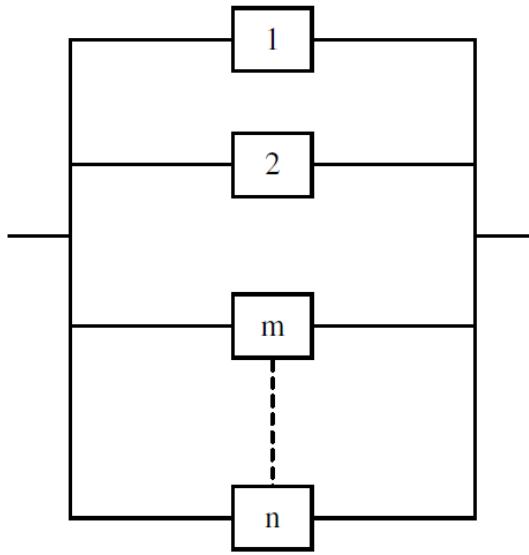
Fs : Peluang kerusakan pada sistem parallel

F_j : Peluang kerusakan pada komponen j

k : jumlah komponen dalam sistem

- **Rangkaian M -Out-of- N**

Rangkaian ini merupakan penjelasan untuk kasus dimana terdapat minimum komponen yang bekerja untuk dapat menjalankan sebuah sistem. Variabel M merupakan simbol untuk jumlah minimum komponen sedangkan N untuk jumlah total komponen. Misalkan terdapat rangkaian 2-Out-Of-3, artinya dibutuhkan minimum 2 dari 3 komponen untuk dapat menjalankan sistem. Rangkaian M -out-of- N dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Rangkaian *M-out-of-N* (Dhillon, 2006)

Secara matematis, penghitungan keandalan untuk rangkaian ini adalah sebagai berikut:

$$R_{m/n} = \sum_{j=m}^n \binom{n}{j} R^j (1-R)^{n-j} \quad (2. 7)$$

$$\binom{n}{j} = \frac{n!}{(n-j)! j!} \quad (2. 8)$$

Keterangan:

$R_{m/n}$: Keandalan sistem $m - out - of - n$

n : jumlah komponen dalam sistem

m : jumlah komponen minimum

j : jumlah komponen yang dapat bekerja

2.3.3. *Availabilitas*

Suatu peralatan atau komponen dapat dikatakan tersedia apabila dapat bekerja sesuai fungsinya pada saat yang dibutuhkan. Secara formal, availabilitas dapat didefinisikan sebagai peluang suatu sistem atau komponen dapat digunakan pada suatu rentang waktu dan kondisi yang telah ditentukan. Waktu yang dimaksud meliputi waktu operasi dan waktu aktif perbaikan. Secara matematis, availabilitas dapat dirumuskan sebagai berikut:

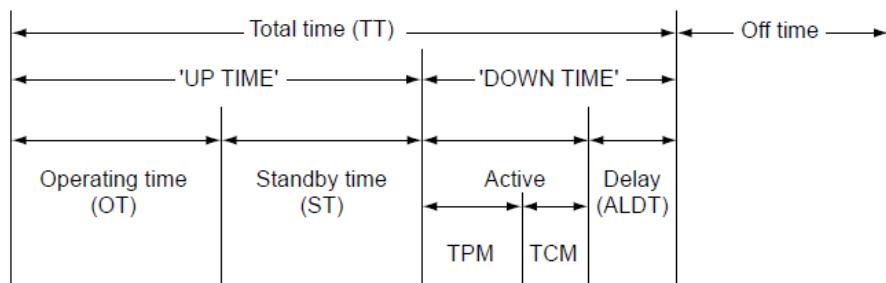
$$\text{Availabilitas} = \frac{\text{Up Time}}{\text{Total Time}} = \frac{\text{Up Time}}{\text{Up Time} + \text{Down Time}} \quad (2.9)$$

Keterangan:

Up Time: rentang waktu dimana suatu komponen dapat berfungsi

Down Time: rentang waktu dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi

Konsep availabilitas menjadi indicator penting karena berkaitan dengan produktivitas perusahaan. Dalam beberapa kasus, availabilitas menjadi salah satu alat ukur efektivitas produksi. Penggambaran mengenai konsep availabilitas dapat dilihat pada Gambar:



Gambar 2. 7 Waktu total peralatan dalam sistem (Stapelberg, 2009)

2.4. Pemeliharaan

Keandalan dan kerusakan merupakan suatu ketidakpastian yang dapat mempengaruhi sistem. Unsur ketidakpastian membuat perusahaan harus menyiapkan waktu untuk sebuah konsekuensi kegagalan ketika sistem tidak dapat berfungsi. Risiko ini dapat diminimalisir dengan melakukan upaya pemeliharaan. Pemeliharaan merupakan suatu aktivitas yang dilakukan untuk menjaga suatu peralatan dan mengembalikan peralatan ke kondisi semua. Mengacu pada definisi tersebut, pemeliharaan tidak hanya dilakukan ketika perlatan mengalami kerusakan namun juga sepanjang siklus hidupnya. Namun pada dasarnya, pemeliharaan tidak dapat mengembalikan peralatan 100% ke kondisi semula kecuali dilakukan tindakan penggantian. Terdapat beberapa strategi yang dilakukan dalam pemeliharaan:

a) *Corrective Maintenance*

Perawatan atau pemeliharaan seringkali dilakukan ketika peralatan mengalami kerusakan. Konsep ini dinamakan *corrective maintenance*. *Corrective maintenance* dilakukan untuk mengembalikan peralatan ke kondisi semula atau sering disebut dengan perbaikan ketika peralatan tersebut tidak dapat berfungsi.

b) *Preventive Maintenance*

Preventive Maintenance (PM) adalah upaya pemeliharaan yang dilakukan sebelum kerusakan atau kondisi *breakdown* terjadi. Pemeliharaan ini menjadi suatu agenda penting dan biasanya dipertimbangkan dengan porsi yang cukup besar. Umumnya, PM dilakukan secara rutin atau berkala.

c) *Predictive Maintenance*

Upaya pemeliharaan jenis ini mirip dengan PM, hanya saja dilakukan deteksi untuk mengetahui kondisi dari suatu peralatan sehingga sebelum kerusakan terjadi dapat dilakukan upaya pemeliharaan. Pendekripsi dapat dilakukan dengan melihat kondisi atau statistik.

2.5. *Probability plotting* untuk analisis distribusi

Probability plot adalah teknik untuk menilai atau menentukan apakah sekumpulan data mengikuti sebuah distribusi probabilitas seperti Normal atau Weibull (Chambers et al, 1983). Di dalam statistik, pengujian untuk membandingkan antara sekumpulan data dan distribusi probabilitas teoritis dinamakan uji *goodness of fit*. *Probability plot* memberikan gambaran terkait kecenderungan distribusi probabilitas beserta parameter dari sekumpulan data. Kegiatan ini dilakukan untuk menemukan pola dari sekumpulan data sehingga memudahkan peneliti dalam membuat simulasi atau prediksi di masa depan.

Probability plot diukur dengan koefisien korelasi atau *error* untuk menemukan distribusi probabilitas dan parameter yang dapat menggambarkan dengan akurat kecenderungan dari sekumpulan data. Dalam kasus kerusakan mesin, *probability plotting* dilakukan untuk mengetahui pola waktu antar kerusakan mesin sehingga dapat dilakukan prediksi terkait kapan kerusakan akan terjadi. Beberapa jenis kasus memberikan asumsi distribusi tersendiri seperti

Weibull untuk menggambarkan pola waktu antar kerusakan, Exponential untuk waktu antar kedatangan, dan Normal untuk pengendalian kualitas suatu produk.

Tabel 2. 1 Fungsi distribusi

Name	CDF	PDF	Data Range
Normal	$\int_{-\infty}^x \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt{2\pi}}$	$\int_{-\infty}^x \frac{e^{-(x-\mu)^2/(2\sigma^2)}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$	$-\infty \leq x \leq \infty$
Uniform	x	$\frac{1}{B-A}$	$A \leq x \leq B$
Weibull	$1 - e^{-(x^\gamma)}$	$\frac{\gamma}{\alpha} \left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)^\gamma\right)$	$x \geq 0$
Exponential	$1 - e^{\frac{-x}{\beta}}$	$\frac{1}{\beta} e^{-\frac{(x-\mu)}{\beta}}$	$x \geq 0$
Gamma	$\frac{\Gamma(x \gamma)}{\Gamma(\gamma)}$	$\frac{\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\beta}\right)}{\beta\Gamma(\gamma)}$	$x \geq 0$
Lognormal	$\Phi\left(\frac{\ln(x)-\theta}{\sigma}\right)$	$\frac{e^{-(\ln(x-\theta)/m)^2/2\sigma^2}}{(x-\theta)\sigma\sqrt{2\pi}}$	$x \geq 0$
Chi-Square	$\frac{\gamma(\frac{v}{2}, \frac{x}{2})}{\Gamma(\frac{v}{2})}$	$\frac{e^{\frac{-x}{2}} x^{\frac{v}{2}-1}}{2^{\frac{v}{2}} \Gamma(\frac{v}{2})}$	$x \geq 0$

Seperti yang telah dijelaskan di awal subbab bahwa kasus mengidentifikasi pola waktu antar kerusakan mesin sering dikaitkan dengan distribusi Weibull. Hal ini dijelaskan melalui dampak pada perubahan parameter beta terhadap *failure rate*. Ketika $\beta < 1$ maka nilai *failure rate* akan menurun seiring berjalan nya waktu, $\beta = 1$ maka *failure rate* tidak mengalami perubahan, dan $\beta > 1$ maka *failure rate* akan mengalami peningkatan. Dampak pada perubahan ini membuat tiga tahap *bathup curve* dapat dimodelkan dengan distribusi Weibull. Perlu diketahui bahwa tingkat kerusakan Weibull pada $0 < \beta < 1$ menghasilkan nilai tak terbatas pada $T = 0$.

Penelitian ini akan membahas tentang kasus yang berkaitan dengan keandalan peralatan atau mesin. Berkaitan dengan kasus tersebut, berikut ini akan

dijelaskan mengenai langkah – langkah manual untuk melakukan Weibull *probability plot*.

- 1) Menghitung *Cumulative Density Function* (CDF)

$$F(T) = 1 - e^{-(\frac{T}{\alpha})^\beta} \quad (2. 10)$$

- 2) Mengkonversi CDF menjadi fungsi linier yaitu dalam bentuk $y = mx + b$

$$Q(t) = 1 - e^{-(\frac{T}{\alpha})^\beta} \quad (2. 11)$$

$$\ln(1 - Q(t)) = \ln(e^{-(\frac{T}{\alpha})^\beta}) \quad (2. 12)$$

$$\ln(1 - Q(t)) = -\left(\frac{T}{\alpha}\right)^\beta \quad (2. 13)$$

$$\ln(-\ln(1 - Q(t))) = \beta \ln\left(\frac{T}{\alpha}\right) \quad (2. 14)$$

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - Q(t)}\right)\right) = \beta \ln(T) - \beta \ln(\alpha) \quad (2. 15)$$

- 3) Memberikan permisalan

$$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - Q(t)}\right)\right) \quad (2. 16)$$

$$x = \ln(T) \quad (2. 17)$$

- 4) Menuliskan fungsi dalam bentuk yang lebih sederhana

$$y = \beta x - \beta \ln(\alpha) \quad (2. 18)$$

2.6. Sistem

Sistem dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari komponen yang saling berhubungan secara terorganisir dan bekerja bersama menuju suatu tujuan (Wu, 1992). Menurut Merriam-webster, sistem merupakan kelompok item yang secara teratur berinteraksi atau saling tergantung membentuk satu kesatuan yang utuh. Sesuatu dapat didefinisikan sebagai suatu sistem apabila memiliki beberapa karakteristik antara lain:

- 1) Memiliki satu atau banyak tujuan
- 2) Komponen terkoneksi secara terorganisasi
- 3) Komponen – komponen tersebut bekerja bersama untuk mencapai suatu tujuan

2.7. Kriteria Kelayakan Finansial

Finansial merupakan aspek penting dalam perusahaan yang dapat menentukan keberlangsungannya. Di dalam bidang teknik, finansial dipertimbangkan dalam suatu ilmu ekonomi teknik. Ekonomi teknik merupakan bagian dari analisis ekonomi yang diaplikasikan dalam bidang teknik. Menurut Blank (2018), ekonomi teknik melibatkan formulasi, estimasi, dan evaluasi hasil ekonomi dari alternatif yang dirancang untuk mencapai tujuan yang ditentukan. Salah satu konsep ekonomi teknik yaitu TVM. TVM merupakan suatu konsep yang menjelaskan bahwa nilai uang sekarang dengan jumlah tertentu lebih besar daripada nilai uang pada jumlah tertentu di masa depan (Thuesen, 2001). Hal ini menjadi dasar penghitungan suatu proyek dalam jangka waktu tertentu dikatakan layak. Kriteria kelayakan finansial yang digunakan pada penelitian ini adalah *Net Present Value* (NPV) dan *Equivalent Uniform Annualized Cost* (EUAC).

2.7.1. Net Present Value

Mengacu pada konsep , nilai uang sekarang dan masa depan memiliki perbedaan. Menurut Blank (2018), sejumlah uang di masa depan apabila dikonversi di masa sekarang akan menjadi lebih kecil karena terdampak *interest rate*. Hal ini mendasari penghitungan *present value*. *Present value* (PV) adalah suatu nilai yang merupakan konversi dari nilai sejumlah uang di masa depan. Secara matematis, PV dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$PV = \frac{F}{(1 + i)^t} \quad (2.19)$$

atau sering ditulis sebagai berikut:

$$(P/F, i, t) = \frac{1}{(1 + i)^t} \quad (2.20)$$

Keterangan:

F: Future value

i: discount rate

t: periode atau jangka waktu yang dievaluasi

PV merupakan nilai tunggal. Pada banyak kasus, evaluasi dilakukan tidak hanya terhadap satu angka melainkan untuk beberapa sekaligus seperti total biaya pada suatu periode dengan menjumlahkan semua nilai PV menjadi *Net Present*

Value (NPV). Salah satu indikator suatu proyek dikatakan layak secara finansial adalah apabila menghasilkan NPV di atas 0 atau positif.

2.7.2. *Equivalent Uniform Annualized Cost*

Equivalent Uniform Annualized Cost (EUAC) adalah biaya tahunan seragam dari kepemilikan, operasional, dan pemeliharaan sepanjang siklus hidup. EUAC sering digunakan untuk keputusan penganggaran moda, karena memungkinkan perusahaan untuk membandingkan efektivitas biaya berbagai aset yang memiliki rentang hidup yang tidak sama. Formula yang digunakan untuk menghitung EUAC adalah sebagai berikut:

$$EUAC = \frac{NPV \times i}{1 - (1 + i)^{-n}} \quad (2.21)$$

Keterangan:

NPV: Net Present Value

i = discount rate

n: jumlah periode

Hasil dari EUAC dapat digunakan sebagai dasar penentuan umur ekonomis yaitu dengan mengevaluasi hasil dengan jumlah periode yang berbeda – beda hingga didapatkan nilai minimum EUAC.

2.8. Simulasi Monte Carlo

Istilah Monte Carlo secara khusus berasosiasi dengan proses memodelkan dan mensimulasikan suatu sistem yang dipengaruhi oleh keacakan. Secara formal, simulasi Monte Carlo merupakan teknik matematika terkomputerisasi yang dapat digunakan untuk membuat analisis kuantitatif dan pengambilan keputusan terhadap risiko. Metode ini banyak digunakan pada beberapa bidang seperti keuangan, manajemen proyek, energi, keteknikan, riset dan pengembangan, manufaktur, asuransi, minyak dan gas bumi, transportasi, dan lingkungan. Simulasi monte carlo akan menghasilkan output berupa jangkauan yang memungkinkan dan probabilitas yang akan terjadi dari suatu keputusan atau tindakan. Metode monte carlo tidak menghasilkan output yang eksak karena input data merupakan data skotastik yaitu data dengan nilai yang tidak pasti atau acak.

Sebagian besar permasalahan keuangan merupakan ketidakpastian. Hal ini menyebabkan optimasi tidak dapat digunakan.

Simulasi monte carlo melakukan analisis risiko dengan membangun model melalui input berupa distribusi probabilitas. Input berupa distribusi probabilitas akan menghasilkan beberapa output dengan probabilitas yang berbeda – beda.

Beberapa tahap yang dilakukan dalam simulasi Monte Carlo antara lain (Zaroni et al., 2019):

- 1) Menetapkan *probability density function* (pdf) untuk setiap model data input
- 2) Membangkitkan sejumlah N bilangan acak untuk setiap data input
- 3) Mengkombinasikan sampel acak untuk mendapatkan N vector input
- 4) Melakukan simulasi pada model sebanyak N kali sehingga didapatkan vector hasil, dan pemetaan input-output.
- 5) Setelah dilakukan proses simulasi maka akan muncul sekumpulan data output ($y_1 \dots y_2 \dots y_N$) beserta pdf dari hasil tersebut.

2.9. Teknik Validasi

Validasi merupakan suatu tahap dalam simulasi untuk menentukan sejauh mana model simulasi dapat merepresentasikan kondisi nyata (Sargent, 2011). Teknik validasi terdiri dari beberapa macam jenis antara lain:

- Animasi

Perilaku sistem melalui model yang ditampilkan secara grafis sepanjang waktu

- Perbandingan dengan model lain

Beberapa hasil dari model simulasi dibandingkan dengan hasil dari model lain yang valid.

- Uji degenerasi

Pengujian dilakukan dengan menilai pola perubahan *output* seperti kenaikan atau penurunan dengan memasukkan beberapa percobaan pada *input*.

- *Event Validity*

Pengujian dilakukan dengan membandingkan jumlah kejadian pada simulasi dengan kejadian pada kondisi aktual.

- Uji kondisi ekstrim

Kondisi ekstrim menjadi *input* pengujian untuk menilai apakah hasil simulasi masih masuk akal. Kondisi ekstrim yang dimaksud adalah seperti jumlah *input* yang sangat besar atau sangat kecil.

- *Face Validity*

Metode pengujian ini dilakukan dengan menilai suatu model dari pengetahuan yang dimiliki tentang perilaku kondisi nyata. Teknik validasi ini menilai apakah suatu model memenuhi logika model konseptual.

- *Historical Data Validation*

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan *output* pada kondisi nyata. Metode ini bisa dilakukan juga dengan membagi data menjadi data *building* dan data *testing*. Data yang digunakan untuk membangun model lalu akan dibandingkan dengan sisa data untuk pengujian.

- *Internal Validity*

Teknik validasi untuk menilai variabilitas dari hasil simulasi dengan menjalankan simulasi sebanyak replikasi tertentu.

- *Multistage Validation*

Teknik validasi yang mengkombinasikan tiga metode historis yaitu rasionalisme, empirisme, dan ilmu positif ke dalam proses validasi bertahap. Teknik ini terdiri dari mengembangkan asumsi model pada teori, pengamatan, dan pengetahuan umum, lalu memvalidasi asumsi model jika memungkinkan dengan mengujinya secara empiris, dan membandingkan hubungan input-output model dengan sistem nyata.

- *Operational Graphics*

Pengujian dengan menilai berbagai ukuran atau indikator kinerja sepanjang waktu melalui grafik

- Variabilitas Parameter – Analisis Sensitivitas

Teknik validasi yang dilakukan dengan mengubah *input* dan beberapa parameter model untuk melihat efek pada perubahan *output* yang lalu akan dibandingkan dengan kondisi nyata.

- *Predictive Validation*

Model digunakan untuk memprediksi perilaku sistem dan lalu perbandingan dibuat di antara perilaku sistem dan prediksi model untuk menentukan apakah keduanya sama.

- *Traces*

Perilaku berbagai jenis entitas tertentu dalam model ditelusuri melalui model untuk menentukan apakah logika model itu benar dan jika akurasi yang diperlukan diperoleh

- *Turing Test*

Teknik validasi yang dilakukan dengan cara memberi pertanyaan pada individu yang memiliki pengetahuan tentang operasi sistem yang dimodelkan untuk membedakan antara output sistem dan model.

Validasi model simulasi dengan *input* yang tidak pasti perlu melalui tahap penentuan jumlah replikasi untuk mengakomodasi variabilitas. Semakin banyak jumlah replikasi maka *error* yang dihasilkan akan semakin kecil. *Output* model simulasi diharapkan memenuhi batas nilai *error* tertentu sesuai yang ditetapkan. Penentuan nilai *error* dapat dilakukan dengan *absolute error* atau *relative error*. Pada prinsipnya, nilai *error* simulasi harus berada di bawah nilai batas *error*. Apabila, nilai *error* melebihi batas maka akan dilakukan perhitungan jumlah replikasi, lalu setelah itu nilai *error* akan dievaluasi kembali hingga mencapai batas maksimum nilai *error*.

- *Absolute Error*

Nilai penyimpangan atau kesalahan dari nilai rata – rata.

$$\frac{(t_{n-1,\alpha/2})s}{\sqrt{n}} \leq \beta \quad (2.22)$$

$$n' = \left[\frac{(z_{\alpha/2})s}{\beta} \right]^2 \quad (2.23)$$

Keterangan:

β = *absolute error*

t = *student's T value*

n = jumlah replikasi

α = tingkat *error*

s = standar deviasi

z = tingkat kepercayaan

n' = jumlah replikasi minimum

- *Relative Error*

$$\frac{hw}{\bar{x}} \leq \gamma \quad (2.24)$$

$$hw = t_{n-1,1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (2.25)$$

$$n' = \left[\frac{(z_{\alpha/2})s}{(\frac{\gamma}{1+\gamma})\bar{x}} \right]^2 \quad (2.26)$$

Keterangan:

hw = *half width*

γ = *relative error*

\bar{x} = Rata – rata

Apabila nilai *error* sudah memenuhi syarat, maka tahap selanjutnya adalah melakukan validasi dengan data yang sudah disiapkan. Validasi dilakukan dengan menggunakan uji *student's t* dua rataan populasi. Hipotesis yang digunakan dalam validasi ini dijelaskan dalam eq 2.27 dan 2.28.

$$H_0: \mu_{simulasi} = \mu_{aktual} \quad (2.27)$$

$$H_1: \mu_{simulasi} \neq \mu_{aktual} \quad (2.28)$$

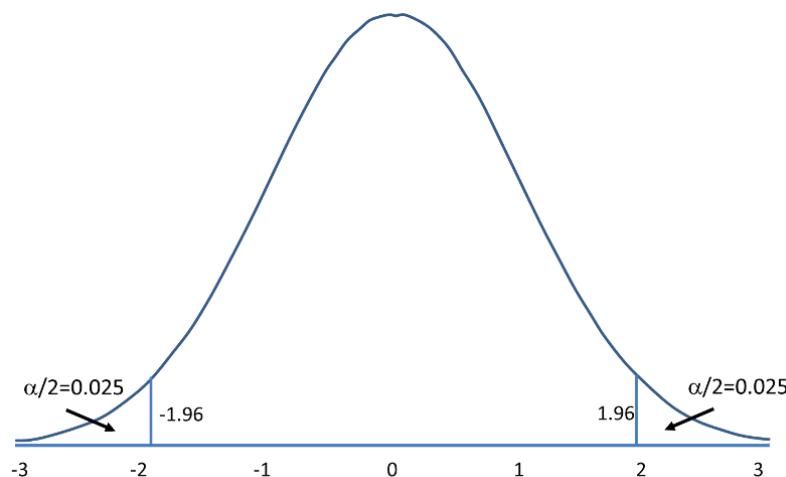
Model dikatakan valid apabila hasil dari pengujian adalah tidak tolak H_0 yang berarti tidak ada perbedaan antara rata – rata hasil simulasi dan rata – rata hasil pada kondisi aktual. Langkah awal validasi adalah menghitung parameter rata – rata dan standar deviasi, lalu dilanjutkan dengan juga menghitung *pooled standart deviation*.

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2.29)$$

Selanjutnya, menghitung nilai t hitung yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai t Tabel atau nilai kritis dengan tingkat error 5%. Rumus t hitung dapat dilihat pada eq.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.30)$$

Apabila, t hitung terletak di antara rentang nilai kritis yaitu antara $-t_{\alpha/2}$ dan $t_{\alpha/2}$, maka hasil pengujian adalah tidak tolak H_0 sehingga dapat dikatakan bahwa model yang dibangun memenuhi syarat validasi.



Gambar 2.8 Two tailed hypothesis test (www.sphweb.bumc.bu.edu)

2.10. Posisi Penelitian

Posisi penelitian memberikan penjelasan terkait posisi penelitian ini terhadap penelitian sebelumnya. Pada subbab ini ada beberapa aspek dalam penelitian yang menjadi pembanding yaitu ruang lingkup dan jenis input. Ruang lingkup dibagi menjadi dua yaitu komponen dan sistem. Jenis input dibagi menjadi dua yaitu deterministic dan stokastik. Deterministik merupakan jenis input yang tidak mengakomodasi keacakan variabel sehingga hasilnya merupakan angka eksak. Stokastik merupakan kebalikan dari deterministik sehingga hasilnya merupakan angka dalam bentuk jangkauan dengan probabilitas.

Tabel 2. 2 Posisi Penelitian

No	Penulis	Judul	Ruang Lingkup		Jenis input		Keterangan
			Komponen	Sistem	Deterministik	Stokastik	
1	Raghavan & Chowdhury (2012)	Developing Life Cycle Management Plans For Power Plant Components	✓			✓	Menentukan NPV dan meminimasi biaya dalam jangka panjang. Meneliti pengaruh signifikan pemeliharaan terhadap LCC
2	Patil (2013)	Reliability Analysis and Life Cycle Cost Optimization of Band Saw Cutting Machine		✓	✓		Menganalisis biaya siklus hidup dan melakukan perbaikan melalui aspek keandalan
3	Wadud (2017)	Fully automated vehicles: A cost of ownership analysis to inform early adoption	✓		✓		Membandingkan antara kendaraan pribadi dan komersil dengan teknologi <i>fully automated vehicle</i> dengan indikator TCO.

No	Penulis	Judul	Ruang Lingkup		Jenis input		Keterangan
			Komponen	Sistem	Deterministik	Stokastik	
4	Hanafi (2019)	Life Cycle Cost Management Model for Reliability Based Asset to Determine Asset Economic Life Time Considering The Relationship between Maintenance and Reliability Aspect	✓			✓	Mengembangkan model LCC dengan menghitung umur ekonomis asset pada suatu mesin untuk membantu pengambilan keputusan penggantian
5		Penelitian ini		✓		✓	Mengembangkan model TCO/LCC untuk menentukan umur ekonomis dan melakukan analisis pada suatu subsistem produksi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi untuk melakukan penelitian ini. Gambar 3.1 adalah diagram alir (*flowchart*) dalam pelaksanaan penelitian ini.

3.1. Tahap Identifikasi Awal

Tahap ini terdiri dari tiga tahapan yaitu studi literatur dan studi lapangan, identifikasi permasalahan, dan penentuan tujuan penelitian.

1) Studi Literatur dan Studi Lapangan

Studi literatur adalah studi yang dilakukan melalui referensi terpilih seperti buku, *paper*, penelitian, artikel, dan sumber lain untuk memberikan gambaran terkait dengan dasar, landasan teori, dan metode penyelesaian masalah.

Studi lapangan adalah studi yang dilakukan melalui observasi dan diskusi dengan pihak perusahaan terkait beberapa poin bahasan penelitian untuk mengeksplorasi permasalahan.

2) Identifikasi Permasalahan

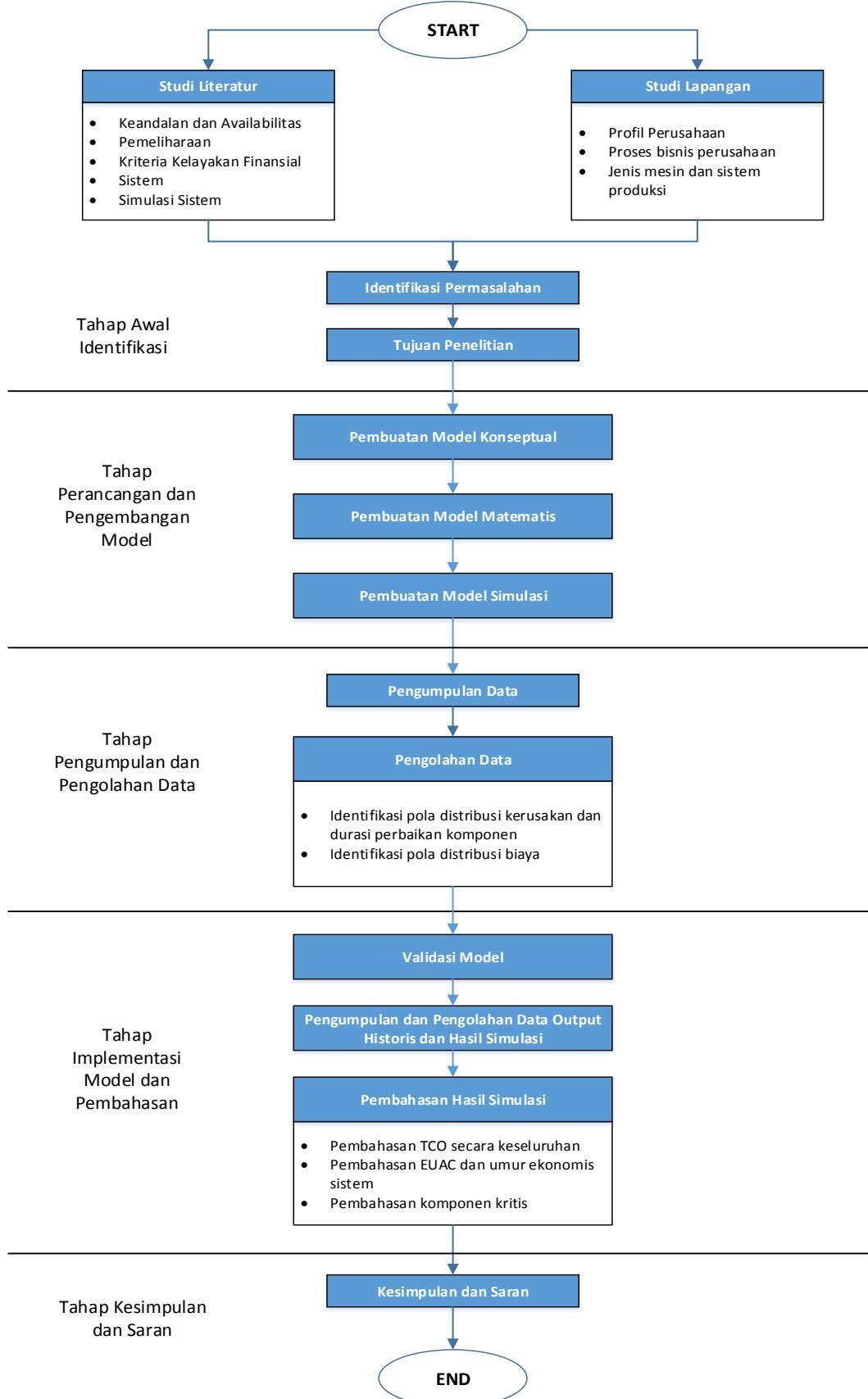
Identifikasi permasalahan dilakukan untuk menemukan permasalahan dari kondisi eksisting suatu objek amatan. Secara konsep, permasalahan ditimbulkan dari gap antara kondisi ideal dan kondisi eksisting. Tahap ini dapat dilakukan melalui studi literatur dan wawancara dengan narasumber dari objek amatan.

3) Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian digunakan untuk menyelesaikan dan memecahkan permasalahan yang telah diidentifikasi pada suatu penelitian.

3.2. Tahap Perancangan dan Pengembangan Model

Pembuatan model dibagi menjadi tiga tahap yaitu pembuatan model konseptual, formulasi model matematis, dan pembuatan model simulasi.



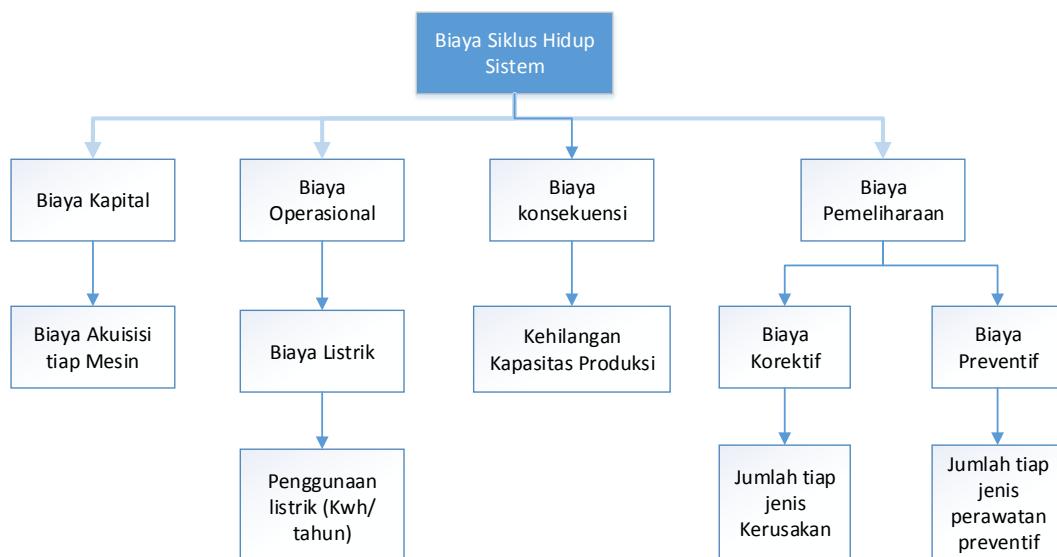
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

1) Pembuatan model konseptual

Model konseptual merupakan model yang digunakan untuk merepresentasikan suatu sistem atau menjelaskan permasalahan secara menyeluruh dalam bentuk yang lebih sederhana. Model konseptual dapat digambarkan melalui beberapa *tools* yaitu *flow diagram*, *tree diagram*, *influence diagram*, dan lain – lain. Pada penelitian ini, ada beberapa model yang akan dipaparkan yaitu struktur biaya siklus hidup, model perhitungan biaya siklus hidup, dan *block diagram*.

a. Struktur biaya siklus hidup

Pada penelitian ini, biaya siklus hidup terdiri dari tiga elemen yaitu kapital, operasional, dan pemeliharaan seperti tertera pada Gambar 3.2. Biaya kapital merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian komponen sistem yaitu biaya akuisisi mesin. Biaya operasional merupakan biaya yang dikeluarkan selama masa aktif sistem produksi di luar pemeliharaan meliputi biaya untuk listrik, bahan bakar, dan konsekuensi kehilangan produksi. Biaya pemeliharaan merupakan biaya yang dikeluarkan untuk perawatan berkala dan perbaikan pada kerusakan komponen.



Gambar 3.2 Struktur biaya siklus hidup sistem

b. Model perhitungan biaya siklus hidup dan umur ekonomis

Perhitungan biaya siklus hidup dilakukan dengan menghitung empat elemen biaya secara terpisah. Setiap elemen biaya ini memiliki pemicu nya

masing – masing. Biaya siklus hidup lalu dihitung dengan menjumlahkan biaya kapital, biaya operasional, dan biaya pemeliharaan. Biaya tersebut lalu dikonversi menjadi NPV dengan mempertimbangkan *discount rate* tertentu dan diubah ke dalam bentuk EUAC. Hasil EUAC ini akan menjadi bahan analisis untuk selanjutnya diberikan rekomendasi perbaikan.

c. *Block Diagram*

Diagram blok merupakan diagram alir khusus, tingkat tinggi yang digunakan pada bidang teknik. Diagram ini digunakan untuk merancang sistem baru atau menjelaskan dan memperbaiki sistem sebelumnya. Struktur diagram terdiri dari gambaran komponen sistem utama, proses utama, dan hubungan kerja yang penting. Bentuk dasar yang digunakan pada diagram ini adalah kotak dan lingkaran yang dihubungkan dengan garis sebagai simbol relasi. Diagram blok pada penelitian ini akan dibagi menjadi dua yaitu *system block diagram* untuk menjelaskan hubungan komponen dalam sistem dan *reliability block diagram* untuk menjelaskan hubungan keandalan komponen terhadap sistem.

2) Pembuatan model matematis

Model matematis merupakan model yang menggambarkan relasi antar faktor melalui persamaan dengan operasi matematika. Input yang digunakan dalam sistem akan diolah menggunakan model matematis menjadi beberapa output yang akan menuntun kepada hasil akhir permodelan.

3) Pembuatan model simulasi

Model simulasi merupakan model yang digunakan untuk mengimitasi suatu sistem nyata dan menjalankannya untuk memprediksi kinerjanya di dunia nyata. Model simulasi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah model simulasi monte carlo. Pada penelitian ini, kejadian kerusakan sistem dimodelkan secara statis menggunakan simulasi monte carlo. Kerusakan akan dibagi ke dalam dua jenis yaitu kerusakan pada sistem seri yang menyebabkan *breakdown* dan kerusakan pada subsistem parallel yang memiliki peluang sangat kecil untuk menyebabkan *breakdown*. Kejadian kerusakan sistem akan disimulasikan dengan membangkitkan kejadian kerusakan tiap perlantai. Setelah kerusakan dimodelkan, maka langkah selanjutnya adalah memodelkan ketidakpastian biaya hingga

penentuan umur ekonomis. Pada model simulasi akan dihasilkan TCO tiap tahun, biaya tahunan atau EUAC, hingga umur ekonomis sistem.

3.3. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data merupakan suatu proses pengambilan atau pengumpulan informasi yang dibutuhkan untuk penelitian. Metode pengumpulan data terdiri dari metode pengumpulan data primer dan sekunder. Metode pengumpulan data primer dapat dilakukan dengan metode statistik, survey, wawancara, metode Delphi, dan *focus group discussion*. Metode pengumpulan data sekunder dapat dilakukan dengan menggunakan *report* perusahaan dan data historis. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain adalah:

- 1) Proses produksi, data proses produksi meliputi alur proses pada subsistem yang diobservasi.
- 2) Komponen sistem produksi, data komponen meliputi komponen apa saja yang digunakan, kapasitas komponen, jumlah komponen, susunan dan cara kerja komponen dalam lini produksi, kemungkinan kondisi yang terjadi jika komponen rusak (sistem *breakdown*, sistem tetap berjalan dengan kapasitas normal, atau sistem berjalan di bawah kapasitas normal), komponen yang rusak, durasi antar kerusakan komponen (*mean time between failure*), durasi perbaikan komponen (*mean time to repair*), serta kebijakan pemeliharaan untuk masing-masing komponen.
- 3) Data biaya meliputi biaya akuisisi untuk setiap komponen, biaya operasional untuk setiap komponen, dan biaya pemeliharaan. Biaya operasional meliputi biaya tenaga kerja, biaya *opportunity*, dan biaya energy (listrik dan bahan bakar). Biaya pemeliharaan meliputi biaya *sparepart* dan biaya jasa perbaikan serta perawatan
- 4) Realisasi produksi, data realisasi produksi meliputi historis target produksi dan pemenuhan target produksi.

Pengolahan data merupakan proses yang dilakukan untuk mengkonversi data yang telah dikumpulkan ke dalam bentuk yang sesuai dan dapat digunakan. Tahap ini terdiri dari identifikasi pola distribusi kerusakan komponen dan durasi perbaikan komponen dan identifikasi pola distribusi biaya.

3.4. Tahap Implementasi Model dan Pembahasan

Pada tahap ini, data yang sudah dikumpulkan dan diolah pada tahap sebelumnya akan dimasukkan ke dalam model simulasi sebagai input untuk menjalankan simulasi. Hasil simulasi akan dikumpulkan dan diolah untuk masuk ke dalam analisis dan pembahasan. Beberapa hasil yang dimaksud antara lain hari efektif operasional, kebutuhan operasional, jumlah kerusakan, proporsi biaya tiap komponen terhadap sistem, TCO keseluruhan, EUAC, dan umur ekonomis.

Hasil dari simulasi akan juga dianalisis dan dibahas pada tahap ini. Beberapa analisis yang akan dilakukan yaitu analisis terhadap TCO secara keseluruhan, EUAC dan umur ekonomis, dan komponen kritis.

3.5. Tahap Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini akan dilakukan penarikan kesimpulan dan pemberian saran. Penarikan kesimpulan dan saran dilakukan dengan mengacu pada permasalahan yang telah diidentifikasi dan tujuan penelitian. Saran yang diberikan meliputi saran untuk perusahaan dan penelitian lebih lanjut.

