



TUGAS AKHIR (Manufaktur) – TM091585

**PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN
PENCEGAHAN BERDASARKAN METODE ALOKASI
DAN OPTIMASI KEANDALAN PADA PERALATAN SUB
UNIT PENGGILINGAN AKHIR 1
(STUDI KASUS: PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO)
TBK.)**

**Rizqi Surya Saputra Suroto
NRP. 2112100040**

**Dosen Pembimbing
Ir. Bobby Oedy P. S., M.Sc., Ph.D
NIP. 195305161978031001**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT (Manufacture) - TM091585

**DETERMINATION OF PREVENTIVE MAINTENANCE
INTERVAL BASED ON RELIABILITY ALLOCATION
AND OPTIMIZATION METHOD ON FINISH MILL 1
EQUIPMENT (CASE STUDY: PT. SEMEN INDONESIA
(PERSERO) TBK.**

**Rizqi Surya Saputra Suroto
NRP. 2112100040**

**Academic Supervisor
Ir. Bobby Oedy P. S., M.Sc., Ph.D
NIP. 195305161978031001**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENENTUAN INTERVAL WAKTU
PEMELIHARAAN PENCEGAHAN BERDASARKAN
METODE ALOKASI DAN OPTIMASI KEANDALAN
PADA PERALATAN SUB UNIT PANGGILAN
AKHIR 1
(STUDI KASUS: PT. SEMEN INDONESIA
(PERSERO) TBK.)**

TUGAS AKHIR





Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S-I Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIZQI SURYA SAPUTRA SUROTO

NRP. 2112 100 040

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Bobby Oedy P.S., MSc., PhD.  (Pembimbing)
(NIP. 195305161978031001)
2. Ir. Suwarmin, PE  (Penguji I)
(NIP. 196103141987031001)
3. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.  (Penguji II)
(NIP. 196511031990021001)
4. Ari Kurniawan Saputra, ST., MT.  (Penguji III)
(NIP. 198604012015041001)

SURABAYA

JULI, 2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENENTUAN INTERVAL WAKTU
PEMELIHARAAN PENCEGAHAN BERDASARKAN
METODE ALOKASI DAN OPTIMASI KEANDALAN
PADA PERALATAN SUB UNIT
PENGGILINGAN AKHIR 1
(STUDI KASUS: PT. SEMEN INDONESIA
(PERSERO) TBK.)**

Nama Mahasiswa : Rizqi Surya Saputra Suroto
NRP : 2112100040
Dosen Pembimbing : Ir. Bobby Oedy P. S., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. adalah perusahaan pembuat semen yang memproduksi dengan proses kontinu. Setiap industri yang beroperasi secara kontinu harus memelihara peralatan-peralatan produksinya secara efektif untuk menghindari biaya perbaikan yang tinggi akibat kegagalan peralatan. Terdapat lima unit dalam pembuatan semen, yaitu Unit Persiapan Bahan, Unit Pengolahan Bahan, Unit Pembakaran dan Pendinginan, Unit Penggilingan Akhir dan Unit Pengisian dan Pengantongan Semen. Pada Unit Penggilingan Akhir, terdapat enam sub unit, yaitu Sub Unit Penggilingan Akhir 1, Sub Unit Penggilingan Akhir 2, Sub Unit Penggilingan Akhir 3, Sub Unit Penggilingan Akhir 4, Sub Unit Penggilingan Akhir 5, dan Sub Unit Penggilingan Akhir 6. Sub Unit Penggilingan Akhir 1 mempunyai frekuensi kegagalan dan waktu *downtime* peralatan yang paling tinggi. Oleh karena itu, diperlukan metode pemeliharaan pencegahan yang lebih efektif dan efisien untuk Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Interval waktu pemeliharaan pencegahan yang dapat memenuhi target keandalan menjadi kebutuhan untuk memperoleh jadwal pemeliharaan pencegahan yang efektif dan efisien.

Penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan untuk peralatan-peralatan di Sub Unit Penggilingan Akhir 1 dilakukan dengan menggunakan metode alokasi dan optimasi keandalan, dan dilaksanakan dalam empat tahap. Tahap pertama adalah penentuan sub-sub unit yang kritikal. Tahap kedua adalah penilaian keandalan, yang meliputi penentuan dan uji distribusi data, penentuan fungsi keandalan ($R(t)$) dan penentuan *mean time between failure* (MTBF). Tahap ketiga adalah penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan, yang meliputi penentuan indeks kelayakan dengan metode *analytical hierarchy process* (AHP), penentuan keandalan optimal, dan penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan. Tahap keempat adalah penentuan laju biaya total pemeliharaan pencegahan. Selain itu, dilakukan juga *failure mode and effect analysis* (FMEA) untuk peralatan-peralatan di Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa total laju biaya pemeliharaan pencegahan terendah didapatkan ketika menggunakan target keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 sebesar 0,9, yaitu sebesar Rp285.514.966,00. Sub-sub-sub unit 541FN8 memiliki interval waktu pemeliharaan pencegahan peralatan yang terpendek, yaitu sebesar 7,8 hari dan yang terpanjang dimiliki oleh sub-sub-sub unit 541AS5, yaitu sebesar 26,6 hari dengan target keandalan sistem yang sama. Kegagalan utama pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1 disebabkan oleh 561BE1, 541FN7, 541BM1, 521BC3, 512BE1, 541BC2, 521BE1, 541BE3, 541BC3, 512BC6 dan 541AS5.

Kata kunci: alokasi keandalan, optimasi keandalan, interval waktu pemeliharaan pencegahan, AHP, indeks kelayakan, FMEA.

**DETERMINATION OF PREVENTIVE
MAINTENANCE INTERVAL BASED ON
RELIABILITY ALLOCATION AND OPTIMIZATION
METHOD ON FINISH MILL 1 EQUIPMENT
(CASE STUDY: PT. SEMEN INDONESIA
(PERSERO) TBK.**

Student Name : Rizqi Surya Saputra Suroto
NRP : 2112100040
Academic Supervisor : Ir. Bobby Oedy P. S., M.Sc., Ph.D

ABSTRACT

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. is a company producing cement. The quality of the cement is determined by the process in finish mill 1 (FM 1) which consists of several sub-sub system such as clinker transport, hydraulic roller crusher (HRC) line, main equipment, product transport and third material transport. Preventive maintenance (PM) schedule plays an important role to ensure the system working in reliable and economical manners successfully. Therefore, maintenance policy can compromise on several objectives which is in opposite direction such as cost, productivity, reliability and availability.

There were several steps in determining preventive maintenance interval which minimizing the cost rate based on the allocation and optimization equipment reliability. The first step was converting downtime data into time between failure data. The best time between failure data distribution was selected by using the Weibull++6 software. Furthermore, by using the same software some parameters such as σ , μ , γ , η , β and λ could be obtained to determine the reliability function (R(t)). The next step was to determine the equipment feasibility index required for optimization by using the analytical hierarchy process (AHP) method. The final step was performing optimization to obtain the targeted system reliability by using the non-linear programming.

The result shows that the lowest preventive maintenance total cost rate for three years is IDR285.514.966,00, and obtained when the targeted system reliability of 90% is achieved. With the same system reliability, the sub-sub-sub sytem 541FN8 has the shortest preventive maintenance interval about 7.8 days, while the sub-sub-sub system 541AS5 has the longest preventive maintenance about 26.6 days.

Key words: AHP, feasibility index, FMEA, preventive maintenance interval, reliability allocation, reliability optimization.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.2.1 Batasan Penelitian.....	4
1.2.2 Asumsi Penelitian.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep Kerja Unit Penggilingan Akhir 1 (<i>Horizontal Mill</i>).....	7
2.2 Manajemen Pemeliharaan.....	12
2.3 Konsep Keandalan.....	14
2.3.1 Penilaian Keandalan.....	14
2.4 Pemodelan Sistem Keandalan.....	15
2.4.1 Sistem Seri.....	15
2.4.2 Sistem Paralel.....	15
2.4.3 Sistem Kombinasi.....	16
2.5 Karakteristik Kegagalan.....	17
2.6 Laju Kegagalan dan <i>Mean Time Between Failure</i> (MTBF).....	19
2.7 <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF).....	21
2.8 Distribusi Data Antar Kegagalan.....	21
2.8.1 Distribusi <i>Weibull</i>	22
2.8.2 Distribusi Eksponensial.....	23
2.8.3 Distribusi Normal.....	23

2.8.4	Distribusi Lognormal.....	24
2.9	Pengujian Distribusi	24
2.9.1	<i>Average Goodness of Fit</i> (AvGOF).....	25
2.9.2	<i>Average of Plot</i> (AvPlot)	25
2.9.3	<i>Likelihood Function Ratio</i> (LKV)	25
2.10	Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP)....	26
2.11	Penetapan Target Keandalan yang Optimal	28
2.12	Optimasi Biaya Interval Pemeliharaan	31
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Studi Lapangan	35
3.2	Studi Literatur.....	35
3.3	Penetapan Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian	38
3.4	Pengumpulan Data.....	38
3.5	Pengolahan Data	42
3.6	Analisis dan Pembahasan	42
3.7	Penarikan Kesimpulan dan Saran	43
BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS KEANDALAN		
4.1	Pemodelan Sistem Sub Unit Penggilingan Akhir 1.45	
4.1.1	Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Terak.....	46
4.1.2	Pemodelan Sub-Sub Unit HRC Line.....	47
4.1.3	Pemodelan Sub-Sub Unit Peralatan Utama	47
4.1.4	Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Terak.....	48
4.1.5	Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga	48
4.2	Penentuan Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1.....	49
4.3	Penentuan Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Sub Unit Penggilingan Akhir 1	51
4.4	Penentuan <i>Mean Time Between Failure</i> (MTBF) dan Keandalan pada Saat MTBF Sub Unit Penggilingan Akhir 1	56

4.5	Penilaian Keandalan Sistem	58
4.5.1	Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Terak.....	58
4.5.2	Keandalan Sub-Sub Unit HRC Line	61
4.5.3	Keandalan Sub-Sub Unit Peralatan Utama	61
4.5.4	Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Produk	63
4.5.5	Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga.....	63
4.5.6	Keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir	1.65
BAB V PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN PENCEGAHAN		
5.1	Penentuan Indeks Kelayakan.....	67
5.2	Optimasi Keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	74
5.3	Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	76
5.4	Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan.....	83
5.4.1	Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan Sub- Sub-Sub Unit Peralatan Penggilingan Akhir 1.....	83
5.4.2	Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus.....	85
5.5	Pembahasan	92
BAB VI ANALISIS KERUSAKAN PERALATAN		
6.1	Analisis Kerusakan Komponen Sub Unit Penggilingan Akhir 1	95
6.1.1	Sub-Sub Unit Transportasi Terak.....	97
6.1.1.1	<i>Belt Conveyor</i> (521BC3)	97
6.1.1.2	<i>Belt Conveyor</i> (541BC2)	99
6.1.1.3	<i>Bucket Elevator</i> (521BE1).....	102
6.1.2	Sub-Sub Unit HRC Line.....	104
6.1.2.1	<i>Belt Conveyor</i> (541BC3)	104
6.1.3	Sub-Sub Unit Peralatan Utama.....	105
6.1.3.1	<i>Fan</i> (541FN7).....	105

6.1.3.2	<i>Ball Mill</i> (541BM1)	107
6.1.4	Sub-Sub Unit Transportasi Produk.....	110
6.1.4.1	<i>Bucket Elevator</i> (561BE1).....	110
6.1.4.2	<i>Air Slide</i> (541AS5)	112
6.1.5	Sub-Sub Unit Transportasi Material	
	Ketiga	114
6.1.5.1	<i>Bucket Elevator</i> (512BE1 dan 541BE3).....	114
6.1.5.2	<i>Belt Conveyor</i> (512BC6)	114
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN		
7.1	Kesimpulan.....	115
7.2	Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA.....		
LAMPIRAN 1		
LAMPIRAN 2		
LAMPIRAN 3		
LAMPIRAN 4		
LAMPIRAN 5		
BIOGRAFI PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Alir Proses Produksi Semen PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.....	2
Gambar 2.1 Proses Penggilingan Awal di HRC.....	7
Gambar 2.2 Skema <i>Horizontal Mill</i>	8
Gambar 2.3 Alur Proses dan Skema Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	10
Gambar 2.4 Model Keandalan Sistem Seri	15
Gambar 2.5 Model Keandalan Sistem Paralel.....	16
Gambar 2.6 Model Keandalan Sistem Kombinasi	17
Gambar 2.7 <i>Bathub Curve</i>	18
Gambar 2.8 Tipikal Siklus Operasional Sistem	21
Gambar 2.9 Grafik Optimasi Waktu Pemeliharaan Pencegahan	32
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	36
Gambar 3.2 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak.....	39
Gambar 3.3 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line	40
Gambar 3.4 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama.....	40
Gambar 3.5 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk.....	41
Gambar 3.6 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga	41
Gambar 4.1 Sub Unit Penyusun Penggilingan Akhir 1 (Level 1).....	45
Gambar 4.2 Sub-Sub Unit Penyusun Penggilingan Akhir 1 (Level 2).....	46
Gambar 4.3 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak (Level 3)	46
Gambar 4.4 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line (Level 3)	47

Gambar 4.5 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama (Level 3)	48
Gambar 4.6 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk (Level 3)	48
Gambar 4.7 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga (Level 3).....	49
Gambar 4.8 Keandalan <i>Belt Conveyor</i> (521BC1)	58
Gambar 5.1 Struktur Hirarki Indeks Kelayakan Peralatan	68
Gambar 5.2 Grafik Indeks Kelayakan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	73
Gambar 6.1 Diagram Pareto Frekuensi Kegagalan pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Periode Januari 2013-Desember 2015	97
Gambar 6.2 Komponen Penyusun 521BC3.....	98
Gambar 6.3 Komponen Penyusun <i>Head Drum</i>	98
Gambar 6.4 Komponen Penyusun 541BC2.....	100
Gambar 6.5 Komponen Penyusun <i>Belt</i>	100
Gambar 6.6 Komponen Penyusun 521BE1	102
Gambar 6.7 Komponen Penyusun <i>Head Shaft</i>	102
Gambar 6.8 Komponen Penyusun <i>Reducer</i>	103
Gambar 6.9 Komponen Penyusun 541FN7	105
Gambar 6.10 Komponen Penyusun <i>Damper</i>	105
Gambar 6.11 Komponen Penyusun 541BM1	107
Gambar 6.12 Komponen Penyusun <i>Ball Mill Area Dalam</i> ..	108
Gambar 6.13 Komponen Penyusun 561BE1	110
Gambar 6.14 Komponen Penyusun <i>Driven</i>	110
Gambar 6.15 Komponen Penyusun 541AS5	112
Gambar 6.16 Komponen Penyusun <i>Casing</i>	112

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Frekuensi Kegagalan dan Jumlah <i>Downtime</i> Bulan Januari 2013-Desember 2015 Di Unit Penggilingan Akhir	3
Tabel 2.1 Kode Jenis Peralatan	12
Tabel 2.2 Skala Kepentingan AHP.....	27
Tabel 4.1 Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan dan Parameter Keandalan Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1	50
Tabel 4.2 Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Sub Unit Penggilingan Akhir 1	52
Tabel 4.3 Mean Time Between Failure (MTBF) dan Keandalan pada Saat MTBF Sub Unit Penggilingan Akhir 1 ..	56
Tabel 4.4 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Terak	60
Tabel 4.5 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit HRC Line	61
Tabel 4.6 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Peralatan Utama	62
Tabel 4.7 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Produk	63
Tabel 4.8 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga	64
Tabel 4.9 Nilai Keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	65
Tabel 5.1 Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria Seluruh Responden.....	69
Tabel 5.2 Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan Seluruh Responden .	70
Tabel 5.3 Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan Seluruh Responden..	70
Tabel 5.4 Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional Seluruh Responden....	71
Tabel 5.5 Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi Seluruh Responden..	71
Tabel 5.6 Indeks Kriteria Sub Unit Penggilingan Akhir 1	72
Tabel 5.7 Indeks Sub Kriteria Sub Unit Penggilingan Akhir 1	72

Tabel 5.8 Indeks Kelayakan Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	73
Tabel 5.9 Keandalan Aktual Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	74
Tabel 5.10 Keandalan Optimal Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	75
Tabel 5.11 Rekapitulasi Alokasi Keandalan Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	76
Tabel 5.12 Rekapitulasi Alokasi Keandalan Sub-Sub-Sub Unit di Sub Unit Penggilingan Akhir 1	77
Tabel 5.13 Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Berdasarkan Alokasi Keandalan	80
Tabel 5.14 Laju Biaya (C(t)) per Jam Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1	84
Tabel 5.15 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus..	86
Tabel 5.16 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun	88
Tabel 5.17 Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun	90
Tabel 6.1 Data Frekuensi Kegagalan pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Periode Januari 2013-Desember 2015	95
Tabel 6.2 Analisis Kerusakan <i>Head Drum</i>	98
Tabel 6.3 Analisis Kerusakan <i>Belt</i>	100
Tabel 6.4 Analisis Kerusakan <i>Head Shaft, Reducer</i> dan <i>Chain</i>	103
Tabel 6.5 Analisis Kerusakan <i>Bearing</i> dan <i>Damper</i>	106
Tabel 6.6 Analisis Kerusakan 541BM1	108
Tabel 6.7 Analisis Kerusakan <i>Driven</i>	111
Tabel 6.8 Analisis Kerusakan 541AS5.....	113

BAB I

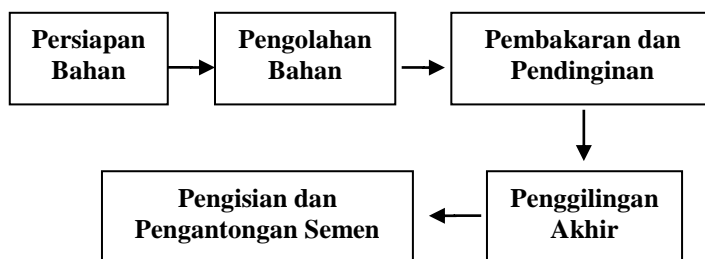
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan industri saat ini tidak lepas dari kemajuan teknologi dan permesinan. Tuntutan kinerja proses bisnis yang efektif dan efisien menyebabkan aplikasi teknologi sangat dibutuhkan di dalam sistem produksi barang. Hal ini diwujudkan dengan optimasi proses-proses produksi dengan menggunakan mesin-mesin yang dapat beroperasi secara otomatis. PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. merupakan perusahaan pembuat semen yang memproduksi dengan proses kontinu. Setiap industri yang beroperasi secara kontinu harus memelihara peralatan-peralatan produksinya secara efektif agar waktu beroperasi pabrik dapat mendekati bahkan mencapai kapasitas rancangannya (Nurmala, 2015). Dengan demikian, pemeliharaan peralatan yang efektif sangat dibutuhkan di dalam suatu perusahaan.

Produktivitas yang tinggi pada sebuah perusahaan dapat dicapai ketika proses produksi dalam suatu perusahaan berjalan dengan lancar. Permasalahan yang umum dihadapi oleh perusahaan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. adalah frekuensi kerusakan yang terjadi pada komponen-komponen mesin tertentu sehingga mengakibatkan terjadinya kehilangan waktu produksi. Hal ini disebabkan oleh banyak faktor, antara lain *breakdown* (kerusakan mesin secara tiba-tiba), jadwal pemeliharaan pencegahan yang kurang sesuai dengan kondisi umur mesin, dan ketersediaan suku cadang yang tidak sesuai dengan kebutuhan (PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., 2015). Berdasarkan data kegagalan Unit Penggilingan Akhir (*finish mill*) pabrik Tuban, pada tahun 2015 rata-rata terjadi *breakdown* hingga 19 kali dalam satu bulan. Berdasarkan frekuensi *breakdown* yang terjadi, perusahaan kehilangan waktu produksi rata-rata sebesar 105,66 jam per bulan.

Gambar 1.1 menunjukkan diagram alir proses produksi semen di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Proses yang terjadi pada Unit Penggilingan Akhir memegang peranan penting dalam hal penentuan kualitas semen yang diproduksi. Kegagalan yang sering terjadi pada peralatan-peralatan Unit Penggilingan Akhir akan menyebabkan tingginya *downtime* (waktu berhentinya peralatan produksi). Tabel 1.1 menunjukkan frekuensi kegagalan dan jumlah *downtime* dari enam sub unit penggilingan akhir jenis *horizontal mill* yang terdapat di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. untuk periode bulan Januari 2013 hingga bulan Desember 2015.



Gambar 1.1 Diagram Alir Proses Produksi Semen PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

(Utomo dkk., 2015).

Pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., Unit Penggilingan Akhir berada pada tahap kegagalan meningkat (*wear-out zone*). Pada tahap ini, jenis pemeliharaan peralatan yang paling baik adalah dengan pemeliharaan pencegahan. Keuntungan dari pemeliharaan pencegahan adalah dapat meminimalkan *downtime* dan menurunkan tingkat kegiatan pekerjaan yang bersifat darurat (Campbell dan Jardine, 1973). Tabel 1.1 menunjukkan frekuensi kegagalan terbesar berada pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1, yaitu sebesar 702 kali dengan jumlah *downtime* sebesar 3500,18 jam. Oleh karena itu, diperlukan metode pemeliharaan pencegahan yang tepat untuk

Sub Unit Penggilingan Akhir 1 agar memiliki keandalan yang tinggi.