BAB 4

PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN MODEL

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan dan pengembangan model meliputi pembuatan model konseptual, formulasi model matematis, dan pembuatan model simulasi.

4.1. Pembuatan Model Konseptual

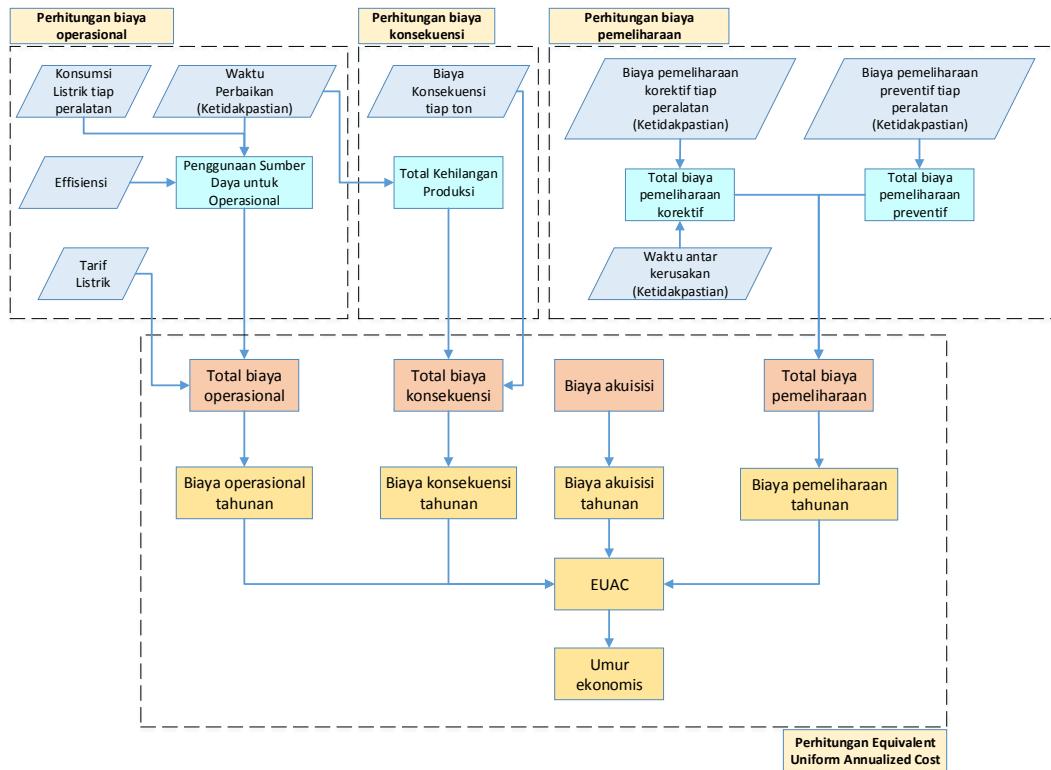
Model konseptual merupakan representasi dari suatu sistem yang digunakan untuk mengkomunikasikan sistem tersebut secara efektif. Pembuatan model ini ditujukan agar sistem dapat dengan mudah dipahami sehingga dapat memudahkan untuk mengimitasi sistem menjadi model simulasi. Model konseptual pada penelitian ini akan dibagi ke dalam empat bagian yaitu model *Total Cost of Ownership* (TCO), model *System Block Diagram*, dan model *Reliability Block Diagram*.

4.1.1. Pembuatan Model Total Cost of Ownership

Total Cost of Ownership (TCO) merupakan biaya keseluruhan yang dihasilkan oleh suatu asset sepanjang masa kepemilikan atau siklus hidup. Pada penelitian ini, TCO diteliti untuk suatu subsistem produksi semen yaitu Raw Mill dan Packer. Komponen biaya yang dikalkulasi ke dalam TCO untuk penelitian ini adalah biaya akuisisi, biaya operasional, biaya konsekuensi, dan biaya pemeliharaan. Setiap komponen biaya ini dijumlahkan setiap tahunnya lalu dikonversi ke dalam EUAC. Biaya akan diobservasi dan diproyeksikan ke dalam beberapa tahun ke depan. Tahun yang menunjukkan nilai minimum EUAC akan dijadikan sebagai batas periode umur ekonomis.

Pada kasus ini, waktu antar kerusakan mesin dan waktu perbaikan mesin tidak hanya memberikan pengaruh terhadap pemeliharaan tetapi juga menjadi faktor yang berpengaruh terhadap biaya operasional dan biaya konsekuensi. Biaya operasional dihitung melalui biaya dari kebutuhan listrik per tahun dimana pola waktu antar kerusakan mesin dan waktu perbaikan berpengaruh terhadap kehilangan kebutuhan listrik yang diestimasikan per tahun. Biaya konsekuensi juga dipengaruhi oleh pola waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan yang berdampak pada kehilangan *opportunity* untuk dapat menghasilkan produk dengan jumlah tertentu. Pola waktu tersebut berbeda untuk setiap mesin kecuali

untuk beberapa mesin yang identik. Setiap biaya yang dikeluarkan seiring bertambahnya tahun akan dikalkulasi dengan menyertakan asumsi inflasi pada tingkat tertentu.



Gambar 4. 1 Perhitungan EUAC dan Umur Ekonomis

4.1.2. Pembuatan System Block Diagram

Terdapat dua sistem yang diobservasi dalam penelitian ini yaitu Raw Mill dan Packer. Penjelasan mengenai dua sistem ini adalah sebagai berikut:

➤ Raw Mill

Peralatan ini berfungsi untuk menggiling bahan baku semen menjadi rawmix sebelum melalui proses pembakaran. Peralatan ini merupakan bagian dari tahap besar *raw meal production*. Pada penelitian ini, observasi pada Raw Mill akan dibahas hingga keterkaitannya dengan *cyclone* yang dipaparkan pada Gambar 4.2. Secara umum, Raw Mill terdiri dari beberapa tahap yaitu penggilingan bahan baku yang dilakukan oleh subkomponen roller, pemindahan partikel secara vertikal menuju separator, dan pemisahan antara partikel yang memenuhi persyaratan dan tidak oleh separator. Partikel yang melewati separator akan diseleksi untuk menuju *cyclone*. Apabila partikel masih terlalu besar

sehingga tidak sesuai persyaratan maka akan dikembalikan ke *grinding tables* untuk diproses kembali. *Cyclone* bertugas untuk memisahkan partikel padat dan gas/debu. Partikel padat akan mengalir menuju *rotary feeder* dan selanjutnya akan menuju *blending silo*. Partikel gas atau partikel yang sangat halus akan dialirkkan melewati *ventury*, *damper*, dan *raw mill fan*, dan selanjutnya akan diproses agar debu tidak terlepas ke udara.

Setiap komponen dalam sistem ini didukung oleh beberapa subkomponen. *Grinding table* dan *roller* pada Raw Mill digerakkan oleh *main drive*. Separator digerakkan oleh *main drive* dan didukung oleh *grease system*. Setiap subkomponen *main drive* dan *roller* didukung oleh *circulation lube system*. Untuk sistem Raw Mill juga didukung oleh *water spray* dan *fan circulation system*.

➤ Packer

Peralatan ini merupakan ujung dari proses produksi semen yang berfungsi untuk mengemas semen yang berbentuk curah ke dalam *bag*. Sistem pengemasan secara berurutan terdiri dari penyimpanan semen sementara ke dalam *cement bin*, proses pengemasan, menimbang berat semen, dan proses pengiriman semen menggunakan *rear loader*. Dalam proses pengemasan semen menggunakan *packing machine*, untuk setiap alat terdapat subkomponen pendukung yaitu *bag placer*. Blok diagram dapat dilihat pada Gambar 4.3

4.1.3. Pembuatan Reliability Block Diagram

Pada permodelan ini, sistem dikatakan mengalami *breakdown* ketika tidak bisa bekerja. Penjelasan mengenai *reliability block diagram* untuk sistem Raw Mill dan Packer adalah sebagai berikut:

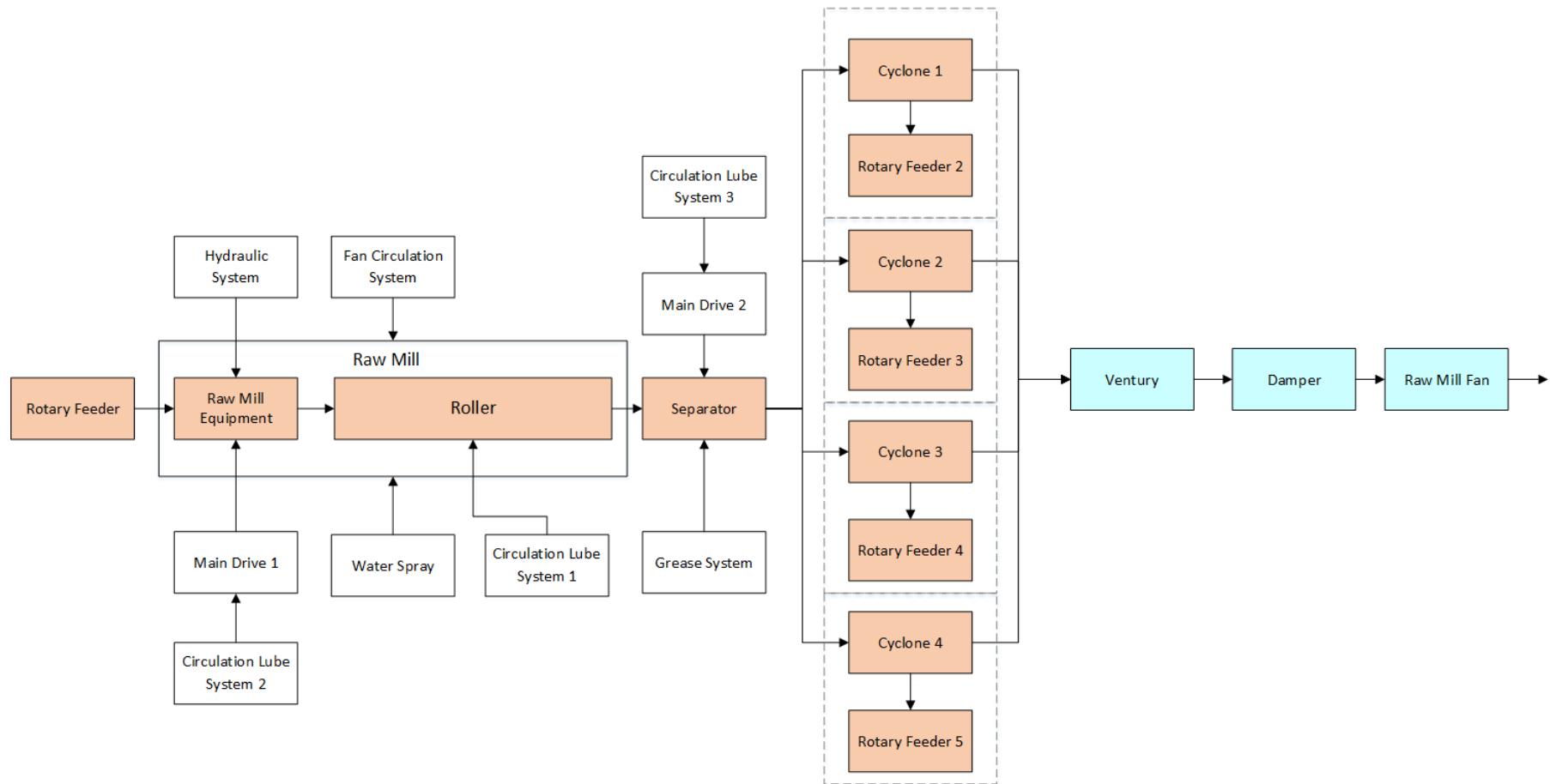
➤ Raw Mill

Terdapat beberapa komponen utama yang dapat menyebabkan Raw Mill berhenti operasi apabila terjadi kerusakan pada salah satunya yaitu pada *rotary feeder*, *main drive*, *separator*, dan *hydraulic system*. Setiap komponen tersebut memiliki kelengkapan yang harus bekerja agar sistem tidak *breakdown* antara lain *circulation lube system 1* yang mendukung *raw mill*, *circulation lube system 2* yang mendukung *main drive*, *grease system* yang mendukung *separator*, dan

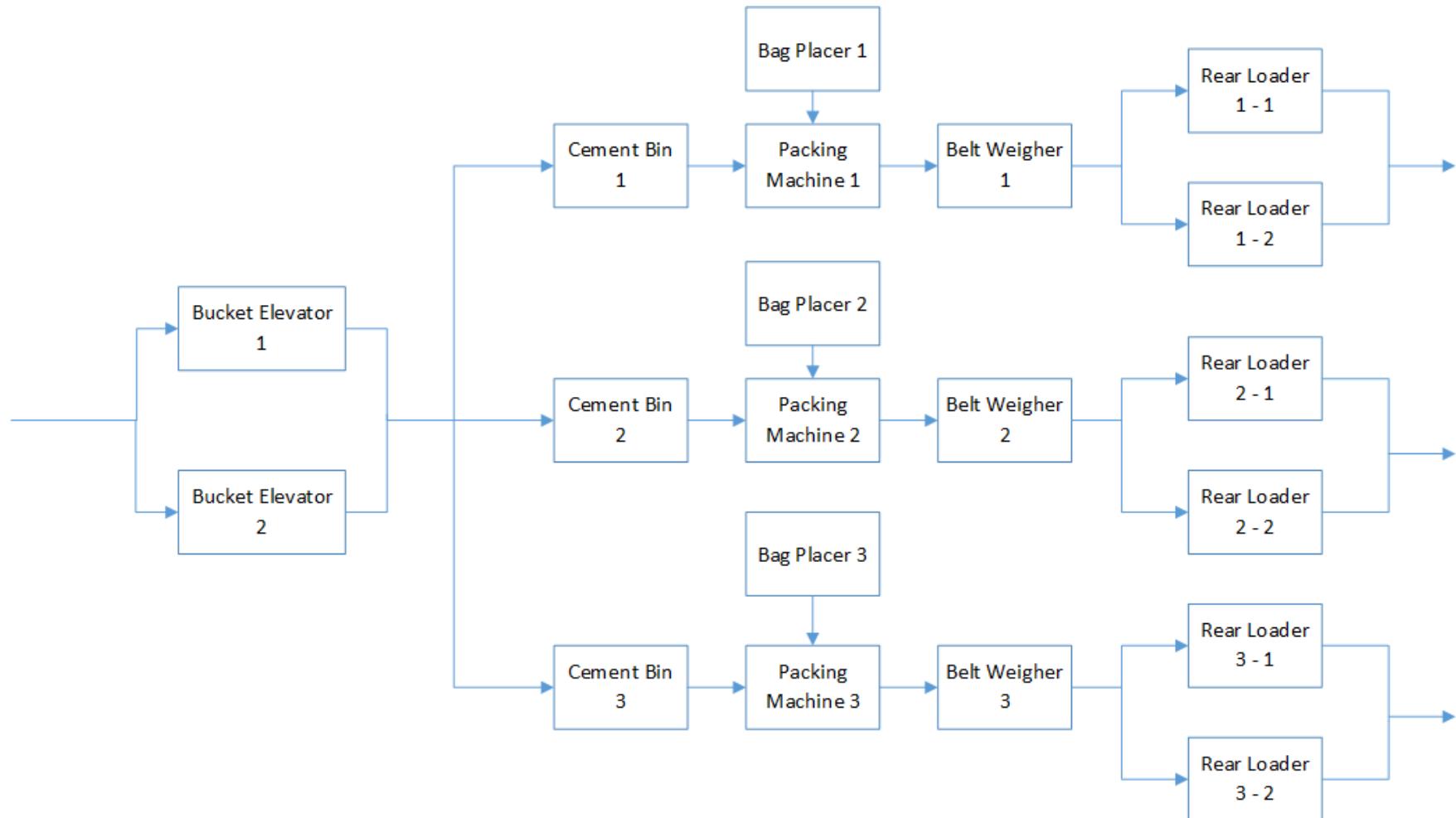
circulation lube system 3 yang mendukung *main drive* 2. Beberapa komponen yang disusun secara parallel, yang pertama adalah antara *air sealing fan* dan *water spray*. Salah satu dari kedua komponen harus bekerja agar sistem tidak *breakdown*. Selanjutnya adalah pada bagian pemisahan partikel antara padat dan gas. Sistem ini terdiri dari empat set komponen *cyclone* dan *rotary feeder* yang disusun secara parallel. Sistem penyaluran gas melewati ventury dan damper tidak diperhitungkan dalam RBD karena tidak berdampak pada *system breakdown*. Komponen *raw mill fan* disusun secara seri dengan keseluruhan sistem. Blok diagram dapat dilihat pada Gambar 4.4

➤ Packer

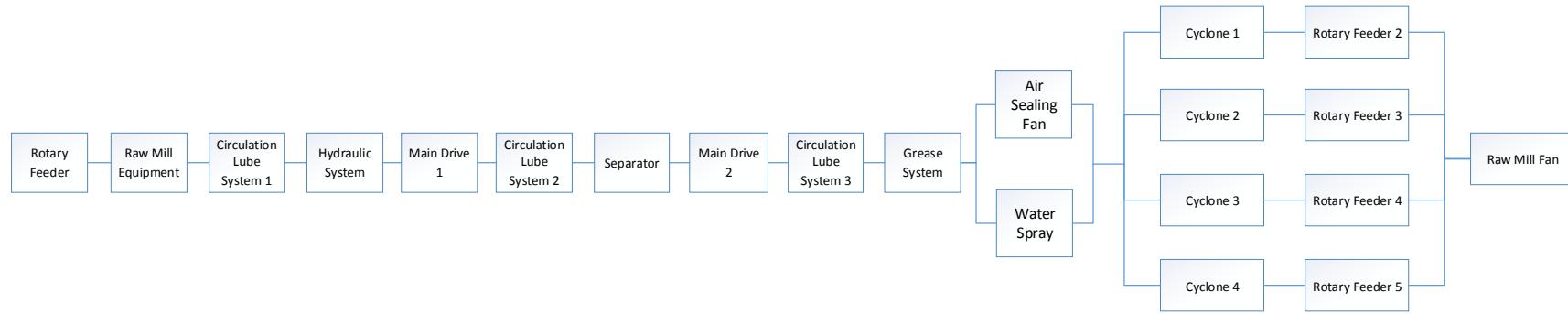
Secara garis besar pada sistem Packer, terdapat dua komponen *bucker elevator* yang disusun secara parallel, lalu terdapat tiga set sistem pengemasan yang disusun secara parallel mulai dari *cement bin*, *packing machine*, *bag placer*, *belt weigher*, dan *rear loader* yang disusun secara seri. *Rear loader* untuk masing – masing set terdiri dari dua komponen yang tersusun secara paralel. Blok diagram dapat dilihat pada Gambar 4.5



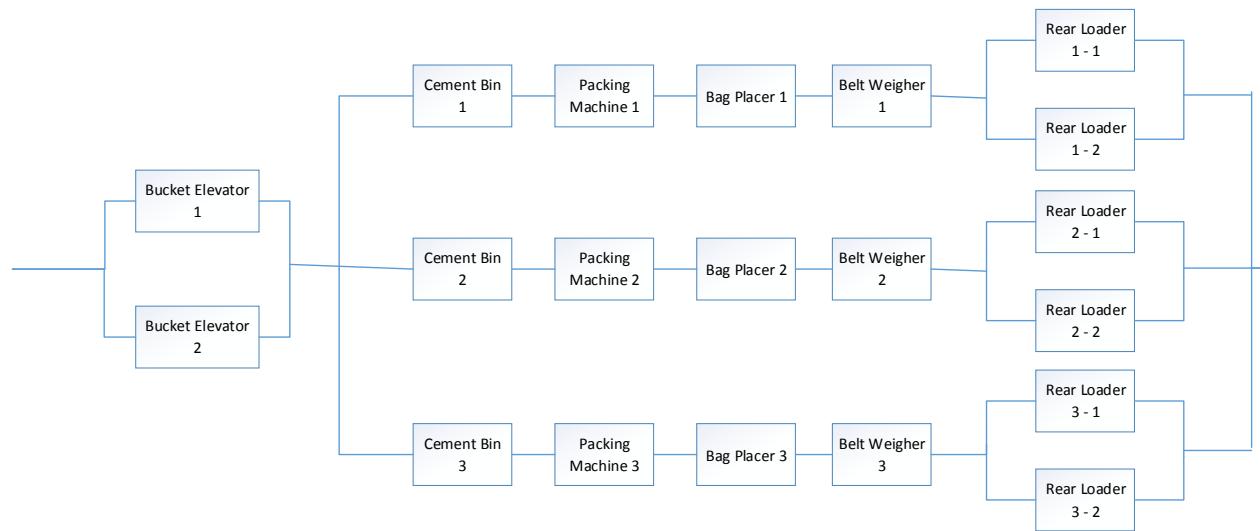
Gambar 4. 2 System Block Diagram Raw Mill



Gambar 4. 3 System Block Diagram Packer



Gambar 4. 4 Reliability Block Diagram Raw Mill



Gambar 4. 5 Reliability Block Diagram Packer

4.2. Pembuatan Model Matematis

Pada subbab pembuatan model matematis akan dibahas mengenai model matematis untuk biaya pemeliharaan, biaya operasional, dan biaya konsekuensi.

4.2.1. Model Matematis Biaya Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan dibagi menjadi dua yaitu biaya pemeliharaan preventif dan biaya pemeliharaan korektif. Biaya pemeliharaan preventif merupakan golongan biaya yang dikeluarkan untuk menghindari terjadinya kerusakan yang dapat menimbulkan konsekuensi kerugian yang lebih besar. Biaya yang termasuk didalam pemeliharaan preventif ini antara lain adalah servis rutin, penggantian, dan *overhaul*. Biaya pemeliharaan preventif dipisahkan tiap tahun untuk tiap mesin.

$$Maintenance\ Cost = \sum PM_{cost} + \sum CM_{cost} \quad (4.1)$$

$$PM_{cost} = \sum_{m=1}^n Service_{cost} + \sum_{m=1}^n OVH_{cost} + \sum_{m=1}^n R_{cost} \quad (4.2)$$

Keterangan:

PM_{cost} = Biaya Pemeliharaan Preventif

CM_{cost} = Biaya Pemeliharaan Korektif

$Service_{cost}$ = Biaya servis rutin

OVH_{cost} = Biaya overhaul

R_{cost} = Biaya penggantian

m = nomor mesin yang diobservasi

n = jumlah mesin

Biaya pemeliharaan korektif dikeluarkan untuk menangani kerusakan mesin untuk dikembalikan ke fungsi semula. Perhitungan biaya pemeliharaan korektif melibatkan jumlah kerusakan tiap periode untuk tiap mesin yang dipicu oleh kemunculan kejadian kerusakan yang tidak pasti sepanjang periode. Kerusakan setiap mesin memiliki pola yang berbeda pada waktu antar kerusakan dan biaya yang dikenakan. Total biaya pemeliharaan korektif untuk tiap mesin akan dijumlahkan dan dihitung untuk periode 1 tahun.

$$CMcost = \sum_{m=1}^n Total\ biaya\ korektif\ mesin_m \quad (4.3)$$

4.2.2. Model Matematis Biaya Operasional

Biaya operasional merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan penggunaan energi. Pada penelitian ini, biaya operasional yang dihitung adalah biaya penggunaan listrik. Biaya listrik per tahun dihitung dari tarif listrik per *kilowatt hours* (kWh) dikalikan dengan jumlah jam operasional per hari, hari efektif operasional, dan efisiensi.

$$BO_{tahunan} = TL * KO \quad (4.4)$$

$$KO = \left(\sum_{m=1}^n (K_m * JO * HEO_m * E) \right) - KK \quad (4.5)$$

Keterangan:

BO = Biaya Operasional (Rp)

TL = Tarif Listrik ($\frac{\text{Rp}}{\text{kWh}}$)

KO = Kebutuhan Operasional (kWh)

JO = Jam Operasional (jam)

K = Kapasitas (kW)

HEO = Hari Efektif Operasional (Hari)

E = Efisiensi

KK = Kehilangan Kapasitas (kWh)

Kebutuhan operasional tiap tahun berbeda – beda bergantung pada jumlah hari efektif operasional tiap tahun dan kehilangan kapasitas dari peralatan yang tersusun secara parallel atau tidak masuk ke dalam sistem keandalan sehingga tidak menyebabkan kerusakan keseluruhan sistem. Jumlah hari efektif operasional dihitung dari jumlah hari operasional dikurangi dengan jumlah hari perbaikan sistem. Kehilangan kapasitas dihitung dari jumlah hari perbaikan pada setiap lini paralel dan beberapa peralatan yang berada di luar sistem keandalan.

$$HEO = HO - \sum_{s=1}^{ns} WP_s \quad (4.6)$$

$$KK = JO * E * \left(\sum_{l=1}^{nl} (WP_l * K_l) + \sum_{o=1}^{no} (WP_o * K_o) \right) \quad (4.7)$$

Keterangan:

WP = Waktu Perbaikan (hari)

s = subsistem atau peralatan yang terletak pada sistem utama

ns = jumlah subsistem atau peralatan pada sistem utama

l = lini yang diobservasi

nl = jumlah lini parallel yang diobservasi

o = peralatan di luar sistem keandalan

no = jumlah peralatan di luar sistem keandalan

4.2.3. Model Matematis Biaya Konsekuensi

Biaya konsekuensi merupakan biaya *opportunity* akibat dari kehilangan produksi. Kehilangan produksi dibagi menjadi dua yaitu kehilangan total dan kehilangan sebagian. Kehilangan total terjadi ketika subsistem atau peralatan yang terletak pada sistem utama yang disusun secara seri mengalami kerusakan sehingga menyebabkan kerusakan satu kesatuan sistem. Kehilangan sebagian terjadi ketika salah satu lini yang tersusun secara paralel pada subsistem utama mengalami kerusakan sehingga menyebabkan terjadinya kehilangan kapasitas produksi sebagian. Dari penjelasan tersebut, biaya konsekuensi dapat dihitung dengan mengkalikan kehilangan total dan kehilangan sebagian dengan biaya konsekuensi per hari untuk masing – masing jumlah produksi yang hilang.

$$TBK = \sum_{s=1}^n WP_s * BK_{harian} + \sum_{l=1}^{nl} WP_l * \frac{BK_{harian}}{nl} \quad (4.8)$$

$$BK_{harian} = KP_{harian} * BK_{ton} \quad (4.9)$$

Keterangan:

TBK = Total Biaya Konsekuensi (Rp)

BK_{harian} = Biaya konsekuensi per hari (Rp)

KP_{harian} = Kapasitas produksi per hari (ton)

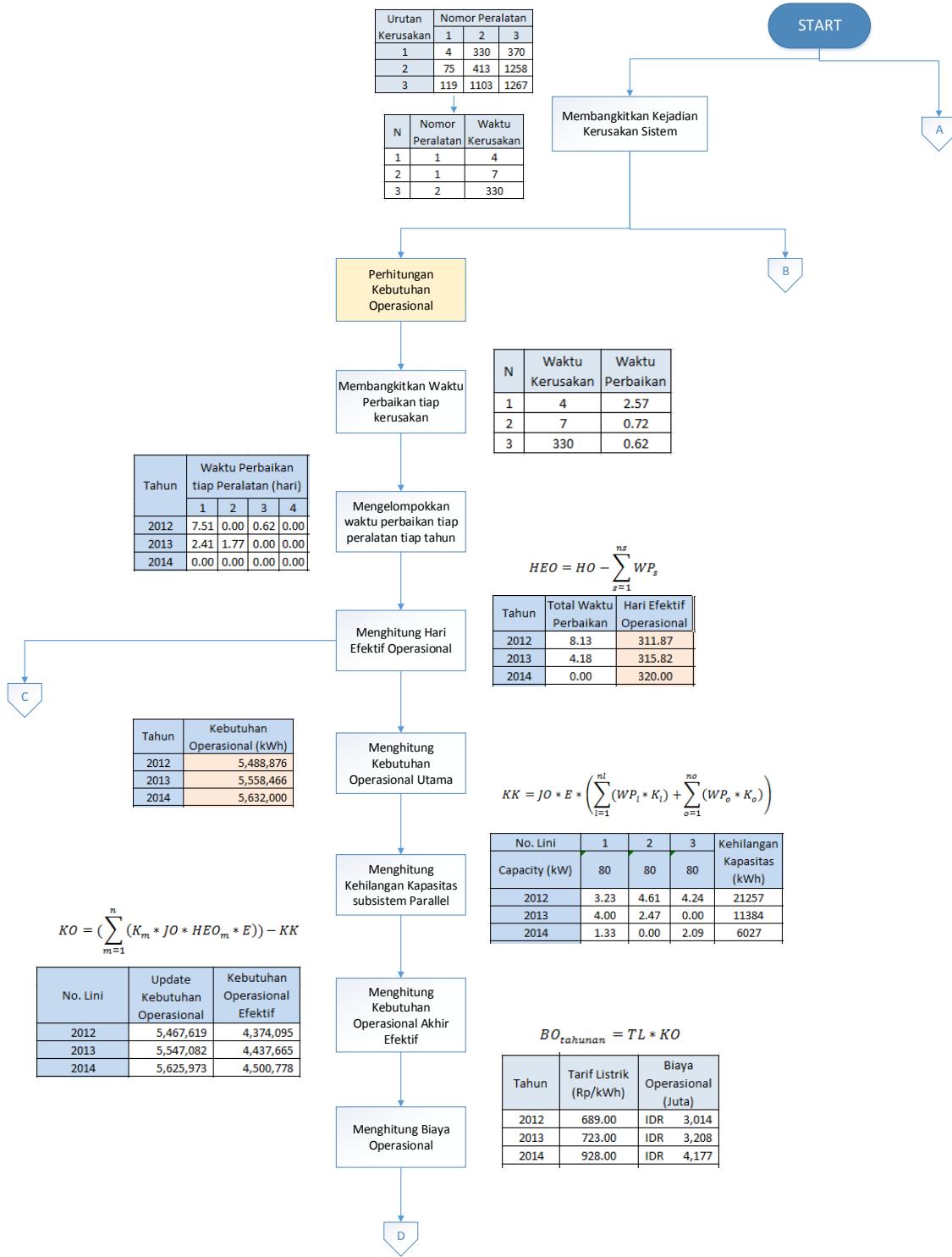
BK_{ton} = Biaya konsekuensi per ton ($\frac{\text{Rp}}{\text{ton}}$)

Jumlah produksi yang hilang per hari dapat dihitung dari kapasitas produksi per hari. Pada subsistem paralel, jumlah produksi yang dihasilkan tiap lini adalah kapasitas produksi harian dibagi dengan jumlah lini paralel.

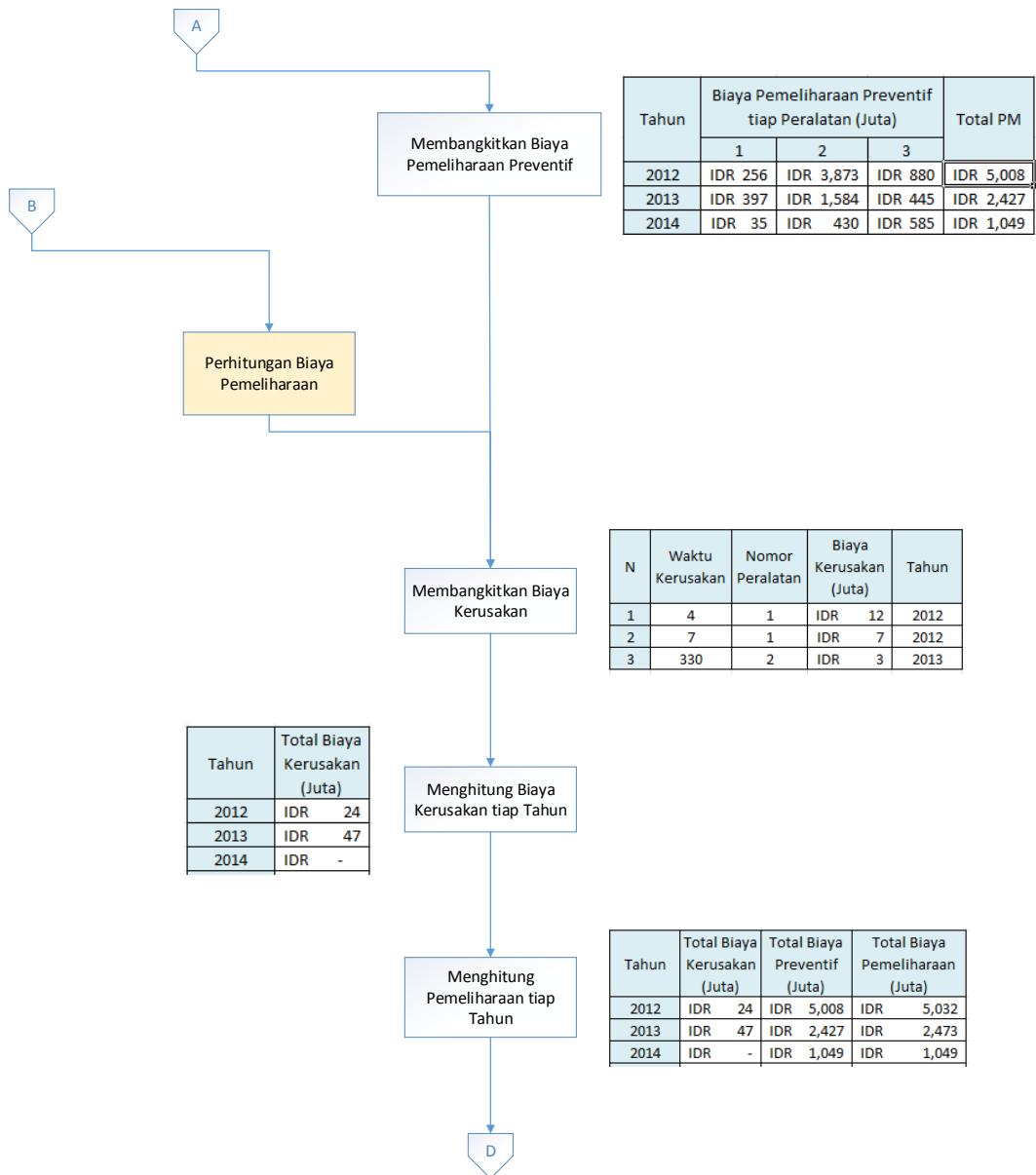
4.3. Pembuatan Model Simulasi

Model simulasi merupakan model yang digunakan untuk mengimitasi suatu sistem nyata dan menjalankannya untuk memprediksi kinerjanya di dunia nyata. Pada konteks ini, model simulasi berkaitan erat dengan model simulasi komputer yang merupakan metode implementasi komputer untuk menjelajahi model matematis dimana metode analitik sulit untuk diimplementasikan. Pada penelitian ini, alat yang digunakan untuk merancang model simulasi komputer adalah Microsoft Excel dan *add ins @risk* untuk membangkitkan angka acak sebagai representasi variabel ketidakpastian. Data yang digunakan pada pembuatan model simulasi di bab ini merupakan data *dummy* atau data palsu sebagai percontohan.

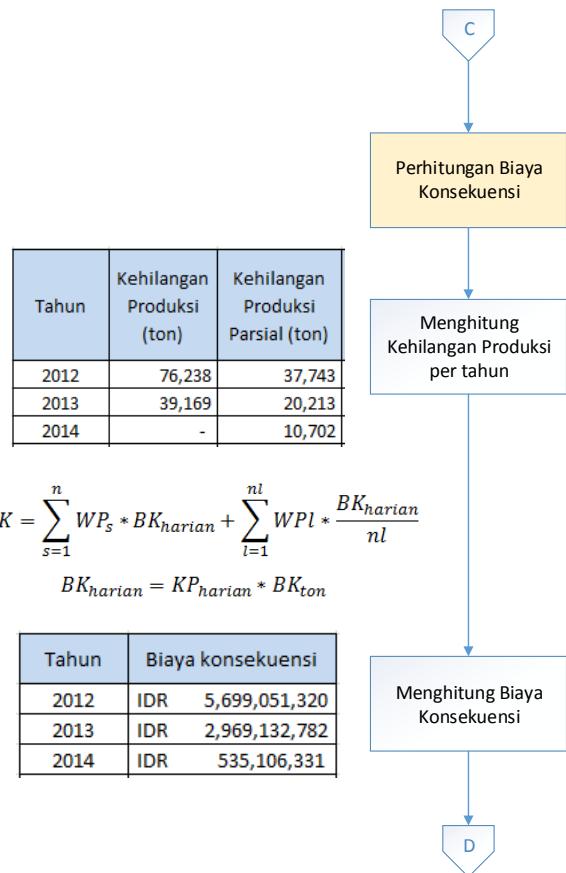
Langkah awal pembuatan model simulasi dimulai dari membangkitkan kejadian kerusakan lalu akan dilanjutkan dengan perhitungan kebutuhan operasional dan biaya pemeliharaan korektif. Pada perhitungan biaya pemeliharaan preventif tidak terdapat proses terdahulu yang perlu dilakukan sehingga dapat dimulai langsung dengan membangkitkan biaya pemeliharaan preventif. Langkah – langkah pembuatan model simulasi EUAC dapat dilihat pada Gambar 4.6 hingga 4.9.



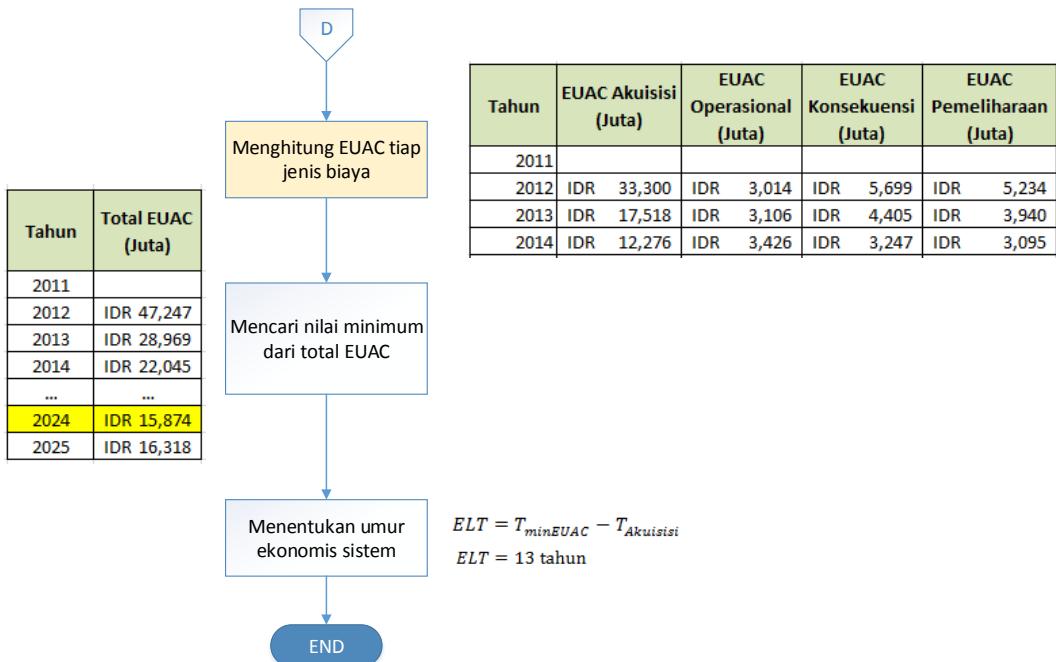
Gambar 4. 6 Pembuatan Model Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis Bagian 1



Gambar 4.7 Pembuatan Model Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis Bagian 2



Gambar 4. 8 Pembuatan Model Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis Bagian 3



Gambar 4. 9 Pembuatan Model Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis Bagian 4

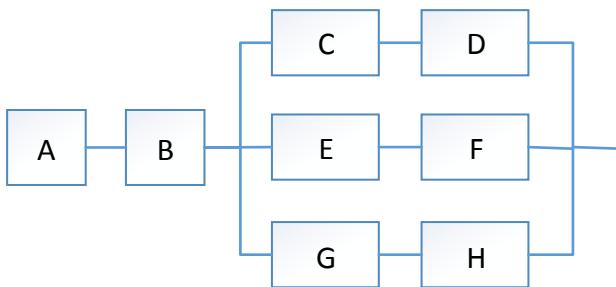
4.3.1. Model untuk Membangkitkan Kejadian Kerusakan Sistem

Kerusakan sistem disebabkan oleh kerusakan dari subsistem atau peralatan yang disusun pada sistem utama secara seri. Subsistem ini dapat berupa peralatan tunggal atau peralatan yang tersusun secara parallel. Setiap peralatan memiliki pola waktu antar kerusakannya masing – masing sehingga harus diurutkan dari kejadian yang paling awal. Kejadian kerusakan sistem diurutkan untuk seluruh peralatan dalam sistem sebagai satu kesatuan. Kejadian kerusakan menjadi pemicu untuk biaya pemeliharaan korektif, operasional, dan aspek produktivitas.

4.3.2. Model untuk Mengakomodasi Susunan Seri dan Parallel

Setiap peralatan pada sistem akan dikelompokkan ke dalam segmen dan lini. Segmen yang dimaksud disini adalah satu atau sekelompok peralatan pada susunan utama yang apabila rusak akan menyebabkan kerusakan satu kesatuan sistem. Untuk segmen yang terdiri dari sekelompok peralatan yang tersusun parallel, pada setiap lini akan diberi keterangan nomor lini, sehingga apabila terjadi kerusakan pada satu lini maka hanya beberapa peralatan pada lini tersebut yang akan berhenti beroperasi.

Misalkan, terdapat peralatan yang disusun sedemikian rupa pada Gambar 4.10. Peralatan A dan B dapat digolongkan sebagai segmen 1 dan 2. Lalu, sekelompok peralatan C,D,E,F,G,H dapat digolongkan sebagai segmen 3. C dan D terletak pada segmen 3 dan lini 1, E dan F terletak pada segmen 3 dan lini 2, dan G dan H terletak pada segmen 3 dan lini 3. Peralatan A dimisalkan mengalami kerusakan yang membutuhkan waktu perbaikan selama 2 hari. Dengan asumsi biaya konsekuensi sebesar Rp. 1.875.000.000 tiap hari, maka perusahaan akan mengeluarkan biaya konsekuensi sebesar Rp 3.750.000.000. Kasus lain adalah dimisalkan peralatan C mengalami kerusakan selama 3 hari. Dengan asumsi yang sama, biaya konsekuensi untuk tiap lini adalah sebesar Rp 625.000.000. Hal ini menyebabkan perusahaan mengeluarkan biaya konsekuensi sebesar Rp 1.875.000.000.



Gambar 4. 10 Ilustrasi Sistem Seri dan Parallel

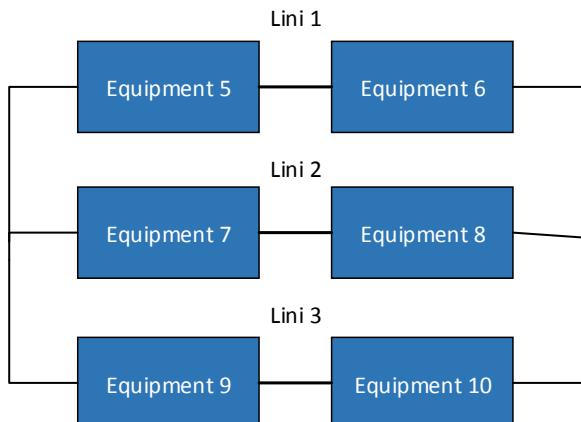
4.3.3. *Model Perhitungan Hari Efektif dan Kebutuhan Operasional*

Perhitungan hari efektif operasional dihitung dari total waktu perbaikan sistem yang didapat dari penjumlahan waktu perbaikan tiap peralatan pada tahun yang diobservasi. Model ini dapat dilihat pada Gambar 4.6. Waktu perbaikan sistem dihitung dari kerusakan segmen utama atau peralatan yang tersusun secara seri dalam sistem utama sehingga kerusakan satu peralatan ini menyebabkan kerusakan keseluruhan sistem. Setiap tahun nya dilakukan observasi terhadap peralatan yang mengalami kerusakan lalu waktu perbaikan setiap peralatan utama yang rusak pada tahun tersebut akan dijumlahkan.

Data kerusakan diurutkan dari waktu yang paling awal hingga yang paling besar dengan mengasumsikan bahwa tahun awal operasi adalah 2012. Selanjutnya, waktu perbaikan akan dijumlahkan dan dikurangkan dengan asumsi hari operasional yaitu 320 hari.

Melalui pengolahan data hari efektif operasional, apabila diasumsikan kapasitas listrik sistem (gabungan dari kapasitas seluruh peralatan) adalah 1000 kW, jam operasional adalah 22 jam per hari, dan efisiensi sebesar 0.8 maka didapatkan kebutuhan operasional untuk tahun 2012 yaitu 5,488,876 kWh dan dilanjutkan untuk tahun berikutnya. Namun, perhitungan kebutuhan operasional tidak berhenti pada perhitungan berdasarkan hari efektif operasional, melainkan juga perlu dilakukan perhitungan kehilangan kapasitas dari peralatan yang tidak termasuk ke dalam segmen utama. Peralatan ini tersusun secara paralel di dalam suatu subsistem atau bahkan sama sekali tidak memberikan pengaruh pada kerusakan sistem. Sebagai contoh, terdapat satu segmen atau subsistem yang terdiri tiga lini. Tiga lini tersebut masing – masing terdiri dari dua peralatan dengan kapasitas 50 kW dan 30 kW seperti yang digambarkan pada Gambar.

Maka, total kehilangan kapasitas tiap lini akan dihitung dengan total waktu perbaikan. Lalu, penjumlahan hasil dari ketiga lini akan dikurangkan dengan kebutuhan operasional pada perhitungan sebelumnya.



Gambar 4. 11 Susunan Peralatan Parallel Data Dummy

Nilai kebutuhan operasional setelah diperbarui merupakan penggunaan listrik saat efisiensi 100%, dengan asumsi efisiensi tidak 100%, maka kebutuhan operasional akan diperbarui dengan mengkalikan nilai sebelumnya dengan asumsi efisiensi yaitu 80%.

4.3.4. Model Perhitungan Biaya Operasional

Perhitungan biaya operasional dilakukan dengan mengalikan tarif listrik per kWh dengan kebutuhan operasional tiap tahun untuk mendapatkan biaya operasional per tahun. Tarif listrik tiap tahunnya akan mengalami perubahan bergantung pada asumsi persentase kenaikan tarif dan data historis tarif dari beberapa tahun sebelumnya. Model ini dapat dilihat pada Gambar 4.6

4.3.5. Model Perhitungan Biaya Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan korektif dan preventif dihasilkan dari input berupa ketidakpastian. Model biaya Pemeliharaan dapat dilihat pada Gambar 4.7. Biaya pemeliharaan korektif dihitung dengan menjumlahkan biaya kerusakan tiap kejadian kerusakan per tahun, yang mana setiap peralatan memiliki distribusi biaya pemeliharaan korektif masing - masing. Berbeda dengan biaya pemeliharaan korektif, nilai biaya pemeliharaan preventif dibangkitkan untuk tiap peralatan per tahun.

Total biaya pemeliharaan korektif dan preventif lalu dijumlahkan menjadi total biaya pemeliharaan per tahun. Pada perhitungan ini ditambahkan juga asumsi inflasi sebesar 3% untuk tahun observasi setelah 2019.

4.3.6. Model Perhitungan Biaya Konsekuensi

Biaya konsekuensi dihitung dengan mengalikan total kehilangan produksi per ton dan biaya dari kehilangan produksi tiap ton. Model perhitungan biaya konsekuensi dapat dilihat pada Gambar 4.8. Kehilangan produksi dapat dihitung dengan terlebih dahulu menentukan total waktu kerusakan. Setelah total waktu kerusakan sistem ditentukan, maka perlu dihitung juga total pengurangan kapasitas produksi dari kerusakan pada setiap lini sistem parallel.

4.3.7. Model Perhitungan Equivalent Uniform Annualized Cost dan Umur Ekonomis

Perhitungan total EUAC diawali dengan mengkonversi setiap jenis biaya ke dalam bentuk *present value* dengan periode yaitu sepanjang tahun yang dilalui. Model perhitungan EUAC dan umur ekonomis dapat dilihat pada Gambar 4.9. *Present value* tersebut lalu dikonversi menjadi EUAC untuk tiap jenis biaya dan dijumlahkan menjadi total EUAC. Umur ekonomis dapat ditentukan dengan mencari tahun yang memiliki EUAC minimum. Dari hasil perhitungan data *dummy*, tahun dengan EUAC minimum jatuh pada tahun 2024 sehingga dapat ditentukan bahwa umur ekonomis adalah 13 tahun. Pada perhitungan yang sesungguhnya, hasil EUAC dan umur ekonomis akan direplikasi dengan jumlah tertentu untuk mengakomodasi *error* dari hasil simulasi.

4.4. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan untuk perhitungan TCO terdiri dari data pasti dan data tidak pasti. Data pasti merupakan data yang memiliki nilai tetap atau tidak berubah ubah, sebaliknya data tidak pasti adalah data yang memiliki nilai berubah – ubah. Data tidak pasti akan diestimasikan menggunakan distribusi probabilitas tertentu. Data pasti yang digunakan adalah data operasional, biaya konsekuensi tiap ton, dan biaya akuisisi. Data tidak pasti yang digunakan adalah waktu antar kerusakan, waktu perbaikan, biaya pemeliharaan preventif, dan biaya

pemeliharaan korektif. Indikator yang digunakan untuk menilai akurasi distribusi probabilitas terhadap data aktual adalah *square error* dan *p-value*.

4.4.1. Data Operasional dan Biaya Akuisisi Komponen

Data operasional terdiri dari jumlah motor dan kapasitas (kW) tiap peralatan. Data biaya akuisisi dikumpulkan dalam mata uang *euro* sehingga harus dikonversi ke dalam rupiah dengan nilai tukar pada kurs jual untuk 1 EUR adalah 12.266 rupiah.

a) Sistem Raw Mill

Tabel 4. 1 Data Operasional dan Biaya Akuisisi Sistem Raw Mill

Nama Equipment	#Motor	Capacity (kW)	Acquisition Cost (EUR)	Acquisition Cost (IDR)
Rotary Feeder 1	1	15	€ 172,396.00	IDR 2,114,605,128
Roller Mill	0	0	€ 3,356,865.00	IDR 41,175,224,155
Circulation Lube System 1	1	8.36	€ 126,363.00	IDR 1,549,965,474
Hydraulic System	1	26	€ 463,099.00	IDR 5,680,361,031
Main Drive for Raw Mill	1	5350	€ 2,987,336.00	IDR 36,642,590,461
Circulation Lube System 2	1	51.5	€ 30,192.00	IDR 370,334,335
Separator	0	0	€ 498,984.00	IDR 6,120,525,565
Main Drive for Separator	1	365	€ 122,218.00	IDR 1,499,123,005
Circulating Lube System 2	1	2.4	€ 12,011.00	IDR 147,326,633
Grease System	1	0.2	€ 5,505.00	IDR 67,524,196
Fan Circulation System	1	7.5	€ 10,243.00	IDR 125,640,388
Water Spray	1	11	€ 23,929.00	IDR 293,512,530
Cyclone 1	0	0	€ 11,751.00	IDR 144,137,479
Cyclone 2	0	0	€ 11,751.00	IDR 144,137,479
Cyclone 3	0	0	€ 11,751.00	IDR 144,137,479
Cyclone 4	0	0	€ 11,751.00	IDR 144,137,479
Rotary Feeder for Cyclone 1	1	4	€ 14,047.00	IDR 172,300,159
Rotary Feeder	1	4	€ 14,047.00	IDR

Nama Equipment	#Motor	Capacity (kW)	Acquisition Cost (EUR)	Acquisition Cost (IDR)
for Cyclone 2				172,300,159
Rotary Feeder for Cyclone 3	1	4	€ 14,047.00	IDR 172,300,159
Rotary Feeder for Cyclone 4	1	4	€ 14,047.00	IDR 172,300,159
Raw Mill Fan	1	8000	€ 1,112,816.00	IDR 13,649,773,894
Ventury	0	0	€ 5,305.00	IDR 65,071,001
Damper	0	0	€ 39,104.00	IDR 479,648,710
Total			€ 9,069,558	IDR 111,246,977,057

b) Sistem Packer

Tabel 4. 2 Data Operasional dan Biaya Akuisisi Sistem Packer

Nama Equipment	#Motor	Capacity (kWh)	Acquisition Cost (EUR)	Acquisition Cost (IDR)
Bucket Elevator 1	1	7.8	€ 186,782.50	IDR 2,291,074,145.00
Bucket Elevator 2	1	7.8	€ 186,782.50	IDR 2,291,074,145.00
Bin Storage 1	1	33	€ 3,497.75	IDR 42,903,401.50
Bin Storage 2	1	33	€ 3,497.75	IDR 42,903,401.50
Bin Storage 3	1	33	€ 3,497.75	IDR 42,903,401.50
Packing Machine 1	1	33.5	€ 118,197.50	IDR 1,449,810,535.00
Packing Machine 2	1	33.5	€ 118,197.50	IDR 1,449,810,535.00
Packing Machine 3	1	33.5	€ 118,197.50	IDR 1,449,810,535.00
Bag Placer 1	1	3.13	€ 90,977.50	IDR 1,115,930,015.00
Bag Placer 2	1	3.13	€ 90,977.50	IDR 1,115,930,015.00
Bag Placer 3	1	3.13	€ 90,977.50	IDR 1,115,930,015.00
Belt Weigher 1	1	1.1	€ 24,380.00	IDR 299,045,080.00
Belt Weigher 2	1	1.1	€ 24,380.00	IDR 299,045,080.00
Belt Weigher 3	1	1.1	€ 24,380.00	IDR 299,045,080.00
Rear Loader 1	1	14.2	€ 20,911.25	IDR 256,497,392.50
Rear Loader 2	1	14.2	€ 20,911.25	IDR 256,497,392.50
Rear Loader 3	1	14.2	€ 20,911.25	IDR 256,497,392.50
Rear Loader 4	1	14.2	€ 20,911.25	IDR 256,497,392.50
Rear Loader 5	1	14.2	€ 20,911.25	IDR 256,497,392.50
Rear Loader 6	1	14.2	€ 20,911.25	IDR 256,497,392.50

Nama Equipment	#Motor	Capacity (kWh)	Acquisition Cost (EUR)	Acquisition Cost (IDR)
Total			€ 1,210,190.75	IDR 14,844,199,739.50

4.4.2. Waktu antar Kerusakan

Waktu antar kerusakan ditentukan dengan menghitung selisih waktu antar kerusakan yang satu dengan setelahnya dan juga dengan waktu awal pabrik beroperasi. Beberapa peralatan tidak memiliki data kerusakan atau dapat dikatakan bahwa jarang terjadi kerusakan sehingga dapat diasumsikan untuk peralatan yang bersangkutan tidak mengalami kerusakan.

a) Sistem Raw Mill

Tabel 4. 3 Distribusi Waktu Antar Kerusakan Sistem Raw Mill

No	Nama Equipment	Distribusi	Sq Error	P-value
1	Rotary Feeder 1	48 + EXPO(394)	0.050	>0.15
2	Roller Mill	WEIB(31.2, 0.591)	0.003	>0.15
3	Circulation Lube System 1	2 + WEIB(157, 0.336)	0.062	>0.15
4	Hydraulic System	73 + EXPO(500)	0.018	>0.15
5	Main Drive for Raw Mill	Digabungkan dengan Raw Mill		
6	Circulation Lube System 2	Tidak ada kerusakan		
7	Separator	WEIB(95.6, 0.536)	0.011	>0.15
8	Main Drive for Separator	Digabungkan dengan Separator		
9	Circulating Lube System 2	Tidak ada kerusakan		
10	Grease System	Tidak ada kerusakan		
11	Fan Circulation System	Tidak ada kerusakan		
12	Water Spray	Tidak ada kerusakan		
13	Cyclone 1	200 + EXPO(816)	0.027	>0.15
14	Cyclone 2	200 + EXPO(816)	0.027	>0.15
15	Cyclone 3	200 + EXPO(816)	0.027	>0.15
16	Cyclone 4	200 + EXPO(816)	0.027	>0.15
17	Rotary Feeder for Cyclone 1	Tidak ada kerusakan		
18	Rotary Feeder for Cyclone 2	Tidak ada kerusakan		
19	Rotary Feeder for Cyclone 3	Tidak ada kerusakan		
20	Rotary Feeder for Cyclone 4	Tidak ada kerusakan		
21	Raw Mill Fan	9 + WEIB(212, 0.456)	0.057	>0.15
22	Ventury	Tidak ada kerusakan		
23	Damper	Tidak ada kerusakan		

b) Sistem Packer

Tabel 4. 4 Distribusi Waktu Antar Kerusakan Sistem Packer

Nama Equipment	Distribusi	Sq Error	P-value
Bucket Elevator 1	9 + GAMM(2310, 0.34)	0.031	>0.15
Bucket Elevator 2	9 + GAMM(2310, 0.34)	0.031	>0.15
Bin Storage 1	Tidak ada kerusakan		
Bin Storage 2	Tidak ada kerusakan		
Bin Storage 3	Tidak ada kerusakan		
Packing Machine 1	2 + WEIB(496, 0.421)	0.028	>0.15
Packing Machine 2	2 + WEIB(496, 0.421)	0.028	>0.15
Packing Machine 3	2 + WEIB(496, 0.421)	0.028	>0.15
Bag Placer 1	2 + WEIB(173, 0.61)	0.010	>0.15
Bag Placer 2	2 + WEIB(173, 0.61)	0.010	>0.15
Bag Placer 3	2 + WEIB(173, 0.61)	0.010	>0.15
Belt Weigher 1	104 + EXPO(638)	0.033	>0.15
Belt Weigher 2	104 + EXPO(638)	0.033	>0.15
Belt Weigher 3	104 + EXPO(638)	0.033	>0.15
Rear Loader 1	5 + GAMM(1963, 0.443)	0.018	0.0205
Rear Loader 2	5 + GAMM(1963, 0.443)	0.018	0.0205
Rear Loader 3	5 + GAMM(1963, 0.443)	0.018	0.0205
Rear Loader 4	5 + GAMM(1963, 0.443)	0.018	0.0205
Rear Loader 5	5 + GAMM(1963, 0.443)	0.018	0.0205
Rear Loader 6	5 + GAMM(1963, 0.443)	0.018	0.0205

4.4.3. Waktu Perbaikan

a) Sistem Raw Mill

Tabel 4. 5 Distribusi Waktu Perbaikan Sistem Raw Mill

Nama Equipment	Distribusi	Square Error	P-value
Rotary Feeder 1	0		
Roller Mill	-0.5+WEIB(1.41, 0.79)	0.084	<0.005
Circulation Lube System 1	-0.5 + LOGN(0.772, 0.459)	0.010	<0.005
Hydraulic System	-0.5+LOGN(1.2, 1.15)	0.020	<0.005
Main Drive for Raw Mill	0		
Circulation Lube System 2	-0.5 + WEIB(0.759, 1.96)	0.000	
Separator	-0.5 + LOGN(0.597, 0.241)	0.008	
Main Drive for Separator	0		
Circulating Lube System 2	0		
Grease System	0		
Fan Circulation System	0		
Water Spray	0		
Cyclone 1	-0.5 + 3 * BETA(0.475, 1.23)	0.056	

Nama Equipment	Distribusi	Square Error	P-value
Cyclone 2	$-0.5 + 3 * \text{BETA}(0.475, 1.23)$	0.056	
Cyclone 3	$-0.5 + 3 * \text{BETA}(0.475, 1.23)$	0.056	
Cyclone 4	$-0.5 + 3 * \text{BETA}(0.475, 1.23)$	0.056	
Rotary Feeder for Cyclone 1	0		
Rotary Feeder for Cyclone 2	0		
Rotary Feeder for Cyclone 3	0		
Rotary Feeder for Cyclone 4	0		
Raw Mill Fan	$-0.5 + 3 * \text{BETA}(0.444, 0.889)$	0.070	
Ventury	0		
Damper	0		

b) Sistem Packer

Tabel 4. 6 Distribusi Waktu Perbaikan Sistem Packer

Nama Equipment	Distribusi	Square Error	P-value
Bucket Elevator 1	$-0.5 + \text{WEIB}(0.681, 2.11)$	0.000	
Bucket Elevator 2	$-0.5 + \text{WEIB}(0.681, 2.11)$	0.000	
Bin Storage 1	0		
Bin Storage 2	0		
Bin Storage 3	0		
Packing Machine 1	$-0.5 + 3 * \text{BETA}(0.691, 0.584)$	0.017	
Packing Machine 2	$-0.5 + 3 * \text{BETA}(0.691, 0.584)$	0.017	
Packing Machine 3	$-0.5 + 3 * \text{BETA}(0.691, 0.584)$	0.017	
Bag Placer 1	$-0.5 + 16 * \text{BETA}(0.215, 3.2)$	0.011	<0.005
Bag Placer 2	$-0.5 + 16 * \text{BETA}(0.215, 3.2)$	0.011	<0.005
Bag Placer 3	$-0.5 + 16 * \text{BETA}(0.215, 3.2)$	0.011	<0.005
Belt Weigher 1	$-0.5 + \text{LOGN}(0.62, 0.279)$	0.014	
Belt Weigher 2	$-0.5 + \text{LOGN}(0.62, 0.279)$	0.014	
Belt Weigher 3	$-0.5 + \text{LOGN}(0.62, 0.279)$	0.014	
Rear Loader 1	0		
Rear Loader 2	0		
Rear Loader 3	0		
Rear Loader 4	0		
Rear Loader 5	0		
Rear Loader 6	0		

4.4.4. Biaya Pemeliharaan Korektif

a) Sistem Raw Mill

Tabel 4. 7 Distribusi Biaya Pemeliharaan Korektif Sistem Raw Mill

Nama Equipment	Distribusi	Sq Error	P-value
Rotary Feeder 1	EXPO(2.34e+006)	0.133	0.0761
Roller Mill	EXPO(2.62e+007)	0.001	<0.01
Circulation Lube System 1	UNIF(-0.001, 4.05e+007)	0.160	>0.15
Hydraulic System	EXPO(2.65e+007)	0.032	>0.15
Main Drive for Raw Mill			
Circulation Lube System 2			
Separator	EXPO(2.82e+007)	0.033	>0.15
Main Drive for Separator			
Circulating Lube System 2			
Grease System			
Fan Circulation System			
Water Spray			
Cyclone 1	UNIF(-0.001, 3.2e+007)	0.206	0.0239
Cyclone 2	UNIF(-0.001, 3.2e+007)	0.206	0.0239
Cyclone 3	UNIF(-0.001, 3.2e+007)	0.206	0.0239
Cyclone 4	UNIF(-0.001, 3.2e+007)	0.206	0.0239
Rotary Feeder for Cyclone 1			
Rotary Feeder for Cyclone 2			
Rotary Feeder for Cyclone 3			
Rotary Feeder for Cyclone 4			
Raw Mill Fan	EXPO(6.73e+006)	0.042	>0.15
Ventury			
Damper			

b) Sistem Packer

Tabel 4. 8 Distribusi Biaya Pemeliharaan Korektif Sistem Packer

Nama Equipment	Distribusi	Sq Error	P-value
Bucket Elevator 1	EXPO(6.99e+006)	0.045	0.111
Bucket Elevator 2	EXPO(6.99e+006)	0.045	0.111
Bin Storage 1			
Bin Storage 2			
Bin Storage 3			
Packing Machine 1	0.999 + EXPO(4.69e+006)	0.022	>0.15
Packing Machine 2	0.999 + EXPO(4.69e+006)	0.022	>0.15
Packing Machine 3	0.999 + EXPO(4.69e+006)	0.022	>0.15
Bag Placer 1	EXPO(1.15e+007)	0.018	<0.01
Bag Placer 2	EXPO(1.15e+007)	0.018	<0.01
Bag Placer 3	EXPO(1.15e+007)	0.018	<0.01
Belt Weigher 1	2.48e+005 + EXPO(2.56e+007)	0.008	<0.01

Nama Equipment	Distribusi	Sq Error	P-value
Belt Weigher 2	2.48e+005 + EXPO(2.56e+007)	0.008	<0.01
Belt Weigher 3	2.48e+005 + EXPO(2.56e+007)	0.008	<0.01
Rear Loader 1	4.02e+005 + EXPO(5.03e+006)	0.018	0.113
Rear Loader 2	4.02e+005 + EXPO(5.03e+006)	0.018	0.113
Rear Loader 3	4.02e+005 + EXPO(5.03e+006)	0.018	0.113
Rear Loader 4	4.02e+005 + EXPO(5.03e+006)	0.018	0.113
Rear Loader 5	4.02e+005 + EXPO(5.03e+006)	0.018	0.113
Rear Loader 6	4.02e+005 + EXPO(5.03e+006)	0.018	0.113

4.4.5. Biaya Pemeliharaan Preventif

a) Sistem Raw Mill

Tabel 4. 9 Distribusi Biaya Pemeliharaan Preventif Sistem Raw Mill

Nama Equipment	Probabilitas Biaya = 0	Distribusi (Biaya > 0)	Sq Error	P-Value
Rotary Feeder 1	25%	UNIF(1.25e+006, 4.12e+008)	0.133	>0.15
Roller Mill	0%	2.72e+008 + 4.28e+009 * BETA(0.408, 0.514)	0.046	0.062 3
Circulation Lube System 1	0%	1.91e+008 + EXPO(4.26e+008)	0.043	>0.15
Hydraulic System	0%	1.93e+007 + EXPO(2.08e+008)	0.016	>0.15
Main Drive for Raw Mill	38%	3.23e+007 + EXPO(3.36e+007)	0.035	>0.15
Circulation Lube System 2	13%	2.57e+007 + EXPO(1.67e+008)	0.032	>0.15
Separator	0%	2.52e+007 + EXPO(2.99e+008)	0.029	>0.15
Main Drive for Separator	13%	8.18e+007 + EXPO(1.11e+008)	0.035	>0.15
Circulating Lube System 2	88%	994000		
Grease System	75%	5.92e+006 + 1.01e+008 * BETA(0.112, 0.112)	0.211	<0.01
Fan Circulation System	38%	3.54e+005 + EXPO(3.03e+006)	0.075	>0.15
Water Spray	25%	1.88e+006 + EXPO(4.27e+007)	0.038	>0.15
Multicyclone	13%	8.22e+006 + EXPO(5.04e+007)	0.018	>0.15
Raw Mill Fan	0%	UNIF(2.93e+007, 1.95e+008)	0.113	>0.15
Ventury	100%			
Damper	88%	251651814		

b) Sistem Packer

Tabel 4. 10 Distribusi Biaya Pemeliharaan Preventif Sistem Packer

Nama Equipment	Probabilitas Biaya = 0	Distribusi (Biaya > 0)	Sq Error	P-Value
Bucket Elevator 1	0.00%	2.87e+007 + EXPO(1.22e+008)	0.010	>0.15
Bucket Elevator 2	0.00%	6.38e+006 + EXPO(1.79e+008)	0.031	>0.15
Bin Storage 1	87.50%	5617000		
Bin Storage 2	100.00%			
Bin Storage 3	100.00%			
Packing Machine 1	0.00%	1.02e+008 + EXPO(3.38e+008)	0.033	>0.15
Packing Machine 2	0.00%	1.39e+008 + 2.66e+008 * BETA(0.644, 0.656)	0.015	>0.15
Packing Machine 3	0.00%	UNIF(7.63e+007, 5.02e+008)	0.050	>0.15
Bag Placer 1	12.50%	9.2e+006 + EXPO(3.95e+007)	0.024	>0.15
Bag Placer 2	25.00%	TRIA(1.3e+007, 8.91e+007, 1.65e+008)	0.206	>0.15
Bag Placer 3	12.50%	1.53e+006 + EXPO(2.33e+007)	0.137	>0.15
Belt Weigher 1	25.00%	4.99e+006 + EXPO(2.01e+007)	0.048	>0.15
Belt Weigher 2	37.50%	UNIF(5.46e+006, 2.19e+007)	0.080	>0.15
Belt Weigher 3	50.00%	UNIF(1.62e+007, 4.42e+007)	0.050	>0.15
Rear Loader 1	50.00%	3.61e+006 + EXPO(1.03e+008)	0.155	>0.15
Rear Loader 2	25.00%	UNIF(3.95e+006, 4.64e+007)	0.078	>0.15
Rear Loader 3	12.50%	UNIF(9.88e+005, 3.47e+007)	0.106	>0.15
Rear Loader 4	37.50%	2.47e+005 + EXPO(1.9e+007)	0.167	>0.15
Rear Loader 5	25.00%	UNIF(3.96e+005, 2.74e+007)	0.189	>0.15
Rear Loader 6	37.50%	TRIA(2.73e+006, 1.02e+007, 1.34e+007)	0.064	>0.15

4.4.6. Data Parameter

Parameter yang dimaksud pada subbab ini antara lain adalah data historis tarif listrik dari tahun 2012 hingga 2019 dan biaya konsekuensi tiap ton.

Tabel 4. 11 Data Historis Tarif Listrik

Tahun	Tarif Listrik	
2012	IDR	689
2013	IDR	723
2014	IDR	928
2015	IDR	1,060
2016	IDR	1,191
2017	IDR	997
2018	IDR	997
2019	IDR	997

Tabel 4. 12 Biaya Konsekuensi tiap ton

Tonase/tahun	3,000,000	
Jumlah Hari	320	
Tonase/hari	9,375	
Biaya konsekuensi/ton	IDR	200,000
Biaya konsekuensi/hari	IDR	1,875,000,000

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan tentang hasil yang diperoleh dari simulasi Monte Carlo, dari validasi model, pengumpulan dan pengolahan hasil simulasi, hingga pembahasan hasil simulasi.

5.1. Validasi Model

Validasi merupakan suatu tahap dalam simulasi untuk menilai akurasi model melalui *output* yang dihasilkan terhadap kondisi nyata. Tahap ini dilakukan untuk menguji apakah model yang dibangun dapat merepresentasikan sistem nyata. Jenis validasi yang digunakan adalah *historical data validation* dan *event validity*. Jenis data untuk validasi yang digunakan pada sistem Raw Mill dan Packer tidak sama. Data yang akan dibandingkan untuk sistem Raw Mill adalah jumlah hari efektif operasional, rata – rata jumlah kerusakan, dan total biaya kepemilikan di luar akuisisi. Data yang divalidasi untuk sistem Packer adalah hari efektif operasional untuk periode 2012 hingga 2019 dan total biaya kepemilikan di luar akuisisi. Langkah perhitungan akan dijabarkan untuk data rata – rata kerusakan pada Raw Mill.

1) Penentuan jumlah replikasi

- Perhitungan *half width*

$$hw = t_{n-1,1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2}{n}} \quad (5.1)$$

$$hw = t_{300-1,1-0.05/2} \sqrt{\frac{5.26^2}{300}} \quad (5.2)$$

$$hw = 1.968 * 0.3 = 0.597 \quad (5.3)$$

- Perhitungan *error* simulasi

$$Error = \frac{hw}{\bar{x}} = \frac{0.597}{12.43} = 4.8\% \quad (5.4)$$

- Perhitungan jumlah replikasi minimum

$$n' = \left[\frac{(z_{\alpha/2})s}{(\frac{\gamma}{1+\gamma})\bar{x}} \right]^2 \quad (5.5)$$

$$n' = \left[\frac{1.96 * 5.26}{(\frac{5\%}{1+5\%}) 12.43} \right]^2 = 302.72 \sim 303 \quad (5.6)$$

Dengan menetapkan *relative error* sebesar 5%, maka *error* simulasi sudah dapat memenuhi standar *relative error* tanpa perlu melakukan penambahan jumlah replikasi. Hasil simulasi, nilai error simulasi, dan jumlah replikasi untuk beberapa data ditampilkan dalam Tabel 5.1 dan 5.2. Nominal untuk data biaya disederhanakan dalam satuan juta.

Tabel 5. 1 Hasil Simulasi Data Validasi

Sistem Amatan	Data	Objek	Periode	Hasil Simulasi			
				Rata - rata	Stdev	n	hw
Raw Mill	Rata Rata Kerusakan	Sistem Raw Mill	1 Tahun	12.43	5.26	300	0.597
	Hari Efektif Operasi		1 Tahun	309.53	7.66	300	0.870
	Biaya Kepemilikan		8 Tahun	IDR 775,765 juta	IDR 37,589 juta	50	IDR 10,683 juta
Packer	Total Hari Kerusakan (Kehilangan hari efektif operasional)	Bucket Elevator Lini 1	8 Tahun	1.003	0.820	2000	0.036
		Bucket Elevator Lini 2	8 Tahun	1.015	0.856	2000	0.038
		Packing Machine Lini 1	8 Tahun	16.367	8.749	500	0.769
		Packing Machine Lini 2	8 Tahun	15.756	7.873	500	0.692
		Packing Machine Lini 3	8 Tahun	15.972	8.164	500	0.717
	Biaya Kepemilikan	Sistem Packer	8 Tahun	IDR 27,179 juta	IDR 1,230 juta	100	IDR 244 juta

Tabel 5. 2 Jumlah Replikasi Hasil Simulasi Data Validasi

Sistem Amatan	Data	Objek	Periode	Hasil Simulasi	
				Error Simulasi	n'
Raw Mill	Rata Rata Kerusakan	Sistem Raw Mill	1 Tahun	4.80%	303
	Hari Efektif Operasi		1 Tahun	0.28%	2
	Biaya Kepemilikan		8 Tahun	1.38%	4
Packer	Total Hari Kerusakan (Kehilangan hari efektif operasional)	Bucket Elevator Lini 1	8 Tahun	3.58%	1131
		Bucket Elevator Lini 2	8 Tahun	3.70%	1204
		Packing Machine Lini 1	8 Tahun	4.70%	484
		Packing Machine Lini 2	8 Tahun	4.39%	484
		Packing Machine Lini 3	8 Tahun	4.49%	430
	Biaya Kepemilikan	Sistem Packer	8 Tahun	0.90%	4

Error simulasi untuk semua data yang akan divalidasi sudah memenuhi standar *relative error* 5% sehingga bisa dilanjutkan ke tahap validasi dengan data historis.

2) Tahap validasi

Proses validasi akan dicontohkan menggunakan data jumlah rata – rata kerusakan per tahun pada Raw Mill. Simulasi dilakukan sebanyak 300 kali dan jumlah data aktual yang dimiliki sebanyak 8 yang diambil dari total kerusakan setiap tahun dari 2012 hingga 2019. Data hasil simulasi dan kondisi aktual sebagai contoh perhitungan dipaparkan dalam Tabel 5.3.

$$H_0: \mu_{simulasi} = \mu_{aktual} \quad (5.7)$$

$$H_a: \mu_{simulasi} \neq \mu_{aktual} \quad (5.8)$$

Tabel 5. 3 Validasi Jumlah Kerusakan Raw Mill

N	Number of Failure Events	
	Simulasi (1)	Aktual (2)
1	13	22
2	17	17
3	7	19
4	25	9
5	9	9
6	18	3
7	7	9
8	11	13
9	13	
10	...	
300	16	

$$n_1 = 300 \quad (5. 9)$$

$$n_2 = 8 \quad (5. 10)$$

$$\bar{x}_1 = 12.43 \quad (5. 11)$$

$$\bar{x}_2 = 12.63 \quad (5. 12)$$

$$s_1 = 5.26 \quad (5. 13)$$

$$s_2 = 6.32 \quad (5. 14)$$

- Perhitungan *pooled standard deviation*

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (5. 15)$$

$$s_p = \sqrt{\frac{(300 - 1)5.26^2 + (8 - 1)6.32^2}{300 + 8 - 2}} \quad (5. 16)$$

$$s_p = 5.283 \quad (5. 17)$$

- Perhitungan nilai t

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (5.18)$$

$$t = \frac{(12.43 - 12.63) - 0}{5.283 \sqrt{\frac{1}{300} + \frac{1}{8}}} \quad (5.19)$$

$$t = -0.101 \quad (5.20)$$

$$critical value = -1.97 \text{ dan } 1.97 \quad (5.21)$$

Nilai t hitung berada diantara rentang nilai kritis sehingga dapat disimpulkan bahwa model yang dibangun valid.

Tabel 5. 4 Data Historis untuk Validasi

Sistem Amatan	Data	Objek	Periode	Aktual		
				Rata - rata	Stdev	n
Raw Mill	Rata Rata Kerusakan	Sistem Raw Mill	1 Tahun	12.63	6.32	8
	Hari Efektif Operasi	Sistem Raw Mill	1 Tahun	309.75	16.82	8
	Biaya Kepemilikan	Sistem Raw Mill	8 Tahun	IDR 780,130,455,166	0.00	1
Packer	Total Hari Kerusakan	Bucket Elevator Lini 1	8 Tahun	1.00	0.00	1
		Bucket Elevator Lini 2	8 Tahun	1.00	0.00	1
		Packing Machine Lini 1	8 Tahun	12.29	5.35	7
		Packing Machine Lini 2	8 Tahun	12.29	5.35	7
		Packing Machine Lini 3	8 Tahun	12.29	5.35	7
	Biaya Kepemilikan	Sistem Packer	8 Tahun	IDR 27,055,368,797	0	1

Tabel 5. 5 Hasil Validasi Keseluruhan

Sistem Amatan	Data	Objek	Periode	sp	t	Critical Value	Hasil
Raw Mill	Rata Rata Kerusakan	Sistem Raw Mill	1 Tahun	5.283	-0.101	1.97	Valid

Sistem Amatan	Data	Objek	Periode	sp	t	Critical Value	Hasil
	Hari Efektif Operasi	Sistem Raw Mill	1 Tahun	7.988	-0.078	1.97	Valid
	Biaya Kepemilikan	Sistem Raw Mill	8 Tahun		-0.820	2.01	Valid
Packer	Total Hari Kerusakan	Bucket Elevator Lini 1	8 Tahun		0.170	1.96	Valid
		Bucket Elevator Lini 2	8 Tahun		0.810	1.96	Valid
		Packing Machine Lini 1	8 Tahun	8.716	1.230	1.96	Valid
		Packing Machine Lini 2	8 Tahun	7.848	1.162	1.96	Valid
		Packing Machine Lini 3	8 Tahun	8.136	1.190	1.96	Valid
	Biaya Kepemilikan	Sistem Packer	8 Tahun		1	1.98	Valid

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil simulasi dan data historis sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi nyata sistem. Pada beberapa data, pengujian dilakukan dengan satu data aktual sehingga tidak melalui perhitungan *pooled standard deviation* dikarenakan karena menggunakan metode uji t satu sampel.

5.2. Hasil

Pada subbab ini akan dipaparkan hasil data historis TCO dan hasil simulasi. Simulasi dijalankan dari tahun 2012 hingga 2070 dalam jumlah replikasi tertentu yang berbeda beda. Beberapa hasil simulasi yang akan ditampilkan antara lain jumlah kerusakan tiap tahun, hari efektif operasional, biaya pemeliharaan yang meliputi biaya korektif dan biaya preventif, biaya konsekuensi, biaya operasional, dan EUAC. Pada setiap hasil simulasi akan ditampilkan contoh *output* dengan jumlah replikasi tertentu. Untuk data biaya pemeliharaan dan biaya konsekuensi ditambahkan asumsi inflasi sebesar 3% dimulai dari tahun 2020.

5.2.1. Data historis TCO

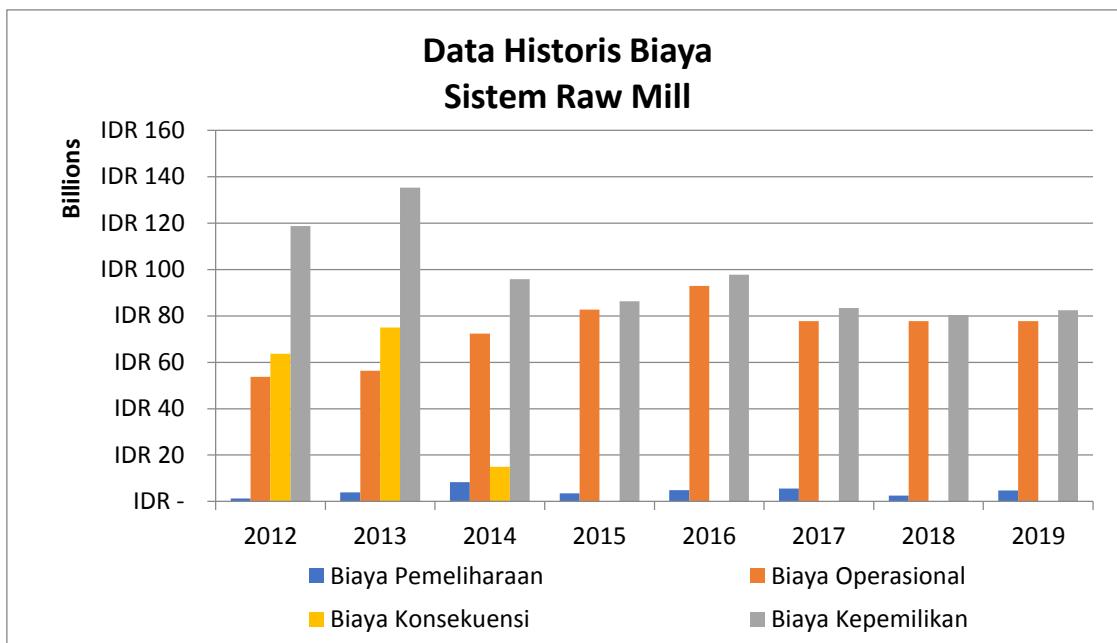
Data historis TCO diringkas dari periode 2012 hingga 2019 meliputi biaya akuisisi, biaya pemeliharaan, biaya operasional, dan biaya konsekuensi.

a) Raw Mill

Pada poin ini akan ditampilkan seluruh data historis TCO Raw Mill dari 2012 hingga 2019 pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.1.