Tabel 1.1 Frekuensi Kegagalan dan Jumlah *Downtime* Bulan Januari 2013–Desember 2015 di Unit Penggilingan Akhir

No.	Unit Penggilingan Akhir	Frekuensi Kegagalan	<i>Downtime</i> (jam)
1.	Penggilingan Akhir 1	702	3500,18
2.	Penggilingan Akhir 2	590	2884,56
3.	Penggilingan Akhir 3	510	2417,4
4.	Penggilingan Akhir 4	381	2283,4
5.	Penggilingan Akhir 5	490	2779,4
6.	Penggilingan Akhir 6	523	2781,99

(PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., 2016).

Target keandalan suatu rangkaian sistem dapat dicapai dengan alokasi dan optimasi keandalan sistem (Mettas, 2000). Penelitian ini akan menghasilkan dua formulasi. Pertama, yaitu *non linear programming* untuk perumusan masalah alokasi nilai keandalan. Kedua, yaitu formulasi biaya untuk digunakan dalam algoritma *non linear programming*. Nilai keandalan sistem didapatkan dari nilai keandalan sub sistem, yang nantinya akan digabungkan untuk dioptimasi (Malaiya, 2005).

Informasi nilai keandalan tiap peralatan sangat penting untuk menentukan jadwal pemeliharaan pencegahan. Pemeliharaan pencegahan yang terencana dengan baik dapat mengurangi pengeluaran biaya-biaya yang terjadi akibat berhentinya proses produksi semen akibat adanya kegagalan pada peralatan. Oleh sebab itu, penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan dengan metode alokasi dan optimasi diperlukan untuk meningkatkan keandalan peralatan-peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
2. Bagaimana menentukan laju biaya total pemeliharaan pencegahan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

1.2.1 Batasan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa batasan yang diberlakukan agar arah dari penelitian tidak meluas. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Analisis keandalan hanya dilakukan pada peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
2. Data kegagalan peralatan yang digunakan adalah data kegagalan yang mengakibatkan kehilangan jam kerja produksi dari bulan Januari tahun 2013 sampai dengan bulan Desember tahun 2015.
3. Data biaya perbaikan yang digunakan meliputi biaya pemeliharaan pencegahan dan biaya kegagalan peralatan dari bulan Januari tahun 2013 sampai dengan bulan Desember tahun 2015.
4. Tidak membahas kegagalan akibat tidak ada atau kurangnya bahan baku.

1.2.2 Asumsi Penelitian

Asumsi yang diberlakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Tidak terdapat kesalahan pengoperasian peralatan oleh operator produksi pada peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
2. Kemampuan teknisi Departemen Pemeliharaan di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. dalam melakukan pemeliharaan dan perbaikan dianggap sama dan telah sesuai dengan standar.

3. Untuk peralatan yang tidak memiliki data kegagalan, nilai keandalan dari peralatan tersebut diasumsikan sama dengan satu.
4. Distribusi data waktu antar kegagalan semua peralatan mengikuti distribusi Weibull 2.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan dengan melakukan alokasi dan optimasi keandalan pada peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
2. Menentukan laju biaya total pemeliharaan pencegahan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi pemeliharaan pencegahan yang sedang diterapkan pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. untuk perencanaan pemeliharaan atau pemeliharaan pencegahan, alokasi personel, penyediaan suku cadang, penjadwalan produksi, dan pembuatan anggaran tahunan di Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

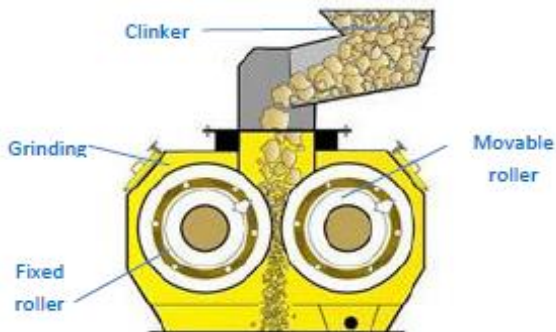
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Kerja Unit Penggilingan Akhir 1 (*Horizontal Mill*)

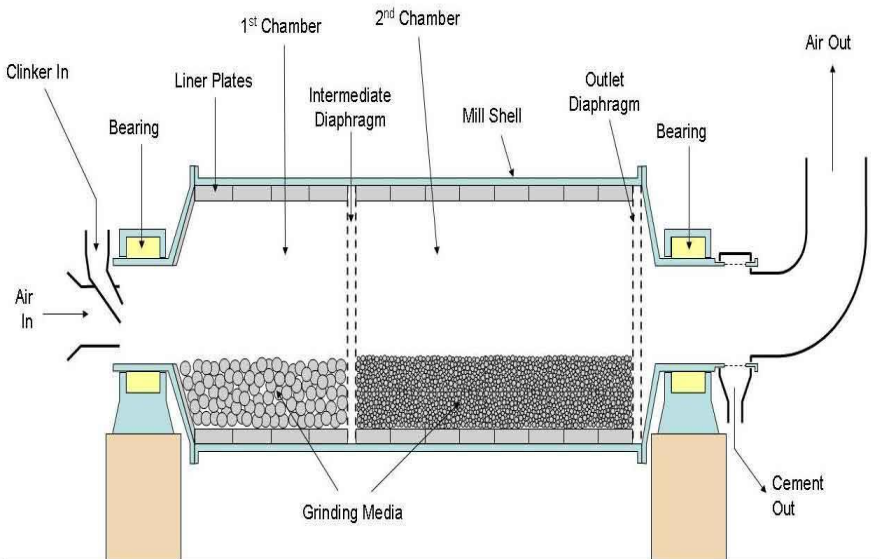
Proses penggilingan akhir (*finish mill*) merupakan proses lanjutan setelah *clinker* mengalami proses pendinginan. Pada proses ini, *clinker* akan dicampur dengan material aditif lain seperti *gypsum*, *fly ash*, *trass* dan *dolomith* dengan jumlah tertentu, tergantung pada jenis semen yang ingin diproduksi. Terdapat dua jenis unit penggilingan akhir di pabrik PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. yang dibedakan berdasarkan jenis *mill* utama yang digunakan, yaitu unit penggilingan akhir dengan menggunakan *horizontal mill* atau *ball mill* dan unit penggilingan akhir dengan menggunakan *vertical mill*.

Pada unit penggilingan akhir yang menggunakan *horizontal mill*, *clinker* atau terak yang dibawa oleh *belt conveyer* dimasukkan ke dalam *hydraulic roller crusher* (HRC) terlebih dahulu untuk proses penggilingan awal seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1. HRC memiliki dua buah *roll* dengan celah sebesar 4 mm yang berfungsi untuk menghaluskan material sebelum masuk ke dalam *horizontal mill*. Selanjutnya, material yang telah melalui proses penggilingan awal akan dibawa dengan *belt conveyer* menuju *horizontal mill*.



Gambar 2.1 Proses Penggilingan Awal di HRC

Pada prinsipnya *horizontal mill* menghaluskan material dengan menggunakan *grinding ball* yang memiliki ukuran yang berbeda-beda. *Grinding ball* berada di dua ruang (*chamber*) yang dipisahkan oleh *diaphragma screen* yang memiliki lubang-lubang kecil dengan diameter 3 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. *Chamber 1* dengan panjang 2,5 m berfungsi untuk melakukan penghancuran material yang masuk dengan cara tumbukan (*lifting*) hingga halus dengan memanfaatkan *grinding ball* berdiameter 40, 50, 60 dan 70 mm. *Chamber 2* dengan panjang 6 m berfungsi untuk menghancurkan material dengan cara gesekan (*friction*) sekaligus mencampur material tersebut dengan menggunakan *grinding ball* berukuran 17 dan 20 mm.

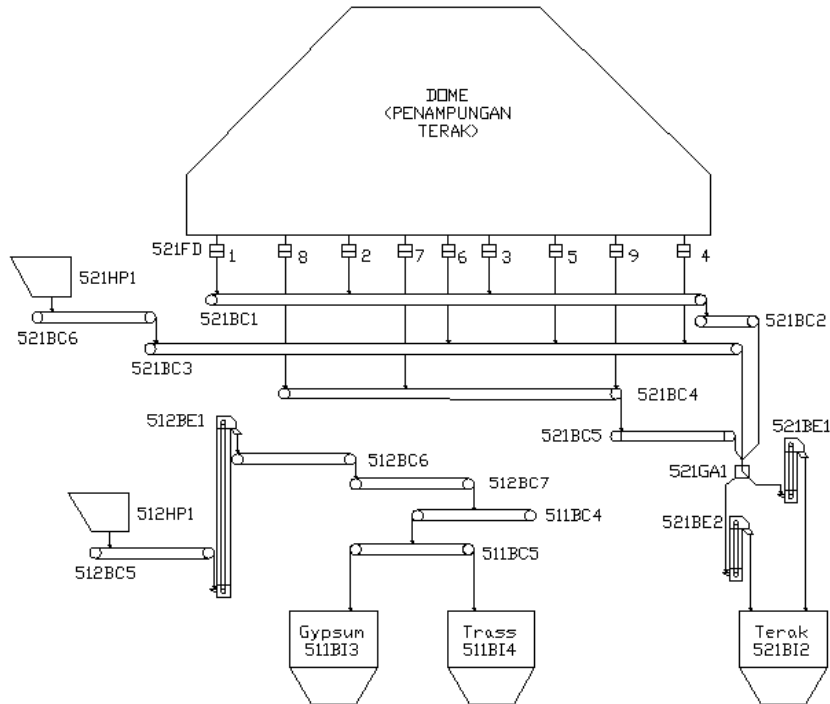


Gambar 2.2 Skema *Horizontal Mill*

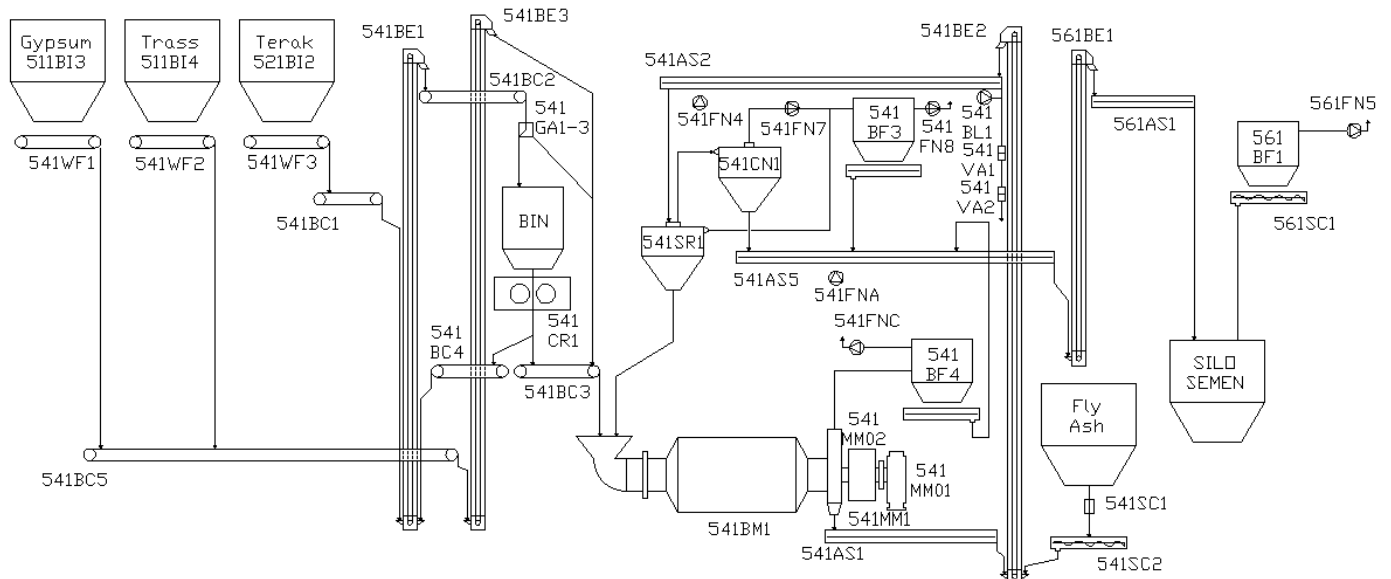
Material yang telah dihaluskan oleh *horizontal mill* selanjutnya akan dihisap oleh *fan* menuju ke *air separator*.

Apabila tidak memenuhi kriteria untuk dapat lolos dari *air separator*, material tersebut akan turun kembali melalui *flow meter* menuju ke *horizontal mill* untuk dilakukan penggilingan ulang. Material yang berhasil melewati *air separator* akan menuju ke *cyclone* yang selanjutnya akan diteruskan ke silo melalui *airslide* dan *bucket elevator* (Andriansyah dan Nuh, 2015). Alur proses penggilingan akhir dan peralatan yang digunakan pada Unit Penggilingan Akhir 1 dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Pada Gambar 2.3, dapat dilihat bahwa tiap-tiap peralatan ditandai dengan kode yang berbeda-beda. Hal ini dimaksudkan untuk memberi informasi kepada pihak perusahaan mengenai lokasi dan fungsi alat tersebut di dalam sistem. Angka 5 (lima) di awal penomoran memiliki arti bahwa peralatan tersebut berada di area *finish mill*. Angka 2 (dua) di urutan berikutnya menunjukkan bahwa alat tersebut dilalui oleh material *clinker* yang belum menuju ke *ball mill*, sedangkan angka 1 (satu) menunjukkan bahwa peralatan tersebut dilalui oleh material ketiga yaitu *trass*, *gypsum* dan *fly ash*. Namun, apabila memiliki angka 4 (empat) maka peralatan tersebut dilalui oleh material *clinker* yang menuju ke *ball mill*, sedangkan angka 6 (enam) menunjukkan bahwa peralatan tersebut dilalui oleh produk semen jadi setelah melalui proses *grinding* di *ball mill*. Angka 1 (satu) di urutan ketiga dalam kode ini memiliki arti bahwa peralatan tersebut beroperasi pada sistem *line* pertama dan angka 2 (dua) artinya peralatan tersebut merupakan peralatan tambahan dari *line* kedua untuk menambah kapasitas sistem di *line* pertama. Dua buah huruf berikutnya menunjukkan jenis peralatan tersebut, sedangkan angka di bagian akhir merupakan penomoran untuk peralatan sejenis pada sistem yang sama. Arti kode jenis peralatan ditunjukkan pada Tabel 2.1.



Gambar 2.3 Alur Proses dan Skema Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1



Gambar 2.3 Alur Proses dan Skema Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Lanjutan)

Tabel 2.1 Kode Jenis Peralatan

Kode	Jenis Peralatan
AS	<i>Air Slide</i>
BC	<i>Belt Conveyor</i>
BE	<i>Bucket Elevator</i>
BF	<i>Bag Filter</i>
BI	<i>Silo</i>
BL	<i>Blower</i>
BM	<i>Ball Mill</i>
CN	<i>Cyclone</i>
CR	<i>Hydraulic Roller Crusher</i>
FD	<i>Feed Discharge</i>
FN	<i>Fan</i>
GA	<i>Gate</i>
HP	<i>Hopper</i>
MM1	<i>Gearbox Mill</i>
MM01	<i>Motor Mill (besar)</i>
MM02	<i>Motor Mill (kecil)</i>
SC	<i>Flow Control</i>
SR	<i>Air Separator</i>
VA	<i>Valve</i>
WF	<i>Weight Feeder</i>

(PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., 2016).

2.2 Manajemen Pemeliharaan

Pemeliharaan adalah proses menjaga (*maintain*) mesin tertentu dalam kondisi normal secara rutin dan berulang agar dapat bekerja sesuai dengan ekspektasi tanpa menyebabkan kehilangan waktu akibat kerusakan. Dengan kata lain, pemeliharaan berarti pekerjaan yang diperlukan untuk menjaga peralatan dalam kondisi operasional sedemikian rupa sehingga dapat dimanfaatkan sesuai dengan kapasitas rancangannya (Mishra & Pathak, 2006). Kegiatan pemeliharaan dibedakan menjadi beberapa jenis (Mobley dkk., 2008), yaitu:

a. Pemeliharaan Kerusakan (*Breakdown Maintenance*)

Pemeliharaan kerusakan kurang memperhatikan kondisi operasi peralatan atau sistem yang kritis. Hal ini karena sebagian besar tugas-tugas pemeliharaan bersifat reaktif terhadap kerusakan atau interupsi produksi. Selama mesin dapat berfungsi pada tingkat minimum yang dapat diterima, pemeliharaan dinilai efektif. Pendekatan ini tidak efektif dan sangat mahal untuk manajemen pemeliharaan. Pemeliharaan kerusakan memiliki dua faktor yang merupakan kontributor utama penyebab biaya pemeliharaan yang tinggi, yaitu perencanaan yang buruk dan perbaikan yang tidak lengkap.

b. Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Pemeliharaan pencegahan atau *preventive maintenance* memiliki banyak pengertian. Secara harfiah, pemeliharaan pencegahan merupakan program pemeliharaan yang berkomitmen untuk menghapus atau mencegah tugas dari pemeliharaan korektif dan pemeliharaan kerusakan. Program pemeliharaan pencegahan yang komprehensif memanfaatkan evaluasi secara teratur terhadap peralatan, permesinan dan sistem pabrik yang kritis untuk mendeteksi potensi masalah, kemudian segera menjadwalkan tugas-tugas pemeliharaan untuk mencegah degradasi dalam kondisi operasi.

c. Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Pemeliharaan korektif bertugas untuk memperbaiki permasalahan yang sudah ada. Tidak seperti pemeliharaan kerusakan, pemeliharaan korektif difokuskan pada tugas-tugas yang rutin dan terencana, sehingga dapat mempertahankan semua peralatan kritis dari pabrik agar dapat bekerja dalam kondisi yang baik. Pemeliharaan korektif, sebagai bagian dari program pemeliharaan pencegahan yang komprehensif, merupakan pendekatan proaktif terhadap manajemen pemeliharaan. Tujuan pokok dari pendekatan ini adalah untuk menghilangkan kerusakan, penyimpangan dari kondisi operasi optimum dan

perbaikan yang tidak perlu. Hal ini bertujuan untuk mengoptimalkan efektivitas dari semua sistem pabrik yang kritis.

2.3 Konsep Keandalan

Peluang bahwa sebuah komponen mampu melaksanakan fungsinya, baik secara tunggal atau gabungan dari beberapa fungsi, tanpa mengalami kegagalan dalam suatu kondisi operasi dan periode waktu tertentu dapat diartikan sebagai keandalan (Ebeling, 1997). Keandalan digunakan untuk menentukan penjadwalan pemeliharaan yang termasuk dalam salah satu ukuran keberhasilan sistem pemeliharaan itu sendiri. Konsep keandalan juga digunakan pada berbagai industri, misalnya dalam penentuan interval waktu penggantian komponen suatu mesin.

Keandalan dari komponen merupakan peluang suatu komponen untuk tidak rusak atau dapat melakukan fungsinya selama periode waktu t atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.1)$$

dengan:

$f(t)$ = fungsi padat peluang (*pdf*) pada waktu t

$R(t)$ = keandalan (*reliability*) pada waktu t

$F(t)$ = peluang kegagalan pada waktu t

(Ebeling, 1997).

2.3.1 Penilaian Keandalan

Menurut Kocecioglu (1991), penilaian keandalan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu analisis kuantitatif dan analisis kualitatif. Analisis kuantitatif dapat dibedakan menjadi dua bagian besar, yaitu analisis keandalan dengan metode simulasi dan metode analisis statistik. Adapun analisis secara kuantitatif terdiri atas perhitungan langsung, pendekatan dengan probabilitas kondisional, proses *Markov*, simulasi *Monte Carlo* dan analisis *Weibull*.

Analisis secara kualitatif dalam penilaian keandalan dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan

menggunakan metode *failure mode effect analysis* (FMEA). Menurut Carlson (2012), FMEA merupakan suatu metode yang dirancang untuk mengidentifikasi dan memahami potensi model kegagalan dan penyebabnya, serta dampaknya bagi sistem. Tujuan utama dilakukannya FMEA yaitu untuk meningkatkan desain sistem, sub-sistem atau komponen dan proses manufaktur.

2.4 Pemodelan Sistem Keandalan

2.4.1 Sistem Seri

Peralatan yang dimodelkan dengan sistem seri dapat menjalankan fungsinya jika semua komponen dalam sistem tersebut beroperasi. Apabila salah satu komponen dalam sistem tidak beroperasi akibat kegagalan, keseluruhan sistem akan mengalami kegagalan. Gambar 2.4 menunjukkan blok diagram sistem dengan susunan seri. Menurut Ebeling (1997), jika keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ maka keandalan sistem seri dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_S &= R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n \\ &= \prod_{i=1}^n R_i(t) \end{aligned} \quad (2.2)$$

dengan:

R_S = keandalan sistem seri



Gambar 2.4 Model Keandalan Sistem Seri
(Buwana, 2006).