Tabel 5. 6 Data Historis TCO Sistem Raw Mill

Tahun	Biaya Akuisisi	Biaya Pemeliharaan	Biaya Operasional	Biaya Konsekuensi	Biaya Kepemilikan
2011	IDR 111,246,977,057				
2012		IDR 1,234,952,303	IDR 53,755,690,926	IDR 63,750,000,000	IDR 118,740,643,229
2013		IDR 3,908,424,066	IDR 56,408,366,531	IDR 75,000,000,000	IDR 135,316,790,597
2014		IDR 8,403,138,457	IDR 72,402,440,028	IDR 15,000,000,000	IDR 95,805,578,485
2015		IDR 3,564,278,174	IDR 82,701,062,963	IDR -	IDR 86,265,341,137
2016		IDR 4,867,275,371	IDR 92,921,666,028	IDR -	IDR 97,788,941,399
2017		IDR 5,610,845,767	IDR 77,765,525,941	IDR -	IDR 83,376,371,708
2018		IDR 2,549,516,214	IDR 77,765,525,941	IDR -	IDR 80,315,042,155
2019		IDR 4,756,220,514	IDR 77,765,525,941	IDR -	IDR 82,521,746,455



Gambar 5. 1 Grafik Data Historis TCO Sistem Raw Mill

Biaya akuisisi Raw Mill yang terdiri dari total 23 peralatan tunggal adalah sebesar Rp 111,246,977,057. Total biaya pemeliharaan, biaya operasional, dan biaya konsekuensi sistem Raw Mill dari tahun 2012 hingga 2019 menurut data historis adalah sebesar Rp 34,894,650,866, Rp 591,485,804,300, dan Rp. 153,750,000,000.

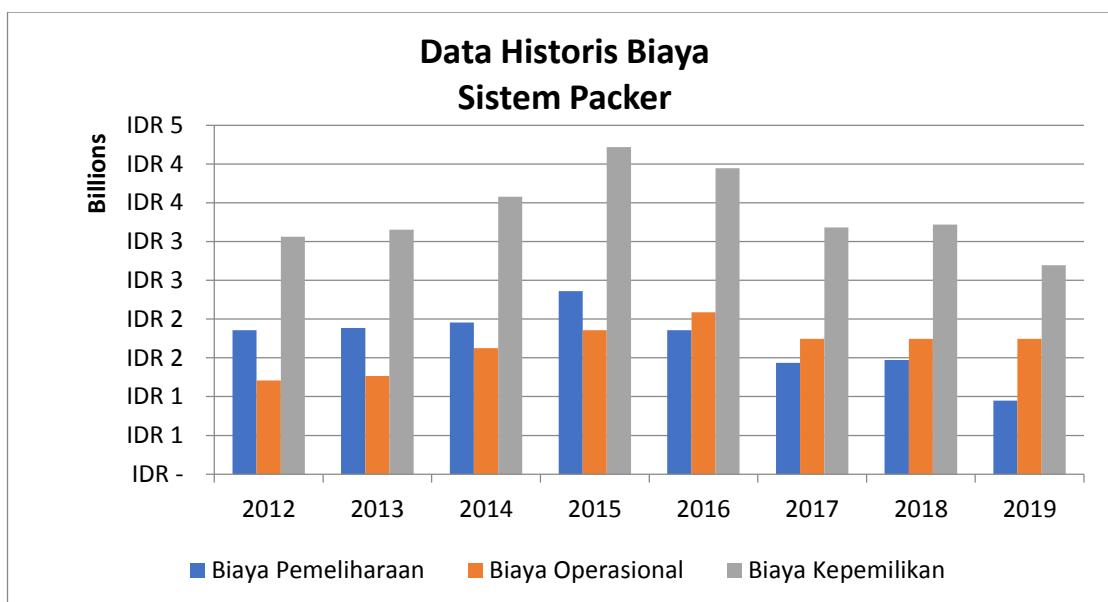
b) Packer

Pada poin ini akan ditampilkan seluruh data historis TCO Packer dari 2012 hingga 2019 pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.2

Tabel 5. 7 Data Historis TCO Sistem Packer

Tahun	Biaya Akuisisi	Biaya Pemeliharaan	Biaya Operasional	Biaya Kepemilikan
2011	IDR 14,693,438,013			
2012		IDR 1,856,275,806	IDR 1,207,290,629	IDR 3,063,566,435
2013		IDR 1,886,334,311	IDR 1,266,866,654	IDR 3,153,200,965
2014		IDR 1,953,914,880	IDR 1,626,075,041	IDR 3,579,989,922
2015		IDR 2,360,722,959	IDR 1,857,370,198	IDR 4,218,093,158
2016		IDR 1,857,111,284	IDR 2,086,913,119	IDR 3,944,024,403
2017		IDR	IDR	IDR

Tahun	Biaya Akuisisi	Biaya Pemeliharaan	Biaya Operasional	Biaya Kepemilikan
		1,436,457,651	1,746,523,747	3,182,981,398
2018		IDR 1,471,633,097	IDR 1,746,523,747	IDR 3,218,156,844
2019		IDR 948,831,927	IDR 1,746,523,747	IDR 2,695,355,674



Gambar 5. 2 Grafik Data Historis TCO Sistem Packer

Total biaya akuisisi Packer yang terdiri dari 20 peralatan tunggal adalah sebesar Rp 14,693,438,013. Total biaya pemeliharaan dan biaya operasional sistem Raw Mill dari tahun 2012 hingga 2019 menurut data historis adalah sebesar Rp 13,771,281,916 dan Rp 13,284,086,881.

5.2.2. Hasil Simulasi Biaya Keseluruhan

Hasil simulasi biaya yang akan ditampilkan adalah biaya yang dikeluarkan tiap tahun dan EUAC untuk seluruh komponen biaya dari tahun 2011 (tahun akuisisi) hingga tahun 2070 dalam satu iterasi pada sistem Raw Mill dan Packer.

a) Raw Mill

Biaya yang dikeluarkan tiap tahunnya dan EUAC sistem Raw Mill untuk sampel satu iterasi simulasi ditampilkan dalam Tabel 5.8 dan 5.9

Tabel 5. 8 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel TCO Sistem Raw Mill

Year	Biaya Akuisisi	Biaya Operasional	Biaya Konsekuensi	Biaya Pemeliharaan
2011	IDR 111,246,977,057			
2012	IDR -	IDR 53,010,152,381	IDR 8,321,409,683	IDR 3,787,647,877
2013	IDR -	IDR 55,446,451,648	IDR 10,829,866,089	IDR 7,516,581,218
2014	IDR -	IDR 66,969,317,702	IDR 45,176,876,567	IDR 6,521,090,757
2015	IDR -	IDR 81,827,479,558	IDR 6,797,053,012	IDR 3,333,119,847
2016	IDR -	IDR 88,385,057,373	IDR 29,293,116,550	IDR 4,139,902,922
2017	IDR -	IDR 74,450,923,355	IDR 26,097,557,333	IDR 4,083,976,016
2018	IDR -	IDR 69,997,462,779	IDR 60,453,007,425	IDR 6,792,259,852
2019	IDR -	IDR 69,866,083,101	IDR 61,258,651,031	IDR 1,875,394,439
2020	IDR -	IDR 72,862,309,062	IDR 44,698,711,313	IDR 2,718,402,359
2021	IDR -	IDR 76,046,744,505	IDR 26,762,897,906	IDR 6,710,553,481
2022	IDR -	IDR 79,480,762,216	IDR 5,936,390,504	IDR 5,815,068,348
2023	IDR -	IDR 74,538,471,943	IDR 53,570,845,359	IDR 8,244,583,391
2024	IDR -	IDR 81,312,256,426	IDR 4,265,459,115	IDR 3,596,419,243
2025	IDR -	IDR 81,957,360,605	IDR 5,883,495,801	IDR 8,000,605,142
2026	IDR -	IDR 83,044,201,878	IDR 4,351,727,454	IDR 8,860,973,227
2027	IDR -	IDR 80,815,296,047	IDR 31,180,445,932	IDR 4,782,430,240
2028	IDR -	IDR 81,273,868,871	IDR 34,906,378,861	IDR 6,677,981,467
2029	IDR -	IDR 85,303,318,173	IDR 6,367,881,394	IDR 6,941,612,820
2030	IDR -	IDR 83,111,986,898	IDR 35,145,643,002	IDR 6,633,182,294
2031	IDR -	IDR 83,904,815,091	IDR 37,532,643,582	IDR 4,679,693,684
2032	IDR -	IDR 86,211,481,456	IDR 24,581,467,405	IDR 8,797,952,209
2033	IDR -	IDR 85,833,555,816	IDR 37,230,226,353	IDR 3,797,054,977
2034	IDR -	IDR 87,406,698,385	IDR 30,093,309,528	IDR 3,976,226,716

Year	Biaya Akuisisi	Biaya Operasional	Biaya Konsekuensi	Biaya Pemeliharaan
2035	IDR -	IDR 87,792,600,378	IDR 36,198,180,746	IDR 10,381,787,421
2036	IDR -	IDR 89,244,260,770	IDR 32,510,003,610	IDR 3,757,056,710
2037	IDR -	IDR 91,080,221,695	IDR 23,104,151,519	IDR 11,062,375,374
2038	IDR -	IDR 92,956,629,130	IDR 13,822,143,285	IDR 8,095,784,821
2039	IDR -	IDR 92,509,757,253	IDR 27,168,698,482	IDR 3,613,489,355
2040	IDR -	IDR 95,502,726,621	IDR 3,900,203,221	IDR 9,566,291,392
2041	IDR -	IDR 95,330,883,720	IDR 17,401,234,300	IDR 11,554,479,951
2042	IDR -	IDR 93,146,153,304	IDR 55,932,327,016	IDR 13,432,930,331
2043	IDR -	IDR 93,274,174,556	IDR 68,144,525,971	IDR 8,816,118,568
2044	IDR -	IDR 98,919,977,364	IDR 11,591,338,451	IDR 8,779,248,109
2045	IDR -	IDR 93,999,164,757	IDR 86,887,361,385	IDR 13,345,005,367
2046	IDR -	IDR 98,378,870,913	IDR 44,025,549,982	IDR 13,937,100,387
2047	IDR -	IDR 100,762,243,309	IDR 26,568,371,251	IDR 12,480,309,072
2048	IDR -	IDR 101,009,070,332	IDR 37,730,956,793	IDR 5,391,837,635
2049	IDR -	IDR 101,545,461,486	IDR 45,838,117,036	IDR 6,552,890,041
2050	IDR -	IDR 101,436,990,499	IDR 64,689,930,482	IDR 10,518,569,505
2051	IDR -	IDR 102,971,333,991	IDR 57,783,744,525	IDR 11,630,041,018
2052	IDR -	IDR 106,458,141,199	IDR 23,406,314,637	IDR 7,060,374,345
2053	IDR -	IDR 108,974,110,015	IDR 1,542,017,252	IDR 16,535,353,370
2054	IDR -	IDR 109,610,509,894	IDR 9,432,857,155	IDR 8,298,677,306
2055	IDR -	IDR 100,767,995,312	IDR 164,841,201,746	IDR 9,406,834,290
2056	IDR -	IDR 110,101,499,672	IDR 36,969,281,469	IDR 22,437,026,645
2057	IDR -	IDR 111,429,351,913	IDR 34,820,157,414	IDR 10,760,774,200
2058	IDR -	IDR 105,943,693,446	IDR 144,781,058,581	IDR 25,378,606,714
2059	IDR -	IDR 107,933,119,682	IDR 133,028,965,946	IDR 19,662,905,397

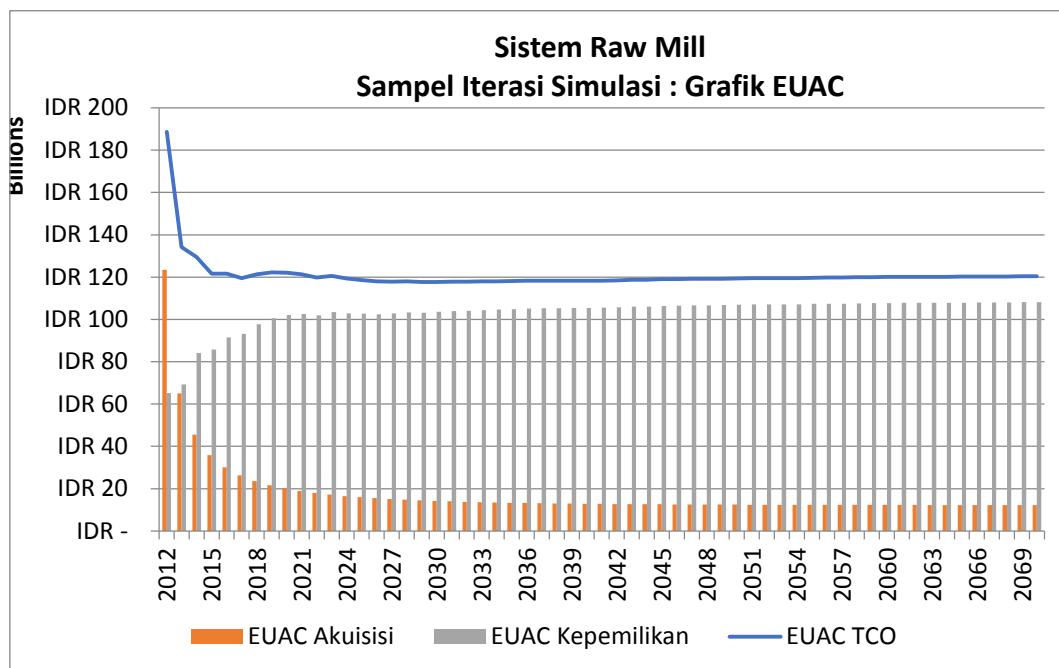
Year	Biaya Akuisisi	Biaya Operasional	Biaya Konsekuensi	Biaya Pemeliharaan
2060	IDR -	IDR 113,486,560,396	IDR 60,249,337,345	IDR 20,871,263,732
2061	IDR -	IDR 115,414,578,607	IDR 47,377,829,843	IDR 6,870,070,314
2062	IDR -	IDR 117,396,231,750	IDR 36,557,804,888	IDR 11,429,500,560
2063	IDR -	IDR 118,206,541,329	IDR 42,881,071,984	IDR 19,073,038,837
2064	IDR -	IDR 120,122,906,740	IDR 29,842,314,137	IDR 24,506,405,968
2065	IDR -	IDR 121,503,180,635	IDR 27,435,854,194	IDR 23,667,280,778
2066	IDR -	IDR 116,988,288,915	IDR 139,164,295,430	IDR 22,678,191,347
2067	IDR -	IDR 119,263,732,748	IDR 127,123,705,686	IDR 18,055,972,193
2068	IDR -	IDR 119,776,889,653	IDR 138,640,007,359	IDR 10,067,067,951
2069	IDR -	IDR 124,287,017,752	IDR 78,082,658,779	IDR 21,992,863,459
2070	IDR -	IDR 127,333,645,118	IDR 40,733,151,387	IDR 20,921,627,354

Tabel 5. 9 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel EUAC Sistem Raw Mill

Year	EUAC Akuisisi	EUAC Kepemilikan	EUAC TCO
2011			
2012	IDR 123,484,144,533	IDR 65,119,209,942	IDR 188,603,354,475
2013	IDR 64,960,853,285	IDR 69,229,963,028	IDR 134,190,816,313
2014	IDR 45,523,716,968	IDR 84,022,255,897	IDR 129,545,972,865
2015	IDR 35,857,832,235	IDR 85,707,149,688	IDR 121,564,981,924
2016	IDR 30,100,129,015	IDR 91,505,492,439	IDR 121,605,621,454
2017	IDR 26,296,178,146	IDR 93,164,433,073	IDR 119,460,611,219
2018	IDR 23,608,307,212	IDR 97,669,908,076	IDR 121,278,215,288
2019	IDR 21,617,629,859	IDR 100,648,989,514	IDR 122,266,619,373
2020	IDR 20,091,389,212	IDR 102,034,930,771	IDR 122,126,319,983
2021	IDR 18,889,895,465	IDR 102,482,560,308	IDR 121,372,455,772
2022	IDR 17,924,224,984	IDR 101,907,431,635	IDR 119,831,656,619
2023	IDR 17,135,069,997	IDR 103,424,016,194	IDR 120,559,086,191
2024	IDR 16,481,350,069	IDR 102,880,369,074	IDR 119,361,719,143
2025	IDR 15,933,704,448	IDR 102,646,478,837	IDR 118,580,183,284
2026	IDR 15,470,587,511	IDR 102,460,764,272	IDR 117,931,351,783
2027	IDR 15,075,828,444	IDR 102,826,097,948	IDR 117,901,926,392
2028	IDR 14,737,052,199	IDR 103,276,249,675	IDR 118,013,301,874
2029	IDR 14,444,626,787	IDR 103,183,713,695	IDR 117,628,340,482

Year	EUAC Akuisisi		EUAC Kepemilikan		EUAC TCO	
2030	IDR	14,190,942,969	IDR	103,564,944,702	IDR	117,755,887,671
2031	IDR	13,969,909,995	IDR	103,916,209,699	IDR	117,886,119,694
2032	IDR	13,776,595,358	IDR	104,133,114,981	IDR	117,909,710,339
2033	IDR	13,606,962,747	IDR	104,412,963,721	IDR	118,019,926,468
2034	IDR	13,457,678,285	IDR	104,600,167,968	IDR	118,057,846,253
2035	IDR	13,325,965,144	IDR	104,891,556,743	IDR	118,217,521,887
2036	IDR	13,209,492,984	IDR	105,071,778,474	IDR	118,281,271,458
2037	IDR	13,106,292,829	IDR	105,229,396,941	IDR	118,335,689,770
2038	IDR	13,014,690,803	IDR	105,296,808,545	IDR	118,311,499,348
2039	IDR	12,933,255,990	IDR	105,409,406,731	IDR	118,342,662,722
2040	IDR	12,860,759,018	IDR	105,429,361,163	IDR	118,290,120,181
2041	IDR	12,796,138,868	IDR	105,524,111,206	IDR	118,320,250,074
2042	IDR	12,738,476,050	IDR	105,780,911,190	IDR	118,519,387,240
2043	IDR	12,686,970,756	IDR	106,041,516,735	IDR	118,728,487,491
2044	IDR	12,640,924,929	IDR	106,089,602,550	IDR	118,730,527,479
2045	IDR	12,599,727,463	IDR	106,376,861,921	IDR	118,976,589,384
2046	IDR	12,562,841,887	IDR	106,523,132,960	IDR	119,085,974,848
2047	IDR	12,529,796,074	IDR	106,610,694,526	IDR	119,140,490,601
2048	IDR	12,500,173,581	IDR	106,699,400,728	IDR	119,199,574,309
2049	IDR	12,473,606,327	IDR	106,799,796,068	IDR	119,273,402,395
2050	IDR	12,449,768,376	IDR	106,933,276,167	IDR	119,383,044,543
2051	IDR	12,428,370,627	IDR	107,045,769,998	IDR	119,474,140,625
2052	IDR	12,409,156,259	IDR	107,091,963,282	IDR	119,501,119,541
2053	IDR	12,391,896,819	IDR	107,119,724,243	IDR	119,511,621,062
2054	IDR	12,376,388,832	IDR	107,145,031,707	IDR	119,521,420,538
2055	IDR	12,362,450,871	IDR	107,334,083,573	IDR	119,696,534,444
2056	IDR	12,349,921,003	IDR	107,397,099,278	IDR	119,747,020,281
2057	IDR	12,338,654,562	IDR	107,442,359,811	IDR	119,781,014,373
2058	IDR	12,328,522,202	IDR	107,580,862,265	IDR	119,909,384,467
2059	IDR	12,319,408,189	IDR	107,694,002,042	IDR	120,013,410,231
2060	IDR	12,311,208,896	IDR	107,751,847,872	IDR	120,063,056,769
2061	IDR	12,303,831,486	IDR	107,788,947,406	IDR	120,092,778,892
2062	IDR	12,297,192,738	IDR	107,820,023,579	IDR	120,117,216,317
2063	IDR	12,291,218,015	IDR	107,855,171,050	IDR	120,146,389,065
2064	IDR	12,285,840,350	IDR	107,884,317,140	IDR	120,170,157,490
2065	IDR	12,280,999,635	IDR	107,909,818,102	IDR	120,190,817,737
2066	IDR	12,276,641,896	IDR	107,970,466,991	IDR	120,247,108,887
2067	IDR	12,272,718,652	IDR	108,020,471,020	IDR	120,293,189,672
2068	IDR	12,269,186,344	IDR	108,066,655,281	IDR	120,335,841,625
2069	IDR	12,266,005,825	IDR	108,096,802,450	IDR	120,362,808,275
2070	IDR	12,263,141,905	IDR	108,115,689,378	IDR	120,378,831,283

Hasil simulasi EUAC Raw Mill yang ditampilkan menunjukkan bahwa umur ekonomis dicapai pada tahun 2029 dengan nilai Rp. 117,628,340,482. Pada minimum EUAC, EUAC untuk akuisisi dan kepemilikan secara bertutut - turut adalah sebesar Rp. 14,444,626,787 dan Rp. 103,183,713,695.



Gambar 5. 3 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel EUAC Sistem Raw Mill

b) Packer

Biaya yang dikeluarkan tiap tahun dan EUAC sistem Packer untuk sampel satu iterasi simulasi ditampilkan dalam Tabel 5.10 dan 5.11

Tabel 5. 10 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel TCO Sistem Packer

Tahun	Biaya Akuisisi	Biaya Operasional	Biaya Pemeliharaan
2011	IDR 14,693,438,013		
2012	IDR -	IDR 1,195,884,945	IDR 1,816,710,023
2013	IDR -	IDR 1,267,602,069	IDR 2,302,260,004
2014	IDR -	IDR 1,633,105,736	IDR 2,177,244,454
2015	IDR -	IDR 1,858,659,919	IDR 1,656,861,373
2016	IDR -	IDR 2,097,433,972	IDR 1,018,968,715
2017	IDR -	IDR 1,753,253,661	IDR 1,465,424,355
2018	IDR -	IDR 1,754,190,960	IDR 1,493,959,640
2019	IDR -	IDR 1,754,394,663	IDR 1,335,551,907
2020	IDR -	IDR 1,767,348,251	IDR 1,771,507,249
2021	IDR -	IDR 1,785,840,084	IDR 1,552,884,919
2022	IDR -	IDR 1,801,252,231	IDR 2,451,514,399

Tahun	Biaya Akuisisi	Biaya Operasional	Biaya Pemeliharaan
2023	IDR -	IDR 1,827,248,099	IDR 1,599,523,808
2024	IDR -	IDR 1,839,480,008	IDR 1,882,883,190
2025	IDR -	IDR 1,859,696,848	IDR 1,688,007,254
2026	IDR -	IDR 1,870,737,549	IDR 1,745,217,993
2027	IDR -	IDR 1,901,273,228	IDR 2,016,066,831
2028	IDR -	IDR 1,912,084,962	IDR 1,991,817,530
2029	IDR -	IDR 1,935,847,494	IDR 4,961,523,560
2030	IDR -	IDR 1,944,969,473	IDR 2,160,469,663
2031	IDR -	IDR 1,971,972,843	IDR 2,044,510,533
2032	IDR -	IDR 1,996,455,891	IDR 4,045,151,624
2033	IDR -	IDR 2,005,512,292	IDR 1,894,415,925
2034	IDR -	IDR 2,007,422,487	IDR 2,428,286,358
2035	IDR -	IDR 2,042,312,767	IDR 2,108,862,931
2036	IDR -	IDR 2,073,232,146	IDR 2,423,145,926
2037	IDR -	IDR 2,100,410,104	IDR 2,002,405,830
2038	IDR -	IDR 2,117,517,040	IDR 2,418,588,351
2039	IDR -	IDR 2,141,012,292	IDR 2,700,396,266
2040	IDR -	IDR 2,156,328,543	IDR 2,743,423,279
2041	IDR -	IDR 2,165,267,004	IDR 3,469,074,224
2042	IDR -	IDR 2,204,488,826	IDR 3,082,202,779
2043	IDR -	IDR 2,230,880,478	IDR 2,757,535,503
2044	IDR -	IDR 2,252,333,686	IDR 4,738,338,478
2045	IDR -	IDR 2,274,666,204	IDR 2,192,130,640
2046	IDR -	IDR 2,293,654,909	IDR 4,377,495,131
2047	IDR -	IDR 2,298,162,511	IDR 3,021,564,817
2048	IDR -	IDR 2,336,019,417	IDR 3,386,483,132
2049	IDR -	IDR 2,365,722,553	IDR 4,218,761,809
2050	IDR -	IDR 2,390,461,291	IDR 3,111,971,340
2051	IDR -	IDR 2,412,100,060	IDR 5,908,077,625
2052	IDR -	IDR 2,434,739,594	IDR 4,528,068,070
2053	IDR -	IDR 2,464,143,853	IDR 3,668,128,607
2054	IDR -	IDR 2,484,749,054	IDR 4,591,318,496
2055	IDR -	IDR 2,510,373,604	IDR 4,584,731,012
2056	IDR -	IDR 2,537,920,574	IDR 5,090,048,838
2057	IDR -	IDR 2,557,781,645	IDR 5,481,489,619
2058	IDR -	IDR 2,576,792,572	IDR 5,963,344,066
2059	IDR -	IDR 2,589,990,943	IDR 5,332,010,402
2060	IDR -	IDR 2,635,831,906	IDR 7,943,566,447
2061	IDR -	IDR 2,666,245,722	IDR 4,790,819,855
2062	IDR -	IDR 2,693,798,108	IDR 5,623,869,656
2063	IDR -	IDR 2,704,971,344	IDR 7,565,176,972
2064	IDR -	IDR 2,742,764,259	IDR 6,530,224,645

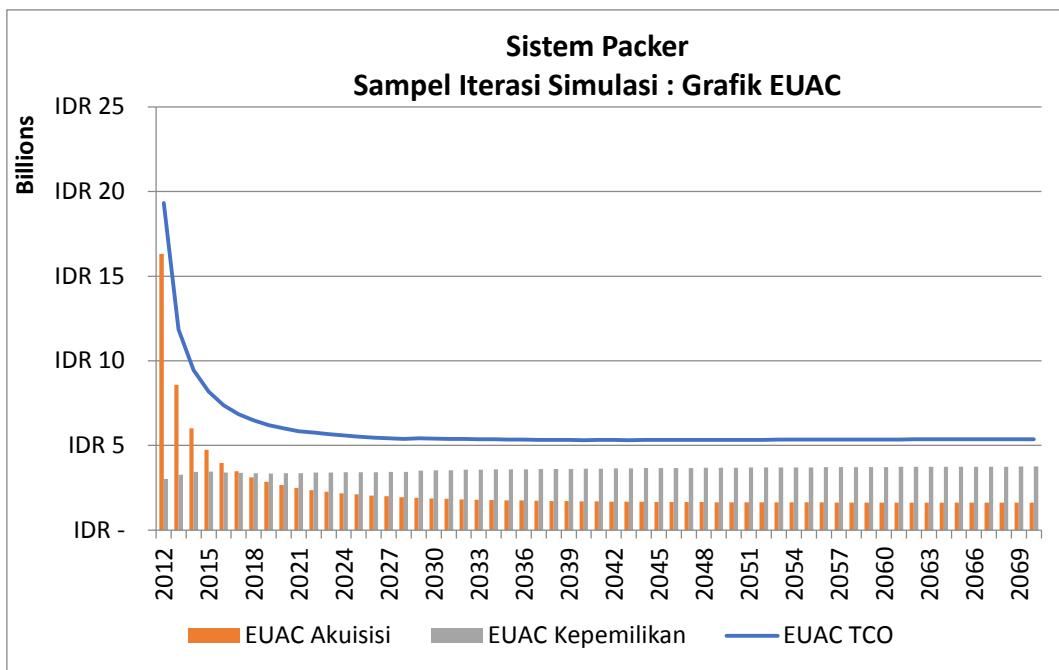
Tahun	Biaya Akuisisi	Biaya Operasional	Biaya Pemeliharaan
2065	IDR -	IDR 2,747,912,287	IDR 6,289,445,277
2066	IDR -	IDR 2,800,189,254	IDR 5,490,193,423
2067	IDR -	IDR 2,831,930,360	IDR 5,159,452,626
2068	IDR -	IDR 2,859,004,922	IDR 11,261,726,900
2069	IDR -	IDR 2,882,947,770	IDR 9,948,153,011
2070	IDR -	IDR 2,889,721,856	IDR 8,618,680,731

Tabel 5. 11 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel EUAC Sistem Packer

Tahun	EUAC Akuisisi	EUAC Kepemilikan	EUAC TCO
2011			
2012	IDR 16,309,716,194	IDR 3,012,594,968	IDR 19,322,311,163
2013	IDR 8,579,992,880	IDR 3,276,702,601	IDR 11,856,695,480
2014	IDR 6,012,746,873	IDR 3,436,376,934	IDR 9,449,123,807
2015	IDR 4,736,082,266	IDR 3,453,181,367	IDR 8,189,263,633
2016	IDR 3,975,608,071	IDR 3,399,104,710	IDR 7,374,712,781
2017	IDR 3,473,184,385	IDR 3,376,303,004	IDR 6,849,487,389
2018	IDR 3,118,171,907	IDR 3,363,203,872	IDR 6,481,375,779
2019	IDR 2,855,244,365	IDR 3,340,162,528	IDR 6,195,406,892
2020	IDR 2,653,659,360	IDR 3,354,190,582	IDR 6,007,849,943
2021	IDR 2,494,966,744	IDR 3,353,265,719	IDR 5,848,232,462
2022	IDR 2,367,421,531	IDR 3,399,249,111	IDR 5,766,670,642
2023	IDR 2,263,190,385	IDR 3,400,460,865	IDR 5,663,651,250
2024	IDR 2,176,847,426	IDR 3,412,741,759	IDR 5,589,589,184
2025	IDR 2,104,514,701	IDR 3,417,226,315	IDR 5,521,741,015
2026	IDR 2,043,346,477	IDR 3,423,002,427	IDR 5,466,348,904
2027	IDR 1,991,206,922	IDR 3,435,616,316	IDR 5,426,823,237
2028	IDR 1,946,461,546	IDR 3,446,139,401	IDR 5,392,600,947
2029	IDR 1,907,838,163	IDR 3,514,621,742	IDR 5,422,459,905
2030	IDR 1,874,331,747	IDR 3,524,997,975	IDR 5,399,329,722
2031	IDR 1,845,137,836	IDR 3,532,653,173	IDR 5,377,791,010
2032	IDR 1,819,604,948	IDR 3,567,371,908	IDR 5,386,976,856
2033	IDR 1,797,199,969	IDR 3,571,466,707	IDR 5,368,666,676
2034	IDR 1,777,482,561	IDR 3,580,948,465	IDR 5,358,431,026
2035	IDR 1,760,085,964	IDR 3,586,529,399	IDR 5,346,615,363
2036	IDR 1,744,702,386	IDR 3,594,481,697	IDR 5,339,184,083
2037	IDR 1,731,071,768	IDR 3,598,453,096	IDR 5,329,524,864
2038	IDR 1,718,973,024	IDR 3,605,006,502	IDR 5,323,979,526
2039	IDR 1,708,217,160	IDR 3,612,742,849	IDR 5,320,960,009
2040	IDR 1,698,641,801	IDR 3,619,957,139	IDR 5,318,598,939
2041	IDR 1,690,106,808	IDR 3,630,078,610	IDR 5,320,185,418
2042	IDR 1,682,490,735	IDR 3,637,543,750	IDR 5,320,034,486

Tahun	EUAC Akuisisi		EUAC Kepemilikan		EUAC TCO	
2043	IDR	1,675,687,945	IDR	3,643,005,712	IDR	5,318,693,657
2044	IDR	1,669,606,238	IDR	3,655,155,663	IDR	5,324,761,901
2045	IDR	1,664,164,900	IDR	3,657,800,846	IDR	5,321,965,746
2046	IDR	1,659,293,074	IDR	3,666,622,396	IDR	5,325,915,470
2047	IDR	1,654,928,402	IDR	3,670,970,790	IDR	5,325,899,192
2048	IDR	1,651,015,879	IDR	3,675,820,948	IDR	5,326,836,827
2049	IDR	1,647,506,892	IDR	3,682,002,878	IDR	5,329,509,770
2050	IDR	1,644,358,388	IDR	3,685,481,849	IDR	5,329,840,238
2051	IDR	1,641,532,186	IDR	3,693,447,625	IDR	5,334,979,810
2052	IDR	1,638,994,363	IDR	3,698,502,083	IDR	5,337,496,446
2053	IDR	1,636,714,746	IDR	3,701,887,125	IDR	5,338,601,871
2054	IDR	1,634,666,460	IDR	3,706,109,784	IDR	5,340,776,243
2055	IDR	1,632,825,542	IDR	3,709,926,380	IDR	5,342,751,921
2056	IDR	1,631,170,604	IDR	3,713,897,482	IDR	5,345,068,086
2057	IDR	1,629,682,539	IDR	3,717,843,384	IDR	5,347,525,922
2058	IDR	1,628,344,262	IDR	3,721,803,395	IDR	5,350,147,657
2059	IDR	1,627,140,488	IDR	3,724,908,443	IDR	5,352,048,932
2060	IDR	1,626,057,530	IDR	3,729,470,510	IDR	5,355,528,041
2061	IDR	1,625,083,126	IDR	3,731,704,247	IDR	5,356,787,373
2062	IDR	1,624,206,284	IDR	3,734,178,684	IDR	5,358,384,968
2063	IDR	1,623,417,146	IDR	3,737,354,255	IDR	5,360,771,401
2064	IDR	1,622,706,867	IDR	3,739,776,211	IDR	5,362,483,078
2065	IDR	1,622,067,508	IDR	3,741,863,498	IDR	5,363,931,007
2066	IDR	1,621,491,941	IDR	3,743,477,476	IDR	5,364,969,417
2067	IDR	1,620,973,761	IDR	3,744,834,979	IDR	5,365,808,739
2068	IDR	1,620,507,215	IDR	3,747,821,347	IDR	5,368,328,563
2069	IDR	1,620,087,134	IDR	3,750,175,989	IDR	5,370,263,123
2070	IDR	1,619,708,869	IDR	3,751,987,414	IDR	5,371,696,283

Hasil simulasi EUAC Packer yang ditampilkan menunjukkan bahwa umur ekonomis dicapai pada tahun 2040 dengan nilai Rp. 5,398,598,939. Pada minimum EUAC, biaya akuisisi tahunan dan biaya kepemilikan secara bertutut-turut adalah sebesar Rp 1,698,641,801 dan Rp 3,619,957,139.



Gambar 5. 4 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel EUAC Sistem Packer

5.2.3. Hasil Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis

Hasil simulasi yang akan ditampilkan pada subbab ini adalah minimum EUAC dan umur ekonomis untuk sistem Raw Mill, Raw Mill tanpa mempertimbangkan biaya konsekuensi, dan Packer yang akan dijalankan dalam 50 untuk EUAC dan 150 replikasi umur ekonomis. Hasil akan ditampilkan dalam 10 replikasi dan terdapat ringkasan indikator atau parameter hasil.

Tabel 5. 12 Hasil Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis dengan Replikasi

N	Raw Mill		Raw Mill (Tanpa Konsekuensi)		Packer	
	EUAC	Tahun	EUAC	Tahun	EUAC	Tahun
1	IDR 117,085,618,889	2037	IDR 92,147,214,364	2029	IDR 5,185,700,596	2038
2	IDR 110,593,697,568	2025	IDR 90,780,782,340	2032	IDR 5,404,253,437	2036
3	IDR 106,666,732,508	2027	IDR 92,418,470,788	2029	IDR 5,283,427,970	2036
4	IDR 111,552,982,586	2029	IDR 92,068,061,505	2035	IDR 5,331,398,860	2033
5	IDR 114,063,792,691	2031	IDR 91,666,215,613	2031	IDR 5,420,413,156	2042
6	IDR 112,738,271,115	2023	IDR 90,708,804,081	2030	IDR 5,189,492,611	2044
7	IDR	2028	IDR	2027	IDR	2043

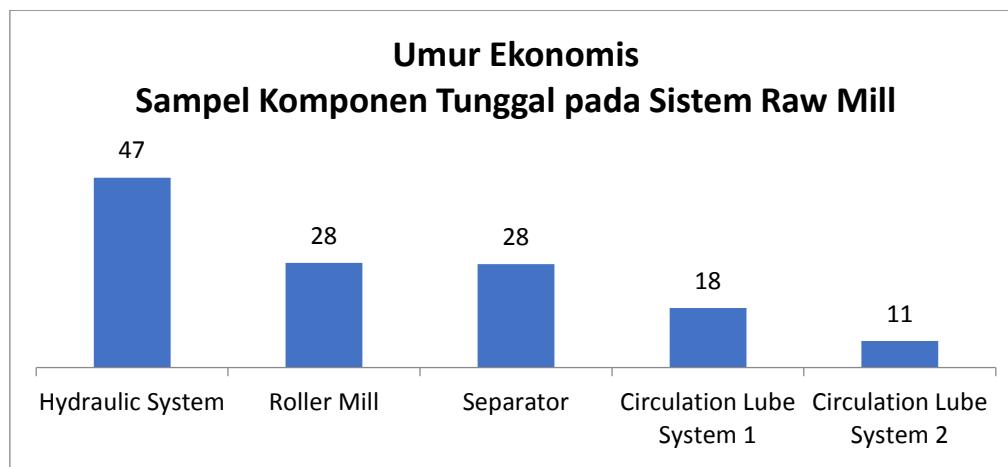
N	Raw Mill		Raw Mill (Tanpa Konsekuensi)		Packer	
	EUAC	Tahun	EUAC	Tahun	EUAC	Tahun
	108,354,318,552		90,894,757,344		5,256,902,484	
8	IDR 115,006,858,414	2028	IDR 92,802,264,796	2032	IDR 5,432,091,577	2042
9	IDR 114,852,502,626	2032	IDR 90,733,187,529	2029	IDR 5,403,258,471	2041
10	IDR 111,662,675,685	2019	IDR 91,150,261,745	2031	IDR 5,267,425,354	2041
...

Tabel 5. 13 Hasil Pengolahan Data Simulasi EUAC dan Umur Ekonomis

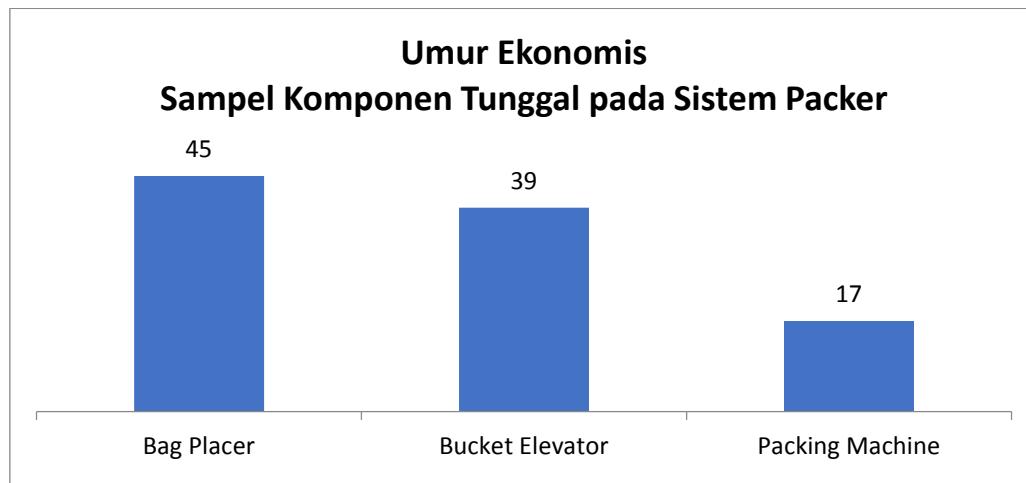
Parameter	Raw Mill		Raw Mill (Tanpa Konsekuensi)		Packer	
	EUAC	Umur Ekonomis	EUAC	Tahun	EUAC	Umur Ekonomis
Rata - rata	IDR 112,164,469,660	15.53	IDR 91,479,935,146	20.06	IDR 5,325,847,339	28.20
stdev	IDR 3,722,222,209	4.36	IDR 590,928,748	1.90	IDR 99,767,167	3.23
hw	IDR 1,057,843,847	0.70	IDR 167,940,092	0.31	IDR 28,353,515	0.52
n	50	150	50	150	50	150
Error Simulasi	0.94%	4.53%	0.18%	1.53%	0.53%	1.85%
Relative Error	5%	5%	5%	5%	5%	5%
z	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
n'	1.87	133.52	0.07	15.16	0.59	22.28

Hasil simulasi menunjukkan bahwa rata – rata minimum EUAC Raw Mill adalah Rp 112,164,469,660, Raw Mill tanpa biaya konsekuensi adalah Rp. 91,479,935,146, dan untuk Packer sebesar Rp 5,325,847,339. Rata - rata umur ekonomis untuk Raw Mill, Raw Mill tanpa mempertimbangkan biaya konsekuensi, dan Packer secara berturut – turut adalah 15, 20, dan 28 tahun. Hasil ini sudah memenuhi *error* di bawah 5%. Pada subbab ini akan ditampilkan juga pengolahan data untuk hasil simulasi EUAC dan umur ekonomis dari beberapa sampel peralatan tunggal pada sistem Raw Mill dan Packer. Sampel yang diambil untuk sistem Raw Mill adalah Hydraulic System, Roller Mill, Separator,

Circulation Lube System 1, dan Circulation Lube System 2. Untuk Packer, sampel yang diambil adalah Bag Placer, Bucket Elevator, dan Packing Machine. Catatan untuk perhitungan umur ekonomis komponen tunggal adalah beberapa peralatan seperti Roller Mill dan Separator akan digabungkan dengan *main drive* nya masing – masing.



Gambar 5. 5 Umur Ekonomis Sampel Komponen Tunggal pada Sistem Raw Mill



Gambar 5. 6 Umur Ekonomis Sampel Komponen Tunggal pada Sistem Packer

5.2.4. Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan dan Kerusakan

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi biaya pemeliharaan untuk satu replikasi simulasi sebagai contoh, hasil keseluruhan, dan perbandingan biaya antar peralatan. Beberapa hasil simulasi seperti biaya pemeliharaan dan jumlah kerusakan akan disimulasikan untuk masa periode 8 tahun untuk

mendapatkan nilai yang mendekati distribusi normal sehingga bisa dibandingkan dalam bentuk rata – rata. Masa periode 8 tahun yang dievaluasi adalah dari tahun 2012 hingga 2019. Periode tersebut dipilih karena biaya berada pada tingkatan yang sama berdasarkan pengolahan data historis yaitu dalam kondisi belum terkena inflasi. Biaya pemeliharaan akan disimulasikan dalam jumlah replikasi tertentu untuk mendapatkan error simulasi di bawah 5%.

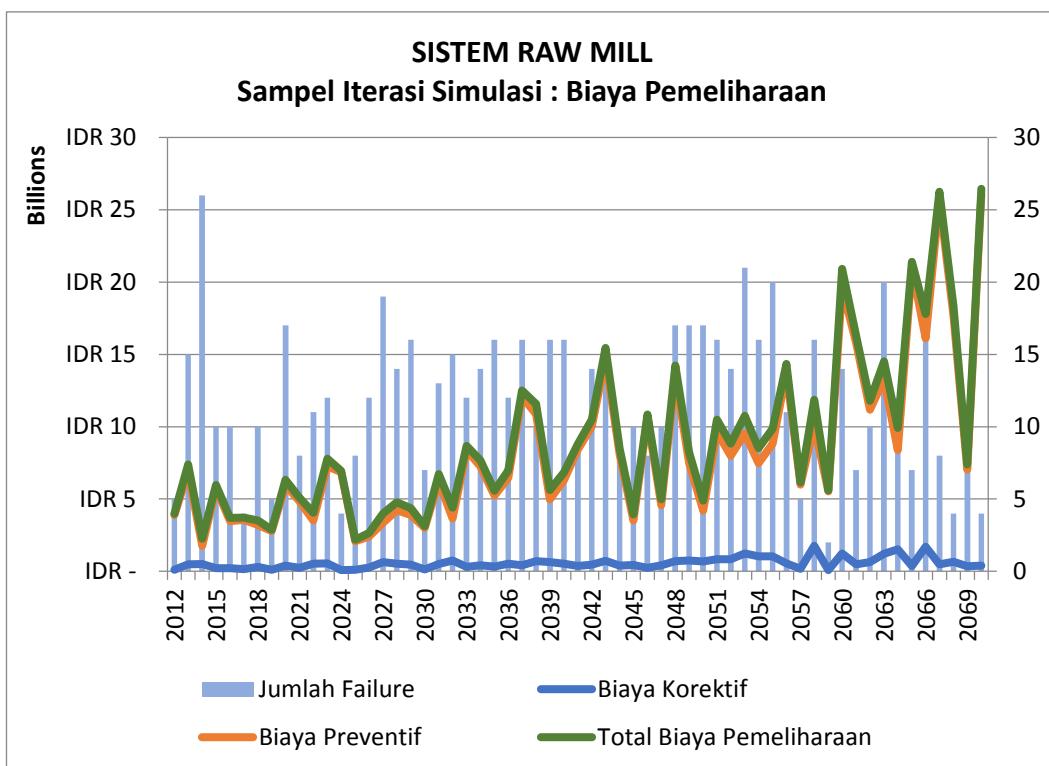
a) Raw Mill

Hasil simulasi satu iterasi sampel simulasi biaya pemeliharaan pada sistem Raw Mill ditampilkan pada Tabel 5.14 dan Gambar 5.7

Tabel 5. 14 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Biaya Pemeliharaan Sistem Raw Mill

Tahun	Jumlah Failure	Biaya Korektif	Biaya Preventif	Total Biaya Pemeliharaan
2012	5	IDR 99,248,213	IDR 3,890,117,988	IDR 3,989,366,201
2013	15	IDR 476,874,332	IDR 6,902,424,323	IDR 7,379,298,655
2014	26	IDR 498,863,531	IDR 1,759,330,439	IDR 2,258,193,970
2015	10	IDR 225,629,052	IDR 5,744,331,688	IDR 5,969,960,740
2016	10	IDR 224,545,652	IDR 3,462,171,469	IDR 3,686,717,121
2017	4	IDR 149,159,927	IDR 3,558,002,832	IDR 3,707,162,759
2018	10	IDR 308,017,647	IDR 3,198,365,042	IDR 3,506,382,689
2019	5	IDR 97,419,243	IDR 2,774,619,740	IDR 2,872,038,983
2020	17	IDR 390,245,134	IDR 5,946,074,444	IDR 6,336,319,578
2021	8	IDR 244,215,075	IDR 4,851,213,135	IDR 5,095,428,210
2022	11	IDR 530,738,470	IDR 3,522,397,917	IDR 4,053,136,387
2023	12	IDR 548,437,248	IDR 7,247,963,805	IDR 7,796,401,053
2024	4	IDR 77,003,908	IDR 6,859,380,785	IDR 6,936,384,692
2025	8	IDR 105,598,752	IDR 2,069,981,562	IDR 2,175,580,315
2026	12	IDR 251,004,088	IDR 2,401,484,715	IDR 2,652,488,803
2027	19	IDR 631,457,740	IDR 3,365,865,768	IDR 3,997,323,509
2028	14	IDR 536,846,426	IDR 4,229,484,585	IDR 4,766,331,011
2029	16	IDR 463,292,955	IDR 3,894,613,996	IDR 4,357,906,952
2030	7	IDR 123,203,697	IDR 3,002,760,221	IDR 3,125,963,917
2031	13	IDR 514,113,769	IDR 6,213,190,135	IDR 6,727,303,904
2032	15	IDR 756,889,895	IDR 3,638,622,724	IDR 4,395,512,619
2033	12	IDR 300,659,119	IDR 8,377,065,306	IDR 8,677,724,425
2034	14	IDR 426,381,246	IDR 7,253,169,674	IDR 7,679,550,920
2035	16	IDR 332,279,027	IDR 5,237,552,996	IDR 5,569,832,023
2036	12	IDR 517,303,664	IDR 6,456,760,262	IDR 6,974,063,926
2037	16	IDR 415,030,594	IDR 12,086,467,278	IDR 12,501,497,872
2038	10	IDR 699,782,847	IDR 10,870,507,857	IDR 11,570,290,703
2039	16	IDR 642,914,210	IDR 4,983,443,800	IDR 5,626,358,009

Tahun	Jumlah Failure	Biaya Korektif	Biaya Preventif	Total Biaya Pemeliharaan
2040	16	IDR 523,437,550	IDR 6,306,211,972	IDR 6,829,649,522
2041	9	IDR 376,056,358	IDR 8,409,148,660	IDR 8,785,205,018
2042	14	IDR 467,874,519	IDR 10,014,374,957	IDR 10,482,249,476
2043	15	IDR 734,938,309	IDR 14,704,737,375	IDR 15,439,675,684
2044	8	IDR 403,519,220	IDR 8,093,249,089	IDR 8,496,768,310
2045	10	IDR 430,364,726	IDR 3,509,159,720	IDR 3,939,524,446
2046	8	IDR 248,013,680	IDR 10,601,214,363	IDR 10,849,228,042
2047	10	IDR 414,315,982	IDR 4,569,750,811	IDR 4,984,066,793
2048	17	IDR 704,217,549	IDR 13,525,375,710	IDR 14,229,593,259
2049	17	IDR 743,722,946	IDR 7,495,812,873	IDR 8,239,535,818
2050	17	IDR 691,799,546	IDR 4,198,756,381	IDR 4,890,555,927
2051	16	IDR 827,591,212	IDR 9,652,950,606	IDR 10,480,541,818
2052	14	IDR 842,786,782	IDR 7,976,304,564	IDR 8,819,091,346
2053	21	IDR 1,229,995,025	IDR 9,529,976,560	IDR 10,759,971,585
2054	16	IDR 1,031,304,937	IDR 7,482,896,450	IDR 8,514,201,387
2055	20	IDR 1,031,792,674	IDR 8,837,012,480	IDR 9,868,805,154
2056	11	IDR 557,037,792	IDR 13,790,307,901	IDR 14,347,345,693
2057	5	IDR 166,282,241	IDR 5,991,422,549	IDR 6,157,704,790
2058	16	IDR 1,769,817,226	IDR 10,098,187,804	IDR 11,868,005,030
2059	2	IDR 74,580,006	IDR 5,528,641,101	IDR 5,603,221,107
2060	14	IDR 1,245,342,602	IDR 19,659,260,022	IDR 20,904,602,624
2061	7	IDR 489,206,029	IDR 15,775,147,696	IDR 16,264,353,725
2062	10	IDR 630,813,119	IDR 11,168,512,781	IDR 11,799,325,900
2063	20	IDR 1,215,899,049	IDR 13,306,868,443	IDR 14,522,767,492
2064	12	IDR 1,522,906,126	IDR 8,380,254,354	IDR 9,903,160,481
2065	7	IDR 379,466,963	IDR 21,018,157,197	IDR 21,397,624,160
2066	16	IDR 1,693,329,242	IDR 16,101,381,369	IDR 17,794,710,611
2067	8	IDR 491,610,165	IDR 25,760,553,034	IDR 26,252,163,200
2068	4	IDR 652,407,599	IDR 17,661,753,209	IDR 18,314,160,809
2069	7	IDR 359,466,385	IDR 7,031,685,870	IDR 7,391,152,255
2070	4	IDR 384,343,457	IDR 26,057,911,398	IDR 26,442,254,855



Gambar 5. 7 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Biaya Pemeliharaan Sistem Raw Mill

Biaya pemeliharaan preventif memiliki proporsi nilai yang lebih besar dari biaya pemeliharaan korektif. Rata – rata persentase biaya pemeliharaan preventif dan korektif terhadap total biaya pemeliharaan dari periode 2012 hingga 2070 secara berturut - turut adalah sebesar 92.81% dan 7.19% dengan standar deviasi yang sama yaitu 4.46%. Biaya pemeliharaan preventif dan korektif untuk masa periode 2012 hingga 2019 lalu disimulasikan sebanyak 100 replikasi.

Tabel 5. 15 Hasil Pengolahan Data Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Sistem Raw Mill

	Biaya Pemeliharaan Preventif	Biaya Pemeliharaan Korektif
Rata - rata	IDR 33,322,915,853	IDR 2,341,598,133
stdev	IDR 4,726,992,563	IDR 524,800,382
hw	IDR 937,937,877	IDR 104,131,781
n	100	100
Error Simulasi	2.81%	4.45%
Relative Error	5%	5%
z	1.96	1.96
n'	34.09	85.10
Persentase	93.43%	6.57%

Rata – rata biaya pemeliharaan preventif dan korektif untuk 8 tahun awal secara berturut - turut adalah Rp. 33,322,915,853 dan Rp. 2,341,598,133. Tiap peralatan berkontribusi terhadap biaya pemeliharaan dan jumlah kerusakan dengan nilai yang berbeda – beda. Hasil simulasi untuk biaya pemeliharaan preventif akan dibandingkan untuk seluruh peralatan dengan masa periode 8 tahun. Rincian dari hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 5.16

Tabel 5. 16 Rincian Biaya Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Preventif tiap Peralatan Sistem Raw Mill

Nama Equipment	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Rotary Feeder 1	IDR 1,250,487,167	IDR 378,795,406	IDR 18,574,694	1600	1.49%
Roller Mill	IDR 17,327,801,674	IDR 4,259,551,760	IDR 208,872,305	1600	1.21%
Circulation Lube System 1	IDR 4,935,073,253	IDR 1,226,305,647	IDR 60,133,390	1600	1.22%
Hydraulic System	IDR 1,818,758,097	IDR 583,627,412	IDR 28,618,881	1600	1.57%
Main Drive for Roller Mill	IDR 333,153,705	IDR 120,216,021	IDR 5,894,939	1600	1.77%
Circulation Lube System 2	IDR 1,355,878,532	IDR 472,587,366	IDR 23,173,897	1600	1.71%
Separator	IDR 2,594,071,196	IDR 873,171,211	IDR 42,817,013	1600	1.65%
Main Drive for Separator	IDR 1,348,502,636	IDR 338,418,449	IDR 16,594,761	1600	1.23%
Circulation Lube System 3	IDR 965,423	IDR 947,429	IDR 46,458	1600	4.81%
Grease System	IDR 107,807,351	IDR 95,301,087	IDR 4,673,205	1600	4.33%
Fan Circulation System	IDR 16,795,770	IDR 8,062,261	IDR 395,343	1600	2.35%
Water Spray	IDR 266,790,515	IDR 116,731,882	IDR 5,724,090	1600	2.15%
Multicyclone	IDR 409,550,520	IDR 145,028,442	IDR 7,111,646	1600	1.74%
Raw Mill Fan	IDR 897,199,354	IDR 133,557,303	IDR 6,549,145	1600	0.73%
Ventury					
Damper	IDR 245,517,801	IDR 228,822,998	IDR 11,220,614	1600	4.57%

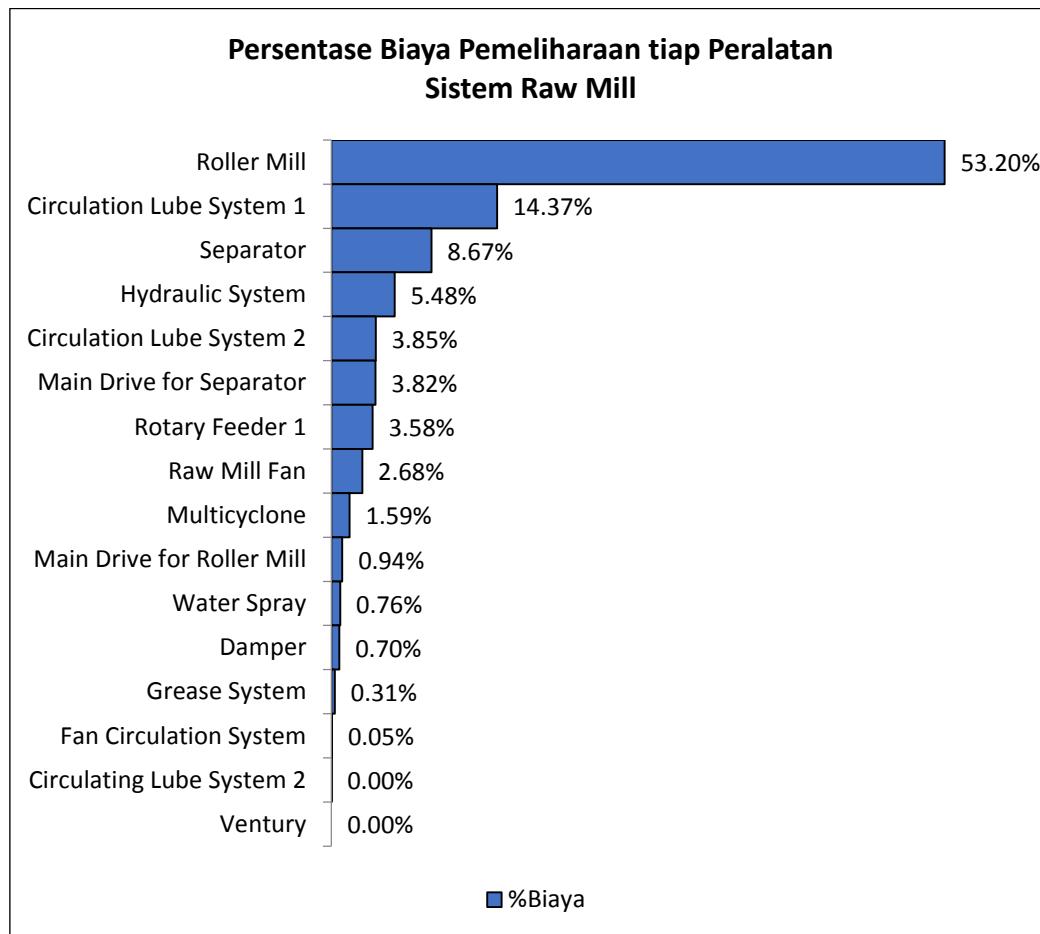
Biaya pemeliharaan preventif selama 8 tahun yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya adalah peralatan Raw Mill dengan rata –

rata sebesar Rp. 17,327,801,674. Hasil simulasi biaya pemeliharaan korektif untuk tiap peralatan dari tahun 2012 hingga 2019 ditunjukkan dalam Tabel 5.17. Terdapat beberapa peralatan yang tidak memiliki data kerusakan sehingga dapat diasumsikan bahwa probabilitas terjadinya kerusakan sangat kecil atau hampir tidak ada.

Tabel 5. 17 Rincian Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Korektif tiap Peralatan Sistem Raw Mill

Peralatan	Rata – rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Rotary Feeder 1	IDR 13,292,571	IDR 7,466,291	IDR 378,145	1500	2.84%
Roller Mill	IDR 1,432,334,785	IDR 392,622,776	IDR 19,885,145	1500	1.39%
Circulation Lube System 1	IDR 131,173,503	IDR 106,885,965	IDR 5,413,448	1500	4.13%
Hydraulic System	IDR 115,091,842	IDR 72,165,556	IDR 3,654,965	1500	3.18%
Main Drive for Roller Mill	Tidak ada Kerusakan				
Circulation Lube System 2	Tidak ada Kerusakan				
Separator	IDR 464,477,979	IDR 236,111,495	IDR 11,958,326	1500	2.57%
Main Drive for Separator	Tidak ada Kerusakan				
Circulating Lube System 2	Tidak ada Kerusakan				
Grease System	Tidak ada Kerusakan				
Fan Circulation System	Tidak ada Kerusakan				
Water Spray	Tidak ada Kerusakan				
Cyclone 1	IDR 37,636,266	IDR 24,125,986	IDR 1,221,908	1500	3.25%
Cyclone 2	IDR 37,429,761	IDR 24,661,102	IDR 1,249,010	1500	3.34%
Cyclone 3	IDR 37,219,011	IDR 23,775,581	IDR 1,204,161	1500	3.24%
Cyclone 4	IDR 37,504,181	IDR 24,271,883	IDR 1,229,297	1500	3.28%
Raw Mill Fan	IDR 46,264,044	IDR 35,319,467	IDR 1,788,823	1500	3.87%
Ventury	Tidak ada Kerusakan				
Damper	Tidak ada Kerusakan				

Biaya pemeliharaan korektif selama 8 tahun yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya adalah peralatan Raw Mill dengan rata – rata sebesar Rp. 1,432,334,785.



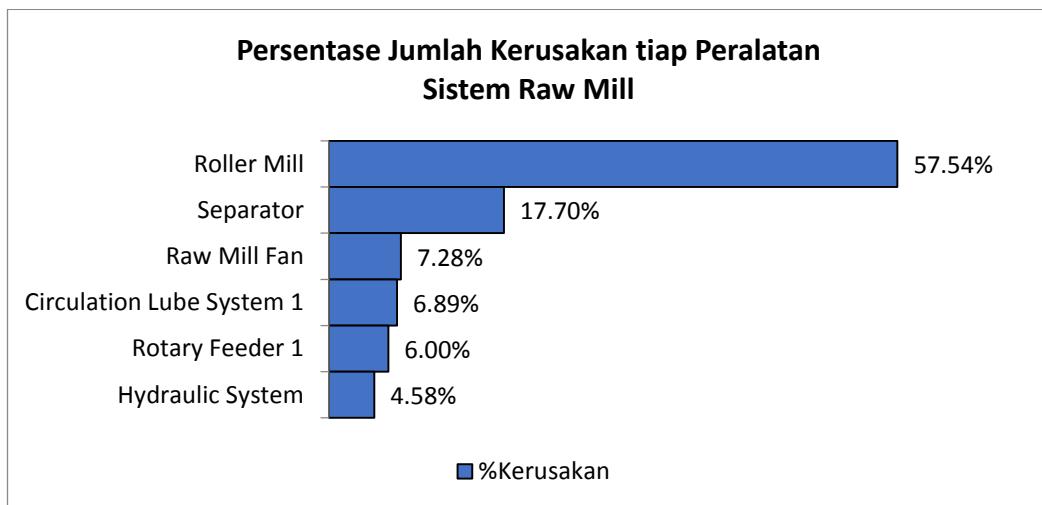
Gambar 5. 8 Persentase Biaya Pemeliharaan tiap Peralatan Sistem Raw Mill

Hasil biaya pemeliharaan korektif ini tentunya dipicu oleh jumlah kerusakan, namun biaya pemeliharaan korektif tidak bisa sepenuhnya memberikan gambaran mengenai jumlah kerusakan karena setiap peralatan memiliki distribusi biaya masing – masing. Rincian hasil simulasi jumlah kerusakan tiap peralatan ditunjukkan pada Tabel 5.18

Tabel 5. 18 Rincian Hasil Simulasi Jumlah Kerusakan tiap Peralatan Sistem Raw Mill

Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Rotary Feeder 1	5.70	2.11	0.11	1500	1.88%
Roller Mill	54.63	13.01	0.66	1500	1.21%
Circulation Lube System 1	6.54	5.13	0.26	1500	3.97%
Hydraulic System	4.35	1.83	0.09	1500	2.13%
Main Drive for Roller Mill					Tidak ada Kerusakan

Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Circulation Lube System 2	Tidak ada Kerusakan				
Separator	16.81	7.47	0.38	1500	2.25%
Main Drive for Separator	Tidak ada Kerusakan				
Circulating Lube System 2	Tidak ada Kerusakan				
Grease System	Tidak ada Kerusakan				
Fan Circulation System	Tidak ada Kerusakan				
Water Spray	Tidak ada Kerusakan				
Cyclone 1	2.33	1.23	0.06	1500	2.67%
Cyclone 2	2.36	1.26	0.06	1500	2.69%
Cyclone 3	2.35	1.23	0.06	1500	2.66%
Cyclone 4	2.36	1.24	0.06	1500	2.66%
Raw Mill Fan	6.91	4.55	0.23	1500	3.34%
Ventury	Tidak ada Kerusakan				
Damper	Tidak ada Kerusakan				



Gambar 5. 9 Persentase Jumlah Kerusakan tiap Peralatan Sistem Raw Mill

Rata – rata jumlah kerusakan terbesar pada sistem Raw Mill dihasilkan oleh peralatan Roller Mill dengan proporsi sebesar 57.54% dari total kerusakan.

b) Packer

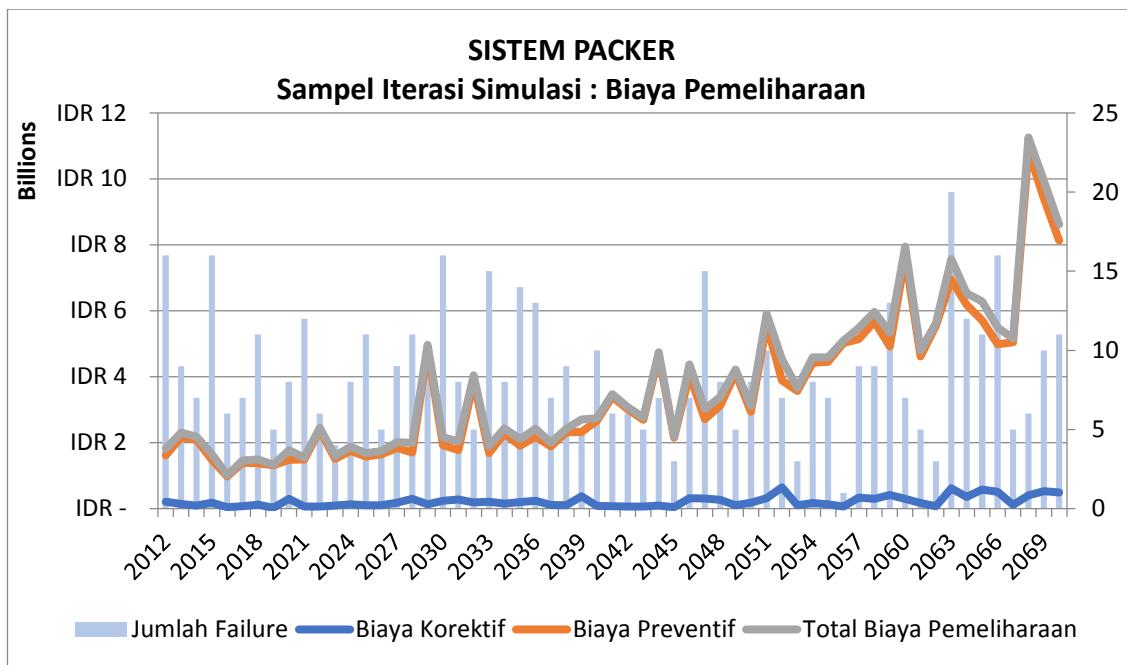
Hasil simulasi satu iterasi sampel simulasi biaya pemeliharaan pada sistem Packer ditampilkan pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.10

Tabel 5. 19 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Biaya Pemeliharaan Sistem Packer

Tahun	Jumlah Failure	Biaya Korektif	Biaya Preventif	Total Biaya Pemeliharaan

Tahun	Jumlah Failure	Biaya Korektif	Biaya Preventif	Total Biaya Pemeliharaan
2012	16	IDR 204,024,747	IDR 1,612,685,276	IDR 1,816,710,023
2013	9	IDR 139,144,462	IDR 2,163,115,542	IDR 2,302,260,004
2014	7	IDR 88,868,479	IDR 2,088,375,975	IDR 2,177,244,454
2015	16	IDR 178,752,524	IDR 1,478,108,849	IDR 1,656,861,373
2016	6	IDR 41,093,355	IDR 977,875,359	IDR 1,018,968,715
2017	7	IDR 67,932,781	IDR 1,397,491,575	IDR 1,465,424,355
2018	11	IDR 117,512,884	IDR 1,376,446,756	IDR 1,493,959,640
2019	5	IDR 24,443,654	IDR 1,311,108,253	IDR 1,335,551,907
2020	8	IDR 293,922,016	IDR 1,477,585,233	IDR 1,771,507,249
2021	12	IDR 67,014,953	IDR 1,485,869,966	IDR 1,552,884,919
2022	6	IDR 64,452,330	IDR 2,387,062,069	IDR 2,451,514,399
2023	4	IDR 88,151,735	IDR 1,511,372,073	IDR 1,599,523,808
2024	8	IDR 130,898,545	IDR 1,751,984,645	IDR 1,882,883,190
2025	11	IDR 106,083,621	IDR 1,581,923,633	IDR 1,688,007,254
2026	5	IDR 97,619,434	IDR 1,647,598,559	IDR 1,745,217,993
2027	9	IDR 180,853,171	IDR 1,835,213,660	IDR 2,016,066,831
2028	11	IDR 291,538,394	IDR 1,700,279,137	IDR 1,991,817,530
2029	10	IDR 130,618,460	IDR 4,830,905,100	IDR 4,961,523,560
2030	16	IDR 238,130,586	IDR 1,922,339,077	IDR 2,160,469,663
2031	8	IDR 276,696,039	IDR 1,767,814,494	IDR 2,044,510,533
2032	5	IDR 188,666,012	IDR 3,856,485,612	IDR 4,045,151,624
2033	15	IDR 210,091,911	IDR 1,684,324,013	IDR 1,894,415,925
2034	8	IDR 149,178,793	IDR 2,279,107,565	IDR 2,428,286,358
2035	14	IDR 198,474,411	IDR 1,910,388,520	IDR 2,108,862,931
2036	13	IDR 240,578,663	IDR 2,182,567,263	IDR 2,423,145,926
2037	7	IDR 111,931,451	IDR 1,890,474,379	IDR 2,002,405,830
2038	9	IDR 105,573,221	IDR 2,313,015,130	IDR 2,418,588,351
2039	5	IDR 371,665,617	IDR 2,328,730,649	IDR 2,700,396,266
2040	10	IDR 79,612,825	IDR 2,663,810,454	IDR 2,743,423,279
2041	6	IDR 72,207,613	IDR 3,396,866,611	IDR 3,469,074,224
2042	6	IDR 64,206,923	IDR 3,017,995,856	IDR 3,082,202,779
2043	5	IDR 65,646,348	IDR 2,691,889,155	IDR 2,757,535,503
2044	7	IDR 94,086,552	IDR 4,644,251,926	IDR 4,738,338,478
2045	3	IDR 45,924,283	IDR 2,146,206,357	IDR 2,192,130,640
2046	7	IDR 311,068,115	IDR 4,066,427,016	IDR 4,377,495,131
2047	15	IDR 307,557,514	IDR 2,714,007,303	IDR 3,021,564,817
2048	8	IDR 265,953,259	IDR 3,120,529,873	IDR 3,386,483,132
2049	5	IDR 106,314,568	IDR 4,112,447,241	IDR 4,218,761,809
2050	8	IDR 179,166,583	IDR 2,932,804,758	IDR 3,111,971,340
2051	10	IDR 319,197,868	IDR 5,588,879,757	IDR 5,908,077,625
2052	7	IDR 640,898,765	IDR 3,887,169,305	IDR 4,528,068,070

Tahun	Jumlah Failure	Biaya Korektif	Biaya Preventif	Total Biaya Pemeliharaan
2053	3	IDR 97,479,759	IDR 3,570,648,848	IDR 3,668,128,607
2054	8	IDR 170,333,304	IDR 4,420,985,193	IDR 4,591,318,496
2055	7	IDR 130,854,444	IDR 4,453,876,568	IDR 4,584,731,012
2056	1	IDR 62,968,823	IDR 5,027,080,015	IDR 5,090,048,838
2057	9	IDR 338,746,952	IDR 5,142,742,667	IDR 5,481,489,619
2058	9	IDR 293,542,934	IDR 5,669,801,132	IDR 5,963,344,066
2059	13	IDR 411,903,617	IDR 4,920,106,785	IDR 5,332,010,402
2060	7	IDR 300,777,157	IDR 7,642,789,290	IDR 7,943,566,447
2061	5	IDR 170,845,013	IDR 4,619,974,842	IDR 4,790,819,855
2062	3	IDR 71,882,246	IDR 5,551,987,410	IDR 5,623,869,656
2063	20	IDR 616,279,246	IDR 6,948,897,726	IDR 7,565,176,972
2064	12	IDR 350,458,359	IDR 6,179,766,286	IDR 6,530,224,645
2065	11	IDR 577,158,539	IDR 5,712,286,738	IDR 6,289,445,277
2066	16	IDR 506,960,276	IDR 4,983,233,147	IDR 5,490,193,423
2067	5	IDR 115,611,789	IDR 5,043,840,837	IDR 5,159,452,626
2068	6	IDR 406,014,218	IDR 10,855,712,683	IDR 11,261,726,900
2069	10	IDR 533,457,263	IDR 9,414,695,748	IDR 9,948,153,011
2070	11	IDR 485,455,489	IDR 8,133,225,242	IDR 8,618,680,731



Gambar 5. 10 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Biaya Pemeliharaan Sistem Packer

Rata – rata persentase biaya pemeliharaan preventif dan korektif terhadap total biaya pemeliharaan dari periode 2012 hingga 2070 untuk salah satu sampel iterasi secara berturut - turut adalah sebesar 93.77% dan 6.23% dengan standar

deviasi yang sama yaitu 3.76%. Biaya pemeliharaan preventif dan korektif untuk masa periode 2012 hingga 2019 lalu disimulasikan sebanyak 100 replikasi.

Tabel 5. 20 Hasil Pengolahan Data Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Sistem Packer

	Biaya Pemeliharaan Preventif	Biaya Pemeliharaan Korektif
Rata - rata	IDR 18,136,341,349	IDR 868,421,450
stdev	IDR 533,530,944	IDR 200,088,364
hw	IDR 105,864,114	IDR 39,701,872
n	100	100
Error Simulasi	0.58%	4.57%
Relative Error	5%	5%
z	1.96	1.96
n'	1.47	89.94
Persentase	95.43%	4.57%

Rata – rata biaya pemeliharaan preventif dan korektif untuk 8 tahun awal secara berturut - turut adalah Rp. 18,136,341,349 dan Rp. 868,421,450. Selanjutnya, rata – rata biaya pemeliharaan preventif tiap peralatan untuk 8 tahun awal ditunjukkan pada Tabel 5.21

Tabel 5. 21 Rincian Biaya Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Preventif tiap Peralatan Sistem Packer

Nama Peralatan	Rata – Rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Bucket Elevator 1	IDR 1,205,993,738	IDR 342,997,585	IDR 17,371,780	1500	1.44%
Bucket Elevator 2	IDR 1,482,819,050	IDR 515,360,157	IDR 26,101,418	1500	1.76%
Bin Storage 1	IDR 5,317,427	IDR 5,083,416	IDR 257,459	1500	4.84%
Bin Storage 2					
Bin Storage 3					
Packing Machine 1	IDR 3,520,505,588	IDR 972,927,046	IDR 49,275,784	1500	1.40%
Packing Machine 2	IDR 2,166,177,432	IDR 239,989,146	IDR 12,154,717	1500	0.56%
Packing Machine 3	IDR 2,313,208,002	IDR 349,967,360	IDR 17,724,778	1500	0.77%
Bag Placer 1	IDR 299,036,327	IDR 118,632,454	IDR 6,008,372	1500	2.01%
Bag Placer 2	IDR	IDR	IDR	1500	1.62%

Nama Peralatan	Rata – Rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
	492,060,925	157,400,046	7,971,832		
Bag Placer 3	IDR 152,215,383	IDR 61,629,315	IDR 3,121,337	1500	2.05%
Belt Weigher 1	IDR 112,767,283	IDR 52,992,793	IDR 2,683,923	1500	2.38%
Belt Weigher 2	IDR 40,771,693	IDR 21,727,511	IDR 1,100,432	1500	2.70%
Belt Weigher 3	IDR 57,163,781	IDR 35,148,108	IDR 1,780,144	1500	3.11%
Rear Loader 1	IDR 220,087,729	IDR 128,665,164	IDR 6,516,498	1500	2.96%
Rear Loader 2	IDR 105,358,933	IDR 49,732,712	IDR 2,518,810	1500	2.39%
Rear Loader 3	IDR 88,242,923	IDR 36,191,624	IDR 1,832,995	1500	2.08%
Rear Loader 4	IDR 59,366,091	IDR 30,016,639	IDR 1,520,251	1500	2.56%
Rear Loader 5	IDR 58,185,144	IDR 26,694,638	IDR 1,352,002	1500	2.32%
Rear Loader 6	IDR 33,135,120	IDR 12,616,764	IDR 639,001	1500	1.93%

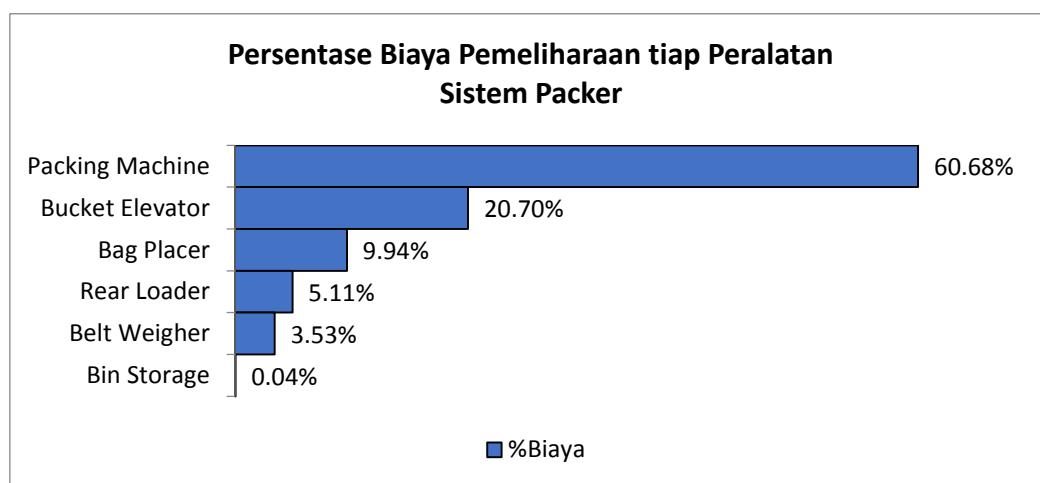
Biaya pemeliharaan preventif selama 8 tahun yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya adalah peralatan Packing Machine 1 dengan rata – rata sebesar Rp. 3,520,505,588. Hasil simulasi biaya pemeliharaan korektif untuk tiap peralatan dari tahun 2012 hingga 2019 ditunjukkan dalam Tabel 5.22 Pola distribusi biaya korektif untuk beberapa peralatan yang identik diasumsikan sama. Peralatan Bin Storage tidak memiliki data kerusakan sehingga dapat diasumsikan tidak terjadi kerusakan.