2.4.2 Sistem Paralel

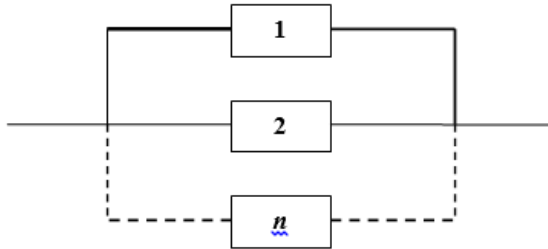
Peralatan yang dimodelkan dengan sistem paralel dapat menjalankan fungsinya jika paling tidak satu dari komponen penyusun sistem tersebut beroperasi. Kegagalan pada sistem paralel dapat terjadi apabila seluruh komponen penyusun sistem mengalami kegagalan. Gambar 2.5 menunjukkan blok diagram sistem dengan susunan paralel. Menurut Ebeling (1997), jika

keandalan masing-masing komponen adalah R_1, R_2, \dots, R_n maka keandalan sistem paralel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_P &= 1-(1-R_1)(1-R_2)\dots(1-R_n) \\ &= 1- \prod_{i=1}^n [1 - R_i (t)] \end{aligned} \quad (2.3)$$

dengan:

R_P = keandalan sistem paralel

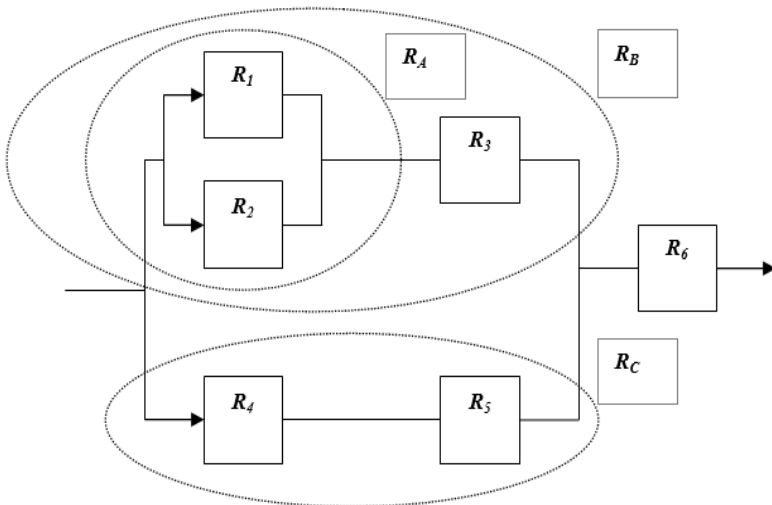


Gambar 2.5 Model Keandalan Sistem Paralel (Buwana, 2006).

2.4.3 Sistem Kombinasi

Sistem kombinasi merupakan gabungan antara peralatan yang dimodelkan dengan sistem seri dan sistem paralel. Gambar 2.6 menunjukkan blok diagram sistem kombinasi. Menurut Ebeling (1997), nilai keandalan dari sistem yang tersusun secara seri dan paralel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} R_A &= [1-(1-R_1)(1-R_2)] \\ R_B &= R_P(R_3) \\ R_C &= R_4(R_5) \\ R_{total} &= [1-(1-R_B)(1-R_C)](R_6) \end{aligned} \quad (2.4)$$

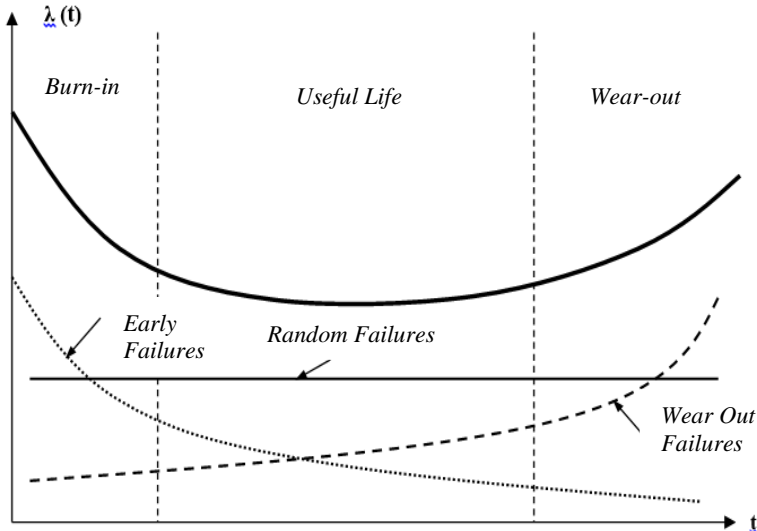


Gambar 2.6 Model Keandalan Sistem Kombinasi (Buwana, 2006).

2.5 Karakteristik Kegagalan

Kegagalan untuk sebagian besar operasi merupakan fungsi dari waktu (Slack, 2001). Pada banyak kasus, penggambaran laju kegagalan terhadap skala waktu kontinu akan menghasilkan *bathub curve* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. *Bathub curve* tidak menggambarkan tingkat kegagalan satu unit alat, tetapi menggambarkan tingkat kegagalan relatif seluruh populasi produk dari waktu ke waktu (Wilkins, 2002). Dari bentuknya, kurva tersebut dapat dibagi menjadi tiga zona atau tahap yang berbeda.

Zona-zona ini berbeda satu sama lain dalam laju kegagalan dan pola sebab-akibat sebagai berikut:



Gambar 2.7 *Bathub Curve*

(Billington, 1992).

1. Tahap Kegagalan Awal atau *Burn In Zone (Early Life)*

Dari Gambar 2.7 dapat dilihat bahwa daerah ini merupakan periode awal bekerjanya peralatan. Hal ini ditandai dengan tingkat kegagalan yang tinggi dan peralatan cenderung gagal ketika waktu kelangsungan hidupnya meningkat. Daerah tahap kegagalan awal memiliki periode waktu yang pendek dibandingkan dengan periode lainnya. Selain itu, dari kurva tersebut dapat diketahui penurunan laju kerusakan seiring dengan bertambahnya waktu. Pada umumnya, kerusakan yang terjadi disebabkan oleh kecacatan material, kesalahan pada saat proses fabrikasi dan manufaktur, belum terampilnya operator dan pengoperasian yang tidak tepat. Pada kasus ini, keandalan dapat ditingkatkan dengan menyelesaikan permasalahan-permasalahan tersebut (Dodson, 2002).

2. Tahap Kegagalan Konstan atau *Useful Life Time Zone*

Useful life time zone adalah daerah yang diikuti dengan periode tingkat kegagalan yang hampir konstan. Pada daerah ini, kegagalan terjadi murni akibat peluang. Daerah ini merupakan satu-satunya wilayah dimana distribusi eksponensial dapat benar. Dengan demikian, waktu antar kegagalan didistribusikan secara eksponensial (Cheng, 2006).

3. Tahap Kegagalan Meningkat (*Wear-out Zone*)

Tahap kegagalan meningkat ditandai dengan meningkatnya tingkat kegagalan yang cepat seiring berjalannya waktu. Tahap ini lebih jelas jika dibandingkan dengan dua periode lainnya. Pada tahap ini fungsi kepadatan kegagalan akan meningkat, kemudian menurun hingga nol untuk keusangan komponen (Billington, 1992).

Pada analisa *Weibull*, terdapat perbedaan nilai β untuk ketiga tahap di atas. Nilai β merupakan parameter bentuk atau *slope parameter* yang menggambarkan kemiringan garis plot dalam grafik *Weibull*. Untuk *burn in zone*, nilai $\beta < 1$, sedangkan *useful life time zone* memiliki nilai $\beta = 1$. Nilai β pada *wear-out zone* berkisar antara 1 dan 4 ($1 < \beta < 4$) dan *old age wear-out zone* bernilai lebih dari 4 ($\beta > 4$) (Nurmala, 2015). Perlu diperhatikan bahwa *bathub curve* umumnya digunakan sebagai model visual untuk menggambarkan tiga periode utama kegagalan produk dan tidak dikalibrasi untuk menggambarkan grafik perilaku yang diharapkan untuk jenis produk tertentu. Sangat jarang untuk memiliki cukup informasi mengenai kegagalan jangka pendek dan kegagalan jangka panjang untuk benar-benar memodelkan populasi produk dengan *bathub curve* yang terkalibrasi (Wilkins, 2002).

2.6 Laju Kegagalan (λ) dan *Mean Time Between Failure (MTBF)*

Laju kegagalan (*failure rate*) dan MTBF sangat umum digunakan dalam pengukuran keandalan. Laju kegagalan secara sederhana merujuk kepada frekuensi kegagalan, atau laju dimana

kegagalan terjadi selama suatu interval waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

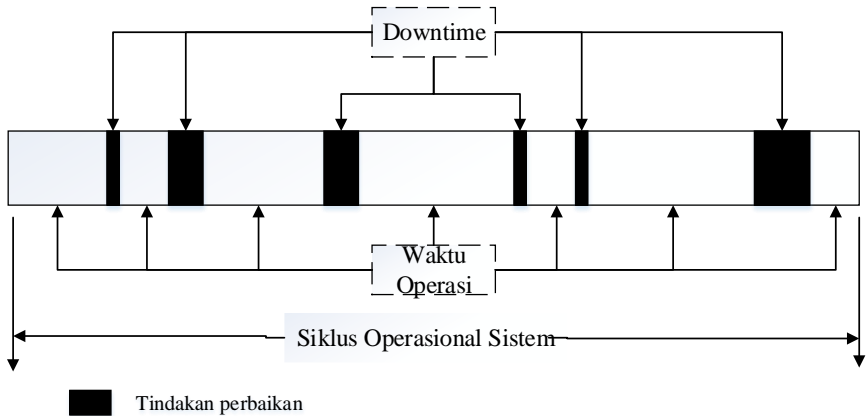
$$\lambda = \frac{\text{Jumlah Kegagalan}}{\text{Total Waktu Operasi}} \quad (2.5)$$

Mean time between failure (MTBF) atau waktu rata-rata antar kegagalan merupakan rata-rata waktu operasi komponen (*assembly*) atau sistem tanpa mengalami kegagalan (Ebeling, 1997). Rata-rata waktu ini tidak termasuk waktu yang dihabiskan untuk menunggu perbaikan, saat perbaikan, dan aktivitas lainnya seperti inspeksi, pemeliharaan pencegahan, dan lain-lain. Dengan mengasumsikan fungsi kepadatan waktu (*time density function*) eksponensial, umur rata-rata sistem atau MTBF dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Total Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Kegagalan}} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 menunjukkan bahwa nilai MTBF dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu waktu operasi peralatan dan jumlah kegagalan dalam satu siklus operasional sistem. Gambar 2.8 menunjukkan tipikal siklus operasional sistem yang menggambarkan banyaknya kegagalan yang terjadi pada suatu sistem yang ditandai dengan balok berwarna hitam dalam satu siklus operasional. Panjang-pendeknya balok tersebut menunjukkan durasi yang dibutuhkan oleh tim pemeliharaan untuk melaksanakan kegiatan perbaikan terhadap kegagalan yang terjadi. Dari ilustrasi tersebut, dapat diketahui bahwa durasi perbaikan juga mempengaruhi nilai MTBF. Dengan demikian, untuk dua buah peralatan dengan nilai MTBF yang sama dapat memiliki riwayat kerusakan yang berbeda.



Gambar 2.8 Tipikal Siklus Operasional Sistem (Blanchard, 1995).

2.7 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean time to failure (MTTF) umumnya digunakan sebagai ukuran keandalan untuk sistem yang tidak dapat diperbaiki (*nonrepairable*). MTTF merupakan nilai rata-rata dari variabel acak kontinu yang disebut sebagai *time to failure*. Persamaan untuk mendapatkan nilai MTTF dapat dituliskan sebagai berikut:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.8)$$

(Ramakumar, 1993).

2.8 Distribusi Data Antar Kegagalan

Menurut teori keandalan, penentuan model probabilitas peralatan yang umumnya dinyatakan dalam distribusi statistik, merupakan langkah awal dalam menghitung keandalan suatu peralatan. Distribusi statistik yang umumnya digunakan merupakan distribusi kontinu karena sangat sesuai untuk sistem yang beroperasi secara kontinu. Terdapat beberapa jenis distribusi kontinu yang biasanya digunakan dalam analisis keandalan, yaitu distribusi *Weibull*, distribusi eksponensial, distribusi normal, dan

distribusi lognormal. Dari beberapa distribusi statistik tersebut, akan didapatkan parameter distribusi yang selanjutnya digunakan untuk menentukan fungsi padat peluang atau *probability density function (pdf)*, keandalan dan rata-rata waktu antar kegagalan atau *mean time between failure (MTBF)*.

2.8.1 Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* diperkenalkan pertama kali oleh seorang professor asal Swedia yang bernama Waloddi Weibull pada tahun 1951. Ia menunjukkan kemampuan distribusi Weibull untuk digunakan dengan sampel berukuran kecil dan fleksibilitasnya untuk memberikan model yang baik untuk berbagai macam set data. Hal ini yang membuat distribusi *Weibull* menjadi sangat populer di kalangan insinyur dan praktisi kualitas dalam memodelkan data keandalan (Dodson, 2002). Fungsi padat peluang dari distribusi *Weibull* adalah (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.9)$$

dimana, $f(t) \geq 0$, $t \geq 0$, $\eta > 0$, $\beta > 0$

η = parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$

β = parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$

Apabila distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen atau sistem mengikuti distribusi *Weibull*, fungsi keandalan dan MTBF-nya dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan berikut (Ebeling, 1997):

a. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.10)$$

b. *Mean time between failure (MTBF)*

$$\text{MTBF} = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.11)$$

Notasi Γ adalah fungsi Gamma, dengan $\Gamma(n)$ dapat diperoleh melalui perhitungan dengan bantuan *Microsoft Excel*.

2.8.2 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial biasanya digunakan dalam pembentukan model distribusi umur pakai (*lifetime*) dan proses stokastik secara umum. Distribusi eksponensial menggambarkan distribusi umur pakai dengan *hazard rate* konstan (Balakrishnan & Basu, 1995). Fungsi padat peluang dari distribusi eksponensial adalah (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0, \lambda > 0 \quad (2.12)$$

Apabila distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen atau sistem mengikuti distribusi eksponensial, fungsi keandalan dan MTBF-nya dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan berikut (Ebeling, 1997):

a. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.13)$$

b. *Mean time between failure* (MTBF)

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.14)$$

2.8.3 Distribusi Normal

Distribusi normal adalah model utama untuk semua statistik terapan. Penggunaannya dalam keandalan agak terbatas, namun memiliki sejumlah aplikasi. Salah satu kegunaan terbesarnya yaitu penggunaannya pada analisis yang berkaitan dengan distribusi lognormal (Stephens, 2012). Fungsi padat peluang dari distribusi normal adalah (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.15)$$

dengan:

σ = deviasi standar

μ = rata-rata (*mean*)

Apabila distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen atau sistem mengikuti distribusi normal, fungsi keandalan dan MTBF-nya dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan berikut (Ebeling, 1997):

- a. Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt \quad (2.16)$$

- b. *Mean time between failure* (MTBF)

$$MTBF = \mu \quad (2.17)$$

2.8.4 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal erat hubungannya dengan distribusi normal. Jika waktu kegagalan, “t”, adalah lognormal maka “ln t” adalah normal. Analisis distribusi lognormal memanfaatkan hubungan tersebut dan kesederhanaan penggunaan *inverse* normal standar (Stephens, 2012). Fungsi padat peluang dari distribusi lognormal adalah (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \frac{1}{t.\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [\ln t - \mu]^2\right\} \quad (2.18)$$

dengan:

σ = deviasi standar

μ = rata-rata (*mean*)

Apabila distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen atau sistem mengikuti distribusi lognormal, fungsi keandalan dan MTBF-nya dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan berikut (Ebeling, 1997):

- a. Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi\left[\frac{1}{\sigma} \ln\left(\frac{t}{e\mu}\right)\right] \quad (2.19)$$

Notasi Φ adalah *cumulative probability distribution function* dari fungsi lognormal.

- b. *Mean time between failure* (MTBF)

$$MTBF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.20)$$

2.9 Pengujian Distribusi

Dalam pengujian distribusi statistik, dilakukan *curve fitting* antara data dan model distribusi untuk memperkirakan parameter keandalan dari data kegagalan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan metode regresi *least square*, baik *linear* maupun *non linear* (Dodson, 2002). Kesesuaian pemilihan

distribusi statistik data antar waktu kegagalan ditentukan oleh tiga parameter pengujian, yaitu *average goodness of fit*, *average of plot* dan *likelihood function ratio*.

2.9.1 Average Goodness of Fit (AvGOF)

AvGOF merupakan parameter uji yang memberikan nilai terhadap data waktu antar kegagalan berdasarkan *normalized index* dari *goodness of fit* (kesesuaian). Menurut Ebeling (1997), uji *goodness of fit* (kesesuaian) antara frekuensi hasil pengamatan dengan frekuensi yang diharapkan dapat digunakan untuk menganalisis kesesuaian data. Selain cara ini, terdapat pula alternatif lain yaitu uji *Kolgomorov-Smirnov* (KS), yang beranggapan bahwa distribusi variabel yang sedang diuji bersifat kontinu dan sampel diambil dari populasi sederhana. Dari uji KS didapatkan nilai AvGOF dengan membandingkan distribusi empiris data dengan distribusi teoritis tertentu yang dihipotesiskan. Pada prinsipnya nilai KS yang semakin besar mengindikasikan ketidaksesuaian hasil uji distribusi.

2.9.2 Average of Plot (AvPlot)

Parameter uji AvPlot menunjukkan ukuran yang digunakan untuk mengplot nilai hasil uji distribusi. AvPlot memberikan nilai terhadap data waktu antar kegagalan. Nilai AvPlot didasarkan pada *normalized index* dari uji *plot fit*. Semakin kecil nilai Avplot, akan semakin tepat distribusi yang diuji (Buwana, 2006).

2.9.3 Likelihood Function Ratio (LKV)

Parameter uji yang memberikan nilai terhadap data waktu antar kegagalan berdasarkan atas perhitungan parameter distribusi data antar kegagalan disebut sebagai *likelihood function ratio* (LKV). Hal ini dilakukan dengan menggunakan pengujian hipotesis yang membandingkan *goodness of fit* dari dua model untuk menentukan salah satu dari model tersebut yang lebih sesuai dengan sampel data yang dimiliki. LKV bersifat fleksibel

dan dapat mengakomodasi satu atau beberapa perkiraan (Enders, 2010). Setelah melakukan pengujian terhadap model distribusi dengan ketiga metode pengujian tersebut, selanjutnya dilakukan pembobotan terhadap masing-masing parameter pengujian. Untuk menetapkan besaran bobot pada setiap parameter tersebut digunakan nilai baku yang telah ditetapkan pada perangkat lunak *Weibull++6*.

2.10 Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

AHP yang diperkenalkan oleh Thomas Saaty adalah suatu alat yang efektif dalam menghadapi pengambilan keputusan yang kompleks dan dapat membantu pengambil keputusan untuk menetapkan prioritas dan membuat keputusan terbaik. Hal ini dilakukan dengan cara mengurangi kompleksitas keputusan menjadi serangkaian perbandingan berpasangan, kemudian mensintesisakan hasilnya. AHP membantu untuk menangkap kedua aspek subjektif dan objektif dari sebuah keputusan.

Tahapan-tahapan dalam menggunakan metode AHP adalah sebagai berikut (Saaty, 1998):

1. Pengidentifikasian sistem
Mengidentifikasi sistem sesuai dengan tujuan dari penelitian.
2. Penyusunan hirarki
Abstraksi struktur suatu sistem yang mempelajari fungsi interaksi antara komponen dan dampak yang ditimbulkan pada sistem disebut sebagai hirarki. Penyusunan hirarki atau struktur keputusan dilakukan untuk menggambarkan elemen sistem atau alternatif keputusan yang teridentifikasi.
3. Penentuan prioritas
Penentuan prioritas dilakukan dengan cara membandingkan setiap elemen dengan elemen yang lainnya sehingga didapatkan nilai tingkat kepentingan elemen dalam bentuk kualitatif. Teknik ini disebut sebagai perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Untuk mengkonversikan hal tersebut ke dalam bentuk kuantitatif, digunakan skala kepentingan yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Skala Kepentingan AHP

Tingkat Kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	Sama pentingnya	Kedua elemen sama pentingnya
3	Tidak jauh berbeda	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada yang lain (elemen yang satu, 3 kali lebih penting)
5	Lebih kuat dan jelas perbedaannya	Elemen yang satu lebih penting atau sangat penting daripada elemen yang lain (elemen yang satu, 5 kali lebih penting)
7	Lebih kuat dan mendominasi yang lain	Satu elemen jelas lebih penting daripada elemen yang lain (elemen yang satu, 7 kali lebih penting)
9	Mutlak lebih penting	Satu elemen mutlak lebih penting daripada elemen yang lain (elemen yang satu, 9 kali lebih penting)
2, 4, 6, 8	Nilai-nilai diantara dua pertimbangan yang berdekatan	Kolom tingkat kepentingan dapat diisi dua tanda silang (x) diantara dua kolom yang dimaksud

(Saaty, 1988).

4. Pemeriksaan indeks konsistensi

Menurut Saaty (1988), tahapan-tahapan yang dilakukan pada pemeriksaan indeks konsistensi adalah:

 - a. Menentukan hasil sintesis pertimbangan.
 - b. Mengalikan setiap *entry* pada tiap-tiap kolom dari matriks dengan hasil sintesis pertimbangan.

- c. Membagi setiap *entry* dalam kolom jumlah baris dengan *entry* yang sesuai dari vektor prioritas untuk mendapatkan λ_{maks} .
- d. Menghitung *consistency index* (CI) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{maks}} - n}{(n-1)} \quad (2.21)$$

dengan:

λ_{maks} = nilai *eigen* maksimum

n = ukuran matriks

- e. Menghitung *consistency ratio* (CR)

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.22)$$

dengan:

CI = *consistency index*

RI = *random index*

5. Penentuan bobot prioritas

Bobot prioritas hasil perbandingan berpasangan AHP mencerminkan relatif pentingnya elemen-elemen dalam hirarki. Terdapat 3 jenis bobot prioritas, yaitu:

- a. *Local priority weights* (LPW) menyatakan relatif pentingnya sebuah elemen dibandingkan dengan induknya.
- b. *Average priority weights* (APW) menyatakan relatif pentingnya sebuah elemen dibandingkan dengan satu set induknya.
- c. *Global priority weights* (GPW) menyatakan relatif pentingnya sebuah elemen terhadap tujuan keseluruhan.