Tabel 5. 22 Rincian Biaya Hasil Simulasi Biaya Pemeliharaan Korektif tiap Peralatan Sistem Packer

Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Bucket Elevator 1	IDR 28,452,605	IDR 24,641,939	IDR 1,080,615	2000	3.80%
Bucket Elevator 2	IDR 29,369,351	IDR 26,111,848	IDR 1,145,074	2000	3.90%
Bin Storage 1					
Bin Storage 2					
Bin Storage 3					
Packing	IDR	IDR	IDR	2000	4.31%

Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Machine 1	17,467,895	17,170,895	752,990		
Packing Machine 2	IDR 16,781,194	IDR 16,309,188	IDR 715,202	2000	4.26%
Packing Machine 3	IDR 17,361,385	IDR 17,392,756	IDR 762,719	2000	4.39%
Bag Placer 1	IDR 125,547,016	IDR 69,630,899	IDR 3,053,501	2000	2.43%
Bag Placer 2	IDR 124,872,574	IDR 67,702,142	IDR 2,968,920	2000	2.38%
Bag Placer 3	IDR 125,415,444	IDR 69,221,283	IDR 3,035,539	2000	2.42%
Belt Weigher 1	IDR 85,837,490	IDR 62,134,463	IDR 2,724,763	2000	3.17%
Belt Weigher 2	IDR 86,171,391	IDR 61,941,785	IDR 2,716,313	2000	3.15%
Belt Weigher 3	IDR 85,833,099	IDR 61,677,024	IDR 2,704,703	2000	3.15%
Rear Loader 1	IDR 19,150,017	IDR 16,556,424	IDR 726,044	2000	3.79%
Rear Loader 2	IDR 19,261,990	IDR 16,861,924	IDR 739,441	2000	3.84%
Rear Loader 3	IDR 19,060,614	IDR 16,381,864	IDR 718,389	2000	3.77%
Rear Loader 4	IDR 18,623,169	IDR 16,312,412	IDR 715,343	2000	3.84%
Rear Loader 5	IDR 18,966,020	IDR 16,307,598	IDR 715,132	2000	3.77%
Rear Loader 6	IDR 18,949,647	IDR 16,149,612	IDR 708,204	2000	3.74%

Biaya pemeliharaan korektif selama 8 tahun yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya adalah peralatan Bag Placer dengan rata – rata sebesar Rp. 375,835,034.

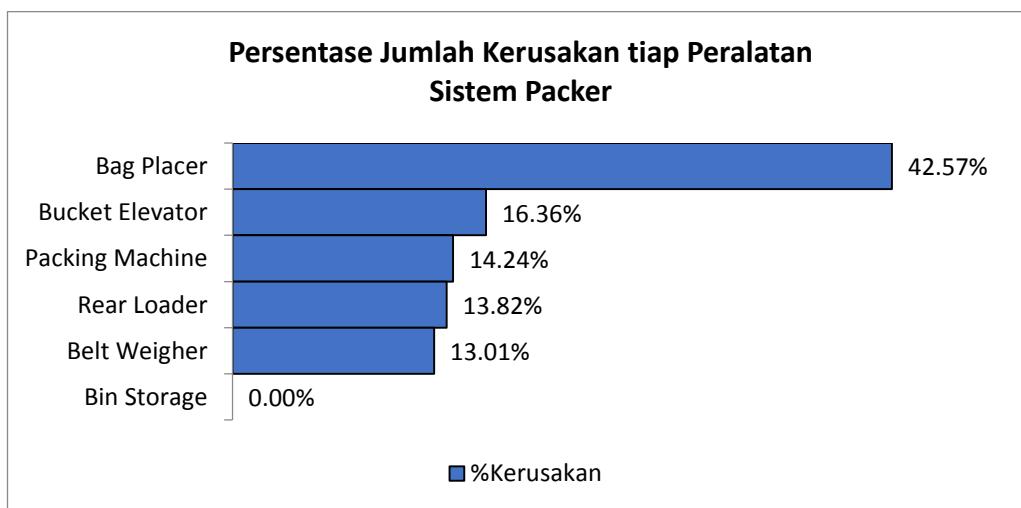


Gambar 5. 11 Persentase Biaya Pemeliharaan tiap Peralatan Sistem Packer

Selanjutnya, rincian jumlah kerusakan tiap peralatan Packer ditampilkan pada Tabel 5.23

Tabel 5. 23 Rincian Hasil Simulasi Jumlah Kerusakan tiap Peralatan Sistem Packer

Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Bucket Elevator 1	4.21	3.19	0.16	1500	3.83%
Bucket Elevator 2	4.14	3.02	0.15	1500	3.70%
Bin Storage 1					
Bin Storage 2					
Bin Storage 3					
Packing Machine 1	3.59	2.94	0.15	1500	4.15%
Packing Machine 2	3.67	3.13	0.16	1500	4.31%
Packing Machine 3	3.64	3.01	0.15	1500	4.19%
Bag Placer 1	10.87	5.06	0.26	1500	2.36%
Bag Placer 2	10.92	5.14	0.26	1500	2.38%
Bag Placer 3	10.82	5.16	0.26	1500	2.41%
Belt Weigher 1	3.33	1.55	0.08	1500	2.35%
Belt Weigher 2	3.30	1.55	0.08	1500	2.37%
Belt Weigher 3	3.34	1.57	0.08	1500	2.38%
Rear Loader 1	3.50	2.48	0.13	1500	3.59%
Rear Loader 2	3.52	2.45	0.12	1500	3.52%
Rear Loader 3	3.51	2.50	0.13	1500	3.60%
Rear Loader 4	3.51	2.51	0.13	1500	3.62%
Rear Loader 5	3.54	2.51	0.13	1500	3.59%
Rear Loader 6	3.59	2.60	0.13	1500	3.67%



Gambar 5. 12 Persentase Jumlah Kerusakan tiap Peralatan Sistem Packer

Rata – rata jumlah kerusakan terbesar pada sistem Packer dihasilkan oleh peralatan Bag Placer dengan persentase sebesar 42.57%.

5.2.5. Hasil Simulasi Biaya Operasional dan Hari Efektif Operasional

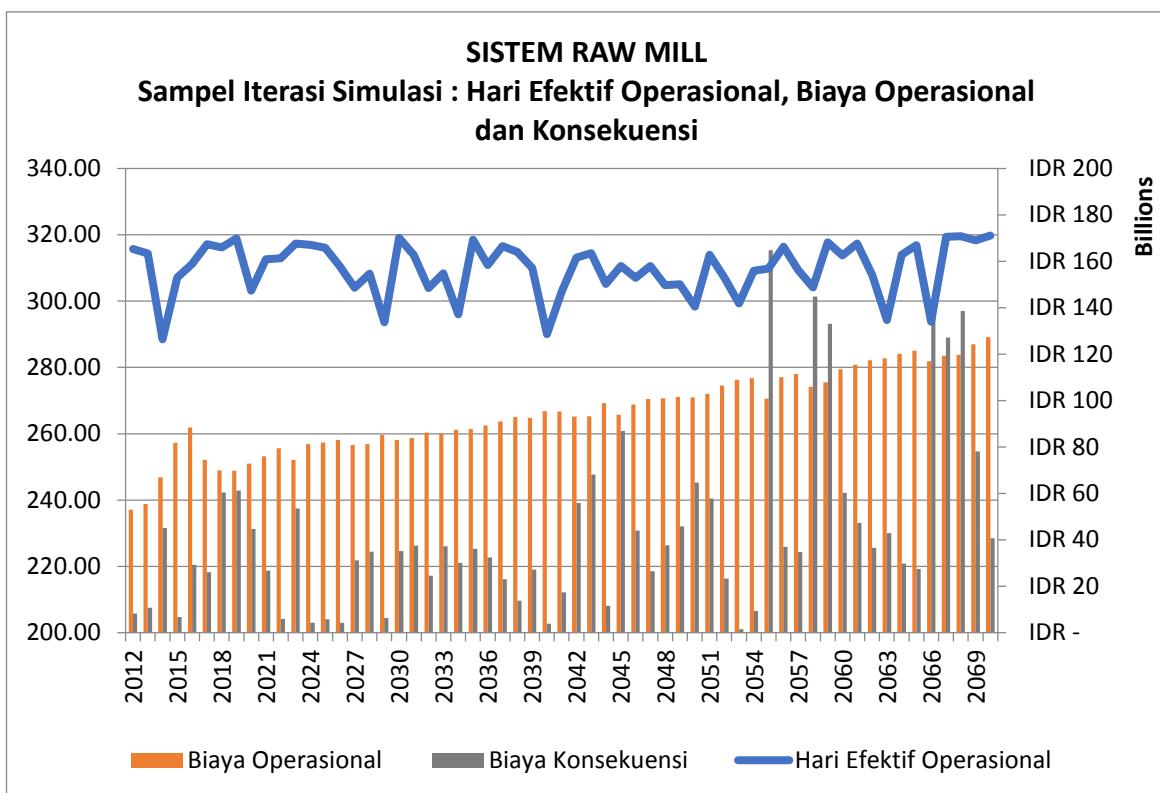
Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi biaya operasional dan hari efektif operasional untuk satu iterasi sampel dari tahun 2012 hingga 2070.

a) Raw Mill

Hasil simulasi satu iterasi sampel hari efektif operasional dan biaya operasional dari tahun 2012 hingga 20170 pada sistem Raw Mill ditampilkan pada Tabel 5.24 dan Gambar 5.13

Tabel 5. 24 Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Hari Efektif Operasional Sistem Raw Mill

Tahun	Hari Efektif Operasional	Tahun	Hari Efektif Operasional	Tahun	Hari Efektif Operasional
2012	315.73	2032	303.89	2052	307.14
2013	314.34	2033	308.38	2053	299.33
2014	288.51	2034	296.06	2054	309.15
2015	307.12	2035	318.53	2055	309.80
2016	311.14	2036	310.87	2056	316.38
2017	317.13	2037	316.60	2057	309.38
2018	316.16	2038	314.84	2058	304.14
2019	318.85	2039	310.01	2059	317.69
2020	303.17	2040	290.06	2060	313.77
2021	312.58	2041	302.82	2061	317.39
2022	312.90	2042	313.10	2062	307.92
2023	317.36	2043	314.49	2063	294.31
2024	316.95	2044	305.16	2064	313.93
2025	316.10	2045	310.58	2065	316.86
2026	310.51	2046	306.99	2066	293.82
2027	304.05	2047	310.61	2067	319.38
2028	308.30	2048	304.77	2068	319.58
2029	293.57	2049	305.05	2069	318.32
2030	319.05	2050	298.31	2070	319.74
2031	313.88	2051	313.96		



Gambar 5. 13 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Hari Efektif Operasional, Biaya Operasional, dan Biaya Konsekuensi Sistem Raw Mill

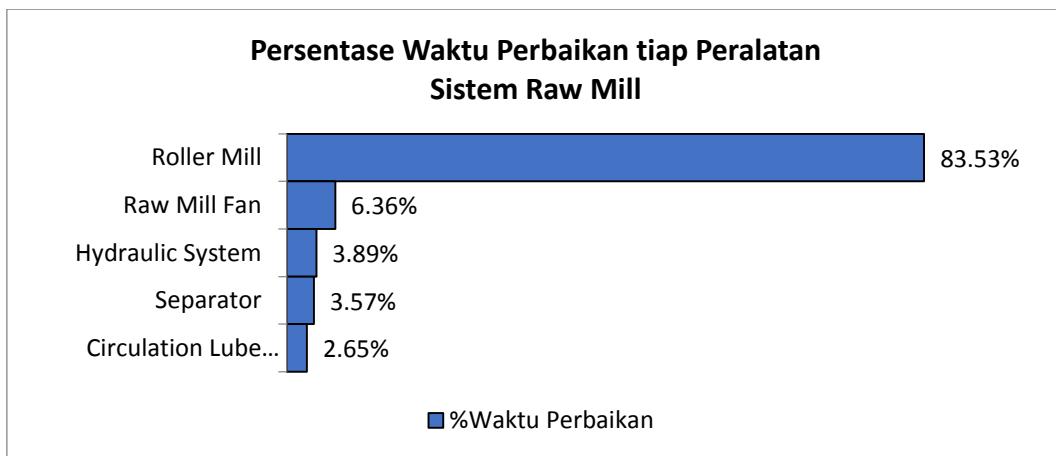
Rata – rata hari efektif operasional untuk salah satu iterasi sampel Raw Mill yang disimulasikan dari tahun 2012 hingga 2070 adalah sebesar 309.84 hari dengan standard deviasi sebesar 7.91 hari. Hari efektif operasional ini berpengaruh terhadap persentase peningkatan biaya operasional Raw Mill per tahun yang cenderung meningkat namun fluktuatif dengan rata – rata peningkatan sebesar 1.24% dan standart deviasi sebesar 3.3%

Perubahan jumlah hari efektif operasional ini merupakan dampak dari total waktu perbaikan. Hasil simulasi waktu perbaikan untuk periode 2012 hingga 2019 ditampilkan pada Tabel 5.25 dan Gambar 5.14

Tabel 5. 25 Rincian Hasil Simulasi Waktu Perbaikan tiap Peralatan Sistem Raw Mill

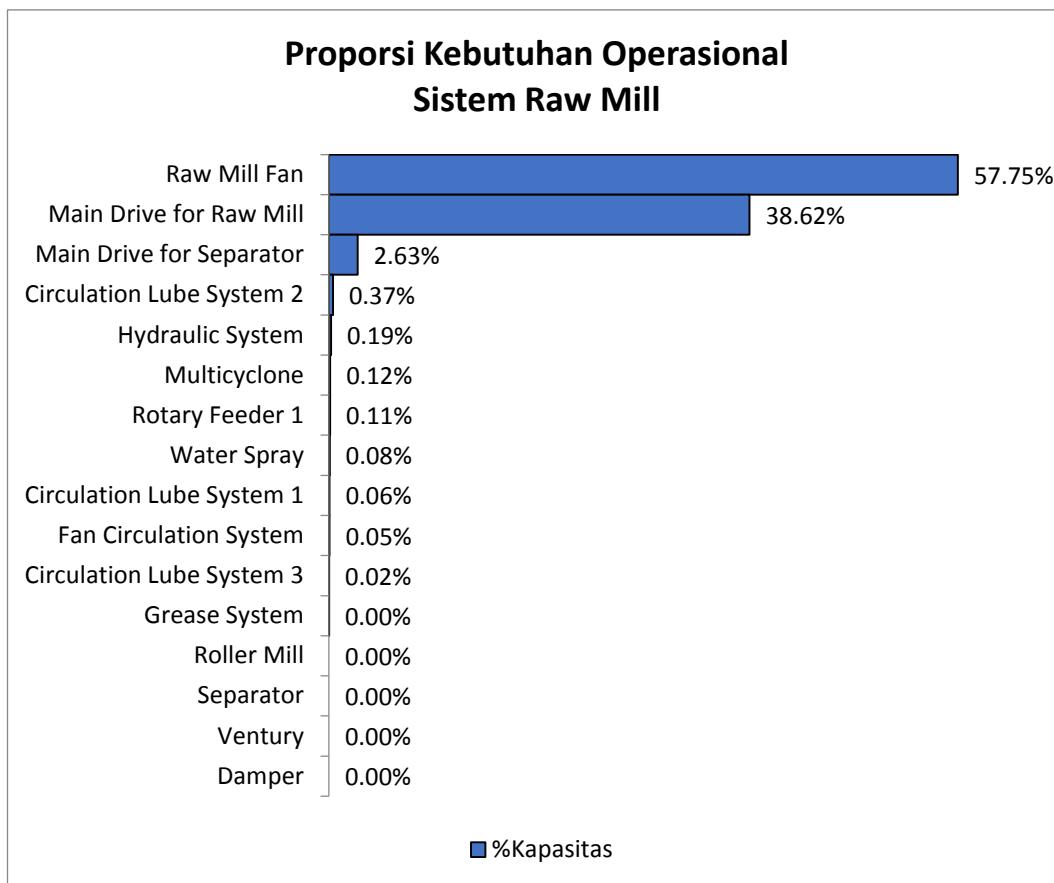
Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Rotary Feeder 1					
Roller Mill	72.28	22.61	1.15	1500	1.58%
Circulation Lube System 1	2.29	2.06	0.10	1500	4.55%
Hydraulic System	3.37	2.63	0.13	1500	3.95%
Main Drive for Raw Mill					
Circulation Lube System 2					

Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Separator	3.09	1.56	0.08	1500	2.55%
Main Drive for Separator					
Circulation Lube System 3					
Grease System					
Fan Circulation & Water Spray					
Multicyclone					
Raw Mill Fan	5.50	4.05	0.21	1500	3.73%



Gambar 5. 14 Persentase Waktu Perbaikan tiap Peralatan Sistem Raw Mill

Peralatan Raw Mill memberikan kontribusi terbesar yaitu sekitar 83.53% dari total waktu perbaikan sistem. Selanjutnya, pada Gambar 5.15 akan ditampilkan proporsi kebutuhan operasional dari setiap peralatan pada sistem Raw Mill

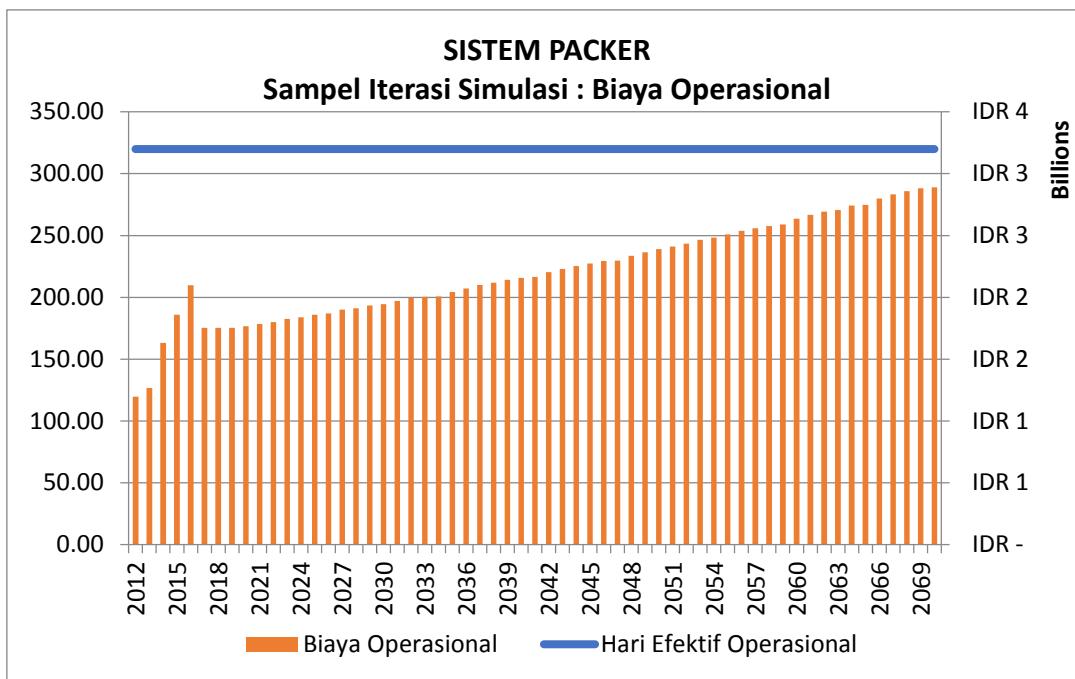


Gambar 5. 15 Persentase Kebutuhan Operasional tiap Peralatan Sistem Raw Mill

Kebutuhan operasional terbesar pada sistem Raw Mill dihasilkan oleh peralatan Raw Mill Fan dengan persentase 57.75%.

b) Packer

Hasil simulasi satu iterasi sampel hari efektif operasional dan biaya operasional dari tahun 2012 hingga 20170 pada sistem Packer ditampilkan pada Gambar 5.16.



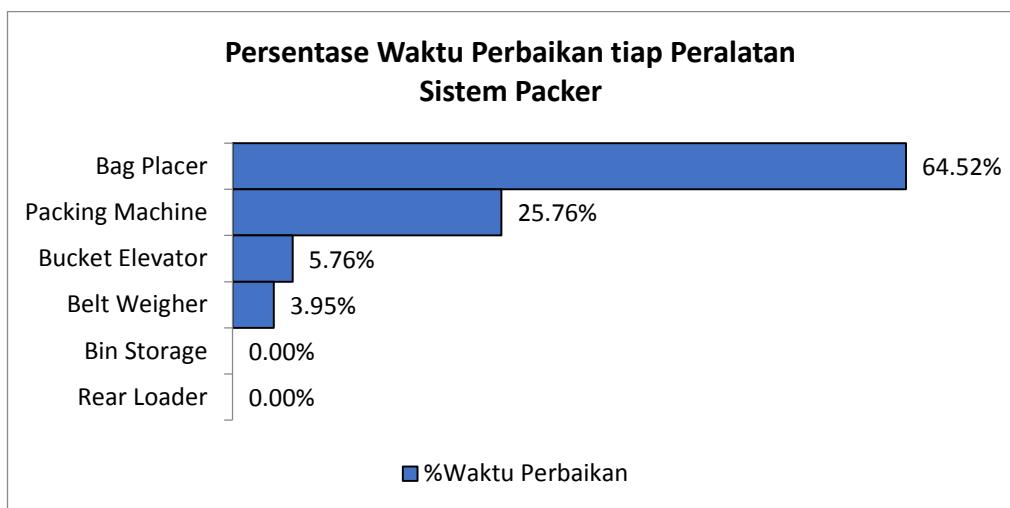
Gambar 5. 16 Grafik Hasil Simulasi Satu Iterasi Sampel Hari Efektif Operasional dan Biaya Operasional Sistem Packer

Hari efektif operasional untuk salah satu iterasi sampel Packer dari tahun 2012 hingga 2070 diasumsikan tidak mengalami pengurangan sama sekali karena susunan komponen utama yang berbentuk parallel. Hal ini menyebabkan persentase peningkatan biaya operasional per tahun untuk packer selalu naik dengan rata – rata sebesar 0.98% dan standard deviasi sebesar 0.44%.

Tabel 5. 26 Rincian Hasil Simulasi Waktu Perbaikan tiap Peralatan Sistem Packer

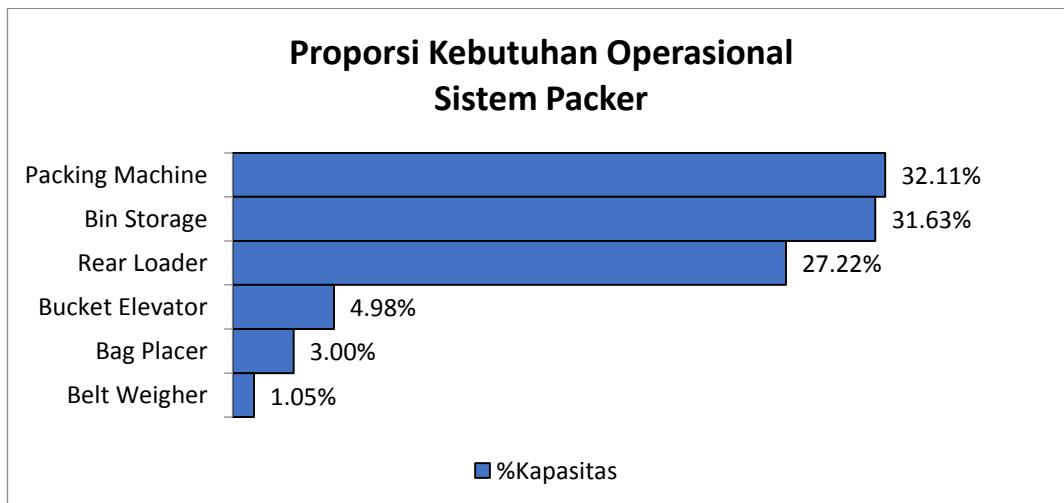
Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Bucket Elevator 1	1.02	0.86	0.04	1500	4.25%
Bucket Elevator 2	1.01	0.85	0.04	1500	4.24%
Bin Storage 1					
Bin Storage 2					
Bin Storage 3					
Packing Machine 1	4.61	4.11	0.21	1500	4.51%
Packing Machine 2	4.46	3.99	0.20	1500	4.54%
Packing Machine 3	4.61	4.27	0.22	1500	4.69%
Bag Placer 1	11.39	7.69	0.39	1500	3.42%
Bag Placer 2	11.45	7.68	0.39	1500	3.40%
Bag Placer 3	11.42	7.69	0.39	1500	3.41%
Belt Weigher 1	0.70	0.52	0.03	1500	3.77%
Belt Weigher 2	0.70	0.51	0.03	1500	3.69%
Belt Weigher 3	0.70	0.50	0.03	1500	3.64%

Nama Peralatan	Rata - rata	stdev	hw	n	Error Simulasi
Rear Loader 1					
Rear Loader 2					
Rear Loader 3					
Rear Loader 4					
Rear Loader 5					
Rear Loader 6					



Gambar 5. 17 Persentase Waktu Perbaikan tiap Peralatan Sistem Packer

Peralatan Packer memberikan kontribusi terbesar yaitu sekitar 64.52% dari total waktu perbaikan sistem. Selanjutnya, pada Gambar 5.18 akan ditampilkan proporsi kebutuhan operasional dari setiap peralatan pada sistem Raw Mill



Gambar 5. 18 Persentase Kebutuhan Operasional tiap Peralatan Sistem Packer

Kebutuhan operasional terbesar pada sistem Packer dihasilkan oleh peralatan Packing Machine dengan persentase 32.11%.

5.2.6. Hasil Pengolahan Komponen Kritis

Pada subbab ini, komponen kritis tiap elemen biaya akan diolah untuk mendapatkan kesimpulan terkait komponen yang kritis terhadap total biaya di luar akuisisi. Penentuan nilai komponen kritis dilakukan dengan menghitung persentase tiap peralatan pada tiap elemen biaya dengan persentase elemen biaya terhadap TCO. Pada sistem Raw Mill, proporsi antara biaya operasional, biaya konsekuensi, dan biaya pemeliharaan pada data historis secara berturut – turut adalah 4.47%, 75.82%, dan 19.71% sehingga menghasilkan persentase total biaya dalam Tabel 5.27

Tabel 5. 27 Persentase Total Biaya tiap Peralatan Sistem Raw Mill

Nama Equipment	Persentase Biaya Pemeliharaan	Persentase Biaya Operasional	Persentase Biaya Konsekuensi	Persentase Total
Rotary Feeder 1	3.58%	0.11%	0.00%	0.24%
Roller Mill	53.20%	0.00%	83.53%	18.84%
Circulation Lube System 1	14.37%	0.06%	2.65%	1.21%
Hydraulic System	5.48%	0.19%	3.89%	1.15%
Main Drive for Roller Mill	0.94%	38.62%	0.00%	29.32%
Circulation Lube System 2	3.85%	0.37%	0.00%	0.45%
Separator	8.67%	0.00%	3.57%	1.09%
Main Drive for Separator	3.82%	2.63%	0.00%	2.17%
Circulation Lube System 3	0.00%	0.02%	0.00%	0.01%
Grease System	0.31%	0.00%	0.00%	0.01%
Fan Circulation System	0.05%	0.05%	0.00%	0.04%
Water Spray	0.76%	0.08%	0.00%	0.09%
Multicyclone	1.59%	0.12%	0.00%	0.16%
Raw Mill Fan	2.68%	57.75%	6.36%	45.16%
Ventury	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Damper	0.70%	0.00%	0.00%	0.03%

Pada sistem Packer, proporsi antara biaya operasional dan biaya pemeliharaan pada data historis adalah 49.10% banding 50.90% sehingga menghasilkan persentase total biaya dalam Tabel 5.28

Tabel 5. 28 Persentase Total Biaya tiap Peralatan Sistem Packer

Nama Peralatan	Persentase Biaya Pemeliharaan	Persentase Biaya Operasional	Persentase Total Biaya

Nama Peralatan	Persentase Biaya Pemeliharaan	Persentase Biaya Operasional	Persentase Total Biaya
Bucket Elevator	20.70%	4.98%	12.98%
Bin Storage	0.04%	31.63%	15.55%
Packing Machine	60.68%	32.11%	46.65%
Bag Placer	9.94%	3.00%	6.53%
Belt Weigher	3.53%	1.05%	2.31%
Rear Loader	5.11%	27.22%	15.97%

5.3. Pembahasan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai komponen penyusun TCO, EUAC dan umur ekonomis sistem, dan komponen kritis pada sistem.

5.3.1. Pembahasan Komponen Penyusun TCO

Komponen penyusun TCO seperti yang sudah dijelaskan pada bab 4 terdiri dari biaya akuisisi, biaya operasional, biaya konsekuensi, dan biaya pemeliharaan. Data historis TCO pada sistem Raw Mill menunjukkan bahwa proporsi biaya operasional, biaya konsekuensi, dan biaya pemeliharaan memiliki perbedaan dengan nilai perbandingan berturut – turut adalah 75.82%, 19.71% dan 4.47%. Pada sistem Packer, biaya operasional dan biaya pemeliharaan memiliki perbedaan yang sangat kecil dengan nilai perbandingan berturut – turut adalah 49.08% dan 50.92%. Dari hasil pengolahan data historis TCO ini, dapat disimpulkan bahwa biaya operasional pada sistem Raw Mill memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai TCO, sedangkan untuk sistem Packer, biaya operasional dan biaya pemeliharaan memberikan pengaruh yang signifikan.

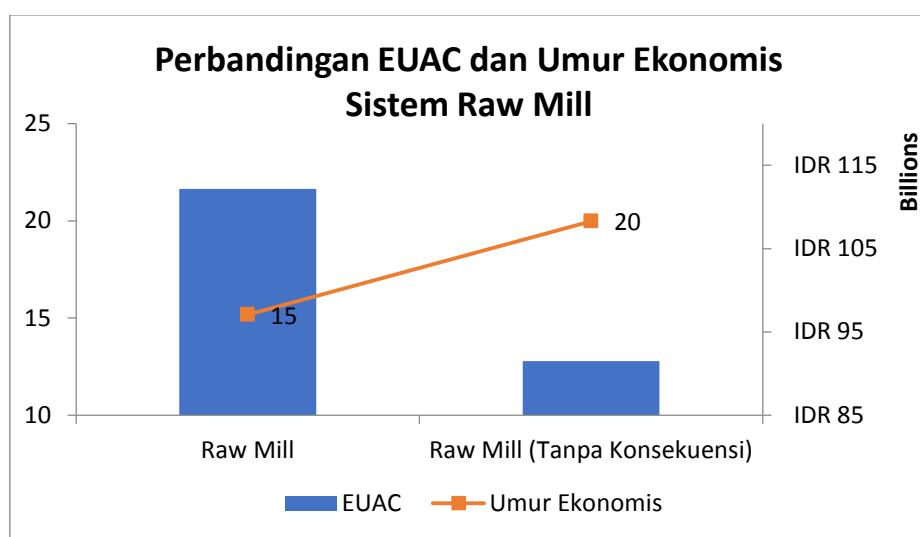
Pada sistem Raw Mill dan Packer, perbandingan antara biaya pemeliharaan preventif dan korektif menghasilkan persentase yang sama melalui pengujian hipotesis. Untuk Raw Mill, sebesar 92.81% untuk biaya pemeliharaan preventif dan 7.19% untuk biaya pemeliharaan korektif, sedangkan untuk Packer adalah sebesar 93.77% dibandingkan 6.23%. Perbandingan yang jauh antara dua jenis biaya pemeliharaan ini menyebabkan biaya pemeliharaan korektif tidak membawa dampak yang signifikan terhadap TCO baik untuk sistem Raw Mill maupun Packer.

5.3.2. Pembahasan EUAC dan Umur Ekonomis Sistem

Pada sistem Raw Mill, rata – rata minimum EUAC TCO adalah Rp 112,164,469,660 dengan umur ekonomis yang jatuh pada tahun 2026 atau sekitar

15 tahun dari tahun akuisisi. Di sisi lain, untuk sistem Packer, rata – rata minimum total EUAC adalah Rp 5,325,847,339 dengan umur ekonomis jatuh pada tahun 2039 atau sekitar 28 tahun dari tahun akuisisi. Nilai umur ekonomis ini memberi arti bahwa satu kesatuan sistem tersebut dapat digunakan dengan pengeluaran tahunan minimum selama 15 tahun untuk Raw Mill dan 28 tahun untuk Packer.

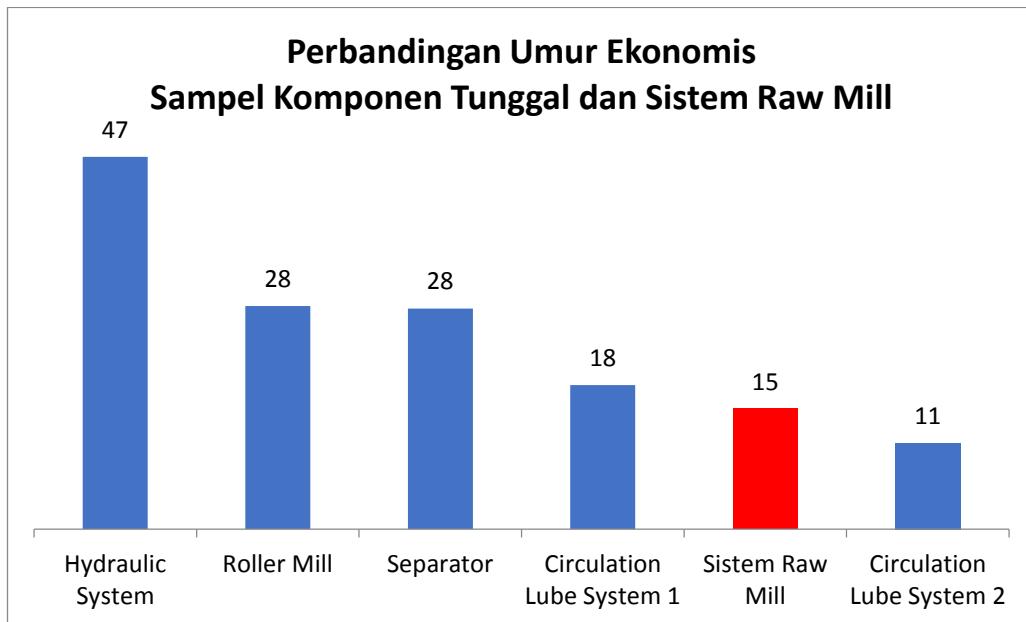
Nilai EUAC dan umur ekonomis pada sistem merupakan pengaruh dari interaksi antar komponen dalam sistem. Salah satu interaksi antar komponen yang dimaksud adalah kerusakan peralatan yang berkontribusi terhadap kehilangan produksi yang memunculkan biaya konsekuensi. Hal ini ditunjukkan melalui nilai umur ekonomis yang didapatkan dari sistem Raw Mill dengan skenario mempertimbangkan biaya konsekuensi dan tidak. Hasil simulasi menunjukkan terdapat perbedaan EUAC sebesar Rp 20,684,534,514 dan umur ekonomis sebesar 5 tahun.



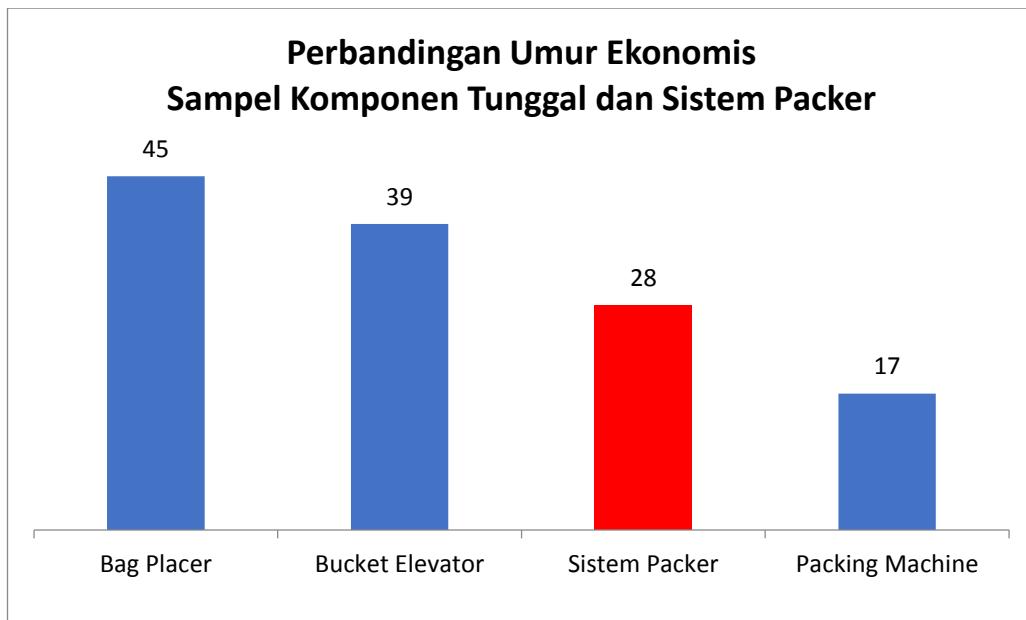
Gambar 5. 19 Perbandingan EUAC dan Umur Ekonomis antara Sistem Raw Mill dengan biaya konsekuensi dan tanpa konsekuensi

Interaksi antar komponen dalam sistem dapat ditunjukkan juga melalui perbedaan nilai umur ekonomis yang dihitung pada komponen tunggal dan ketika diintegrasikan dalam sistem secara keseluruhan. Beberapa peralatan memiliki nilai umur ekonomis yang lebih besar atau lebih kecil dari sistem apabila dipertimbangkan sebagai komponen tunggal. Hal ini menjadi catatan penting karena pengambilan keputusan dengan indikator umur ekonomis seperti penggantian peralatan tidak bisa dilakukan hanya dengan memperhatikan umur

ekonomis dari komponen tunggal melainkan harus dianalisis dalam ruang lingkup sistem. Beberapa peralatan bisa jadi diganti tidak sesuai dengan umur ekonomisnya, melainkan perlu dianalisis dampaknya terhadap sistem. Umur ekonomis pada sistem mempertimbangkan biaya konsekuensi sedangkan pada komponen tunggal tidak dipertimbangkan karena tidak ada interaksi untuk melakukan produksi bahan. Terkait dampak yang dihasilkan oleh beberapa peralatan akan dibahas lebih lanjut pada subbab 5.3.3.



Gambar 5. 20 Perbandingan Umur Ekonomis Sampel Komponen Tunggal dan Sistem Raw Mill



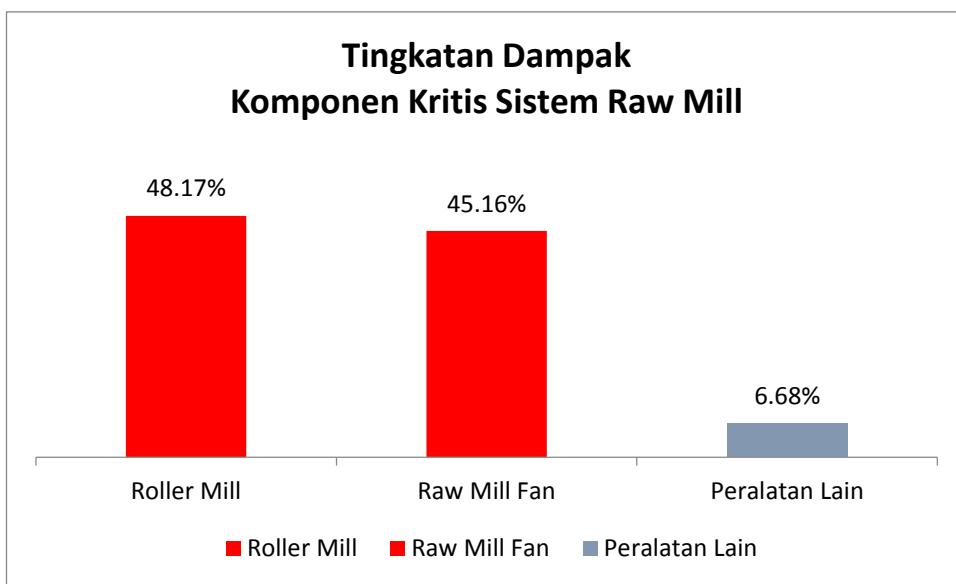
Gambar 5. 21 Perbandingan Umur Ekonomis Sampel Komponen Tunggal dan Sistem Packer

Umur ekonomis menjadi suatu indikator yang sesuai untuk melakukan evaluasi dalam ruang lingkup komponen tunggal dan ruang lingkup sistem secara bersamaan pada suatu sistem karena dapat memberikan hasil yang sepadan. Kondisi ini menjadi tidak sesuai apabila dibandingkan dengan indikator EUAC karena besaran nilai akuisisi dan kebutuhan operasional pada komponen tunggal dan sistem secara keseluruhan tentu berbeda. Berbeda dengan apabila evaluasi dilakukan dalam sistem yang sama untuk menguji suatu strategi perbaikan. Pada kondisi ini, EUAC minimum menjadi indikator yang sesuai untuk digunakan karena memberikan pemahaman terkait perbaikan sistem dalam orientasi biaya, sedangkan umur ekonomis hanya memberikan pengetahuan tentang batas waktu untuk mempertahankan sistem tersebut.

5.3.3. Pembahasan Komponen Kritis Sistem

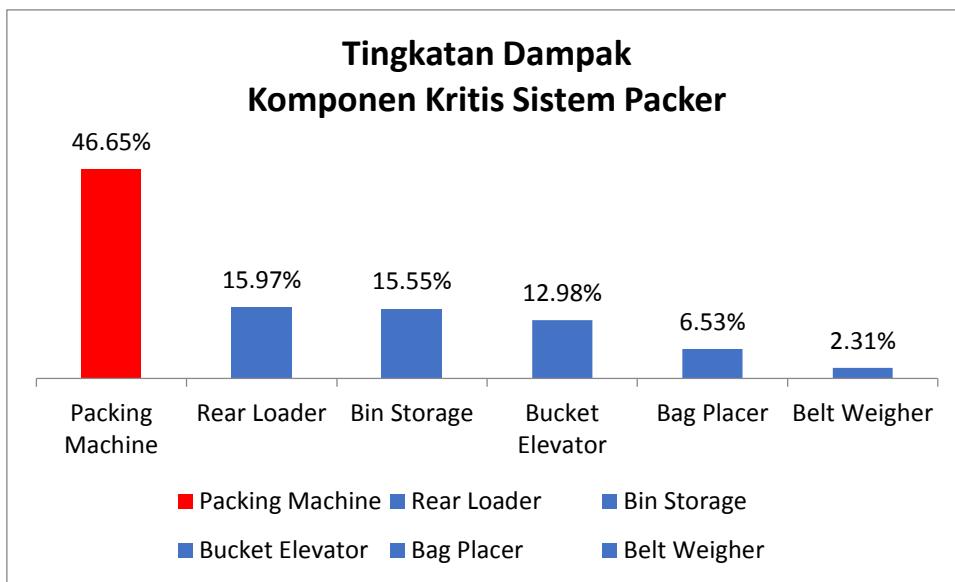
Komponen kritis sistem yang dimaksud pada subbab ini mengacu pada komponen yang memberikan dampak signifikan terhadap beberapa hasil simulasi terutama TCO, EUAC, dan umur ekonomis. Penentuan komponen kritis ditentukan dengan salah satunya mengacu pada prinsip Pareto yang menjelaskan bahwa sekitar 80% dari hasil keseluruhan disebabkan oleh sekitar 20% kejadian, dengan kata lain sebagian besar efek disebabkan oleh sebagian kecil penyebab. Pada pembahasan komponen kritis, Peralatan Roller Mill yang sebelumnya dipisahkan dengan *main drive* nya akan digabungkan untuk melihat signifikansi nya dengan peralatan lain.

Pada sistem Raw Mill, Roller Mill dan Raw Mill Fan memberikan dampak yang signifikan terhadap biaya kepemilikan sekitar 93.32%. Hal ini menunjukkan dari jumlah subsistem atau peralatan sebesar 16 (peralatan Cyclone dan Rotary Feeder digabungkan menjadi satu kesatuan dalam Multicyclone), biaya kepemilikan sistem Raw Mill hanya didominasi oleh 12.5% komponen. Roller Mill mendominasi 53.2% biaya pemeliharaan dan 83.53% biaya konsekuensi, sedangkan Raw Mill Fan mendominasi 57.75% biaya operasional.



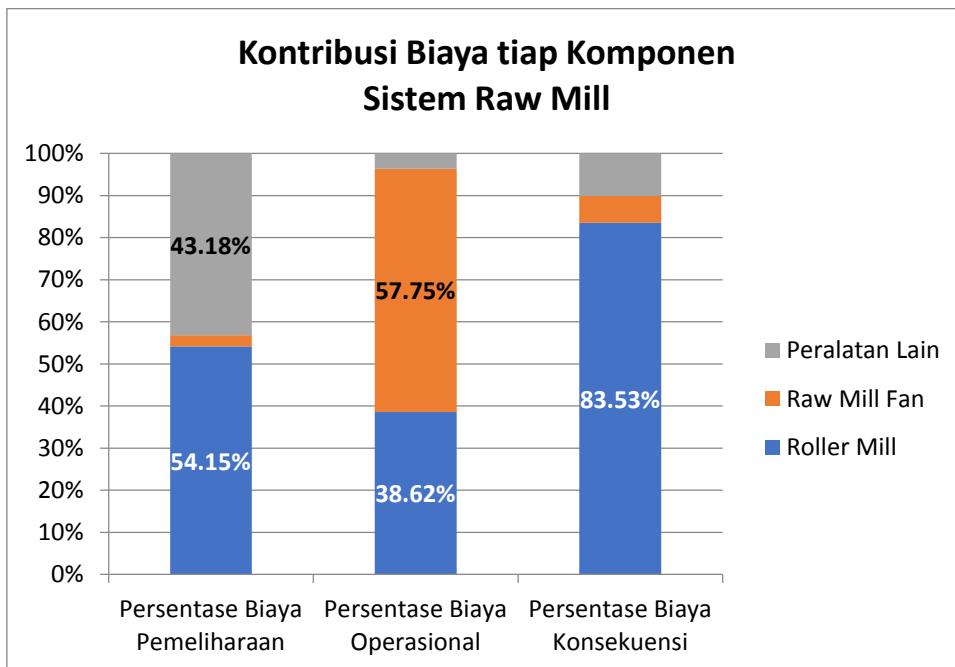
Gambar 5. 22 Tingkatan Dampak Komponen Kritis Sistem Raw Mill

Pada sistem Packer, proporsi biaya operasional dan pemeliharaan didominasi oleh Packing Machine, Rear Loader, dan Bin Storage dengan total sekitar 78.17%. Dari jumlah subsistem atau peralatan sebesar 6, total biaya sistem Packer di luar akuisisi didominasi oleh 50% komponen. Proporsi dampak komponen pada biaya operasional dan pemeliharaan tidak sama dengan biaya operasional ataupun biaya pemeliharaan, karena kedua biaya ini pada sistem Packer cenderung memiliki proporsi yang sama, sehingga total biaya tiap komponen cenderung merupakan nilai tengah. Packing Machine mendominasi dengan proporsi biaya paling besar yaitu sebesar 46.65%. Peralatan di luar Packing Machine cenderung memberikan kontribusi tidak jauh berbeda. Peralatan ini memberikan kontribusi terbesar pada biaya pemeliharaan dan biaya operasional.

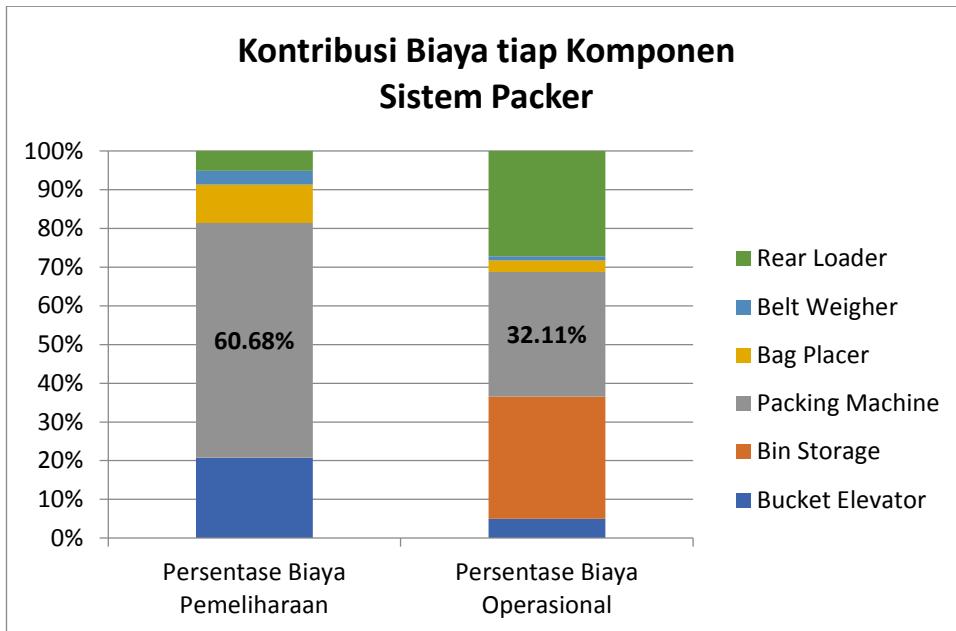


Gambar 5. 23 Tingkatan Dampak Komponen Kritis Sistem Packer

Dominasi proporsi total biaya pada tiap komponen dalam sistem Raw Mill terhitung cukup besar apabila dibandingkan dengan sistem Packer. Komponen kritis pada sistem Raw Mill memberikan pengaruh yang jauh lebih signifikan dalam total biaya. Hal ini disebabkan oleh beberapa peralatan pada sistem Raw Mill yang merupakan komponen dengan tegangan listrik tinggi sehingga membutuhkan kapasitas listrik yang sangat besar, sedangkan pada Packer, semua peralatan yang digunakan dalam sistem merupakan komponen dengan tegangan listrik rendah.



Gambar 5. 24 Kontribusi Biaya Komponen Kritis dan non Kritis pada Sistem Raw Mill



Gambar 5. 25 Kontribusi Biaya Komponen Kritis dan non Kritis pada Sistem Packer

Komponen kritis pada sistem Raw Mill juga disebabkan oleh adanya biaya konsekuensi sebagai dampak dari kehilangan kapasitas produksi akibat kerusakan peralatan dan lama waktu perbaikan sistem, dimana hanya satu peralatan yang mendominasi yaitu Roller Mill. Peralatan Roller Mill, Separator, dan Raw Mill Fan menjadi komponen yang mendominasi sekitar 82.52% dari jumlah kerusakan total. Walaupun begitu, waktu perbaikan setiap peralatan ini berbeda dan berdasarkan pengolahan data hasil simulasi, peralatan Roller Mill sendiri berkontribusi 83.53% dari total waktu perbaikan.

Berbeda dengan sistem Raw Mill, sistem Packer tidak mengalami pengurangan hari efektif operasional sistem dikarenakan susunan utama sistem yang berbentuk parallel. Pada sistem ini, hari efektif operasional dan waktu perbaikan juga tidak menjadi faktor yang penting karena barang yang diproses sudah berbentuk barang jadi, sehingga tidak ada kehilangan produksi apabila terdapat peralatan yang rusak.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai kesimpulan dan saran pada penelitian ini.

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dipaparkan pada bab 1, kesimpulan yang dapat diambil untuk penelitian ini antara lain:

- 1) Komponen penyusun TCO yang dipertimbangkan pada penelitian ini adalah biaya akuisisi, biaya operasional, biaya konsekuensi, dan biaya pemeliharaan. Biaya akuisisi sistem didapatkan dari biaya akuisisi tiap peralatan. Biaya operasional dipengaruhi oleh kebutuhan operasional tiap peralatan dan faktor eksternal. Kebutuhan operasional yang dimaksud meliputi kapasitas listrik, waktu efektif operasional, dan efisiensi, sedangkan faktor eksternal meliputi perubahan tarif listrik tiap tahun. Biaya pemeliharaan terbagi menjadi biaya pemeliharaan preventif dan korektif yang mempertimbangkan adanya inflasi. Biaya konsekuensi dihitung dari biaya konsekuensi tiap satuan ton dan total kehilangan produksi. Pada setiap sistem yang diobservasi, komponen biaya ini memiliki tingkatan dampak yang berbeda terhadap nilai TCO. Pada sistem tertentu, salah satu komponen biaya dapat memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap nilai TCO seperti signifikansi biaya operasional pada sistem Raw Mill dan di sisi lain tidak. Biaya pemeliharaan korektif cenderung tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai TCO dari hasil penelitian pada sistem Raw Mill dan Packer.
- 2) Penelitian ini melakukan pengembangan model untuk mengevaluasi TCO menggunakan simulasi monte carlo. Model yang dibangun pada penelitian ini mempertimbangkan susunan komponen dalam sistem yang terdiri dari susunan seri dan parallel. Model ini membangkitkan nilai acak pada waktu antar kerusakan sistem dari setiap peralatan, waktu perbaikan, dan biaya pemeliharaan tiap peralatan. TCO dihitung dari tahun 2011 hingga 2070 melibatkan asumsi inflasi sebesar 3% dan proyeksi peningkatan tarif listrik. Dari hasil simulasi model TCO, didapatkan profil biaya untuk setiap peralatan, sehingga dapat ditentukan komponen yang kritis terhadap nilai TCO.

- 3) Umur ekonomis sistem ditentukan dengan menghitung dan mencari nilai minimum EUAC melalui nilai TCO yang dihasilkan. Estimasi umur ekonomis pada sistem Raw Mill adalah sebesar 15 tahun dengan EUAC sebesar Rp. 112,164,469,660 dan pada sistem Packer sebesar 28 tahun dengan EUAC sebesar Rp. 5,325,847,339 yang memberi arti bahwa pengoperasian sistem selama jangka waktu tersebut memberikan keuntungan terbesar karena menghasilkan pengeluaran tahunan terendah. Pada sistem Raw Mill, komponen Roller Mill memberikan kontribusi biaya terbesar dari aspek konsekuensi akibat kehilangan produksi dan aspek pemeliharaan, sedangkan Raw Mill Fan berkontribusi besar terhadap biaya operasional. Pada sistem Packer, Packing Machine berkontribusi besar terhadap keseluruhan biaya operasional dan pemeliharaan. Evaluasi dalam ruang lingkup sistem memberikan pemahaman bahwa interaksi antar peralatan berdampak pada nilai umur ekonomis dan EUAC, sehingga nilai umur ekonomis yang dihitung pada komponen tunggal harus dipertimbangkan bersama satu sistem keseluruhan sebagai dasar pengambilan keputusan. Umur ekonomis menjadi indikator yang sesuai untuk melakukan evaluasi dalam ruang lingkup komponen tunggal dan ruang lingkup sistem secara bersamaan karena memberikan hasil yang sepadan, berbeda dengan indikator EUAC yang besaran nilai nya sangat dipengaruhi oleh nilai akuisisi dan biaya kepemilikan.

6.2. Saran

Saran dari penelitian ini antara lain:

- 1) Keputusan penggantian tidak bisa serta merta dilakukan hanya dengan melihat nilai umur ekonomis dari penelitian saat ini. Umur ekonomis hanya merupakan peringatan dini bahwa suatu objek memberikan keuntungan yang paling besar apabila dipertahankan dalam jangka waktu tersebut sekaligus memberi gambaran terkait dengan nilai minimum biaya tahunan suatu objek yang diestimasikan akan dikeluarkan oleh perusahaan. Nilai umur ekonomis dari penelitian ini hanya berupa estimasi sehingga dapat berubah – ubah apabila diukur dari waktu ke waktu. Oleh karena itu,

Perhitungan TCO dan penentuan umur ekonomis harus dievaluasi kembali dalam beberapa periode ke depan untuk mendapatkan hasil terbaru.

- 2) Penelitian terkait pengembangan model TCO dapat dikembangkan lebih lanjut untuk melakukan perbaikan pada TCO menggunakan indikator EUAC melalui pengujian terhadap beberapa strategi.
- 3) Pencatatan biaya pemeliharaan dan kerusakan harus dilakukan dengan detail dan diperbarui secara berkala agar didapatkan estimasi nilai TCO yang lebih akurat dan strategi perbaikan yang tepat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Barringer, H. (2003). A Life Cycle Cost Summary. *International Conference of Maintenance Societies*.
- Barringer, H., & Webber, D. (1996). Life Cycle Cost Tutorial. *Fifth International Conferenceon Process Plant Reliability*.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2018). *Engineering Economy*. New York: McGraw Hill.
- Brandimarte, P. (2014). *Handbook in Monte Carlo Simulation: Applications in Financial Engineering, Risk Management, and Economics*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Tukey, P. A., & Kleiner, B. (1983). *Graphical Methods for Data Analysis (Wadsworth & Brooks/Cole Statistics/Probability Series)*. Belmont: Wadsworth International Group.
- Choi, B. K., & Kang, D. (2013). *Modeling and Siimulation of Discrete-Event Systems*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Boca Raton: CRC Press.
- Dhillon, B. S. (2009). *Life Cycle Costing for Engineers*. Boca Raton: CRC Press.
- Economic Life. (n.d.). Retrieved from Cambridge Dictionary: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/economic-life>
- Farr, J. V., & Faber, I. (2019). *Engineering Economics of Life Cycle Cost Analysis*. Boca Raton: CRC Press.
- Galar, D., Sandborn, P., & Kumar, U. (2017). *Maintenance Costs and Life Cycle Cost Analysis*. Boca Raton: CRC Press.
- Hanafi, C. V. (2019). *Life Cycle Cost Management Model For Reliability Based Asset To Determine Asset Economic Life Time Considering The Relationship Between Maintenance And Reliability Aspect*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Li, J., Mei, M., Han, Y., Hong, M., & Man, Y. (2019). Life cycle cost assessment of recycled paper manufacture in China. *Journal of Cleaner Production*.
- Monte Carlo Simulation. (n.d.). Retrieved from Palisade: https://www.palisade.com/risk/monte_carlo_simulation.asp

- Mostafa, M. H., Aleem, S. H., Ali, S. G., Ali, Z. M., & Abdelaziz, A. Y. (2020). Techno-economic assessment of energy storage systems using annualized life cycle cost of storage (LCCOS) and leveled cost of energy (LCOE) metrics. *Journal of Energy Storage*.
- Oswald, K., Dringenberg, H., Ledermann, C., Rofner, A., Schiefer, E., Simons, E., & Witzemann, M. (2011). *Reaching Peak O&M Performance in Power Generation*. ATKEARNEY.
- Park, C. S. (2006). *Contemporary Engineering Economics*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Patil, R. B. (2013). Reliability Analysis and Life Cycle Cost Optimization of Band Saw Cutting Machine. Kolhapur, India: Shivaji University.
- Physical Life.* (n.d.). Retrieved from Accounting Tools: <https://www.accountingtools.com/articles/2017/5/16/physical-life>
- Probability Plotting.* (2001, October 8). Retrieved from Weibull: <https://weibull.com/hotwire/issue8/relbasics8.htm>
- Raghavan, S., & Chowdhury, B. (2012). Developing Life Cycle Management Plans For Power Plant Components. *North American Power Symposium*, 1-6.
- Robinson, S. (2014). *Simulation: The Practice of Model Development and Use 2nd Edition*. New York: Palgrave Macmillan.
- Rodriguez, C. E., & Carazas, F. J. (2019, May 13). *Maintenance and Asset Life Cycle for Reliability Systems*. Retrieved from Intech Open: <https://www.intechopen.com/online-first/maintenance-and-asset-life-cycle-for-reliability-systems>
- Sargent, R. G. (2011). Verification and Validation of Simulation Models. *Winter Simulation Conference*, 183 - 197.
- Scibilia, B. (2014, June 18). *A Simple Guide to Probability Plots*. Retrieved from The Minitab Blog: <https://blog.minitab.com/blog/applying-statistics-in-quality-projects/a-simple-guide-to-probability-plots>
- Siswanto, N., Latiffianti, E., & Wiratno, S. E. (2017). *Simulasi Sistem Diskrit Implementasi dengan Software Arena*. Surabaya: ITS Tekno Sains.

- Stapelberg, R. F. (2009). *Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design*. London: Springer.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2014). *Engineering Economy: Sixteenth Edition*. New Jersey: Pearson.
- Thuesen, G. J., & Fabrycky, W. (2001). *Engineering Economy: Ninth Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Useful Life.* (n.d.). Retrieved from Investopedia:
<https://www.investopedia.com/terms/u/usefullife.asp>
- Wadud, Z. (2017). Fully automated vehicles: A cost of ownership analysis to inform early adoption. *Transportation Research Part A*, 163-176.
- Wainer, G. A. (2009). *Discrete-Event Modeling and Simulation: A Practitioner's Approach*. Boca Raton: CRC Press.
- Zaroni, H., Maciel, L. B., Carvalho, D. B., & Pamplona, E. d. (2019). Monte Carlo Simulation approach for economic risk analysis of an emergency energy generation system. *Energy*, 498-508.

LAMPIRAN 1

Lampiran 1 berisi contoh pembuatan model TCO

Model Membangkitkan Kejadian Kerusakan (MTTF)

No. Equip	1	2	3	4	5	6
Nama Equipment	Rotary Feeder	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill	Circulation Lube System 2
Distribusi Biaya Pilihan	6	4	4	6	0	0
1	64.10	70.95	2.04	471.86	4999995.00	5999994.00
2	800.95	173.04	488.97	604.99	29999970.00	41999958.00
3	1020.33	174.29	496.71	951.02	54999945.00	77999922.00
4	1070.69	184.18	965.20	1246.08	79999920.00	113999886.00
5	2104.00	203.53	1061.43	1908.92	104999895.00	149999850.00
6	2462.39	521.02	1063.43	2210.05	129999870.00	185999814.00
7	3051.46	623.86	1431.92	2470.48	154999845.00	221999778.00
8	3413.86	632.18	1435.55	2723.31	179999820.00	257999742.00
9	3488.49	726.07	1444.35	3007.70	204999795.00	293999706.00
10	3734.63	734.21	1739.44	3489.16	229999770.00	329999670.00
11	3871.52	749.71	1742.07	3613.71	254999745.00	365999634.00
12	4200.72	788.49	1744.07	3777.67	279999720.00	401999598.00
13	4253.03	789.62	1747.79	4181.38	304999695.00	437999562.00
14	5384.06	868.57	10677.14	4743.82	329999670.00	473999526.00
15	5475.70	871.57	10685.50	4842.56	354999645.00	509999490.00
16	5531.17	1243.82	10791.03	4948.64	379999620.00	545999454.00
17	5919.73	1259.13	13421.35	5312.45	404999595.00	581999418.00
18	6350.87	1283.43	15645.89	6005.09	429999570.00	617999382.00
19	7133.80	1596.38	15696.76	6416.31	454999545.00	653999346.00
20	7376.25	1668.18	15699.00	8025.43	479999520.00	689999310.00
21	8474.97	1955.07	15763.63	8656.55	504999495.00	725999274.00
22	9121.78	1959.46	15765.94	8763.33	529999470.00	761999238.00
23	9205.76	1960.10	17106.70	9071.88	554999445.00	797999202.00
24	9429.19	1977.60	17166.21	9876.69	579999420.00	833999166.00
25	9674.49	2120.05	17196.30	10357.48	604999395.00	869999130.00
26	9899.13	2121.43	17273.21	10552.02	629999370.00	905999094.00
27	10032.99	2139.57	17740.96	11914.71	654999345.00	941999058.00
28	10213.11	2187.38	18211.50	12761.45	679999320.00	977999022.00
29	11082.92	2199.71	18213.52	12901.83	704999295.00	101399896.00
30	11570.64	2203.42	18223.85	13009.91	729999270.00	104999850.00
31	12544.08	2205.89	18226.80	13272.33	754999245.00	1085998914.00
32	13246.90	2207.14	18228.81	14284.79	779999220.00	1121998878.00
33	13381.82	2209.91	18569.49	14410.98	804999195.00	1157998842.00

No. Equip	1	2	3	4	5	6
Nama Equipment	Rotary Feeder	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill	Circulation Lube System 2
Distribusi Biaya Pilihan	6	4	4	6	0	0
34	13975.00	2352.32	18603.59	15408.39	829999170.00	1193998806.00
35	14214.13	2367.99	19632.93	15699.81	854999145.00	1229998770.00
36	14270.17	2425.83	19653.92	15790.44	879999120.00	1265998734.00
37	14543.74	2430.70	19657.82	16185.38	904999095.00	1301998698.00
38	15707.40	2517.46	21352.41	16785.33	929999070.00	1337998662.00
39	15887.34	2773.22	21368.86	16924.75	954999045.00	1373998626.00
40	16271.63	2869.83	21370.95	18184.44	979999020.00	1409998590.00
41	16602.89	2871.10	21477.81	18455.83	1004998995.00	1445998554.00
42	17007.50	2931.43	31990.52	21712.04	1029998970.00	1481998518.00
43	17336.84	2935.60	32072.08	22244.17	1054998945.00	1517998482.00
44	17999.78	2956.10	32199.23	22336.73	1079998920.00	1553998446.00
45	18106.12	2959.62	32300.45	22644.14	1104998895.00	1589998410.00
46	18454.21	3007.26	32379.70	22854.95	1129998870.00	1625998374.00
47	18781.11	3007.36	32451.69	24423.15	1154998845.00	1661998338.00
48	19160.34	3023.79	32487.50	24663.02	1179998820.00	1697998302.00
49	19494.76	3255.88	33894.51	24896.39	1204998795.00	1733998266.00
50	20092.21	3256.16	33977.89	25165.99	1229998770.00	1769998230.00

Angka yang tertera pada distribusi biaya pilihan mewakili jenis distribusi. Pada contoh ini, angka 4 mewakili distribusi Weibull dan angka 6 mewakili Exponential. Angka 0 menunjukkan bahwa kerusakan pada peralatan tersebut tidak teridentifikasi sehingga diberikan nilai yang sebesar – besarnya agar waktu kerusakan tidak jatuh pada tahun observasi.

Model untuk Mengurutkan Kejadian Kerusakan dalam Sistem

Rank	Value	No Equip	Rank	Value	No Equip
1	0.34	2	11	107.37	2
2	11.96	7	12	152.71	21
3	17.32	21	13	154.47	3
4	26.12	2	14	162.22	2
5	27.57	2	15	169.04	2
6	41.99	2
7	68.32	7			

Rank	Value	No Equip	Rank	Value	No Equip
8	77.01	2			
9	88.38	2			
10	89.66	2			

Model Identifikasi Atribut Kerusakan (Kode Kerusakan, Nomor Segmen, Nomor lini, Penyebab Utama Kerusakan, dan Distribusi waktu perbaikan)

No	Start of Failure	Failure Code	Segmen Seri	Line Number	Breakdown or Not?	Distribusi TTR
1	0.34	2	2	0	1	4
2	11.96	7	7	0	1	8
3	17.32	21	13	0	1	5
4	26.12	2	2	0	1	4
5	27.57	2	2	0	1	4
6	41.99	2	2	0	1	4
7	68.32	7	7	0	1	8
8	77.01	2	2	0	1	4
9	88.38	2	2	0	1	4
10	89.66	2	2	0	1	4
11	107.37	2	2	0	1	4
12	152.71	21	13	0	1	5
13	154.47	3	3	0	1	8
14	162.22	2	2	0	1	4
15	169.04	2	2	0	1	4

Model Identifikasi Atribut Kerusakan (Waktu Perbaikan, Distribusi Biaya Korektif, Nilai Biaya Pemeliharaan Korektif, Tahun Kerusakan)

No	Start of Failure	Time to Repair	End of Failure	Distribusi Biaya Pilihan	Fixed Corrective Cost (IDR)	Year of Failure
1	0.34	0.32	0.66	6	3,927,055	2012
2	11.96	0.05	12.01	6	21,877,591	2012
3	17.32	0.32	17.64	6	470,501	2012
4	26.12	0.20	26.32	6	7,472,499	2012
5	27.57	0.43	28.00	6	9,771,363	2012
6	41.99	0.33	42.32	6	50,602,085	2012
7	68.32	0.16	68.48	6	3,379,905	2012
8	77.01	0.87	77.88	6	22,108,730	2012
9	88.38	0.26	88.64	6	11,521,292	2012

No	Start of Failure	Time to Repair	End of Failure	Distribusi Biaya Pilihan	Fixed Corrective Cost (IDR)	Year of Failure
10	89.66	3.21	92.87	6	3,582,872	2012
11	107.37	0.42	107.78	6	13,988,539	2012
12	152.71	0.50	153.20	6	6,584,254	2012
13	154.47	0.13	154.60	3	19,157,209	2012
14	162.22	0.33	162.54	6	9,389,305	2012
15	169.04	3.79	172.83	6	42,164,890	2012

Model Pengelompokan Kerusakan dan Perhitungan Biaya Pemeliharaan Korektif tiap Tahun

No	Tahun	Jumlah Failure	Yearly CM Cost (IDR)	No	Tahun	Jumlah Failure	Yearly CM Cost (IDR)
1	2012	33	820,424,921	31	2042	10	385,931,635
2	2013	15	301,772,587	32	2043	17	903,485,778
3	2014	13	357,564,932	33	2044	6	309,430,010
4	2015	7	84,237,362	34	2045	14	677,137,425
5	2016	11	280,228,952	35	2046	24	1,470,588,140
6	2017	7	151,684,622	36	2047	9	472,587,966
7	2018	11	182,760,702	37	2048	12	521,309,395
8	2019	11	295,658,660	38	2049	6	599,755,526
9	2020	16	245,134,810	39	2050	11	636,744,090
10	2021	16	403,346,551	40	2051	6	267,313,529
11	2022	9	219,564,065	41	2052	3	223,279,032
12	2023	22	383,431,828	42	2053	8	448,067,912
13	2024	12	397,760,262	43	2054	9	355,384,330
14	2025	13	398,380,112	44	2055	8	352,589,437
15	2026	13	321,973,286	45	2056	11	761,534,981
16	2027	25	985,445,430	46	2057	10	719,030,288
17	2028	9	82,463,075	47	2058	13	1,055,603,589
18	2029	9	235,882,003	48	2059	6	431,993,731
19	2030	21	709,217,318	49	2060	8	144,728,975
20	2031	16	528,010,983	50	2061	20	1,287,032,987
21	2032	16	362,071,481	51	2062	2	312,585,727
22	2033	16	716,906,589	52	2063	23	1,258,978,381
23	2034	23	1,037,292,066	53	2064	10	816,114,033
24	2035	15	529,447,491	54	2065	20	1,509,806,539
25	2036	16	666,853,936	55	2066	10	497,275,858
26	2037	22	834,291,736	56	2067	12	1,142,512,382
27	2038	10	298,898,697	57	2068	14	1,364,813,511

No	Tahun	Jumlah Failure	Yearly CM Cost (IDR)	No	Tahun	Jumlah Failure	Yearly CM Cost (IDR)
28	2039	9	268,274,381	58	2069	15	2,073,456,385
29	2040	3	117,767,534	59	2070	18	1,757,009,720
30	2041	6	131,075,840				

Model untuk Membangkitkan Biaya Pemeliharaan Preventif

Nama Equipment	Rotary Feeder	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill
Probability	75%	100%	100%	100%	63%
Tahun					
2012	IDR 221,642,065	IDR 284,914,986	IDR 564,422,613	IDR 199,710,861	IDR -
2013	IDR 261,481,833	IDR 3,802,111,731	IDR 232,048,380	IDR 36,543,765	IDR -
2014	IDR -	IDR 535,775,895	IDR 359,713,544	IDR 536,859,818	IDR 81,567,002
2015	IDR 329,397,394	IDR 4,289,147,472	IDR 621,438,352	IDR 181,323,916	IDR 38,436,253
2016	IDR 395,446,229	IDR 2,673,791,221	IDR 1,230,583,087	IDR 421,516,552	IDR 44,282,087
2017	IDR 191,549,940	IDR 1,012,950,475	IDR 416,658,835	IDR 90,633,789	IDR 332,349,023
2018	IDR -	IDR 922,349,089	IDR 591,597,995	IDR 192,643,787	IDR -
2019	IDR 262,619,047	IDR 4,412,524,804	IDR 215,260,975	IDR 146,088,549	IDR 54,428,403
2020	IDR 117,944,079	IDR 4,524,044,953	IDR 994,296,289	IDR 120,450,289	IDR 33,656,446
2021	IDR -	IDR 3,551,525,986	IDR 1,123,855,426	IDR 248,118,646	IDR -
2022	IDR 355,313,810	IDR 2,780,666,002	IDR 695,128,738	IDR 102,747,341	IDR 57,988,958
2023	IDR -	IDR 361,162,705	IDR 411,585,080	IDR 1,032,598,857	IDR -
2024	IDR 303,645,732	IDR 838,552,115	IDR 464,938,469	IDR 313,381,716	IDR 40,454,512
2025	IDR 395,864,726	IDR 3,986,769,522	IDR 1,402,126,025	IDR 535,241,184	IDR -
2026	IDR -	IDR 1,123,744,658	IDR 244,795,218	IDR 21,756,837	IDR 129,993,466
2027	IDR 76,404,125	IDR 3,581,021,040	IDR 1,027,221,188	IDR 160,399,582	IDR -
2028	IDR 331,115,756	IDR 860,851,202	IDR 294,719,224	IDR 552,507,455	IDR 49,799,141
2029	IDR -	IDR 546,009,077	IDR 266,167,959	IDR 668,580,545	IDR 44,326,796

Nama Equipment	Rotary Feeder	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill
Probability	75%	100%	100%	100%	63%
Tahun					
2030	IDR 95,953,137	IDR 4,329,488,055	IDR 344,502,484	IDR 35,840,592	IDR -
2031	IDR 340,462,225	IDR 2,743,142,876	IDR 247,926,946	IDR 42,378,263	IDR 51,117,690
2032	IDR 135,289,792	IDR 2,296,112,689	IDR 346,604,308	IDR 114,229,015	IDR 94,043,263
2033	IDR 203,332,846	IDR 4,453,702,265	IDR 769,250,084	IDR 44,027,992	IDR 67,658,341
2034	IDR -	IDR 4,032,238,444	IDR 505,912,140	IDR 58,233,771	IDR 67,899,894
2035	IDR -	IDR 1,236,472,777	IDR 209,561,094	IDR 114,197,575	IDR 65,011,826
2036	IDR 95,268,233	IDR 3,967,569,590	IDR 545,865,750	IDR 143,511,314	IDR -
2037	IDR 353,728,575	IDR 1,193,649,045	IDR 802,591,822	IDR 216,563,608	IDR -
2038	IDR 411,113,812	IDR 348,040,927	IDR 579,174,315	IDR 61,446,017	IDR 34,719,657
2039	IDR 134,966,848	IDR 4,540,323,535	IDR 1,558,991,849	IDR 159,646,981	IDR -
2040	IDR -	IDR 3,599,605,612	IDR 263,229,937	IDR 107,044,126	IDR 78,009,505
2041	IDR -	IDR 637,628,431	IDR 377,406,498	IDR 65,273,617	IDR -
2042	IDR 350,571,908	IDR 2,487,425,727	IDR 249,956,581	IDR 37,555,005	IDR -
2043	IDR 400,884,970	IDR 1,445,863,118	IDR 336,332,424	IDR 235,288,563	IDR -
2044	IDR -	IDR 4,436,205,589	IDR 1,318,260,549	IDR 104,394,189	IDR 84,402,204
2045	IDR 39,658,123	IDR 275,389,294	IDR 276,348,842	IDR 82,123,870	IDR 34,992,075
2046	IDR 277,998,198	IDR 1,339,241,726	IDR 1,059,948,087	IDR 264,518,658	IDR 99,882,269
2047	IDR 121,260,857	IDR 4,233,216,189	IDR 605,204,162	IDR 115,257,573	IDR 47,517,973
2048	IDR -	IDR 4,411,739,179	IDR 514,262,352	IDR 128,019,223	IDR 83,749,684
2049	IDR 115,126,512	IDR 1,002,826,339	IDR 192,021,099	IDR 149,508,539	IDR -
2050	IDR -	IDR 2,972,102,766	IDR 266,826,703	IDR 109,567,325	IDR 38,431,442
2051	IDR 307,333,521	IDR 280,421,423	IDR 255,658,360	IDR 89,979,453	IDR -
2052	IDR -	IDR 2,322,476,467	IDR 1,206,960,565	IDR 21,448,879	IDR -

Nama Equipment	Rotary Feeder	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill
Probability	75%	100%	100%	100%	63%
Tahun					
2053	IDR -	IDR 1,144,368,092	IDR 301,099,390	IDR 68,818,356	IDR -
2054	IDR 30,303,893	IDR 780,713,868	IDR 562,017,447	IDR 382,255,524	IDR 38,354,899
2055	IDR 75,385,333	IDR 4,045,226,626	IDR 396,086,728	IDR 132,487,049	IDR -
2056	IDR 78,551,005	IDR 4,285,248,493	IDR 515,832,996	IDR 101,675,618	IDR -
2057	IDR 25,646,808	IDR 976,253,171	IDR 1,454,666,985	IDR 109,702,828	IDR 33,138,026
2058	IDR 181,931,867	IDR 935,395,036	IDR 408,594,997	IDR 25,073,721	IDR -
2059	IDR 302,511,174	IDR 874,152,800	IDR 245,383,929	IDR 66,735,040	IDR -
2060	IDR -	IDR 4,449,199,890	IDR 277,714,515	IDR 433,336,284	IDR -
2061	IDR 385,604,847	IDR 639,659,143	IDR 1,119,851,468	IDR 68,654,938	IDR -
2062	IDR 189,552,373	IDR 2,019,529,379	IDR 259,930,296	IDR 539,836,777	IDR 67,534,845
2063	IDR 52,456,675	IDR 885,889,550	IDR 758,865,051	IDR 111,198,972	IDR 53,193,324
2064	IDR 97,354,822	IDR 3,990,780,179	IDR 513,735,367	IDR 206,679,662	IDR -
2065	IDR 234,023,859	IDR 4,148,992,477	IDR 361,252,833	IDR 502,055,295	IDR 91,097,657
2066	IDR 398,024,489	IDR 3,877,561,200	IDR 208,301,554	IDR 132,655,809	IDR 33,413,387
2067	IDR 46,116,063	IDR 4,295,463,479	IDR 449,415,673	IDR 155,891,339	IDR 49,828,681
2068	IDR 87,368,074	IDR 1,891,373,475	IDR 807,562,581	IDR 65,286,606	IDR -
2069	IDR 97,200,685	IDR 502,947,075	IDR 294,688,494	IDR 236,406,490	IDR 219,582,647
2070	IDR -	IDR 530,588,918	IDR 2,514,948,292	IDR 42,799,791	IDR 58,364,423

Model Perhitungan Waktu Perbaikan tiap Tahun

Nama Equipment	Rotary Feeder	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill	Circulation Lube System 2
Capacity per equip	15	0	8.36	26	5350	51.5
2012	0	35.81	1.11	0.47	0	0

Nama Equipment	Rotary Feeder	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill	Circulation Lube System 2
Capacity per equip	15	0	8.36	26	5350	51.5
2013	0	19.23	0.00	1.70	0	0
2014	0	24.30	0.00	0.00	0	0
2015	0	12.31	0.05	1.73	0	0
2016	0	25.80	0.00	0.38	0	0
2017	0	2.88	0.00	0.00	0	0
2018	0	5.29	0.00	0.90	0	0
2019	0	9.01	0.20	1.96	0	0
2020	0	15.33	0.00	0.00	0	0
2021	0	6.64	0.00	0.00	0	0
2022	0	2.82	0.00	0.41	0	0
2023	0	18.18	0.00	0.48	0	0
2024	0	8.62	0.00	0.00	0	0
2025	0	19.27	1.20	0.00	0	0
2026	0	14.25	0.00	0.77	0	0
2027	0	31.25	0.00	0.18	0	0
2028	0	6.43	0.00	0.00	0	0
2029	0	0.64	0.96	0.36	0	0
2030	0	11.82	0.46	2.25	0	0
2031	0	18.54	0.00	0.00	0	0
2032	0	10.05	0.01	7.38	0	0
2033	0	5.92	1.47	0.00	0	0
2034	0	24.09	1.47	0.00	0	0
2035	0	10.15	0.26	0.00	0	0
2036	0	8.46	0.42	0.07	0	0
2037	0	8.89	0.14	0.00	0	0
2038	0	2.93	0.00	0.70	0	0
2039	0	13.16	0.57	0.00	0	0
2040	0	0.00	0.00	0.00	0	0
2041	0	0.00	0.00	0.00	0	0
2042	0	6.88	0.00	0.70	0	0
2043	0	11.02	0.00	0.00	0	0
2044	0	0.00	0.00	2.18	0	0
2045	0	3.40	0.00	0.26	0	0
2046	0	25.78	0.00	6.78	0	0
2047	0	4.27	0.21	0.22	0	0
2048	0	1.95	0.00	0.00	0	0
2049	0	3.38	0.14	2.97	0	0
2050	0	0.54	0.00	0.00	0	0

Nama Equipment	Rotary Feeder	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill	Circulation Lube System 2
Capacity per equip	15	0	8.36	26	5350	51.5
2051	0	0.00	0.32	0.29	0	0
2052	0	0.00	0.00	0.18	0	0
2053	0	2.57	0.20	0.00	0	0
2054	0	0.00	0.00	0.00	0	0
2055	0	1.29	0.00	0.00	0	0
2056	0	2.64	0.00	0.00	0	0
2057	0	4.68	0.00	2.07	0	0
2058	0	17.92	1.22	2.09	0	0
2059	0	3.55	0.00	0.08	0	0
2060	0	1.22	0.00	0.00	0	0
2061	0	7.12	0.11	0.17	0	0
2062	0	0.35	0.00	0.00	0	0
2063	0	10.34	0.27	0.00	0	0
2064	0	10.42	0.00	0.00	0	0
2065	0	0.85	0.40	0.10	0	0
2066	0	7.36	0.48	0.26	0	0
2067	0	16.35	0.00	0.00	0	0
2068	0	2.67	0.81	0.47	0	0
2069	0	4.02	0.86	0.00	0	0
2070	0	14.65	0.00	0.00	0	0