2.11 Penetapan Target Keandalan yang Optimal

Setelah melakukan penilaian terhadap keandalan sistem maka dapat diketahui tercapai atau tidaknya keandalan sistem aktual dalam memenuhi target keandalan yang telah ditetapkan. Apabila belum tercapai, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan keandalan sistem tersebut. Menurut Mettas (2000), keandalan sistem ditentukan oleh keandalan dari masing-masing

komponen atau sub sistem penyusun sistem tersebut. Keandalan sistem akan tinggi apabila keandalan komponen atau sub sistem penyusun sistem tersebut juga tinggi. Untuk mengalokasikan keandalan pada sub sistem penyusun suatu sistem, dapat digunakan *non linear programming* dan formulasi fungsi biaya. Pengalokasian keandalan menghasilkan nilai keandalan sistem yang optimal dengan biaya minimal. Hal ini dapat dilakukan dengan memodelkan permasalahan menggunakan *non linear programming* sebagai berikut:

$$P: \min C = \sum_{i=1}^n c_i(R_i) \quad (2.23)$$

$$\text{batasan:} \quad R_S \geq R_G,$$

$$R_{i,\min} \leq R_i \leq R_{i,\max}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

dengan:

P = permasalahan

C = biaya sistem

$c_i(R_i)$ = biaya sub sistem i

R_i = keandalan sub sistem i

n = jumlah sub sistem yang dipertimbangkan dalam optimasi

$R_{i,\min}$ = keandalan minimum sub sistem i

$R_{i,\max}$ = keandalan maksimum sub sistem i

R_S = keandalan sistem

R_G = keandalan sistem yang ingin dicapai

Persamaan 2.23 menunjukkan bahwa biaya komponen atau sub sistem sangat menentukan hasil optimasi. Namun pada kenyataannya, data mengenai biaya relatif sulit untuk didapatkan. Hal ini dikarenakan data historis dari komponen atau sub sistem tidak ada maupun alokasi biaya pada komponen atau sub sistem tersebut sulit untuk dilakukan. Menurut Mettas (2000), apabila hal tersebut terjadi, dengan memandang sifat-sifat dari fungsi biaya maka dapat diformulasikan hubungan antara biaya dengan fungsi keandalan sebagai berikut:

$$c_i(R_i, f_i, R_{i,\min}, R_{i,\max}) = e^{[(1-f_i) \frac{R_i - R_{i,\min}}{R_{i,\max} - R_{i,\min}}]} \quad (2.24)$$

Pada persamaan 2.24, terdapat tiga variabel yang bersifat eksponensial, yaitu:

1. f_i , adalah indeks kelayakan (*feasibility index*) untuk peningkatan keandalan sistem. Indeks kelayakan menunjukkan tingkat kesulitan peningkatan keandalan dari sistem. f_i diasumsikan bernilai antara 0-1. Nilai ini tergantung pada kompleksitas dari desain, tingkat kekritisannya, ketersediaan suku cadang, kondisi operasi, dan lain-lain. Biaya yang dibutuhkan akan semakin besar apabila peningkatan keandalan suatu sistem semakin sulit. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.24, dimana besarnya biaya akan semakin mendekati tak terhingga apabila nilai f_i semakin kecil.
2. $R_{i \min}$, adalah nilai keandalan awal atau nilai keandalan sistem terkini. Nilai keandalan dari sistem ke- i untuk waktu operasi tertentu didapatkan dari fungsi keandalan yang sesuai dengan distribusi data kegagalan komponen atau sub sistem yang bersangkutan.
3. $R_{i \max}$, adalah nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai oleh sistem. Besarnya nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai adalah 1. Biaya peningkatan keandalan sistem akan semakin cepat mencapai nilai tak terhingga apabila nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai suatu sistem semakin kecil.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap biaya peningkatan keandalan komponen, model fungsi biaya pada persamaan 2.24 dapat ditentukan. Adapun hal-hal yang perlu diamati, yaitu:

- a. Peningkatan biaya sebagai fungsi dari alokasi keandalan berawal dari keandalan minimum ($R_{i \min}$), nilai keandalan sekarang sampai keandalan maksimum yang mungkin dicapai oleh sistem ($R_{i \max}$).
- b. Biaya sebagai fungsi dari selang peningkatan dimana terdapat perbedaan antara nilai $R_{i \min}$ dan $R_{i \max}$.

- c. Nilai eksponen pada persamaan 2.24 mendekati tak terhingga saat keandalan mendekati titik maksimum yang mungkin dicapai. Biaya selalu meningkat seiring dengan peningkatan keandalan komponen.

Persamaan 2.24 memiliki peranan hanya sebagai pembobot biaya peningkatan nilai keandalan suatu sistem. Nilai keandalan yang dinilai meliputi nilai sekarang terhadap sistem lain dalam suatu sistem yang dioptimasi. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penggunaan persamaan 2.24 adalah:

- a. Peningkatan biaya merupakan fungsi dari nilai keandalan sistem.
- b. Sistem keandalan yang tinggi memiliki biaya yang tinggi pula.
- c. Sistem keandalan yang rendah memiliki biaya yang rendah.

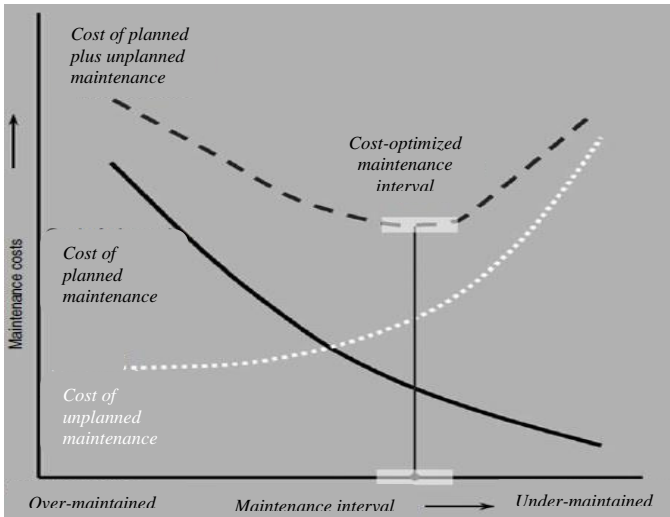
Untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan ini, algoritma *non linear programming* pada perangkat lunak *WinQSB* akan digunakan. Hal ini bertujuan sebagai alat bantu dalam optimasi alokasi keandalan dengan fungsi biaya yang dapat dilihat pada persamaan 2.24.

2.12 Optimasi Biaya Interval Pemeliharaan

Selama proses operasi seluruh peralatan akan mengalami penurunan kinerja (Ushakov dan Harison, 1994) sehingga perlu dilakukan perencanaan interval waktu pemeliharaan pencegahan untuk menghindari kegagalan. Hal ini dilakukan agar perusahaan dapat meminimalkan pengeluaran biaya akibat terjadinya kegagalan. Oleh karena itu, dibutuhkan kegiatan pemeliharaan yang terjadwal dengan baik untuk menghindari pengeluaran biaya yang tidak diperlukan akibat kegagalan.

Pemeliharaan pencegahan dapat dilakukan apabila nilai laju kegagalan semakin tinggi. Pada *bathub curve*, hal ini ditunjukkan dengan distribusi *Weibull* yang bernilai $\beta > 1$. Daerah tersebut disebut juga sebagai *wear-out zone* (tahap kegagalan meningkat). Menurut Jardine (1973), kegagalan sistem atau peralatan yang terjadi di daerah ini dapat dicegah dengan

pemeliharaan pencegahan. Oleh karena itu, penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang menghasilkan laju biaya pemeliharaan pencegahan yang minimal mutlak diperlukan. Hal ini dapat dilakukan dengan meminimalkan total biaya per unit waktu yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Grafik Optimasi Waktu Pemeliharaan Pencegahan (Kister dan Hawkins, 2006).

Persamaan yang digunakan untuk total biaya per unit waktu tersebut adalah:

$$C(t) = \frac{C_p \times R(t) + C_f \times (1 - R(t))}{T_p \times R(t) + M(t) \times (1 - R(t))} \quad (2.25)$$

$$\text{dimana } M(t) = \int_0^{T_p} \frac{t f(t) dt}{(1 - R(t))} \quad (2.26)$$

sehingga persamaan (2.28) menjadi:

$$C(t) = \frac{C_p \times R(t) + C_f \times (1 - R(t))}{t R(t) + \int_0^t t f(t) dt} \quad (2.27)$$

dengan:

C = total biaya per unit waktu

C_p = biaya pemeliharaan pencegahan
 C_f = biaya perbaikan kegagalan
 R = nilai keandalan
 f = fungsi padat peluang dari kegagalan peralatan
 M = waktu rata-rata antar kegagalan
 t = umur pemeliharaan pencegahan peralatan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODE PENELITIAN

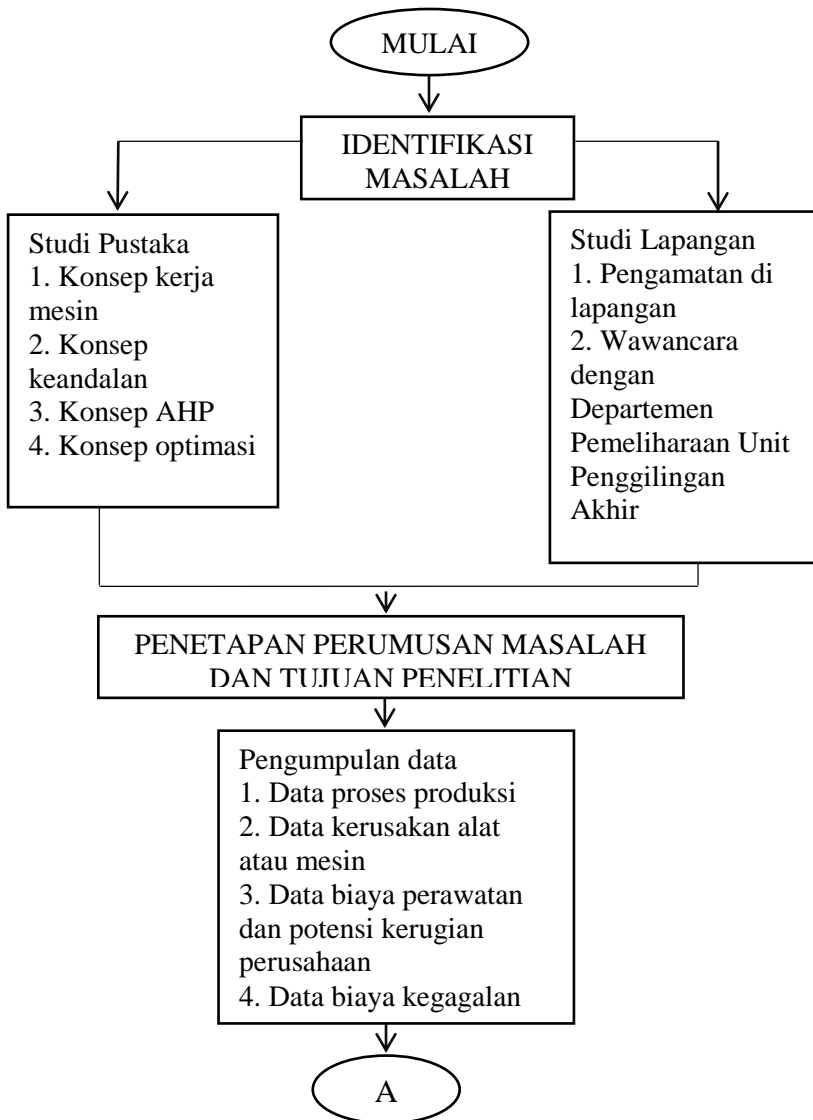
Penelitian ini dilakukan untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan dan laju biaya total pemeliharaan pencegahan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Untuk melakukan penelitian ini digunakan sebuah metode yang terstruktur, yang di dalamnya terdapat langkah-langkah dan aturan-aturan tertentu untuk mendapatkan hasil penelitian secara benar. Tahapan dari penelitian ini secara rinci dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.1 Studi Lapangan

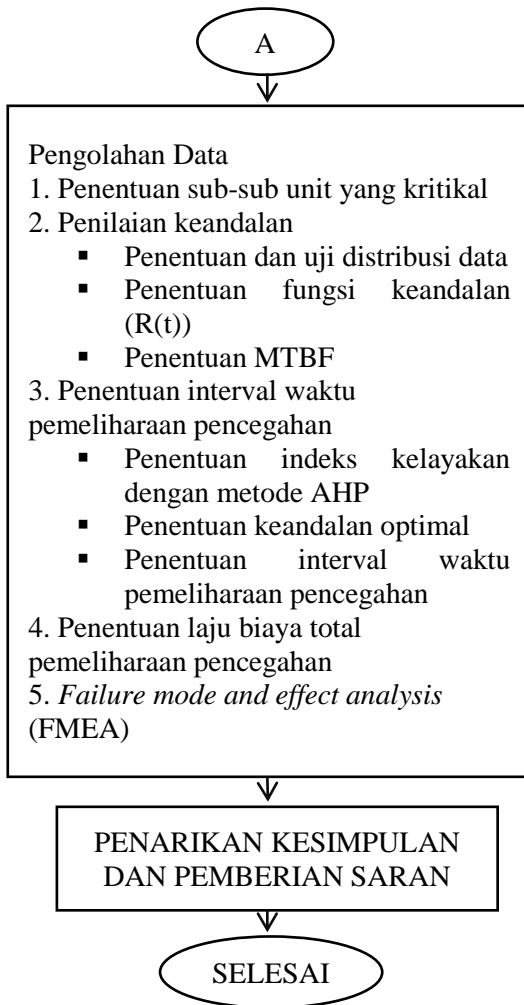
Studi lapangan dilakukan dengan meneliti peralatan-peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Data kegagalan peralatan diperoleh dari data *downtime* yang berasal dari data operasi produksi. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan identifikasi masalah pemeliharaan yang terjadi di Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk membantu penulis dalam merumuskan masalah serta menentukan hal-hal yang perlu dilakukan agar tidak terjadi duplikasi penelitian atau karya di masa lalu yang sudah pernah dilakukan oleh peneliti lain. Sumber yang digunakan dalam studi literatur ini adalah abstrak hasil penelitian, jurnal, dan buku referensi.



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian (Lanjutan)

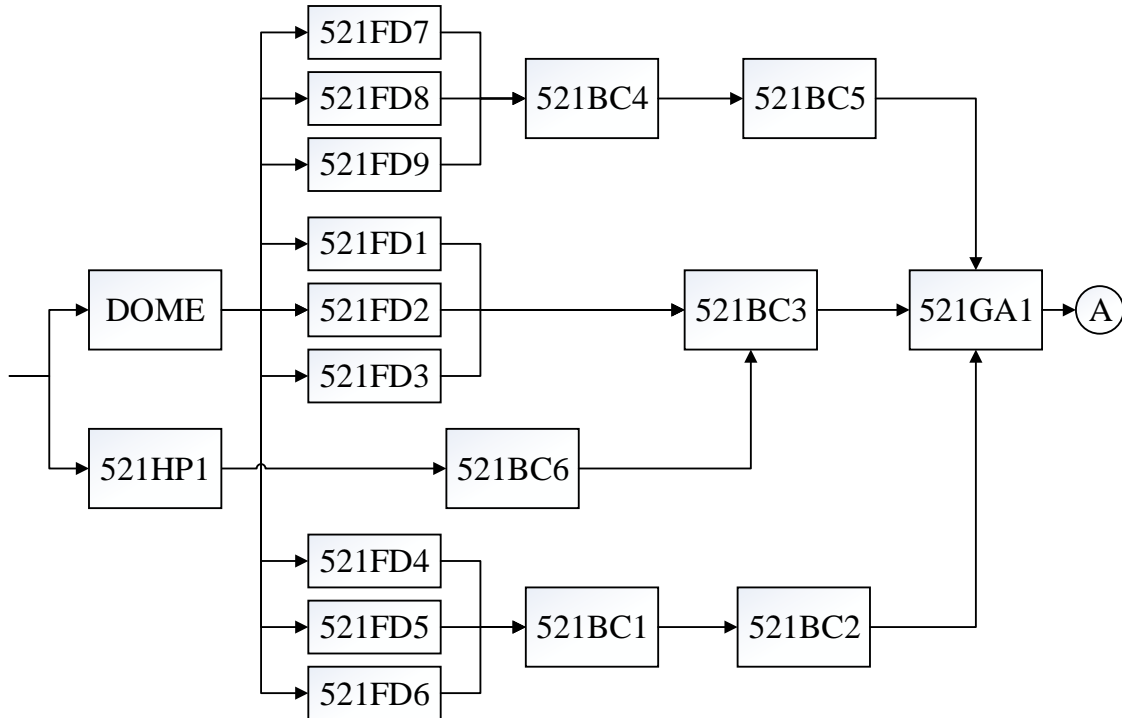
3.3 Penetapan Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan studi lapangan yang dilakukan dengan didukung studi literatur dari berbagai referensi sebagai dasar pemikiran dalam penelitian, diputuskan untuk memfokuskan permasalahan pada analisis keandalan terhadap peralatan-peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan dengan melakukan alokasi dan optimasi keandalan pada peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 dan menentukan laju biaya total pemeliharaan pencegahan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

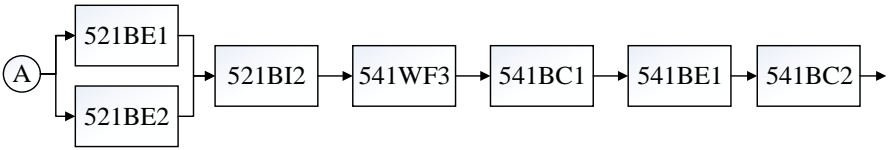
3.4 Pengumpulan Data

Data utama yang menjadi dasar analisis keandalan adalah data beda waktu antar kegagalan. Oleh karena itu, dilakukan pengumpulan data *downtime* masing-masing peralatan yang dianggap kritis pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Adapun data yang dikumpulkan berupa data *downtime* peralatan, biaya pemeliharaan pencegahan, dan biaya kegagalan dari bulan Januari 2013 sampai dengan bulan Desember 2015 serta aliran proses di Sub Unit Penggilingan Akhir 1 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

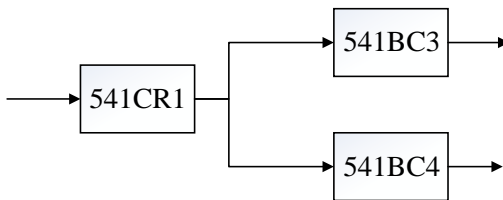
Sebelum melakukan pengumpulan data *downtime* peralatan, dilakukan pemodelan sistem terhadap peralatan penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan secara benar. Sub Unit Penggilingan Akhir 1 disusun oleh Sub-Sub Unit Transportasi Terak, Sub-Sub Unit HRC Line, Sub-Sub Unit Peralatan Utama, Sub-Sub Unit Transportasi Produk, dan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga. Masing-masing sub-sub unit disusun oleh sub-sub-sub unit yang dapat dilihat pada Gambar 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 dan 3.7.



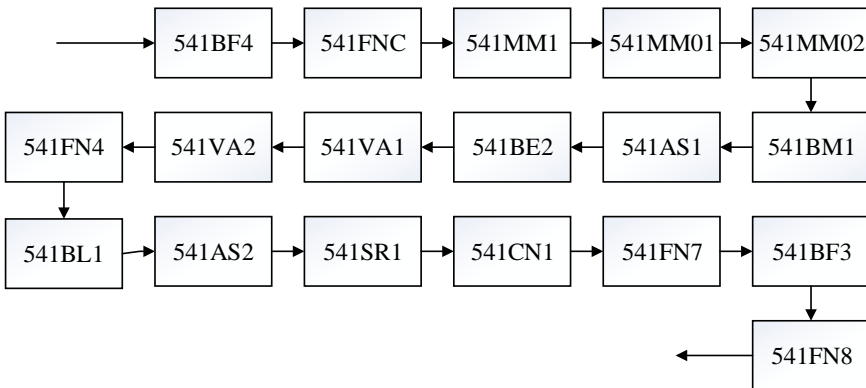
Gambar 3.2 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak



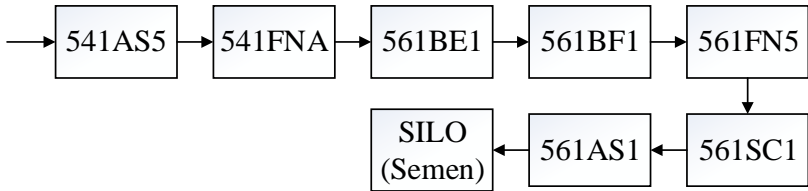
Gambar 3.2 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak (Lanjutan)



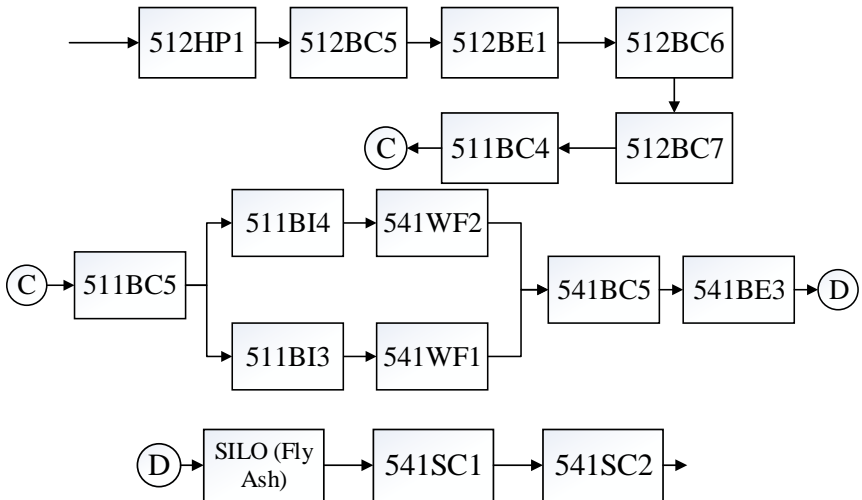
Gambar 3.3 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line



Gambar 3.4 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama



Gambar 3.5 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk



Gambar 3.6 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

Selain itu, diperlukan pula data tambahan yang didapatkan dari kuisisioner yang diisi oleh para ahli (*expert*) Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Hasil kuisisioner tersebut diperlukan sebagai input dalam penggunaan metode AHP untuk menentukan indeks kelayakan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Penggunaan metode

AHP didasarkan pada keunggulannya yang menggunakan pendekatan sederhana pada permasalahan yang kompleks. Prinsip dasar dari metode AHP adalah penggunaan persepsi para ahli yang sangat memahami dan mengerti benar mengenai masalah yang ada sebagai *input* utamanya sehingga metode tersebut dapat digunakan untuk mengolah data yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif.

3.5 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Weibull ++6* untuk analisis keandalan sebagai berikut:

1. Mengkonversikan data *downtime* yang berasal dari data operasi produksi menjadi data waktu antar kegagalan.
2. Menentukan distribusi data waktu antar kegagalan dengan membandingkan *Goodness of Fit*, *Plot Fit*, dan *Likelihood Function Value*.
3. Menentukan fungsi padat peluang untuk kegagalan, keandalan peralatan dan fungsi padat peluang untuk peralatan.

Pengolahan data pada penelitian ini juga dibantu dengan perangkat lunak *Expert Choice* untuk menentukan indeks kelayakan peralatan menggunakan metode AHP. Perangkat lunak *WinQSB* juga digunakan untuk menentukan alokasi keandalan masing-masing sub-sub unit penggilangan akhir sehingga keandalan sistem yang ditargetkan dapat dicapai dengan biaya minimal. Selain itu, dilakukan interpolasi untuk menentukan alokasi keandalan pada masing-masing sub-sub-sub unit dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel*.

3.6 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan didasarkan pada perbandingan antara studi literatur, studi lapangan dan hasil pengolahan data yang dilakukan. *Output* data yang akan dibahas dalam analisis dan pembahasan adalah interval waktu pemeliharaan pencegahan

dan laju biaya total pemeliharaan pencegahan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

3.7 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran didapatkan dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan. Kesimpulan berisi tentang jawaban atas tujuan penelitian berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, sedangkan saran berisi evaluasi dan perbaikan yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

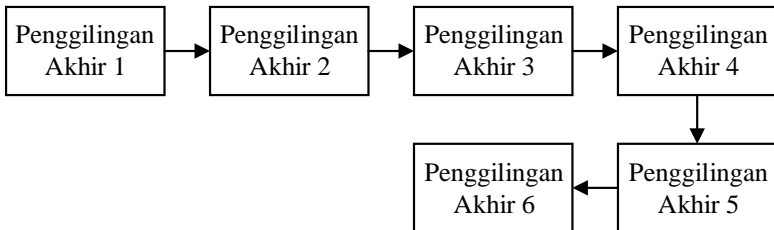
BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS KEANDALAN

4.1 Pemodelan Sistem Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Pemodelan sistem Sub Unit Penggilingan Akhir 1 dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Pemodelan didasarkan pada proses produksi semen yang ditunjukkan pada Gambar 1.1.
2. Sub sistem peralatan yang sesuai dengan fungsinya pada proses produksi semen disebut sebagai level 1 atau sub unit.
3. Sub-sub sistem peralatan yang berada di level berikutnya disebut sebagai level 2 atau sub-sub unit.
4. Sub-sub-sub sistem peralatan yang berada di dalam sub-sub unit disebut sebagai level 3 atau sub-sub-sub unit.

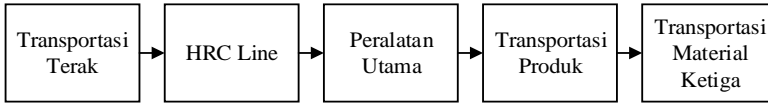
Pemodelan sistem sub unit pada Unit Penggilingan Akhir ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sub Unit Penyusun Penggilingan Akhir1 (Level 1)

Penggilingan Akhir 1, Penggilingan Akhir 2, Penggilingan Akhir 3, Penggilingan Akhir 4, Penggilingan Akhir 5 dan Penggilingan Akhir 6 merupakan sub unit penyusun peralatan Unit Penggilingan Akhir. Sub Unit Penggilingan Akhir 1 disusun oleh Sub-Sub Unit Transportasi Terak, Sub-Sub Unit HRC Line, Sub-Sub Unit Peralatan Utama, Sub-Sub Unit

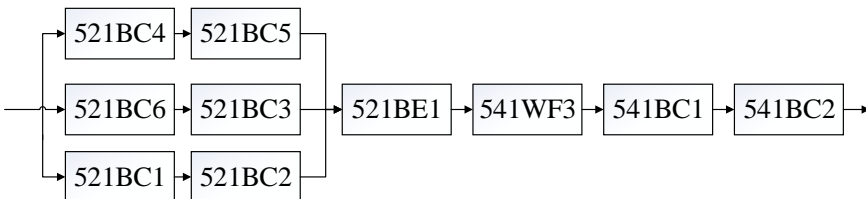
Transportasi Produk dan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Sub-Sub Unit Penyusun Penggilingan Akhir 1 (Level 2)

4.1.1 Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Terak

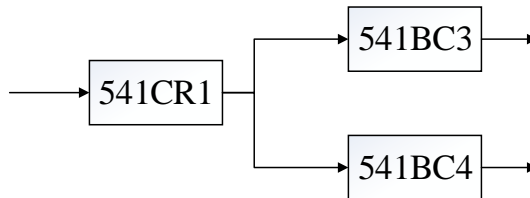
Sub-Sub Unit Transportasi Terak berfungsi untuk mentransportasikan terak dari tempat penampungan (*dome*) menuju area *pre-grinding* di Sub-Sub Unit HRC Line dan *main grinding* di Sub-Sub Unit Peralatan Utama. Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Terak pada sub bab ini telah mengalami penyederhanaan. Hal ini didasari oleh hasil pengamatan terhadap data kerusakan peralatan penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak dengan interval yang telah ditentukan dan ditemukan beberapa peralatan masih memiliki keandalan yang tinggi. Oleh karena itu, peralatan tersebut tidak diikutsertakan pada pemodelan sistem ini. Peralatan yang diikutsertakan pada pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Terak dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak (Level 3)

4.1.2 Pemodelan Sub-Sub Unit HRC Line

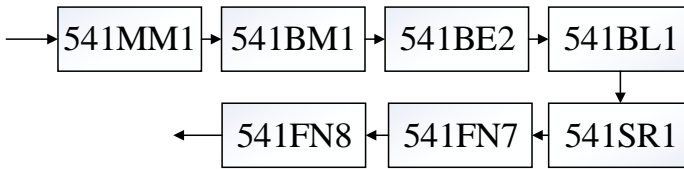
Sub-Sub Unit HRC Line memiliki peran dalam proses *pre-grinding* material terak sebelum masuk ke dalam proses *main grinding* di Sub-Sub Unit Peralatan Utama. Pemodelan Sub-Sub Unit HRC Line pada sub bab ini telah mengalami penyederhanaan. Hal ini didasari oleh hasil pengamatan terhadap data kerusakan peralatan penyusun Sub-Sub Unit HRC Line dengan interval yang telah ditentukan, dan ditemukannya beberapa peralatan masih memiliki keandalan yang tinggi. Oleh karena itu, peralatan tersebut tidak diikutsertakan pada pemodelan sistem ini. Peralatan yang diikutsertakan pada pemodelan Sub-Sub Unit HRC Line dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line (level 3)

4.1.3 Pemodelan Sub-Sub Unit Peralatan Utama

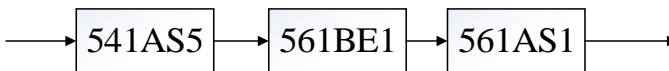
Sub-Sub Unit Peralatan Utama berhubungan langsung dengan proses produksi yang memiliki fungsi sebagai proses *main grinding* material terak. Pemodelan Sub-Sub Unit Peralatan Utama pada sub bab ini telah mengalami penyederhanaan. Hal ini didasari oleh hasil pengamatan terhadap data kerusakan peralatan penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama dengan interval yang telah ditentukan, dan ditemukannya beberapa peralatan masih memiliki keandalan yang tinggi. Oleh karena itu, peralatan tersebut tidak diikutsertakan pada pemodelan sistem ini. Peralatan yang diikutsertakan pada pemodelan Sub-Sub Unit Peralatan Utama dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama (level 3)

4.1.4 Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Sub-Sub Unit Transportasi Produk berfungsi untuk mentransportasikan produk akhir hasil proses *main grinding* menuju ke tempat penampungan (*silo*). Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Produk pada sub bab ini telah mengalami penyederhanaan. Hal ini didasari oleh hasil pengamatan terhadap data kerusakan peralatan penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk dengan interval yang telah ditentukan, dan ditemukannya beberapa peralatan masih memiliki keandalan yang tinggi. Oleh karena itu, peralatan tersebut tidak diikutsertakan pada pemodelan sistem ini. Peralatan yang diikutsertakan pada pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Produk dapat dilihat pada Gambar 4.6.

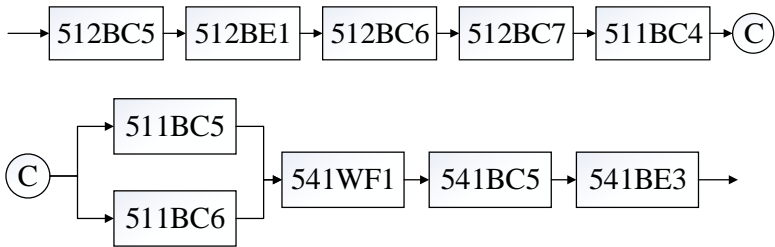


Gambar 4.6 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk (level 3)

4.1.5 Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga memiliki fungsi untuk mentransportasikan material aditif sebagai bahan dasar tambahan penyusun semen. Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga pada sub bab ini telah mengalami penyederhanaan. Hal ini didasari oleh hasil pengamatan terhadap

data kerusakan peralatan penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga dengan interval yang telah ditentukan, dan ditemukannya beberapa peralatan masih memiliki keandalan yang tinggi. Oleh karena itu, peralatan tersebut tidak diikutsertakan pada pemodelan sistem ini. Peralatan yang diikutsertakan pada pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga (level 3)

4.2 Penentuan Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Penilaian keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap pertama yaitu menentukan jenis distribusi yang terbaik dari data antar waktu kegagalan sub-sub-sub unit. Hal ini dilakukan dengan *curve fitting* antara data dan model dengan tiga buah parameter uji, yaitu AvGOF, AvPlot dan LKV. Hal tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Weibull+++ dengan menggunakan data *time to failure* (TTF) tiap-tiap peralatan yang diuji. Dari pengujian tersebut maka diketahui distribusi terbaik dari data antar waktu kegagalan sub-sub-sub unit sehingga diperoleh parameter distribusinya yang juga merupakan parameter keandalan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Rincian penentuan distribusi waktu antar kegagalan dan parameter dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.1 Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan dan Parameter Keandalan Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Sub Unit	Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	β	η
Penggilingan Akhir 1	Transportasi Terak	521BC1	Weibull 2	1,21	8761,667
		521BC2	Weibull 2	1,11	9234,833
		521BC3	Weibull 2	1,254	11322
		521BC4	Weibull 2	1,139	8732,29
		521BC5	Weibull 2	1,001	11240
		521BC6	Weibull 2	2,195	15320,5
		521BE1	Weibull 2	1,901	15865
		541BC1	Weibull 2	2,141	16766
		541BC2	Weibull 2	4,933	16962
		541WF3	Weibull 2	1,002	18028
	HRC Line	541BC3	Weibull 2	1,345	14461
		541BC4	Weibull 2	1,537	14627
		541CR1	Weibull 2	1,149	15796
		541BE2	Weibull 2	1,796	18173,333
	Peralatan Utama	541BL1	Weibull 2	2,148	17885
		541BM1	Weibull 2	1,223	14021
		541FN7	Weibull 2	1,44	15572
		541FN8	Weibull 2	1,13	10957
		541MM1	Weibull 2	1,465	14388
		541SR1	Weibull 2	7,283	17166
	Transportasi Produk	541AS5	Weibull 2	2,475	9282,167
		561AS1	Weibull 2	1,576	16316
		561BE1	Weibull 2	1,32	15192

Tabel 4.1 Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan dan Parameter Keandalan Sub-Sub-Sub Unit Penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Lanjutan)

Sub Unit	Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	β	η
Penggilingan Akhir 1	Transportasi Material Ketiga	511BC4	Weibull 2	1,475	7352,333
		511BC5	Weibull 2	1,819	9822,289
		511BC6	Weibull 2	1,58	9664,463
		512BC5	Weibull 2	1,75	7898,747
		512BC6	Weibull 2	2,111	10398,667
		512BC7	Weibull 2	2,442	6703
		512BE1	Weibull 2	3,263	5658,326
		541BC5	Weibull 2	1,218	10393
		541BE3	Weibull 2	1,611	12176
		541WF1	Weibull 2	3,683	20438

4.3 Penentuan Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Berdasarkan parameter keandalan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, dapat ditentukan fungsi padat peluang (*pdf*) waktu antar kegagalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Fungsi padat peluang (*pdf*) tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2. Fungsi padat peluang waktu antar kegagalan tiap-tiap peralatan selanjutnya digunakan dalam perhitungan laju biaya pemeliharaan pencegahan pada sub bab 5.4 dengan menggunakan persamaan 2.23 dan 2.24.

Tabel 4.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Sub-Sub Unit	Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang (f(t))
Transportasi Terak	521BC1	Weibull 2	$\frac{1,210}{8761,667} \left(\frac{t}{8761,667}\right)^{1,210-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{8761,667}\right)^{1,210}\right]$
	521BC2	Weibull 2	$\frac{1,110}{9234,833} \left(\frac{t}{9234,833}\right)^{1,110-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{9234,833}\right)^{1,110}\right]$
	521BC3	Weibull 2	$\frac{1,254}{11322} \left(\frac{t}{11322}\right)^{1,254-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{11322}\right)^{1,254}\right]$
	521BC4	Weibull 2	$\frac{1,139}{8732,29} \left(\frac{t}{8732,29}\right)^{1,139-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{8732,29}\right)^{1,139}\right]$
	521BC5	Weibull 2	$\frac{1,001}{11240} \left(\frac{t}{11240}\right)^{1,001-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{11240}\right)^{1,001}\right]$
	521BC6	Weibull 2	$\frac{2,195}{8761,667} \left(\frac{t}{8761,667}\right)^{2,195-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{8761,667}\right)^{2,195}\right]$
	521BE1	Weibull 2	$\frac{1,210}{15320,5} \left(\frac{t}{15320,5}\right)^{1,210-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{15320,5}\right)^{1,210}\right]$
	541BC1	Weibull 2	$\frac{2,141}{16766} \left(\frac{t}{16766}\right)^{2,141-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{16766}\right)^{2,141}\right]$
	541BC2	Weibull 2	$\frac{4,933}{16962} \left(\frac{t}{16962}\right)^{4,933-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{16962}\right)^{4,933}\right]$
	541WF3	Weibull 2	$\frac{1,002}{18028} \left(\frac{t}{18028}\right)^{1,002-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{18028}\right)^{1,002}\right]$

Tabel 4.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang (f(t))
HRC Line	541BC3	Weibull 2	$\frac{1,345}{14461} \left(\frac{t}{14461}\right)^{1,345-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{14461}\right)^{1,345}\right]$
	541BC4	Weibull 2	$\frac{1,537}{14627} \left(\frac{t}{14627}\right)^{1,537-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{14627}\right)^{1,537}\right]$
	541CR1	Weibull 2	$\frac{1,149}{15796} \left(\frac{t}{15796}\right)^{1,149-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{15796}\right)^{1,149}\right]$
	541BE2	Weibull 2	$\frac{1,796}{18173,333} \left(\frac{t}{18173,333}\right)^{1,796-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{18173,333}\right)^{1,796}\right]$
	541BL1	Weibull 2	$\frac{2,148}{17885} \left(\frac{t}{17885}\right)^{2,148-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{17885}\right)^{2,148}\right]$
Peralatan Utama	541BM1	Weibull 2	$\frac{1,223}{14021} \left(\frac{t}{14021}\right)^{1,223-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{14021}\right)^{1,223}\right]$
	541FN7	Weibull 2	$\frac{1,440}{15572} \left(\frac{t}{15572}\right)^{1,440-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{15572}\right)^{1,440}\right]$
	541FN8	Weibull 2	$\frac{1,130}{10957} \left(\frac{t}{10957}\right)^{1,130-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{10957}\right)^{1,130}\right]$
	541MM1	Weibull 2	$\frac{1,465}{14388} \left(\frac{t}{14388}\right)^{1,465-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{14388}\right)^{1,465}\right]$
	541SR1	Weibull 2	$\frac{7,283}{17166} \left(\frac{t}{17166}\right)^{7,283-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{17166}\right)^{7,283}\right]$

Tabel 4.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang (f(t))
Transportasi Produk	541AS5	Weibull 2	$\frac{2,475}{9282,167} \left(\frac{t}{9282,167}\right)^{2,475-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{9282,167}\right)^{2,475}\right]$
	561AS1	Weibull 2	$\frac{1,576}{16316} \left(\frac{t}{16316}\right)^{1,576-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{16316}\right)^{1,576}\right]$
	561BE1	Weibull 2	$\frac{1,320}{15192} \left(\frac{t}{15192}\right)^{1,320-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{15192}\right)^{1,320}\right]$
	511BC4	Weibull 2	$\frac{1,475}{7352,333} \left(\frac{t}{7352,333}\right)^{1,475-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{7352,333}\right)^{1,475}\right]$
Transportasi Material Ketiga	511BC5	Weibull 2	$\frac{1,819}{9822,289} \left(\frac{t}{9822,289}\right)^{1,819-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{9822,289}\right)^{1,819}\right]$
	511BC6	Weibull 2	$\frac{1,580}{9664,463} \left(\frac{t}{9664,463}\right)^{1,580-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{9664,463}\right)^{1,580}\right]$
	512BC5	Weibull 2	$\frac{1,750}{7898,747} \left(\frac{t}{7898,747}\right)^{1,750-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{7898,747}\right)^{1,750}\right]$
	512BC6	Weibull 2	$\frac{2,111}{10398,667} \left(\frac{t}{10398,667}\right)^{2,111-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{10398,667}\right)^{2,111}\right]$

Tabel 4.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang (f(t))
Transportasi Material Ketiga	512BC7	Weibull 2	$\frac{2,442}{6703} \left(\frac{t}{6703}\right)^{2,442-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{6703}\right)^{2,442}\right]$
	512BE1	Weibull 2	$\frac{3,263}{5658,326} \left(\frac{t}{5658,326}\right)^{3,263-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{5658,326}\right)^{3,263}\right]$
	541BC5	Weibull 2	$\frac{1,218}{10393} \left(\frac{t}{10393}\right)^{1,218-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{10393}\right)^{1,218}\right]$
	541BE3	Weibull 2	$\frac{1,611}{12176} \left(\frac{t}{12176}\right)^{1,611-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{12176}\right)^{1,611}\right]$
	541WF1	Weibull 2	$\frac{3,683}{20438} \left(\frac{t}{20438}\right)^{3,683-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{20438}\right)^{3,683}\right]$

4.4 Penentuan *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan Keandalan pada Saat MTBF Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Berdasarkan parameter keandalan pada Tabel 4.1, MTBF dan keandalan pada saat MTBF Sub Unit Penggilingan Akhir 1 juga dapat ditentukan. Hasil tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.3.