Model untuk Mengelompokkan Waktu Perbaikan, Hari Efektif Operasional, dan Total Penggunaan Kapasitas

Year	Planned Operational Time	Corrective Maintenance Repair Duration	Effective Operational Day	Total Used Capacity (kWh)	Efficient Capacity (kWh per year)
2012	320	40.97	279.03	85039215.96	68,031,373
2013	320	20.94	299.06	91143742.62	72,914,994
2014	320	24.30	295.70	90118285.40	72,094,628
2015	320	14.08	305.92	93232512.50	74,586,010
2016	320	26.57	293.43	89428048.60	71,542,439
2017	320	2.88	317.12	96646660.66	77,317,329
2018	320	6.19	313.81	95639198.41	76,511,359
2019	320	11.16	308.84	94122889.03	75,298,311
2020	320	15.45	304.55	92815159.44	74,252,128
2021	320	7.88	312.12	95123764.24	76,099,011
2022	320	3.68	316.32	96403274.69	77,122,620

Year	Planned Operational Time	Corrective Maintenance Repair Duration	Effective Operational Day	Total Used Capacity (kWh)	Efficient Capacity (kWh per year)
2023	320	18.90	301.10	91763915.74	73,411,133
2024	320	8.84	311.16	94830126.20	75,864,101
2025	320	20.85	299.15	91170601.65	72,936,481
2026	320	15.76	304.24	92720884.81	74,176,708
2027	320	33.02	286.98	87461785.24	69,969,428
2028	320	6.91	313.09	95417693.77	76,334,155
2029	320	2.29	317.71	96825696.07	77,460,557
2030	320	14.54	305.46	93092010.52	74,473,608
2031	320	19.21	300.79	91669629.96	73,335,704
2032	320	18.71	301.29	91822461.66	73,457,969
2033	320	9.22	310.78	94714264.07	75,771,411
2034	320	25.56	294.44	89736241.16	71,788,993
2035	320	10.41	309.59	94350977.70	75,480,782
2036	320	10.80	309.20	94232230.19	75,385,784
2037	320	14.01	305.99	93254199.66	74,603,360
2038	320	4.94	315.06	96019913.85	76,815,931
2039	320	13.73	306.27	93338934.97	74,671,148
2040	320	0.14	319.86	97483457.96	77,986,766
2041	320	3.69	316.31	96401357.11	77,121,086
2042	320	8.07	311.93	95065571.63	76,052,457
2043	320	11.17	308.83	94120461.64	75,296,369
2044	320	3.49	316.51	96461122.97	77,168,898
2045	320	4.99	315.01	96005511.88	76,804,410
2046	320	34.90	285.10	86888788.70	69,511,031
2047	320	4.70	315.30	96092861.99	76,874,290
2048	320	1.95	318.05	96931052.75	77,544,842
2049	320	6.81	313.19	95450015.99	76,360,013
2050	320	2.40	317.60	96794481.60	77,435,585
2051	320	0.97	319.03	97229594.13	77,783,675
2052	320	0.33	319.67	97424445.26	77,939,556
2053	320	2.77	317.23	96680005.01	77,344,004
2054	320	0.74	319.26	97298968.54	77,839,175
2055	320	2.17	317.83	96864883.78	77,491,907
2056	320	3.38	316.62	96495634.27	77,196,507
2057	320	10.01	309.99	94474254.88	75,579,404
2058	320	21.24	298.76	91050669.81	72,840,536
2059	320	3.81	316.19	96363958.88	77,091,167
2060	320	4.59	315.41	96126293.29	76,901,035
2061	320	9.41	310.59	94657002.37	75,725,602
2062	320	0.35	319.65	97417664.69	77,934,132

Year	Planned Operational Time	Corrective Maintenance Repair Duration	Effective Operational Day	Total Used Capacity (kWh)	Efficient Capacity (kWh per year)
2063	320	11.98	308.02	93874814.17	75,099,851
2064	320	10.65	309.35	94279476.23	75,423,581
2065	320	6.87	313.13	95432325.92	76,345,861
2066	320	8.34	311.66	94982428.99	75,985,943
2067	320	16.35	303.65	92542578.67	74,034,063
2068	320	5.26	314.74	95921792.00	76,737,434
2069	320	4.88	315.12	96037459.99	76,829,968
2070	320	15.01	304.99	92949219.47	74,359,376

Model Biaya Operasional dan Biaya Konsekuensi

Year	Total Operational Cost		Total Consequential Cost	
2012	IDR	46,873,615,836	IDR	76,815,030,798
2013	IDR	52,717,540,730	IDR	39,725,356,062
2014	IDR	66,903,815,080	IDR	46,136,402,134
2015	IDR	79,061,170,599	IDR	26,639,683,180
2016	IDR	85,207,044,705	IDR	49,813,708,597
2017	IDR	77,065,274,035	IDR	5,621,565,782
2018	IDR	76,261,931,698	IDR	11,600,983,020
2019	IDR	75,052,838,731	IDR	21,063,420,526
2020	IDR	74,750,166,276	IDR	31,077,217,765
2021	IDR	77,375,532,282	IDR	16,852,221,843
2022	IDR	79,200,474,242	IDR	7,572,514,215
2023	IDR	76,142,881,299	IDR	42,293,462,316
2024	IDR	79,473,999,935	IDR	20,109,181,610
2025	IDR	77,171,143,879	IDR	46,951,246,488
2026	IDR	79,268,211,230	IDR	36,609,719,980
2027	IDR	75,519,864,530	IDR	78,782,798,656
2028	IDR	83,213,378,277	IDR	17,914,490,986
2029	IDR	85,285,704,204	IDR	5,780,612,504
2030	IDR	82,816,981,186	IDR	39,195,263,516
2031	IDR	82,367,111,817	IDR	51,360,006,259
2032	IDR	83,329,478,693	IDR	52,092,272,936
2033	IDR	86,813,346,199	IDR	27,377,070,257
2034	IDR	83,073,088,100	IDR	75,983,427,320
2035	IDR	88,218,619,947	IDR	31,467,895,503
2036	IDR	88,988,666,351	IDR	33,481,806,948

Year	Total Operational Cost	Total Consequential Cost
2037	IDR 88,945,709,036	IDR 46,806,489,407
2038	IDR 92,499,479,312	IDR 18,222,992,489
2039	IDR 90,815,962,678	IDR 47,257,486,078
2040	IDR 95,796,942,869	IDR 1,303,375,208
2041	IDR 95,680,898,559	IDR 13,244,049,659
2042	IDR 95,298,647,076	IDR 30,241,127,341
2043	IDR 95,294,732,129	IDR 42,596,515,279
2044	IDR 98,641,242,105	IDR 13,702,256,270
2045	IDR 99,157,087,070	IDR 20,857,906,533
2046	IDR 90,638,499,904	IDR 145,669,176,173
2047	IDR 101,242,175,452	IDR 20,156,455,603
2048	IDR 103,146,535,035	IDR 8,797,211,983
2049	IDR 102,586,235,475	IDR 30,983,728,809
2050	IDR 105,071,530,824	IDR 11,756,472,519
2051	IDR 106,599,289,022	IDR 4,677,444,849
2052	IDR 107,881,046,487	IDR 1,679,889,196
2053	IDR 108,127,272,243	IDR 17,216,666,423
2054	IDR 109,907,718,551	IDR 7,006,970,086
2055	IDR 110,511,555,564	IDR 12,080,127,137
2056	IDR 111,191,187,706	IDR 19,562,093,815
2057	IDR 109,950,587,244	IDR 58,103,777,789
2058	IDR 107,025,828,081	IDR 129,536,273,085
2059	IDR 114,404,065,814	IDR 24,811,408,172
2060	IDR 115,263,126,388	IDR 28,909,374,987
2061	IDR 114,636,342,155	IDR 62,884,287,066
2062	IDR 119,159,496,990	IDR 2,560,789,969
2063	IDR 115,974,206,825	IDR 85,421,462,150
2064	IDR 117,638,873,089	IDR 76,491,748,319
2065	IDR 120,268,135,160	IDR 52,387,116,932
2066	IDR 120,898,166,238	IDR 66,742,100,005
2067	IDR 118,970,534,454	IDR 130,551,799,860
2068	IDR 124,547,918,316	IDR 42,179,531,855
2069	IDR 125,945,086,378	IDR 40,759,549,097
2070	IDR 123,114,068,727	IDR 132,524,105,701

LAMPIRAN 2

Lampiran 2 berisi pengumpulan data dari *input* yang tidak pasti.

Contoh SAP Data Pemeliharaan Korektif PT. X

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
PM01	PH2, SERVICE LOUVRE RING 344RM1	RAW MILL	-	08/01/2012	08/03/2012
PM01	Crane 30T : Utk service RM Tb4	RAW MILL	-	08/01/2012	08/03/2012
PM01	PH2, MODIF CHUTE REJECT 344RM1	RAW MILL	-	08/04/2012	08/06/2012
PM02	JASA PENGADAAN DAN PEMASANGAN SCAFFOLDING	RAW MILL	-	08/10/2012	
PM02	PEMBERSIHAN MATERIAL DI REJECT RM4	RAW MILL	3,000,000.00	09/06/2012	09/07/2012
PM01	PH2, MODIF, CHUTE REJECT MILL 344RM01	RAW MILL	10,500,000.00	09/07/2012	09/07/2012
PM01	Crane 50T : Utk kegiatan service 344RM01	RAW MILL	-	09/08/2012	09/10/2012
PM01	WM : U job service 344RM01	RAW MILL	-	09/12/2012	09/14/2012
PM02	PH2 PENYELESAIAN UNSAFE CONDITION DI RM	RAW MILL	-	09/18/2012	09/20/2012
PM01	PH2, SERVICE ATOX MILL 344RM01	RAW MILL	44,006,835.00	09/21/2012	09/23/2012
PM01	PH2, CEK&CLEANING AREA AERASI ROLLER RM4	RAW MILL	9,000,000.00	10/17/2012	10/17/2012
PM02	PH2 SERVICE MEKANIK RKC 4	RAW MILL	6,000,000.00	10/25/2012	10/29/2012
PM02	PH2 PERKUATAN DUCTING HOT AIR COOLER	RAW MILL	28,000,000.00	11/05/2012	11/14/2012
PM01	FABRIKASI SPACER ARMOR RING	RAW MILL	9,730,989.00	11/13/2012	11/13/2012

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
	344RM01				
PM02	PH2 SERVICE PERALATAN RKC4	RAW MILL	-	04/29/2013	05/31/2013
PM02	PENGELASAN BODY MILL YANG RETAK,KM OK	RAW MILL	519,250.00	05/29/2013	05/29/2013
PM02	RETORQUE BAUT STRUCTURE BUILDING RM CM	RAW MILL	80,000,000.00	09/04/2013	09/06/2013
PM01	GANTI BLADDER ACCUMULATOR ATOX MILL	RAW MILL	4,800,000.00	10/16/2013	10/16/2013
PM02	PERBAIKAN LIFT	RAW MILL	-	01/08/2014	01/10/2014
PM02	PH 2 TEMBUS LENGKETAN MATERIAL	RAW MILL	12,000,000.00	01/10/2014	01/10/2014
PM02	PH2,REKONDISI INSIDE MILL	RAW MILL	7,500,000.00	01/15/2014	01/15/2014
PM02	FABRIKASI PLATE SUPPORT SCRAPPER REJECT	RAW MILL	-	04/14/2014	04/14/2014
PM02	skreaper mill putus	RAW MILL	-	04/19/2014	04/21/2014
PM02	SERVIS ROLLER MILL	RAW MILL	9,932,548.00	07/12/2014	07/12/2014
PM02	PERMINTAAN MATERIAL		25,774,267.00	08/19/2014	08/21/2014
PM01	PH2, SERVIS INSIDE & OUTSIDE MILL	RAW MILL	53,500,000.00	09/17/2014	09/17/2014
PM01	PH2, SERVIS ALL AREA	RAW MILL	15,500,000.00	09/17/2014	09/17/2014
PM01	PH2, GANTI LINER DINDING MILL	RAW MILL	21,000,000.00	09/17/2014	09/17/2014
PM02	PENGELASAN TENSION ROD ABSORBER RM4	RAW MILL	3,513,364.00	10/08/2014	10/08/2014
PM02	GANTI PULL ROD ATOX MILL 57.5	RAW MILL	580,716,599.00	11/03/2014	11/03/2014
PM01	PH2, SERVIS INSIDE &	RAW MILL	-	12/06/2014	12/06/2014

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
	OUTSIDE RM				
PM01	PH2,REKONDISI ATOX MILL 57.5 344RM1	RAW MILL	86,000,000.00	01/23/2015	01/23/2015
PM01	GANTI GREASE ALL AREA RM4	RAW MILL	6,247,800.00	02/02/2015	02/02/2015
PM02	PERMINTAAN PERSONIL LEMBUR T.I	RAW MILL	165,000.00	02/25/2015	02/25/2015
PM01	FABRIKASI SCRAPER REJECT 344RM1	RAW MILL	94,925,566.00	08/03/2015	08/03/2015
PM01	PATCHJOB TB4 2015,REKONDISI 344RM1	RAW MILL	101,000,000.00	12/18/2015	12/18/2015
PM01	PATCHJOB TB4 2015,GANTI EJ OUTLET	RAW MILL	11,500,000.00	12/27/2015	12/27/2015
PM01	REKONDISI COVERDECK 344RM1	RAW MILL	27,739,714.00	02/02/2016	02/02/2016
PM01	FABRIKASI HOUSING CLASSIFIER	RAW MILL	-	02/04/2016	02/04/2016
PM01	FABRIKASI KLEM COVERDECK	RAW MILL	-	02/11/2016	02/11/2016
PM02	PH2 REKONDISI RAWMILL TB4 344RM01	RAW MILL	-	11/12/2016	11/12/2016
PM02	PASANG TYRE ROLL3 344RM01 YANG LEPAS	RAW MILL	18,892,427.00	11/14/2016	11/14/2016
PM01	FABRIKASI OUTER SEAL 344RM1	RAW MILL	16,560,000.00	11/15/2016	11/15/2016
PM01	JOB LUAR REPAIR ACTUATOR 344RM01	RAW MILL	-	12/07/2016	12/07/2016
PM01	CONECT POWER DI 344RM01	RAW MILL	-	12/21/2016	12/21/2016
PM01	PASANG REDUCER INCHING 344RM01	RAW MILL	20,786,303.00	12/12/2017	12/12/2017
PM02	GANTI BLADE SCRAPER 344RM01	RAW MILL	1,284,930.00	05/05/2018	05/05/2018

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
PM02	GANTI WEARSLEEVE 344RM01	RAW MILL	4,140,000.00	06/05/2018	06/05/2018
PM02	GANTI BAUT TENSION ROD 344RM01	RAW MILL	287,800.00	11/22/2018	11/22/2018
PM01	PERMINTAAN FABRIKASI LINER CLASSIFIER	RAW MILL	77,997,600.00	01/23/2019	01/23/2019
PM02	GANTI JOINT HEAD ROLL 2 344RM01	RAW MILL	44,872,854.00	02/16/2019	02/16/2019
PM01	PERMINTAAN INSERT DINDING CLASSIFIER	RAW MILL	13,200,000.00	03/05/2019	03/05/2019
PM02	SERVIS INSIDE MILL 344RM01	RAW MILL	585,000.00	03/13/2019	03/13/2019
PM01	PERMINTAAN SERVICE ABSORBER 344RM01	RAW MILL	-	03/21/2019	03/21/2019
PM02	SPARE PART ROLLER SPARE	RAW MILL	-	05/16/2019	05/16/2019
PM01	PERMINTAAN FABRIKASI ARMORRING 344RM01	RAW MILL	17,450,000.00	06/13/2019	06/13/2019

Contoh SAP Data Pemeliharaan Preventif PT. X

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
PM03	PEMASANGAN PIPA PEMANAS 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	84,588,348	08/05/2014	08/07/2014
PM03	fabrikasi liner inlet chute 344rf01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	28,704,869	11/29/2014	11/29/2014
PM03	UP GRADE COUPLING	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	7,283,667	08/27/2014	08/27/2014
PM03	plat stainless steel u/ liner inlet RF	ROTARY FEEDER; DROP OUT	0	11/14/2014	11/14/2014

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
		BOX			
PM03	FLEXIBLE HOT GAS	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	12/19/2014	12/21/2014
PM03	FABRIKASI LINER INLET CHUTE 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	23,300,000	01/27/2015	01/27/2015
PM07	FAB LINER 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	7,718,400	11/12/2015	11/12/2015
PM03	liner duo plate u/344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	6,150,000	01/09/2015	01/09/2015
PM03	SERVICE 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	1,250,000	01/01/2016	01/01/2016
PM03	SERVICE 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	1,910,135	11/10/2015	11/10/2015
PM03	344RF01 , LAS LINNER, OK	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	1,545,072	01/27/2015	01/27/2015
PM03	SERVICE 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	1,343,311	08/20/2015	08/20/2015
PM03	PATCH JOB 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	1,248,000	12/28/2015	12/28/2015
PM03	PASANG LINER INLET RF 344RF1	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	645,709	05/27/2015	05/27/2015
PM03	JOB JASA FABRIKASI LINER INLET RF	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	32,560,000	01/14/2015	01/14/2015
PM03	OIL REDUCER RF1 LOW & PASANG BREATHER	REDUCER; DROP OUT BOX ROTARY FEEDER	0	03/25/2015	

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
PM03	PERMINTAAN PERSONIL LEMBUR PIHAK 2 LNS	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	05/27/2015	
PM03	TAMBAH OLI REDUCER 344RF1	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/01/2015	06/01/2015
PM03	PERMINTAAN ISI OLI REDUCER 344RF1	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	08/20/2015	08/20/2015
PM03	PATCH JOB 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	12/28/2015	12/28/2015
PM05	GANTI OIL REDUCER ROTARY FEEDER	REDUCER; DROP OUT BOX ROTARY FEEDER	0	02/10/2015	
PM05	TAMBAH OIL REDUCER BESAR	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/23/2015	06/23/2015
PM03	JOB JASA FABRIKASI LINER 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	05/17/2016	05/17/2016
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/08/2016	06/08/2016
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	07/08/2016	07/08/2016
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	08/07/2016	08/07/2016
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	09/06/2016	09/06/2016
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	10/06/2016	10/06/2016
PM19	SERVISE	ROTARY	0	11/05/2016	11/05/2016

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
	ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	FEEDER; DROP OUT BOX			
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	12/05/2016	12/05/2016
PM03	EJ hotgas lubang to 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	29,397,865	10/25/2017	10/27/2017
PM03	FABRIKASI BLADE 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	26,425,101	01/17/2017	01/17/2017
PM03	GANTI ELBOW HOT GAS RF (SISI SELATAN)	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	11/04/2017	11/04/2017
PM05	TAMBAH OIL REDUCER	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/20/2017	06/20/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	01/04/2017	01/04/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	02/03/2017	02/03/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	03/05/2017	03/05/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	04/04/2017	04/04/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	05/04/2017	05/04/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/03/2017	06/03/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01)	ROTARY FEEDER; DROP OUT	0	07/03/2017	07/03/2017

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
	BULANAN	BOX			
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	08/02/2017	08/02/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	09/01/2017	09/01/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	10/01/2017	10/01/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	10/31/2017	10/31/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	11/30/2017	11/30/2017
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	12/30/2017	12/30/2017
PM03	SPB 344RF1M01	MOTOR; DROP OUT BOX ROTARY FEEDER REDUCE	0	06/12/2018	06/14/2018
PM03	MODIFIKASI LINER DAN HOUSING 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	28,357,040	07/20/2018	07/20/2018
PM03	FABRIKASI PLAT SUPORT 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	20,642,558	06/14/2018	06/14/2018
PM03	INSTALL LINE HOTGAS HOTBOX BARU	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	11,437,353	03/24/2018	03/24/2018
PM03	REKONDISI LINER CHUTE INLET 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	10,552,751	02/20/2018	02/20/2018
PM03	FABRIKASI ASSEMBLY BOX HOT GAS	ROTARY FEEDER; DROP OUT	5,230,698	03/01/2018	03/01/2018

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
	344RF01	BOX			
PM03	PASANG PIPA LINE HOT BOX	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	2,259,720	03/13/2018	03/15/2018
PM03	INSTALL PIPA LINE HOT GAS (TAMBAHAN)	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	2,188,370	02/23/2018	02/23/2018
PM03	PERMINTAAN TAMBAH OLI DI 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	09/05/2018	09/05/2018
PM03	PERMINTAAN TAMBAH OLI DI 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	09/18/2018	09/18/2018
PM03	PR - EXTEND PLATFORM RF	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	180,000,000	10/10/2018	10/10/2018
PM03	PERMINTAAN TAMBAH OLI DI 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	10/18/2018	10/18/2018
PM03	344RF01: F250 - LEVEL LOW (ISI KURANG)	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	11/14/2018	11/14/2018
PM03	344RF01: F250 - LEVEL LOW (ISI KURANG)	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	11/29/2018	11/29/2018
PM05	ISI OIL REDUCER RF ROW MILL TB 4	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/11/2018	06/11/2018
PM05	ganti oli 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/12/2018	06/12/2018
PM07	PR JASA FABRIKASI LINER RF 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	117,600,000	08/01/2018	08/01/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	01/29/2018	01/29/2018
PM19	SERVISE	ROTARY	0	02/28/2018	02/28/2018

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
	ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	FEEDER; DROP OUT BOX			
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	03/30/2018	03/30/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	04/29/2018	04/29/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	05/29/2018	05/29/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/28/2018	06/28/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	07/28/2018	07/28/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	08/27/2018	08/27/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	09/26/2018	09/26/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	10/26/2018	10/26/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	11/25/2018	11/25/2018
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	12/25/2018	12/25/2018
PM03	344RF01: F490 - WORN OUT (AUS)	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	44,824,032	05/31/2019	05/31/2019
PM03	PERMINTAAN LINER CHUT INLET 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT	33,746,000	04/23/2019	04/23/2019

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
		BOX			
PM03	SEAL LS REDUCER BOCOR 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	841,571	06/27/2019	06/27/2019
PM03	344RF01_GANTI LINER INLET RF	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	810,000	06/15/2019	06/15/2019
PM03	344RF01: F490 - WORN OUT (AUS)	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	02/26/2019	02/26/2019
PM03	344RF01: F250 - LEVEL LOW (ISI KURANG)	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/26/2019	06/26/2019
PM03	TAP DAN ISI OLI REDUCER 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	44,748,000	06/28/2019	06/28/2019
PM03	344RF01: F250 - LEVEL LOW (ISI KURANG)	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	08/01/2019	08/01/2019
PM03	PERMINTAAN TAMBAH OLI REDUCER 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	08/03/2019	08/03/2019
PM05	TAMBAH OLI	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	07/01/2019	07/03/2019
PM05	TAMBAH OLI REDUCER 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	06/27/2019	06/27/2019
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	02/04/2019	02/04/2019
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	04/22/2019	04/22/2019
PM19	SERVISE ROTARY FEEDER(344RF01) BULANAN	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	07/08/2019	07/08/2019
PM01	OVH	ROTARY	20,732,746	04/01/2015	04/01/2015

Order Type	Description	Description	Total act.costs	Bas. start date	Basic fin. date
	TB4.REKONDISI RF 344RF1	FEEDER; DROP OUT BOX			
PM01	OVH TB4,REKONDISI ROTARY FEEDER 344RF1	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	2,154,880	04/01/2015	04/01/2015
PM01	OVH.TB.4 LINER INLET RF	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	02/05/2015	02/05/2015
PM01	OVH TB4,FABRIKASI LINER BUCKET 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	15,039,052	01/02/2018	01/02/2018
PM01	OVH 2017 TBN 4 SPARE PART 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	3,790,898	01/01/2017	01/01/2017
PM01	OVH TB4 FAB.LINER OUTLET 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	0	01/02/2018	01/02/2018
PM01	OVH TB4 FABRIKASI LINER BUCKET RF 344RF1	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	88,982,322	03/16/2019	03/16/2019
PM01	OVH TB4,FABRIKASI LINER INLET SAMPING	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	80,584,954	03/23/2019	03/23/2019
PM01	OVH TB4 GANTI ROTARY FEEDER 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	47,945,874	03/19/2019	03/19/2019
PM01	OVH TBN 4 2019 SERVICE 344RF01	ROTARY FEEDER; DROP OUT BOX	70,000,000	02/13/2019	02/13/2019
PM01	OVH TB4 2019 RELOKASI LCS 344RF1M01	MOTOR; DROP OUT BOX ROTARY FEEDER REDUCE	0	04/04/2019	04/04/2019

Data Biaya Pemeliharaan Preventif Raw Mill

Tahun	Rotary Feeder 1	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Main Drive for Roller Mill
2012	IDR -	IDR 272,235,883	IDR 335,814,634	IDR 19,261,077	IDR -
2013	IDR -	IDR 1,890,256,214	IDR 896,563,600	IDR 247,004,469	IDR 71,458,808
2014	IDR 120,576,884	IDR 4,551,505,965	IDR 1,523,161,360	IDR 106,191,050	IDR -
2015	IDR 99,308,253	IDR 941,930,618	IDR 747,299,260	IDR 122,948,198	IDR 36,270,398
2016	IDR 1,250,000	IDR 3,832,367,955	IDR 191,342,163	IDR 135,316,734	IDR 122,631,500
2017	IDR 59,613,864	IDR 3,192,426,936	IDR 400,240,529	IDR 630,547,761	IDR 32,290,000
2018	IDR 393,307,542	IDR 904,920,383	IDR 263,569,144	IDR 299,267,090	IDR -
2019	IDR 412,482,753	IDR 1,739,429,062	IDR 580,425,114	IDR 260,740,693	IDR 66,774,800

Data Biaya Pemeliharaan Preventif Raw Mill (Cont.)

Tahun	Circulation Lube System 2	Separator	Main Drive for Separator	Circulation Lube System 3	Grease System
2012	IDR 46,451,898	IDR 25,211,000	IDR -	IDR -	IDR -
2013	IDR 65,525,909	IDR 157,359,663	IDR 98,187,980	IDR -	IDR 5,923,000
2014	IDR -	IDR 625,722,080	IDR 390,607,985	IDR -	IDR -
2015	IDR 619,639,480	IDR 74,714,875	IDR 320,070,498	IDR 994,000	IDR 107,199,333
2016	IDR 62,164,900	IDR 177,573,750	IDR 167,940,530	IDR -	IDR -
2017	IDR 25,699,353	IDR 993,717,000	IDR 81,750,237	IDR -	IDR -
2018	IDR 177,207,840	IDR 265,637,807	IDR 170,060,500	IDR -	IDR -
2019	IDR 352,195,744	IDR 277,545,133	IDR 122,213,500	IDR -	IDR -

Data Biaya Pemeliharaan Preventif Raw Mill (Cont.)

Tahun	Fan Circulation System	Water Spray	Raw Mill Fan	Ventury	Damper	Multicyclone
2012	IDR 9,461,557	IDR 28,545,017	IDR 195,052,751	IDR -	IDR -	IDR 51,684,440

Tahun	Fan Circulation System	Water Spray	Raw Mill Fan	Ventury	Damper	Multicyclone
2013	IDR 2,749,365	IDR 3,056,000	IDR 183,454,092	IDR -	IDR -	IDR 8,319,502
2014	IDR 353,600	IDR -	IDR 158,857,680	IDR -	IDR -	IDR 52,426,208
2015	IDR 3,834,306	IDR 56,529,655	IDR 35,799,120	IDR -	IDR -	IDR 8,216,870
2016	IDR -	IDR -	IDR 83,323,248	IDR -	IDR -	IDR 28,491,450
2017	IDR -	IDR 19,750,000	IDR 48,657,020	IDR -	IDR -	IDR 99,544,050
2018	IDR -	IDR 1,875,840	IDR 29,308,780	IDR -	IDR 251,651,814	IDR -
2019	IDR 525,500	IDR 157,915,200	IDR 191,098,931	IDR -	IDR -	IDR 161,464,115

Data Biaya Pemeliharaan Preventif Packer

Tahun	Bucket Elevator 1	Bucket Elevator 2	Bin Storage 1	Bin Storage 2	Bin Storage 3
2012	IDR 118,600,512	IDR 457,828,296	IDR -	IDR -	IDR -
2013	IDR 179,525,959	IDR 16,122,847	IDR -	IDR -	IDR -
2014	IDR 28,741,705	IDR 182,177,657	IDR -	IDR -	IDR -
2015	IDR 86,457,962	IDR 324,583,372	IDR 5,617,000	IDR -	IDR -
2016	IDR 111,639,332	IDR 90,553,254	IDR -	IDR -	IDR -
2017	IDR 53,532,439	IDR 214,823,868	IDR -	IDR -	IDR -
2018	IDR 354,570,100	IDR 188,720,200	IDR -	IDR -	IDR -
2019	IDR 268,932,669	IDR 6,381,000	IDR -	IDR -	IDR -

Data Biaya Pemeliharaan Preventif Packer (Cont.)

Tahun	Packing Machine 1	Packing Machine 2	Packing Machine 3	Bag Placer 1	Bag Placer 2
2012	IDR 286,324,541	IDR 301,169,681	IDR 134,513,996	IDR 15,270,214	IDR 78,101,074
2013	IDR 587,058,347	IDR 223,248,505	IDR 501,594,537	IDR 12,282,308	IDR 165,224,522
2014	IDR 679,496,913	IDR 353,764,320	IDR 398,924,642	IDR 35,911,538	IDR 163,481,731
2015	IDR 979,931,106	IDR 287,979,297	IDR 265,186,145	IDR 50,325,431	IDR -

Tahun	Packing Machine 1	Packing Machine 2	Packing Machine 3	Bag Placer 1	Bag Placer 2
2016	IDR 578,297,440	IDR 404,141,063	IDR 335,050,712	IDR 9,200,826	IDR 77,311,144
2017	IDR 101,958,505	IDR 181,203,322	IDR 341,359,621	IDR 30,371,258	IDR 12,958,234
2018	IDR 132,578,277	IDR 138,517,543	IDR 218,322,451	IDR 187,704,700	IDR 96,416,000
2019	IDR 171,167,031	IDR 270,593,821	IDR 76,324,452	IDR -	IDR -

Data Biaya Pemeliharaan Preventif Packer (Cont.)

Tahun	Bag Placer 3	Belt Weigher 1	Belt Weigher 2	Belt Weigher 3	Rear Loader 1
2012	IDR 53,913,513	IDR 10,953,650	IDR 17,942,074	IDR -	IDR 156,901,570
2013	IDR 1,528,147	IDR 67,102,003	IDR -	IDR -	IDR 44,773,306
2014	IDR 2,710,804	IDR -	IDR -	IDR -	IDR 3,609,690
2015	IDR 3,584,512	IDR 15,284,169	IDR 21,947,919	IDR 44,245,623	IDR -
2016	IDR 27,501,447	IDR 26,000,000	IDR -	IDR 29,101,500	IDR -
2017	IDR 55,174,500	IDR -	IDR 11,011,027	IDR 16,197,100	IDR 220,825,041
2018	IDR 29,294,669	IDR 26,220,000	IDR 5,457,000	IDR 24,467,123	IDR -
2019	IDR -	IDR 4,986,000	IDR 9,250,562	IDR -	IDR -

Data Biaya Pemeliharaan Preventif Packer (Cont.)

Tahun	Rear Loader 2	Rear Loader 3	Rear Loader 4	Rear Loader 5	Rear Loader 6
2012	IDR -	IDR 18,472,119	IDR 77,071,998	IDR 8,387,468	IDR 9,582,270
2013	IDR 3,951,450	IDR 1,665,200	IDR -	IDR 396,000	IDR 10,992,424
2014	IDR -	IDR 16,971,863	IDR 5,975,291	IDR -	IDR 7,016,439
2015	IDR 40,553,391	IDR 9,780,165	IDR 247,044	IDR 8,796,285	IDR 2,732,000
2016	IDR 6,791,395	IDR 988,500	IDR -	IDR -	IDR -
2017	IDR 25,437,124	IDR 34,734,679	IDR -	IDR 9,040,317	IDR -
2018	IDR 17,804,150	IDR -	IDR 3,043,931	IDR 23,581,566	IDR 13,390,000
2019	IDR	IDR	IDR	IDR	IDR

Tahun	Rear Loader 2	Rear Loader 3	Rear Loader 4	Rear Loader 5	Rear Loader 6
	46,358,025	18,443,313	9,822,029	27,413,000	-

Data MTTF Sistem Raw Mill

MTTF						
Rotary Feeder 1	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Separator	Cyclone	Raw Mill Fan
1885	0	231	590	36	1757	167
467	3	2	73	25	63	271
65	6	365	411	3	1653	119
84	27	14	1554	361	330	9
103	1	46	931	16	1067	164
48	1	2264	159	6	200	200
	4		291	0	603	1534
	6			16	232	
	3			28		
	26			41		
	8			244		
	11			128		
	8			664		
	167			418		
	30			375		
	98			42		
	42					
	84					
	2					
	5					
	89					
	5					
	84					
	38					
	29					
	0					
	0					
	21					
	26					
	33					
	48					
	10					
	23					
	159					

MTTF						
Rotary Feeder 1	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Separator	Cyclone	Raw Mill Fan
	137					
	9					
	37					
	2					
	7					
	275					
	2					
	1					
	22					
	14					
	356					
	144					
	31					
	170					
	62					
	24					
	17					
	8					
	8					
	56					
	28					

Data MTTF Sistem Packer

MTTF				
Bucket Elevator	Packing Machine	Bag Placer	Belt Weigher	Rear Loader
9	111	19	320	225
441	2	24	104	12
536	216	105	135	29
13	637	80	428	43
302	38	25	426	22
1494	82	159	161	454
144	2598	120	1012	5
98	1989	56	113	173
2597	2756	125	758	555
2350		176	1226	327
741		2	1376	2681
		2	1227	1110
		8	1440	1641

MTTF				
Bucket Elevator	Packing Machine	Bag Placer	Belt Weigher	Rear Loader
		23	1656	1300
		147		1771
		319		1779
		35		762
		19		889
		13		1143
		121		2561
		148		
		66		
		107		
		28		
		451		
		345		
		63		
		284		
		209		
		180		
		90		
		481		
		67		
		302		
		267		
		37		
		342		
		464		
		32		
		43		
		272		
		43		
		28		
		22		
		264		
		464		
		294		
		162		
		125		
		91		
		96		
		124		
		89		

MTTF				
Bucket Elevator	Packing Machine	Bag Placer	Belt Weigher	Rear Loader
		294		
		61		
		36		
		42		
		14		
		6		
		87		
		33		
		6		
		31		
		35		
		125		
		58		
		106		
		99		
		2909		
		2742		
		2753		
		1130		
		1740		

Data Biaya Pemeliharaan Korektif Sistem Raw Mill

Data Biaya Pemeliharaan Korektif (IDR)			
Rotary Feeder 1	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System
-	-	37,800,000.00	2,700,000.00
8,258,000.00	-	40,500,000.00	5,974,214.00
-	-	11,700,000.00	17,481,100.00
446,558.00	-	-	158,996,250.00
4,957,265.00	3,000,000.00	1,941,000.00	-
351,000.00	10,500,000.00		11,998,231.00
	-		37,905,000.00
	-		900,000.00
	-		2,360,000.00
	44,006,835.00		
	9,000,000.00		
	6,000,000.00		
	28,000,000.00		
	9,730,989.00		
	-		

Data Biaya Pemeliharaan Korektif (IDR)			
Rotary Feeder 1	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System
	519,250.00		
	80,000,000.00		
	4,800,000.00		
	-		
	12,000,000.00		
	7,500,000.00		
	-		
	-		
	9,932,548.00		
	25,774,267.00		
	53,500,000.00		
	15,500,000.00		
	21,000,000.00		
	3,513,364.00		
	580,716,599.00		
	-		
	86,000,000.00		
	6,247,800.00		
	165,000.00		
	94,925,566.00		
	101,000,000.00		
	11,500,000.00		
	27,739,714.00		
	-		
	-		
	-		
	18,892,427.00		
	16,560,000.00		
	-		
	-		
	20,786,303.00		
	1,284,930.00		
	4,140,000.00		
	287,800.00		
	77,997,600.00		
	44,872,854.00		
	13,200,000.00		
	585,000.00		
	-		
	-		
	17,450,000.00		

Data Biaya Pemeliharaan Korektif Sistem Raw Mill (Cont.)

Data Biaya Pemeliharaan Korektif (IDR)		
Separator	Cyclone	Raw Mill Fan
-	32,000,000	-
28,392,330	-	12,250,000
14,053,892	32,497	12,046,000
8,000,000	-	7,000,000
6,858,000	-	-
8,300,000	19,563,599	1,076,017
71,850,000	29,000,000	21,500,000
14,800,000	29,944,000	-
9,000,000		
16,077,000		
72,883,500		
45,858,250		
67,000,000		
1,681,000		
-		
115,000,000		
-		

Data Biaya Pemeliharaan Korektif Sistem Packer

Data Biaya Pemeliharaan Korektif (IDR)				
Bucket Elevator	Packing Machine	Bag Placer	Belt Weigher	Rear Loader
3,749,313	3,200,000	6,226,178	8,498,000	11,074,382
7,649,595	1,528,147	508,327	1,419,913	15,206,585
1	11,530	4,256,000	998,849	4,223,745
31,262,950	374,000	1,841,183	499,424	5,967,803
26,191,233	6,353,799	150,000	9,128,229	1,060,565
6,531,185	15,738,037	-	248,400	1,207,350
2,783,859	1	1,685,500	63,100,000	572,400
-	9,028,282	2,812,975	2,077,854	2,340,000
-	5,952,968	-	196,453,435	1,149,050
2,307,128		26,865,766	2,985,000	11,981,700
-		-	46,325,000	1,061,885
3,450,000		-	2,208,000	402,000
		1,841,183	2,417,840	860,000
		17,656,276		5,200,000
		560,901		1,768,762
		-		22,891,000

Data Biaya Pemeliharaan Korektif (IDR)				
Bucket Elevator	Packing Machine	Bag Placer	Belt Weigher	Rear Loader
		2,880,339		
		474,000		
		43,160,800		
		9,136,750		
		3,682,366		
		59,211,750		
		1,532,803		
		246,000		
		7,174,950		
		-		
		842,750		
		1,685,500		
		-		
		17,454,014		
		13,178,116		
		6,560,000		
		42,840,000		
		10,880,747		
		3,900,000		
		6,930,000		
		11,900,001		
		1,040,702		
		17,452,777		
		-		
		1,469,316		
		31,589		
		5,066,304		
		12,451,555		
		235,000		
		-		
		84,200		
		127,000,000		
		1,999,000		
		10,581,572		
		10,128,500		
		-		
		3,682,366		
		4,950,676		
		-		
		-		

Data Biaya Pemeliharaan Korektif (IDR)				
Bucket Elevator	Packing Machine	Bag Placer	Belt Weigher	Rear Loader
		46,184,395		
		54,147,600		
		13,080,200		
		18,164,700		
		1,841,183		
		134,544		
		6,207,586		
		-		
		3,420,000		
		54,147,600		
		3,620,000		
		22,204,014		
		33,400		
		5,846,250		
		9,869,700		
		116,122,937		
		1,364,811		
		1,962,000		
		370,000		

Data Waktu Perbaikan Sistem Raw Mill

Data TTR (Hari)						
Rotary Feeder 1	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Separator	Cyclone	Raw Mill Fan
0	2	0	0	2	2	2
0	2	0	0	0	0	0
0	2	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2
0	2	0	0	0	0	0
	2	1	0	0		0
	2	0	0	0		0
	2	1	0	0		
	0	0	1	0		
	4	1	3	0		
	9	0	3	0		
	0	0	0	0		
	32	2	0	0		
	0	2	1	0		

Data TTR (Hari)						
Rotary Feeder 1	Roller Mill	Circulation Lube System 1	Hydraulic System	Separator	Cyclone	Raw Mill Fan
	0					

Data Waktu Perbaikan Sistem Packer

Data TTR (Hari)				
Bucket Elevator	Packing Machine	Bag Placer	Belt Weigher	Rear Loader
		0		
		0		