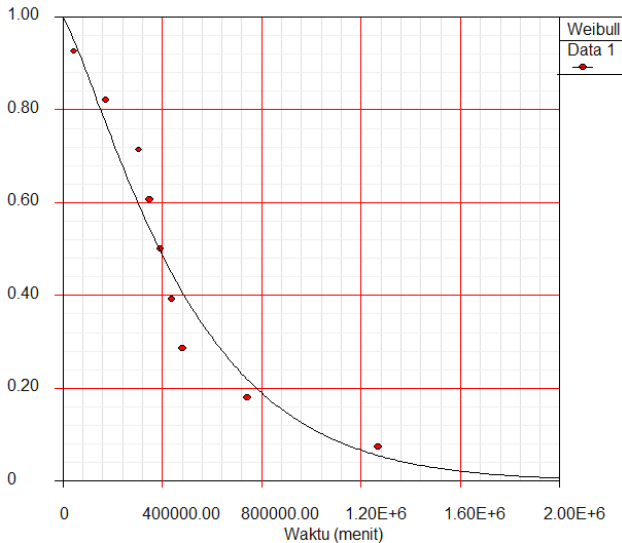
Tabel 4.3 *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan Keandalan pada Saat MTBF Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
Transportasi Terak	521BC1	Weibull 2	8225,173	0,396
	521BC2	Weibull 2	8884,086	0,384
	521BC3	Weibull 2	10538,056	0,401
	521BC4	Weibull 2	8334,812	0,387
	521BC5	Weibull 2	11234,784	0,368
	521BC6	Weibull 2	13568,130	0,465
	521BE1	Weibull 2	14077,806	0,451
	541BC1	Weibull 2	14848,237	0,463
	541BC2	Weibull 2	15561,883	0,520
	541WF3	Weibull 2	18009,794	0,368
HRC Line	541BC3	Weibull 2	13269,754	0,410
	541BC4	Weibull 2	13167,285	0,427
	541CR1	Weibull 2	15037,274	0,389
Peralatan Utama	541BE2	Weibull 2	16163,192	0,445
	541BL1	Weibull 2	15839,136	0,463
	541BM1	Weibull 2	13126,330	0,398
	541FN7	Weibull 2	14132,834	0,419
	541FN8	Weibull 2	10482,570	0,386
	541MM1	Weibull 2	13027,695	0,421
	541SR1	Weibull 2	16090,547	0,536

Tabel 4.3 *Mean Time Between Failure* (MTBF) dan Keandalan pada Saat MTBF Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
Transportasi Produk	541AS5	Weibull 2	8233,742	0,476
	561AS1	Weibull 2	14649,310	0,430
	561BE1	Weibull 2	13989,312	0,408
Transportasi Material Ketiga	511BC4	Weibull 2	6651,100	0,422
	511BC5	Weibull 2	8730,587	0,446
	511BC6	Weibull 2	8675,133	0,430
	512BC5	Weibull 2	7034,718	0,442
	512BC6	Weibull 2	9209,752	0,461
	512BC7	Weibull 2	5944,121	0,474
	512BE1	Weibull 2	5072,772	0,497
	541BC5	Weibull 2	9739,605	0,397
	541BE3	Weibull 2	10909,852	0,433
	541WF1	Weibull 2	18439,541	0,504

Rincian data waktu antar kegagalan, fungsi padat peluang dan MTBF untuk sub-sub unit dan sub-sub-sub unit dapat dilihat pada Lampiran 1. Pengujian yang dilakukan terhadap TTF tiap-tiap peralatan dengan menggunakan perangkat lunak Weibull++6 juga menghasilkan grafik keandalan peralatan. Grafik keandalan Sub-Sub-Sub Unit 521BC1 ditunjukkan pada gambar 4.8. Grafik keandalan sub-sub-sub unit yang lain dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 4.8 Keandalan *Belt Conveyor* (521BC1)

4.5 Penilaian Keandalan Sistem

Pemodelan keandalan sistem Sub Unit Penggilingan Akhir 1 mengikuti pemodelan kombinasi seri dan paralel. Keandalan sistem Sub Unit Penggilingan Akhir 1 disusun oleh keandalan sub-sub unit dan sub-sub-sub unit peralatan penyusunnya. Untuk menentukan nilai keandalan sistem, digunakan nilai t sebesar 8760 jam, yaitu jumlah jam kerja produksi yang dipersyaratkan oleh manajemen perusahaan selama satu tahun.

4.5.1 Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Terak

Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Terak disusun oleh sub-sub-sub unit *belt conveyor* (BC), *bucket elevator* (BE) dan *weight feeder* (WF). Pemodelan Sub-Sub Unit Transportasi Terak mengikuti pemodelan kombinasi seri dan paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 sehingga penilaian keandalannya dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.4. Berikut ini

adalah contoh perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Terak pada saat $t = 8760$ jam:

$$R_A = R_{521BC4} \times R_{521BC5} = 0,367 \times 0,459 = 0,168$$

$$R_B = R_{521BC6} \times R_{521BC3} = 0,746 \times 0,484 = 0,361$$

$$R_C = R_{521BC1} \times R_{521BC2} = 0,368 \times 0,389 = 0,143$$

$$R_{total} = [1 - (1 - R_A) (1 - R_B) (1 - R_C)] \times R_{521BE1} \times R_{541WF3} \times R_{541BC1} \times R_{541BC2}$$

$$= [1 - (1 - 0,168) (1 - 0,361)(1 - 0,143)] \times 0,724 \times 0,616 \times 0,779 \times 0,962 = 0,182$$

Tabel 4.4 menunjukkan hasil perhitungan nilai keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Terak.

Tabel 4.4 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Terak

t (jam)	R (t)										R- Transportasi Terak (t)
	521BC1	521BC2	521BC3	521BC4	521BC5	521BC6	521BE1	541BC1	541BC2	541WF3	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	0,999	0,999	1,000	0,999	0,998	1	1	1	1	0,999	0,999
168	0,992	0,988	0,995	0,989	0,985	1	1	1	1	0,991	0,991
744	0,951	0,941	0,968	0,941	0,936	0,999	0,997	0,999	1	0,960	0,955
1416	0,896	0,883	0,929	0,882	0,882	0,995	0,990	0,995	1	0,925	0,908
2160	0,832	0,819	0,882	0,816	0,825	0,987	0,978	0,988	1	0,888	0,845
2880	0,771	0,760	0,835	0,754	0,774	0,975	0,962	0,977	1	0,853	0,776
3624	0,709	0,702	0,787	0,693	0,725	0,959	0,941	0,963	1	0,819	0,696
4344	0,652	0,649	0,740	0,637	0,680	0,939	0,918	0,946	0,999	0,787	0,614
5088	0,596	0,597	0,693	0,582	0,636	0,915	0,891	0,925	0,997	0,755	0,528
5832	0,543	0,549	0,647	0,532	0,595	0,887	0,861	0,901	0,995	0,724	0,445
6552	0,495	0,505	0,604	0,486	0,558	0,856	0,830	0,875	0,991	0,696	0,369
7296	0,449	0,463	0,562	0,443	0,523	0,822	0,796	0,845	0,985	0,668	0,297
8016	0,407	0,425	0,523	0,404	0,490	0,786	0,761	0,814	0,976	0,642	0,236
8760	0,368	0,389	0,484	0,367	0,459	0,746	0,724	0,779	0,962	0,616	0,182

4.5.2 Keandalan Sub-Sub Unit HRC Line

Keandalan Sub-Sub Unit HRC Line disusun oleh sub-sub-sub unit *belt conveyor* (BC) dan *hydraulic roller crusher* (CR). Tabel 4.5 menunjukkan hasil perhitungan nilai keandalan Sub-Sub Unit HRC Line.

Tabel 4.5 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit HRC Line

t (jam)	R (t)			R-HRC Line (t)
	541BC3	541BC4	541CR1	
0	1	1	1	1
24	1	1	0,999	0,999
168	0,998	0,999	0,995	0,995
744	0,982	0,990	0,971	0,970
1416	0,957	0,973	0,939	0,938
2160	0,925	0,949	0,903	0,900
2880	0,892	0,921	0,868	0,861
3624	0,856	0,889	0,832	0,818
4344	0,820	0,857	0,797	0,776
5088	0,782	0,821	0,762	0,732
5832	0,745	0,784	0,727	0,687
6552	0,708	0,748	0,695	0,644
7296	0,671	0,709	0,663	0,599
8016	0,636	0,673	0,632	0,557
8760	0,601	0,635	0,602	0,514

4.5.3 Keandalan Sub-Sub Unit Peralatan Utama

Keandalan Sub-Sub Unit Peralatan Utama disusun oleh sub-sub-sub unit *air slide* (AS), *bucket elevator* (BE), *blower* (BL), *ball mill* (BM), *fan* (FN), *gearbox mill* (MM) dan *air separator* (SR). Tabel 4.6 menunjukkan hasil perhitungan nilai keandalan Sub-Sub Unit Peralatan Utama.

Tabel 4.6 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Peralatan Utama

t (jam)	R (t)							R- Peralatan Utama (t)
	541BE2	541BL1	541BM1	541FN7	541FN8	541MM1	541SR1	
0	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	0,999	1	1	0,998
168	1	1	0,996	0,999	0,991	0,999	1	0,984
744	0,997	0,999	0,973	0,988	0,953	0,987	1	0,900
1416	0,990	0,996	0,941	0,969	0,906	0,967	1	0,787
2160	0,978	0,989	0,903	0,944	0,852	0,940	1	0,661
2880	0,964	0,980	0,866	0,916	0,802	0,910	1	0,546
3624	0,946	0,968	0,826	0,885	0,751	0,876	1	0,440
4344	0,926	0,953	0,788	0,853	0,704	0,841	1	0,351
5088	0,903	0,935	0,749	0,819	0,657	0,804	1	0,273
5832	0,878	0,914	0,710	0,784	0,612	0,766	1	0,210
6552	0,852	0,891	0,674	0,750	0,572	0,729	0,999	0,160
7296	0,823	0,864	0,638	0,715	0,532	0,691	0,998	0,119
8016	0,795	0,837	0,604	0,681	0,495	0,654	0,996	0,088
8760	0,764	0,806	0,570	0,646	0,460	0,617	0,993	0,064

4.5.4 Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Produk disusun oleh sub-sub-sub unit *air slide* (AS), *bucket elevator* (BE) dan *fan* (FN). Tabel 4.7 menunjukkan hasil perhitungan nilai keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Produk.

Tabel 4.7 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Produk

t (jam)	R (t)			R- Transportasi Produk (t)
	541AS5	561AS1	561BE1	
0	1	1	1	1
24	1	1	1	1
168	1	0,999	0,997	0,997
744	0,998	0,992	0,982	0,972
1416	0,991	0,979	0,957	0,928
2160	0,973	0,960	0,927	0,865
2880	0,946	0,937	0,895	0,793
3624	0,907	0,911	0,860	0,711
4344	0,858	0,883	0,826	0,626
5088	0,798	0,853	0,790	0,537
5832	0,729	0,821	0,754	0,451
6552	0,656	0,789	0,719	0,372
7296	0,576	0,755	0,684	0,298
8016	0,499	0,722	0,650	0,234
8760	0,420	0,687	0,617	0,178

4.5.5 Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga disusun oleh sub-sub-sub unit *belt conveyor* (BC), *bucket elevator* (BE) dan *weight feeder* (WF). Tabel 4.8 menunjukkan hasil perhitungan nilai keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga.

Tabel 4.8 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

t (jam)	R (t)										R-Transportasi Material Ketiga (t)
	511BC4	511BC5	511BC6	512BC5	512BC6	512BC7	512BE1	541BC5	541BE3	541WF1	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	0,999	1	1	0,999
168	0,996	0,999	0,998	0,999	1	1	1	0,993	0,999	1	0,987
744	0,967	0,991	0,983	0,984	0,996	0,995	0,999	0,961	0,989	1	0,895
1416	0,916	0,971	0,953	0,952	0,985	0,978	0,989	0,916	0,969	1	0,736
2160	0,849	0,938	0,911	0,902	0,964	0,939	0,958	0,863	0,940	1	0,535
2880	0,778	0,898	0,863	0,843	0,936	0,881	0,895	0,811	0,907	0,999	0,351
3624	0,703	0,850	0,809	0,774	0,898	0,800	0,792	0,758	0,868	0,998	0,197
4344	0,631	0,797	0,754	0,704	0,853	0,707	0,656	0,708	0,827	0,997	0,097
5088	0,559	0,739	0,696	0,629	0,802	0,600	0,493	0,658	0,783	0,994	0,039
5832	0,491	0,679	0,638	0,555	0,744	0,491	0,332	0,610	0,737	0,990	0,013
6552	0,430	0,620	0,582	0,486	0,686	0,388	0,199	0,565	0,692	0,985	0,004
7296	0,372	0,559	0,527	0,419	0,623	0,292	0,101	0,522	0,645	0,978	0,00075
8016	0,321	0,501	0,475	0,358	0,561	0,213	0,044	0,482	0,601	0,969	0,00013
8760	0,274	0,444	0,425	0,302	0,498	0,146	0,016	0,444	0,555	0,957	0,00002

4.5.6 Keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 disusun oleh sub-sub unit transportasi terak, HRC line, peralatan utama, transportasi produk dan transportasi material ketiga. Tabel 4.9 menunjukkan hasil perhitungan nilai keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

Tabel 4.9 Nilai Keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

t (jam)	R (t)					R- Penggilingan Akhir 1 (t)
	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga	
0	1	1	1	1	1	1
24	0,999	0,999	0,998	1	0,999	0,995
168	0,991	0,995	0,984	0,997	0,987	0,953
744	0,955	0,970	0,900	0,972	0,895	0,726
1416	0,908	0,938	0,787	0,928	0,736	0,458
2160	0,845	0,900	0,661	0,865	0,535	0,233
2880	0,776	0,861	0,546	0,793	0,351	0,101
3624	0,696	0,818	0,440	0,711	0,197	0,035
4344	0,614	0,776	0,351	0,626	0,097	0,010
5088	0,528	0,732	0,273	0,537	0,039	0,002
5832	0,445	0,687	0,210	0,451	0,013	0,00038
6552	0,369	0,644	0,160	0,372	0,004	0,00005
7296	0,297	0,599	0,119	0,298	0,001	0,0000047
8016	0,236	0,557	0,088	0,234	0,00013	0,0000003
8760	0,182	0,514	0,064	0,178	0,00002	0,00000002

Terdapat perbedaan nilai keandalan untuk masing-masing sub-sub unit penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1 pada saat t sebesar 8760 jam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. Nilai keandalan tersebut selanjutnya digunakan di dalam sub bab 5.2 sebagai input parameter keandalan aktual ($R_{i,min}$) untuk

menghitung alokasi keandalan yang optimal dengan menggunakan persamaan 2.27.

BAB V

PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN PENCEGAHAN

Pada Bab Pengolahan Data dan Analisis Keandalan telah didapatkan nilai keandalan aktual dari Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Keandalan tersebut kemudian dibandingkan dengan target keandalan yang telah ditetapkan. Apabila nilainya lebih kecil, akan dilakukan upaya untuk meningkatkan nilai keandalan sub unit tersebut sampai mencapai target yang telah ditetapkan.

Pada perhitungan optimasi keandalan dari suatu sub-sub unit, diperlukan indeks kelayakan (f_i) seperti yang terlihat pada persamaan 2.24. Indeks kelayakan merupakan konstanta peningkatan keandalan sub sistem relatif terhadap seluruh sub sistem penyusun pada suatu sistem yang dioptimasi. Indeks kelayakan dicari dengan menggunakan metode AHP dan perhitungannya menggunakan bantuan perangkat lunak *Expert Choice*.

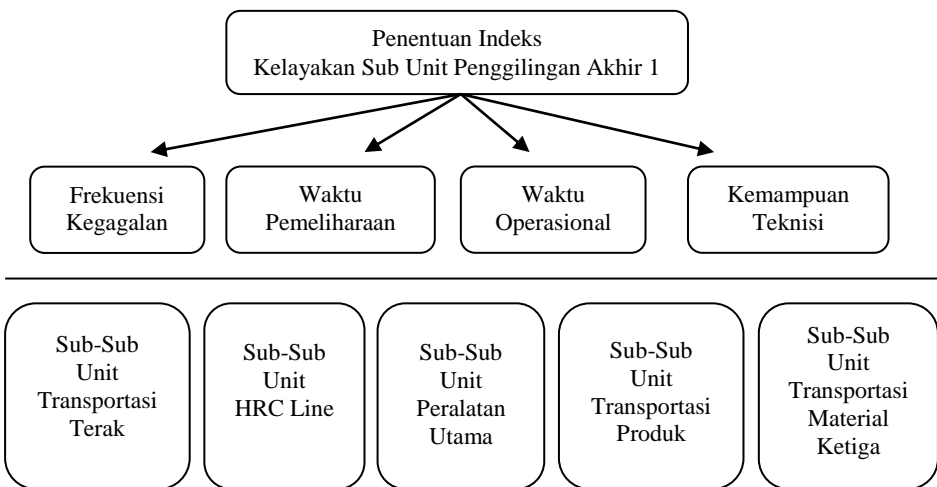
5.1 Penentuan Indeks Kelayakan

Pada penentuan indeks kelayakan, perlu dilakukan penyusunan hirarki keputusan terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan untuk mendefinisikan masalah sehingga menjadi lebih jelas dan rinci. Struktur dari hirarki keputusan adalah sebagai berikut:

- Level 1
Tujuan: Penentuan Indeks Kelayakan Sub Unit Penggilingan Akhir 1
- Level 2
Kriteria:
 1. Frekuensi kegagalan
 2. Waktu pemeliharaan
 3. Waktu operasional
 4. Kemampuan teknisi

- Level 3
Sub kriteria:
 1. Sub-sub unit transportasi terak
 2. Sub-sub unit HRC line
 3. Sub-sub unit peralatan utama
 4. Sub-sub unit transportasi produk
 5. Sub-sub unit transportasi material ketiga

Level 2 dan 3 merupakan aspek-aspek yang mempengaruhi penentuan indeks kelayakan Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Skema susunan hirarki keputusan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Struktur Hirarki Indeks Kelayakan Peralatan

Kriteria-kriteria yang berada pada struktur hirarki seperti yang terlihat pada Gambar 5.1 merupakan hasil dari wawancara dengan para ahli di Departemen Pemeliharaan *Finish Mill* 1-2 di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Tujuan dari wawancara tersebut yaitu untuk menentukan kriteria-kriteria yang

mempengaruhi keandalan sistem dengan mempertimbangkan unsur biaya. Pengambil keputusan pada penelitian ini berjumlah tujuh orang, yaitu karyawan-karyawan yang kompeten dan menguasai masalah pemeliharaan pencegahan di Sub Unit Penggilingan Akhir 1 yang terdiri atas kepala seksi pemeliharaan dan *supervisor*. Hasil pengisian kuisioner oleh seluruh responden dapat dilihat pada Lampiran 3. Hasil pengisian kuisioner tersebut digunakan untuk melakukan perbandingan berpasangan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Expert Choice*.

Tabel 5.1 menunjukkan perbandingan berpasangan antar kriteria pada bagian kolom dan baris. Nilai yang berwarna hitam memiliki arti bahwa kriteria yang berada di bagian baris mempunyai tingkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan kriteria yang berada pada bagian kolom. Nilai yang berwarna merah menunjukkan bahwa kriteria yang berada di bagian kolom mempunyai tingkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan kriteria yang berada di bagian baris.

Tabel 5.1 Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria Seluruh Responden

Kriteria	Frekuensi Kegagalan	Waktu Pemeliharaan	Waktu Operasional	Kemampuan Teknisi
Frekuensi Kegagalan		1,60133	5,33166	2,41565
Waktu Pemeliharaan			1,14188	1,51121
Waktu Operasional				3,00352
Kemampuan Teknisi				

Dengan cara yang sama, perbandingan berpasangan antar sub kriteria dengan kriteria untuk seluruh responden ditunjukkan pada Tabel 5.2, 5.3, 5.4 dan 5.5.

Tabel 5.2 Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan Seluruh Responden

Sub Kriteria	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga
Transportasi Terak		1,32047	3,22711	1,32047	3,26661
HRC Line			3,38602	2,27458	1,86592
Peralatan Utama				1,2585	3,83032
Transportasi Produk					5,17372
Transportasi Material Ketiga					

Tabel 5.3 Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan Seluruh Responden

Sub Kriteria	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga
Transportasi Terak		1,56016	3,19546	1,54486	3,06136
HRC Line			2,77275	3,5139	1,90186
Peralatan Utama				1,60967	3,85027
Transportasi Produk					3,43737
Transportasi Material Ketiga					

Tabel 5.4 Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional Seluruh Responden

Sub Kriteria	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga
Transportasi Terak		1,16993	2,52147	2,22504	2,45664
HRC Line			2,9381	1,3895	2,39348
Peralatan Utama				1,47236	6,06653
Transportasi Produk					2,51134
Transportasi Material Ketiga					

Tabel 5.5 Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi Seluruh Responden

Sub Kriteria	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga
Transportasi Terak		2,75838	3,32952	2,28375	1,36874
HRC Line			2,9381	1,12282	2,75349
Peralatan Utama				2,14657	2,8148
Transportasi Produk					2,96531
Transportasi Material Ketiga					

Indeks kriteria Sub Unit Penggilingan Akhir 1 didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak *Expert Choice*. Berdasarkan dari hasil perhitungan, diketahui bahwa nilai *overall inconsistency ratio* sebesar 0,05, yaitu lebih kecil dari 0,25 yang merupakan batas nilai penerimaan. Dengan

demikian, hasil tersebut layak untuk digunakan. Indeks kriteria Sub Unit Penggilingan Akhir 1 ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Indeks Kriteria Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Kriteria	Indeks
Frekuensi Kegagalan	0,104
Waktu Pemeliharaan	0,266
Waktu Operasional	0,448
Kemampuan Teknisi	0,183

Dari hasil perhitungan tersebut juga didapatkan indeks sub kriteria di Sub Unit Penggilingan Akhir 1 dengan nilai *overall inconsistency ratio* sebesar 0,03 untuk sub kriteria frekuensi kegagalan, 0,04 untuk sub kriteria waktu pemeliharaan, 0,01 untuk sub kriteria waktu operasional dan 0,03 untuk sub kriteria kemampuan teknisi. Indeks sub kriteria peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 ditunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Indeks Sub Kriteria Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Sub Kriteria	a	b	c	d
	Bobot Frekuensi Kegagalan (0,104)	Bobot Waktu Pemeliharaan (0,266)	Bobot Waktu Operasional (0,448)	Bobot Kemampuan Teknisi (0,183)
Transportasi Terak (a')	0,154	0,143	0,140	0,098
HRC Line (b')	0,134	0,136	0,157	0,203
Peralatan Utama (c')	0,373	0,371	0,393	0,395
Transportasi Produk (d')	0,275	0,279	0,240	0,217
Transportasi Material Ketiga (e')	0,065	0,071	0,070	0,087

Indeks kelayakan sub kriteria dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Indeks Kelayakan Sub Kriteria Transportasi Terak} = (a \times a') + (b \times a') + (c \times a') + (d \times a') \quad (3.1)$$

dengan:

- a = bobot frekuensi kegagalan
 - b = bobot waktu pemeliharaan
 - c = bobot waktu operasional
 - d = bobot kemampuan teknisi
 - a' = nilai sub kriteria transportasi terak
- (Nurmala, 2015)

Dengan menggunakan persamaan (3.1) untuk semua sub kriteria, didapatkan indeks kelayakan seluruh sub kriteria seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.7. Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.8 sesuai dengan hasil yang didapatkan dari perangkat lunak *Expert Choice* dengan nilai *overall inconsistency ratio* sebesar 0,04, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.

Tabel 5.8 Indeks Kelayakan Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Kriteria	Indeks
Transportasi Terak	0,135
HRC Line	0,157
Peralatan Utama	0,385
Transportasi Produk	0,250
Transportasi Material Ketiga	0,073



Gambar 5.2 Grafik Indeks Kelayakan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

5.2 Optimasi Keandalan Sub Penggilingan Akhir 1

Optimasi keandalan merupakan upaya untuk meningkatkan keandalan sistem dengan cara mengalokasikan keandalan sub sistem penyusun sistem tersebut. Pengalokasian keandalan akan menghasilkan nilai keandalan sistem yang optimal dengan biaya yang minimal. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan model *non-linear programming* dan formulasi fungsi biaya.

Perhitungan peningkatan keandalan yang optimal ($R_{i,opt}$) dilakukan dengan menggunakan keandalan aktual ($R_{i,min}$) yang ditetapkan berdasarkan waktu operasi $t = 8760$ jam. Waktu operasi tersebut ditetapkan berdasarkan jumlah jam kerja peralatan yang direncanakan dalam waktu satu tahun oleh manajemen perusahaan. Tabel 5.9 menunjukkan nilai dari keandalan aktual sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

Optimasi keandalan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Lingo* untuk menyelesaikan formulasi model *non-linear programming*. Target keandalan (R_G) yang digunakan pada optimasi keandalan ini adalah sebesar 0,7, 0,85 dan 0,9. Target tersebut merupakan hasil studi literatur dan diskusi dengan pihak Departemen Pemeliharaan Pencegahan *Finish Mill* 1-2.

Tabel 5.9 Keandalan Aktual Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Sub-Sub Unit	$R_{i,min}$
Transportasi Terak	0,182
HRC Line	0,514
Peralatan Utama	0,064
Transportasi Produk	0,178
Transportasi Material Ketiga	0,00002

Persamaan yang digunakan pada perhitungan optimasi keandalan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 adalah persamaan 2.23 dan 2.24. Parameter yang digunakan pada fungsi

obyektif adalah keandalan aktual ($R_{i,min}$), indeks kelayakan sub-sub sistem peralatan (f_i), keandalan maksimal ($R_{i,maks}$) dan keandalan yang dialokasikan (R_i). Parameter yang digunakan pada fungsi batasan adalah $R_{i,min}$, $R_{i,maks}$, R_i dan target keandalan (R_G). Berikut ini adalah contoh perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Lingo* apabila nilai R_G adalah sebesar 0,7.

Fungsi Obyektif:

$$\text{Min C} = \sum_{i=1}^5 c_i(R_i) = e^{[(1-f_i) \frac{R1-R_{i,min}}{R_{i,max}-R1}]}$$

$$\begin{aligned} \text{Min C} &= e^{[(1-0,135) \frac{R1-0,182}{1-R1}]} + e^{[(1-0,157) \frac{R2-0,514}{1-R2}]} + \\ &e^{[(1-0,385) \frac{R3-0,064}{1-R3}]} + e^{[(1-0,250) \frac{R4-0,178}{1-R4}]} + \\ &e^{[(1-0,073) \frac{R5-0,00002}{1-R5}]} \end{aligned}$$

Fungsi Batasan:

$$R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \geq 0,7$$

$$0,182 \leq R_1 \leq 1$$

$$0,514 \leq R_2 \leq 1$$

$$0,064 \leq R_3 \leq 1$$

$$0,178 \leq R_4 \leq 1$$

$$0,00002 \leq R_5 \leq 1$$

Hasil optimasi keandalan dengan target keandalan sebesar 0,7 ditunjukkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Keandalan Optimal Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Sub-Sub Unit	Variabel	Keandalan Optimal ($R_{i,opt}$)
Transportasi Terak	R_1	0,926
HRC Line	R_2	0,955
Peralatan Utama	R_3	0,937
Transportasi Produk	R_4	0,934
Transportasi Material Ketiga	R_5	0,906

Dengan cara yang sama, dapat dilakukan perhitungan optimasi keandalan dengan target keandalan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 sebesar 0,85 dan 0,9. Rincian perhitungan optimasi untuk fungsi batasan $R_G = 0,7$, $R_G = 0,85$ dan $R_G = 0,9$ dapat dilihat pada Lampiran 4. Rekapitulasi alokasi keandalan peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Alokasi Keandalan Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Target Keandalan Sistem (R_G)	Alokasi Keandalan				
	Transportasi Terak (R_1)	HRC Line (R_2)	Peralatan Utama (R_3)	Transportasi Produk (R_4)	Transportasi Material Ketiga (R_5)
0,7	0,926	0,955	0,937	0,934	0,906
0,85	0,965	0,979	0,971	0,969	0,955
0,9	0,977	0,987	0,981	0,980	0,971

Tabel 5.11 menunjukkan nilai keandalan minimal yang harus dicapai oleh tiap-tiap peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 agar target-target keandalan sistem yang diinginkan dapat terpenuhi. Dari Tabel 5.11 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan pada nilai keandalan tiap-tiap peralatan untuk waktu operasi yang sama. Hal ini disebabkan oleh kondisi dan umur peralatan serta prioritas kepentingan peralatan tersebut pada sistem.

5.3 Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Keandalan sistem dapat ditingkatkan dengan melakukan pemeliharaan pencegahan terhadap sistem untuk mengetahui gejala-gejala kerusakan peralatan sedini mungkin. Hal ini dapat diwujudkan apabila pemeliharaan pencegahan terencana dengan benar. Oleh karena itu, diperlukan penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang dapat meminimalkan pengeluaran biaya akibat terjadinya kegagalan.

Pada penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan, langkah pertama yang dilakukan adalah mengkonversi alokasi keandalan sub-sub unit menjadi alokasi keandalan sub-sub-sub unit. Proses pengkonversian tersebut dilakukan melalui interpolasi keandalan optimal dari sub-sub unit (R_i) yang ditunjukkan pada Tabel 5.11 terhadap keandalan aktual sub-sub-sub unit pada sub bab 4.5. Hasil rekapitulasi alokasi keandalan sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 ditunjukkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Alokasi Keandalan Sub-Sub-Sub Unit di Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Alokasi Keandalan		
		$R_G = 0,7$	$R_G = 0,85$	$R_G = 0,9$
Transportasi Terak	521BC1	0,917	0,962	0,976
	521BC2	0,905	0,954	0,970
	521BC3	0,944	0,975	0,984
	521BC4	0,904	0,954	0,971
	521BC5	0,903	0,950	0,966
	521BC6	0,996	0,999	0,999
	521BE1	0,993	0,998	0,999
	541BC1	0,996	0,999	0,999
	541BC2	1	1	1
	541WF3	0,938	0,968	0,979
HRC Line	541BC3	0,970	0,987	0,993
	541BC4	0,982	0,993	0,996
	541CR1	0,956	0,979	0,987
	541BE2	0,998	0,999	1
Peralatan Utama	541BL1	0,999	1	1
	541BM1	0,983	0,992	0,995
	541FN7	0,992	0,997	0,998
	541FN8	0,970	0,985	0,990

Tabel 5.12 Rekapitulasi Alokasi Keandalan Sub-Sub-Sub Unit di Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Alokasi Keandalan		
		R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
Peralatan Utama	541MM1	0,970	0,981	0,986
	541SR1	0,999	1	1
Transportasi Produk	541AS5	0,994	0,998	0,999
	561AS1	1	1	1
	561BE1	0,982	0,990	0,993
Transportasi Material Ketiga	511BC4	0,984	0,991	0,994
	511BC5	0,984	0,990	0,993
	511BC6	0,999	0,999	1
	512BC5	0,943	0,961	0,969
	512BC6	0,998	0,999	1
	512BC7	0,998	0,999	1
	512BE1	0,989	0,994	0,997
	541BC5	0,984	0,990	0,993
	541BE3	1	1	1
	541WF1	1	1	1

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan alokasi keandalan sub-sub-sub unit adalah mencari nilai t dengan menggunakan persamaan fungsi keandalan distribusi data. Berikut ini adalah contoh perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai t saat keandalan sub-sub-sub unit 521BC1 mencapai target keandalan (R_G) sebesar 0,7 dengan menggunakan persamaan 2.10 untuk pola distribusi data *Weibull 2*.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$\ln(R(t)) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$\begin{aligned}
 \ln (0,917) &= -\left(\frac{t}{8225,173}\right)^{1,2095} \\
 \frac{1,2095}{\sqrt[1,2095]{0,087}} &= \frac{t}{8225,173} \\
 t &= 1164,1 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai t sebagai interval waktu pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1, yang meminimalkan pengeluaran biaya akibat terjadinya kegagalan, ditunjukkan pada Tabel 5.13. Tabel 5.13 juga menunjukkan jumlah pemeliharaan pencegahan per tiga tahun yang didapatkan dengan membagi jumlah hari dalam tiga tahun (1.095 hari) dengan interval waktu pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

Tabel 5.13 Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Berdasarkan Alokasi Keandalan

Sub-Sub Unit	Sub-Sub Unit	Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan						Jumlah Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun			
		R _G = 0,7		R _G = 0,85		R _G = 0,9		Sebelum Optimasi	R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
		jam	hari	jam	hari	jam	hari				
Transportasi Terak	521BC1	1.164,1	48,5	598,7	24,9	408,1	17,0	3	22	43	64
	521BC2	1.159,0	48,3	591,7	24,7	397,9	16,6	2	22	44	66
	521BC3	1.167,7	48,7	602,2	25,1	413,3	17,2	2	22	43	63
	521BC4	1.160,2	48,3	593,7	24,7	400,7	16,7	3	22	44	65
	521BC5	1.154,0	48,1	584,0	24,3	387,2	16,1	2	22	44	67
	521BC6	1.211,4	50,5	647,7	27,0	495,4	20,6	1	21	40	53
	521BE1	1.199,2	50,0	636,4	26,5	472,7	19,7	1	21	41	55
	541BC1	1.209,3	50,4	645,7	26,9	491,5	20,5	1	21	40	53
	541BC2	1.290,7	53,8	697,5	29,1	613,7	25,6	1	20	37	42
	541WF3	1.155,8	48,2	585,2	24,4	388,6	16,2	1	22	44	67
HRC Line	541BC3	1.081,5	45,1	565,0	23,5	380,0	15,8	1	24	46	69
	541BC4	1.092,2	45,5	578,5	24,1	398,3	16,6	1	24	45	65
	541CR1	1.070,5	44,6	549,6	22,9	361,1	15,0	1	24	47	72

Tabel 5.13 Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Berdasarkan Alokasi Keandalan (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan						Jumlah Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun			
		R _G = 0,7		R _G = 0,85		R _G = 0,9		Sebelum Optimasi	R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
		jam	hari	jam	hari	jam	hari				
Peralatan Utama	541BE2	553,4	23,1	311,0	13,0	203,5	8,5	1	47	84	129
	541BL1	575,2	24,0	339,1	14,1	216,0	9,0	1	45	77	121
	541BM1	507,8	21,2	267,9	11,2	189,2	7,9	2	51	98	138
	541FN7	526,8	21,9	283,6	11,8	193,8	8,1	1	49	92	135
	541FN8	498,4	20,8	261,2	10,9	187,4	7,8	2	52	100	140
	541MM1	528,7	22,0	285,4	11,9	194,4	8,1	2	49	92	135
Transportasi Produk	541SR1	686,6	28,6	573,6	23,9	460,9	19,2	1	38	45	57
	541AS5	1.354,7	56,4	797,4	33,2	638,7	26,6	3	19	32	41
	561AS1	1.340,0	55,8	783,0	32,6	597,5	24,9	1	19	33	43
Transportasi Material Ketiga	561BE1	1.334,6	55,6	779,5	32,5	580,9	24,2	1	19	33	45
	511BC4	686,9	28,6	411,5	17,1	302,4	12,6	3	38	63	86
	511BC5	695,4	29,0	443,6	18,5	331,3	13,8	3	37	59	79
	511BC6	689,9	28,7	422,0	17,6	311,5	13,0	3	38	62	84
	512BC5	693,8	28,9	437,2	18,2	325,3	13,6	3	37	60	80

Tabel 5.13 Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Berdasarkan Alokasi Keandalan (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Sub-Sub Unit	Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan						Jumlah Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun			
		R _G = 0,7		R _G = 0,85		R _G = 0,9		Sebelum Optimasi	R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
		jam	hari	jam	hari	jam	hari				
Transportasi Material Ketiga	512BC6	700,9	29,2	467,8	19,5	355,6	14,8	2	37	56	73
	512BC7	705,9	29,4	492,1	20,5	382,1	15,9	4	37	53	68
	512BE1	714,8	29,8	540,6	22,5	441,0	18,4	5	36	48	59
	541BC5	679,4	28,3	387,0	16,1	282,7	11,8	2	38	67	92
	541BE3	690,8	28,8	425,2	17,7	314,3	13,1	2	38	61	83
	541WF1	718,0	29,9	559,7	23,3	466,0	19,4	1	36	46	56
TOTAL								63	1047	1819	2545

Dari Tabel 5.13 diketahui bahwa sub-sub-sub unit 541AS5 mempunyai interval waktu pemeliharaan pencegahan terpanjang pada saat target keandalan 0,7, yaitu sebesar 1.354,7 jam atau 56,4 hari. Interval waktu pemeliharaan pencegahan terpendek dimiliki oleh sub-sub-sub unit 541FN8, yaitu sebesar 187,4 jam atau 7,8 hari pada saat target keandalan 0,9.

5.4 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan

Perhitungan laju biaya pemeliharaan pencegahan yang dilakukan, meliputi laju biaya pemeliharaan pencegahan sebelum optimasi dan setelah optimasi. Laju biaya pemeliharaan pencegahan setelah optimasi adalah laju biaya pemeliharaan pencegahan pada saat keandalan sistem telah mencapai target keandalan yang ditentukan, yaitu sebesar 0,7, 0,85 dan 0,9. Komponen-komponen laju biaya pemeliharaan pencegahan yang dihitung adalah laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus, laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun dan penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun.

5.4.1 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Penggilingan Akhir 1

Berdasarkan laju kegagalan sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1, model pemeliharaan yang tepat dapat digolongkan sebagai pemeliharaan pencegahan. Sehubungan dengan pemeliharaan pencegahan tersebut maka laju biaya pemeliharaan pencegahan per unit waktu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.27. Berikut ini adalah contoh perhitungan laju biaya pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit 521BC1 dengan nilai $\beta = 1,2095$, $\eta = 8761,667$, t sebelum optimasi (MTBF) = 8225,173 dan $R(t = \text{MTBF}) = 0,396$:

$$\begin{aligned}
 C(t) &= \frac{C_p R(t) + C_f (1 - R(t))}{tR(t) + \int_0^t t f(t) dt} \\
 &= \frac{(5,945 \times 0,396) + 10.415.621(1 - 0,396)}{(8225,173 \times 0,396) + \int_0^t t f(t) dt}
 \end{aligned}$$

Dimana,

$$f(8225,173) = \frac{1,2095}{8761,667} \left(\frac{8225,173}{8761,667}\right)^{1,2095-1} \exp\left[-\left(\frac{8225,173}{8761,667}\right)^{1,2095}\right]$$

Dari perhitungan tersebut diperoleh laju biaya sebesar Rp1.932/jam. Hasil perhitungan laju biaya pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 ditunjukkan pada Tabel 5.14. Rincian perhitungan laju biaya dapat dilihat pada Lampiran 5. Hasil perhitungan ini selanjutnya digunakan untuk mendapatkan laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus.

Tabel 5.14 Laju Biaya (C(t)) per Jam Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya [(C (t)) per Jam] (Rupiah)			
		Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
			R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
1	521BC1	1932	778	685	638
2	521BC2	2376	1132	1058	1019
3	521BC3	1477	518	445	411
4	521BC4	1977	902	829	791
5	521BC5	2008	1173	1175	1180
6	521BC6	1115	46	29	26
7	521BE1	4042	291	172	137
8	541BC1	1028	44	28	26
9	541BC2	779	5	9	10
10	541WF3	1294	754	757	761
11	541BC3	1423	375	307	274
12	541BC4	1339	227	168	144
13	541CR1	1978	805	735	698
14	541BE2	3607	170	120	101
15	541BL1	1274	29	28	34
16	541BM1	4319	1282	1125	1052

Tabel 5.14 Laju Biaya (C(t)) per Jam Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya [(C (t)) per Jam] (Rupiah)			
		Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
			R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
17	541FN7	1575	243	198	180
18	541FN8	2433	990	923	894
19	541MM1	1161	175	144	134
20	541SR1	782	9	10	13
21	541AS5	389	23	16	15
22	561AS1	533	89	70	63
23	561BE1	1245	365	312	288
24	511BC4	2705	583	467	411
25	511BC5	1868	161	119	101
26	511BC6	2005	301	235	204
27	512BC5	2358	275	203	170
28	512BC6	1667	72	53	46
29	512BC7	2450	85	57	47
30	512BE1	9335	85	52	39
31	541BC5	2050	703	631	596
32	541BE3	5613	671	507	429
33	541WF1	724	8	11	13

5.4.2 Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun

Pada sub bab 5.4.1 telah diketahui laju biaya (C(t)) pemeliharaan pencegahan per jamnya yang ditunjukkan pada Tabel 5.14. Selanjutnya, dapat dilakukan perhitungan laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus, laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun dan penurunan laju biaya pemeliharaan

pengecehan per tiga tahun. Satu siklus pemeliharaan pengecehan, artinya adalah interval waktu di antara sesaat setelah selesai dilakukannya suatu kegiatan pemeliharaan pengecehan sampai dengan kegiatan pemeliharaan pengecehan berikutnya dari suatu sub-sub-sub unit. Interval waktu pemeliharaan pengecehan ini dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Perhitungan laju biaya pemeliharaan pengecehan per siklus dilakukan dengan menggunakan data laju biaya pemeliharaan pengecehan per jam yang ditunjukkan pada Tabel 5.14 dan data interval waktu pemeliharaan pengecehan pada Tabel 5.13. Laju pemeliharaan pengecehan per siklus didapatkan dengan cara mengalikan nilai laju pemeliharaan pengecehan per jam dengan interval waktu pemeliharaan pengecehan dalam satuan jam. Hasil perhitungan laju biaya pemeliharaan pengecehan per siklus dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Laju Biaya Pemeliharaan Pengecehan per Siklus

No.	Sub-Sub Unit	R (%) Sebelum Optimasi	Laju Biaya per Siklus (Rupiah)			
			Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
				R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
1	521BC1	39,6	15.894.550	905.564	409.914	260.390
2	521BC2	38,4	21.105.199	1.312.412	626.244	405.517
3	521BC3	40,1	15.568.985	605.440	268.224	169.740
4	521BC4	38,7	16.477.270	1.046.410	492.114	316.980
5	521BC5	36,8	22.559.852	1.353.057	686.385	456.701
6	521BC6	46,5	15.124.942	55.840	18.587	12.967
7	521BE1	45,1	56.895.565	349.360	109.169	64.629
8	541BC1	46,3	15.268.608	53.004	18.247	12.804
9	541BC2	52	12.126.917	5.985	5.947	5.946
10	541WF3	36,8	23.300.224	871.102	443.099	295.904
11	541BC3	41	18.883.417	405.562	173.308	104.217
12	541BC4	42,7	17.626.871	248.092	97.390	57.502

Tabel 5.15 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus (Lanjutan)

No.	Sub-Sub Unit	R (%) Sebelum Optimasi	Laju Biaya per Siklus (Rupiah)			
			Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
				R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
13	541CR1	38,9	29.740.641	861.428	404.238	251.920
14	541BE2	44,5	58.294.617	94.226	37.332	20.601
15	541BL1	46,3	20.177.192	16.763	9.424	7.266
16	541BM1	39,8	56.689.759	650.956	301.337	198.999
17	541FN7	41,9	22.254.403	127.994	56.033	34.903
18	541FN8	38,6	25.509.002	493.550	241.113	167.537
19	541MM1	42,1	15.120.313	92.733	41.158	26.014
20	541SR1	53,6	12.575.152	5.945	5.945	5.945
21	541AS5	47,6	3.204.430	30.498	12.591	9.785
22	561AS1	43	7.804.170	119.688	54.857	37.914
23	561BE1	40,8	17.418.517	486.914	243.176	167.011
24	511BC4	42,2	17.990.589	400.793	191.995	124.219
25	511BC5	44,6	16.312.667	111.936	52.819	33.527
26	511BC6	43	17.391.968	207.720	98.975	63.553
27	512BC5	44,2	16.589.755	190.980	88.654	55.288
28	512BC6	46,1	15.352.388	50.142	24.791	16.512
29	512BC7	47,4	14.560.126	59.665	28.244	17.977
30	512BE1	49,7	47.353.960	60.456	27.872	17.226
31	541BC5	39,7	19.961.995	477.848	244.127	168.539
32	541BE3	43,3	61.240.731	463.281	215.561	134.788
33	541WF1	50,4	13.353.218	6.005	5.969	5.957
Total			759.727.995	12.221.350	5.734.840	3.728.777

Dengan menggunakan hasil perhitungan laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus yang ditunjukkan pada Tabel

5.15, laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun dapat dihitung. Perhitungan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun dilakukan dengan cara mengalikan nilai laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus dengan jumlah pemeliharaan pencegahan per tiga tahun yang ditunjukkan pada Tabel 5.13. Hasil perhitungan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun

No.	Sub-Sub Unit	R (%) Sebelum Optimasi	Laju Biaya per Tahun (Rupiah)			
			Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
				R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
1	521BC1	39,6	47.683.651	19.922.398	17.626.303	16.664.959
2	521BC2	38,4	42.210.397	28.873.061	27.554.735	26.764.108
3	521BC3	40,1	31.137.971	13.319.669	11.533.618	10.693.642
4	521BC4	38,7	49.431.811	23.021.019	21.653.034	20.603.699
5	521BC5	36,8	45.119.705	29.767.264	30.200.933	30.598.935
6	521BC6	46,5	15.124.942	1.172.643	743.466	687.274
7	521BE1	45,1	56.895.565	7.336.567	4.475.922	3.554.585
8	541BC1	46,3	15.268.608	1.113.074	729.886	678.586
9	541BC2	52	12.126.917	119.699	220.043	249.741
10	541WF3	36,8	23.300.224	19.164.244	19.496.352	19.825.549
11	541BC3	41	18.883.417	9.733.500	7.972.188	7.191.001
12	541BC4	42,7	17.626.871	5.954.207	4.382.572	3.737.660
13	541CR1	38,9	29.740.641	20.674.265	18.999.173	18.138.242
14	541BE2	44,5	58.294.617	4.428.629	3.135.900	2.657.573
15	541BL1	46,3	20.177.192	754.317	725.661	879.151
16	541BM1	39,8	113.379.518	33.198.736	29.531.031	27.461.878
17	541FN7	41,9	22.254.403	6.271.708	5.155.057	4.711.925
18	541FN8	38,6	51.018.005	25.664.604	24.111.265	23.455.179
19	541MM1	42,1	30.240.626	4.543.926	3.786.549	3.511.895

Tabel 5.16 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun (Lanjutan)

No.	Sub-Sub Unit	R (%) Sebelum Optimasi	Laju Biaya per Tahun (Rupiah)			
			Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
				R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
20	541SR1	53,6	12.575.152	225.918	267.534	338.877
21	541AS5	47,6	9.613.289	579.466	402.903	401.186
22	561AS1	43	7.804.170	2.274.079	1.810.275	1.630.295
23	561BE1	40,8	17.418.517	9.251.359	8.024.803	7.515.484
24	511BC4	42,2	53.971.767	15.230.144	12.095.714	10.682.794
25	511BC5	44,6	48.938.001	4.141.637	3.116.322	2.648.605
26	511BC6	43	52.175.904	7.893.372	6.136.470	5.338.411
27	512BC5	44,2	49.769.265	7.066.259	5.319.210	4.423.004
28	512BC6	46,1	30.704.776	1.855.258	1.388.297	1.205.376
29	512BC7	47,4	58.240.503	2.207.614	1.496.935	1.222.438
30	512BE1	49,7	236.769.800	2.176.425	1.337.864	1.016.350
31	541BC5	39,7	39.923.989	18.158.211	16.356.513	15.505.588
32	541BE3	43,3	122.481.463	17.604.691	13.149.239	11.187.363
33	541WF1	50,4	13.353.218	216.181	274.579	333.614
Total			1.453.654.896	343.914.146	303.210.347	285.514.966

Tabel 5.16 menunjukkan laju pemeliharaan pencegahan per tiga tahun untuk masing-masing sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun dihitung dengan cara mengurangi nilai laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun sebelum optimasi dengan nilai laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun setelah optimasi. Hasil perhitungan penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun ditunjukkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Penurunan Laju Biaya per Tiga Tahun (Rupiah)		
		R _G = 0,7	R _G = 0,85	R _G = 0,9
1	521BC1	27.761.253	30.057.348	31.018.693
2	521BC2	13.337.336	14.655.662	15.446.289
3	521BC3	17.818.301	19.604.353	20.444.329
4	521BC4	26.410.792	27.778.777	28.828.112
5	521BC5	15.352.441	14.918.771	14.520.769
6	521BC6	13.952.299	14.381.476	14.437.668
7	521BE1	49.558.998	52.419.643	53.340.980
8	541BC1	14.155.534	14.538.722	14.590.022
9	541BC2	12.007.218	11.906.873	11.877.175
10	541WF3	4.135.980	3.803.872	3.474.675
11	541BC3	9.149.918	10.911.230	11.692.416
12	541BC4	11.672.664	13.244.299	13.889.211
13	541CR1	9.066.376	10.741.468	11.602.399
14	541BE2	53.865.988	55.158.717	55.637.044
15	541BL1	19.422.875	19.451.532	19.298.041
16	541BM1	80.180.782	83.848.487	85.917.641
17	541FN7	15.982.695	17.099.346	17.542.478
18	541FN8	25.353.401	26.906.740	27.562.826
19	541MM1	25.696.701	26.454.077	26.728.732
20	541SR1	12.349.234	12.307.618	12.236.275
21	541AS5	9.033.823	9.210.386	9.212.104
22	561AS1	5.530.090	5.993.895	6.173.875
23	561BE1	8.167.158	9.393.714	9.903.033
24	511BC4	38.741.623	41.876.054	43.288.973
25	511BC5	44.796.363	45.821.678	46.289.395
26	511BC6	44.282.532	46.039.434	46.837.493

Tabel 5.17 Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Tiga Tahun (Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Penurunan Laju Biaya per Tiga Tahun (Rupiah)		
		$R_G = 0,7$	$R_G = 0,85$	$R_G = 0,9$
27	512BC5	42.703.006	44.450.055	45.346.261
28	512BC6	28.849.519	29.316.480	29.499.400
29	512BC7	56.032.889	56.743.567	57.018.065
30	512BE1	234.593.375	235.431.936	235.753.451
31	541BC5	21.765.778	23.567.476	24.418.401
32	541BE3	104.876.772	109.332.224	111.294.100
33	541WF1	13.137.037	13.078.639	13.019.604
Total		1.109.740.750	1.150.444.549	1.168.139.930

Berdasarkan Tabel 5.16 dan 5.17, diketahui bahwa biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun dari peralatan-peralatan tersebut mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya keandalan. Besarnya total laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun dan penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun berdasarkan target keandalan (R_G), yaitu:

- Untuk $R_G = 0,7$, total laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun sebesar Rp 343.914.146,00 dan total penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun sebesar Rp1.109.740.750,00.
- Untuk $R_G = 0,85$, total laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun sebesar Rp 303.210.347,00 dan total penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun sebesar Rp1.150.444.549,00.
- Untuk $R_G = 0,9$, total laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun sebesar Rp285.514.966,00 dan total penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun sebesar Rp1.168.139.930,00.

5.5 Pembahasan

Produktivitas perusahaan yang tinggi dapat dicapai apabila sistem produksi perusahaan memiliki keandalan yang tinggi. Keandalan sistem yang tinggi dapat dicapai apabila keandalan peralatan sub sistem juga memiliki keandalan yang tinggi. Metode alokasi dan optimasi keandalan membantu pengambil keputusan dalam peningkatan keandalan peralatan sesuai dengan target yang ingin dicapai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.11 untuk sub-sub unit dan Tabel 5.12 untuk sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

Dengan menggunakan alokasi keandalan sub-sub-sub unit, interval waktu pemeliharaan pencegahan tiap sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 dapat ditentukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.13. Interval waktu tersebut merupakan waktu yang paling baik untuk dilakukannya pemeliharaan pencegahan terhadap tiap-tiap sub-sub-sub unit sesuai dengan target keandalan sistem yang ditetapkan. Dengan demikian, perusahaan dapat menghindari terjadinya kegagalan peralatan sehingga dapat menghemat pengeluaran biaya perbaikan.

Laju biaya pemeliharaan pencegahan dihitung berdasarkan alokasi keandalan dan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang dapat meminimalkan laju pengeluaran biaya akibat terjadinya kegagalan. Tabel 5.16 menunjukkan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun untuk seluruh sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Dari tabel tersebut dapat diketahui jika perusahaan dapat mengusahakan keandalan sistem sebesar 0,9 maka total laju biaya pemeliharaan pencegahan yang harus ditanggung oleh perusahaan adalah sebesar Rp285.514.966,00 per tiga tahun. Jumlah tersebut jauh lebih murah dibandingkan dengan total laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun yang ditanggung oleh perusahaan saat ini. Penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Metode alokasi dan optimasi keandalan adalah salah satu teknik dalam manajemen pemeliharaan pencegahan dengan pendekatan analisis keandalan. Dengan metode ini, perusahaan dimudahkan dalam membuat perencanaan pemeliharaan pencegahan dengan mempertimbangkan target keandalan sistem. Dari hasil penelitian ini, terdapat beberapa aspek lain yang dapat digunakan oleh perusahaan pada perencanaan pemeliharaan pencegahan, yaitu laju biaya pemeliharaan pencegahan dan indeks kelayakan peralatan. Berdasarkan laju biaya pemeliharaan pencegahan dan target keandalan sistem, perusahaan dapat memperkirakan biaya yang dibutuhkan ketika melakukan perencanaan pemeliharaan pencegahan, sedangkan indeks kelayakan peralatan memberikan informasi mengenai perbandingan tingkat kepentingan antara peralatan yang satu dengan yang lain.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI ANALISIS KERUSAKAN PERALATAN

6.1 Analisis Kerusakan Komponen Sub Unit Penggilingan Akhir 1

Hal lain yang perlu diperhatikan pada penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan yaitu analisis mengenai kerusakan yang terjadi pada tiap-tiap peralatan penyusun sistem. Analisis tersebut meliputi mode kerusakan peralatan (*failure modes*), penyebab kerusakan peralatan (*failure causes*) dan akar penyebab kerusakan peralatan (*root causes*). Data hasil analisis kerusakan ini dapat digunakan sebagai data pendukung untuk melengkapi penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1.

Pada analisis kerusakan ini digunakan prinsip Pareto untuk menentukan peralatan-peralatan penyebab kegagalan utama pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1. Berdasarkan data frekuensi kerusakan yang ditunjukkan pada Tabel 6.1 maka digunakan batas bawah frekuensi kerusakan sebesar 27 kali untuk membuat diagram Pareto seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.1. Diagram Pareto pada Gambar 6.1 menunjukkan bahwa peralatan-peralatan penyebab kegagalan utama, yaitu 561BE1, 541FN7, 541BM1, 521BC3, 512BE1, 541BC2, 521BE1, 541BE3, 541BC3, 512BC6, dan 541AS5 memiliki prosentase kumulatif sebesar 100%.

Tabel 6.1 Data Frekuensi Kegagalan pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Periode Januari 2013-Desember 2015

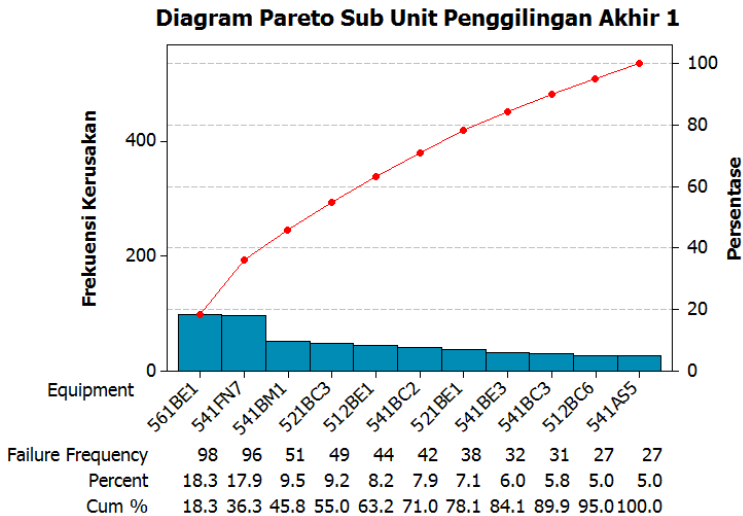
No.	Sub-Sub-Unit	Frekuensi Kegagalan	Total Downtime (menit)	Prosentase (%)	Prosentase Kumulatif (%)
1	561BE1	98	8445	12	12
2	541FN7	96	5587	11,7	23,7
3	541BM1	51	11510	6,2	30

Tabel 6.1 Data Frekuensi Kegagalan pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Periode Januari 2013-Desember 2015 (Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Frekuensi Kegagalan	Total Downtime (menit)	Prosentase (%)	Prosentase Kumulatif (%)
4	521BC3	49	3870	6,0	35,9
5	512BE1	44	9300	5,4	41,3
6	541BC2	42	2102	5,1	46,5
7	521BE1	38	5715	4,6	51,1
8	541BE3	32	5388	3,9	55
9	541BC3	31	3015	3,8	58,8
10	512BC6	27	1245	3,3	62,1
11	541AS5	27	3723	3,3	65,4
12	541CR1	24	5147	2,9	68,3
13	511BC5	21	2490	2,6	70,9
14	541MM1	19	1611	2,3	73,2
15	511BC6	17	905	2,1	75,3
16	541BC4	17	1815	2,1	77,4
17	541WF1	17	1434	2,1	79,5
18	541FN8	16	720	2	81,4
19	561AS1	16	1690	2	83,4
20	521BC4	14	675	1,7	85,1
21	521BC6	14	1515	1,7	86,8
22	512BC5	13	540	1,6	88,4
23	521BC5	13	660	1,6	90
24	541WF3	13	723	1,6	91,6
25	511BC4	12	705	1,5	93
26	541BC1	12	1600	1,5	94,5
27	521BC1	11	750	1,3	95,8
28	521BC2	11	630	1,3	97,2

Tabel 6.1 Data Frekuensi Kegagalan pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Periode Januari 2013-Desember 2015 (Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Frekuensi Kegagalan	Total Downtime (menit)	Prosentase (%)	Prosentase Kumulatif (%)
29	541SR1	7	3731	9	98
30	541BE2	6	6454	0,7	98,8
31	541BC5	5	735	0,6	99,4
32	512BC7	3	360	0,4	99,8
33	541BL1	2	60	0,2	100



Gambar 6.1 Diagram Pareto Frekuensi Kegagalan pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1

6.1.1 Sub-Sub Unit Transportasi Terak

6.1.1.1 Belt Conveyor (521BC3)

521BC3 berfungsi untuk memindahkan material terak dari 521BC6 menuju ke 521BE1 atau 521BE2 untuk diteruskan ke tempat penampungan terak sementara (521BI2). Analisis

kerusakan terhadap 521BC3 dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 49 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun alat ini mengikuti model seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.2. Dengan demikian, apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen maka akan menyebabkan seluruh sistem berhenti beroperasi.



Gambar 6.2 Komponen Penyusun 521BC3

Berdasarkan data riwayat kerusakan, diketahui bahwa komponen *head drum* pada alat 521BC3 merupakan komponen yang sering mengalami kegagalan. Komponen penyusun dari komponen *head drum* ditunjukkan pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3 Komponen Penyusun *Head Drum*

Analisis kerusakan peralatan terhadap komponen *head drum* dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Analisis Kerusakan *Head Drum*

Peralatan	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Akar Penyebab Kegagalan
<i>Head Drum</i>	<i>Shaft</i> geser	<i>Bearing</i> longgar	Tidak di- <i>adjust</i>

1) Mode Kegagalan

Kegagalan yang biasa terjadi pada komponen *head drum* adalah pergeseran *shaft* dari posisi yang seharusnya.

2) Gejala-Gejala Terjadinya Kegagalan

Gejala kegagalan pada *shaft* ditandai dengan getaran dan suara pada *head drum* sehingga mengakibatkan *belt* juga turut bergetar. Pada saat gejala-gejala seperti ini mesin perlu dihentikan untuk melakukan inspeksi atas kegagalan yang terjadi pada *head drum*.

3) Penyebab Kegagalan

Kegagalan yang terjadi pada *shaft* disebabkan oleh:

1. Getaran yang tinggi pada mesin saat proses produksi.
2. Kelalaian tim pemeliharaan untuk memastikan kondisi *bearing* dalam keadaan standar secara rutin.

4) Efek Kegagalan

Efek yang ditimbulkan akibat kegagalan *shaft* adalah:

1. Putaran *head drum* tidak stabil.
2. *Belt* tidak beroperasi dengan baik sehingga tidak dapat memindahkan material sesuai dengan waktu yang ditentukan.
3. Menimbulkan *downtime* pada sistem.

5) Tindakan Perawatan

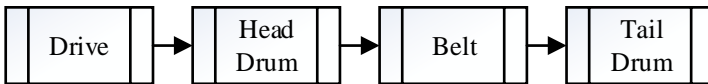
Tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kegagalan pada komponen *head drum* adalah:

1. Kurangi pembebanan yang berlebihan pada saat proses produksi.
2. Lakukan inspeksi rutin secara teratur terhadap kondisi komponen peralatan produksi.

6.1.1.2 *Belt Conveyor (541BC2)*

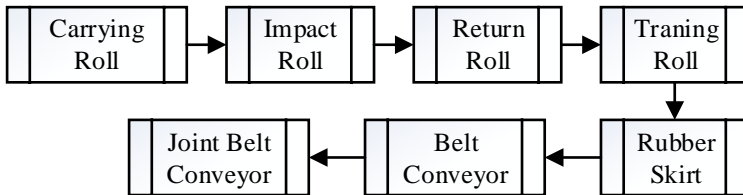
541BC2 berfungsi untuk memindahkan material terak dari 541BE1 menuju ke proses *pre-grinding* di 541CR1 dan *main grinding* di 541BM1. Analisis kerusakan terhadap 541BC2

dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 42 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun 541BC2 mengikuti model seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.4. Dengan demikian, apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen maka akan menyebabkan seluruh sistem berhenti beroperasi.



Gambar 6.4 Komponen Penyusun 541BC2

Berdasarkan data riwayat kerusakan, diketahui bahwa komponen *belt* pada alat 541BC2 merupakan komponen yang sering mengalami kegagalan. Komponen penyusun dari komponen *belt* ditunjukkan pada Gambar 6.5



Gambar 6.5 Komponen Penyusun *Belt*

Analisis kerusakan peralatan terhadap komponen *belt* dapat dilihat pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Analisis Kerusakan *Belt*

Peralatan	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Akar Penyebab Kegagalan
Belt	<i>Joint belt conveyor</i> rusak	<i>Tension belt</i> maksimum	<i>Overload</i>
	<i>Fastener</i> putus di tengah	Gesekan dengan <i>belt</i>	<i>Rubber skirt</i> tidak bagus

1) Mode Kegagalan

Kegagalan yang biasa terjadi pada komponen *belt* adalah:

1. *Joint belt conveyor* rusak.
2. *Fastener* putus di tengah.

2) Gejala-Gejala Terjadinya Kegagalan

Gejala kegagalan pada *joint belt conveyor* ditandai dengan getaran dan suara pada *belt* atau adanya tumpahan material di sekitar komponen, sedangkan kegagalan *fastener* ditandai dengan keausan. Apabila gejala-gejala tersebut muncul, mesin perlu dihentikan untuk melakukan inspeksi atas kegagalan yang terjadi pada *joint belt conveyor* atau *fastener*.

3) Penyebab Kegagalan

Kegagalan yang terjadi pada *joint belt conveyor* dan *fastener* disebabkan oleh:

1. Adanya material yang jatuh ke sela-sela komponen *roll* sehingga menambah panjang lintasan putar *belt* dan mengakibatkan gaya tarik yang diterima oleh *belt* melebihi dari yang semestinya.
2. Gesekan antara *rubber skirt* dengan *belt conveyor*.

4) Efek Kegagalan

Efek yang ditimbulkan akibat kegagalan *joint belt conveyor* dan *fastener* adalah:

1. *Belt* tidak dapat memindahkan material secara benar sehingga mengakibatkan *downtime* pada sistem.
2. Pencemaran lingkungan dan kerugian bahan baku pembuatan produk akibat tumpahnya material.

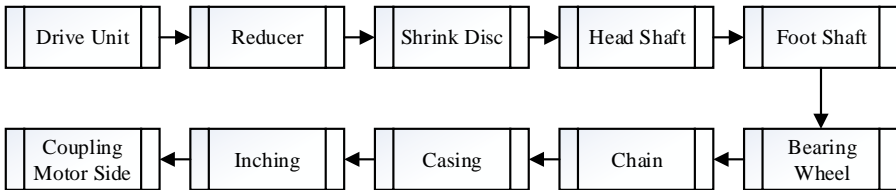
5) Tindakan Perawatan

Tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kegagalan pada komponen *belt* adalah:

1. Mengurangi pembebanan yang berlebihan pada saat proses produksi.
2. Mengecek kualitas komponen *rubber skirt* agar lebih tahan lama terhadap gesekan.

6.1.1.3 *Bucket Elevator (521BE1)*

521BE1 berfungsi untuk mengangkut material secara vertikal dari 521BC2, 521BC3 atau 521BC5 menuju ke 521BI2. Analisis kerusakan terhadap 521BE1 dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 38 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun 521BE1 mengikuti model seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.6. Dengan demikian, apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen maka akan menyebabkan seluruh sistem berhenti beroperasi.

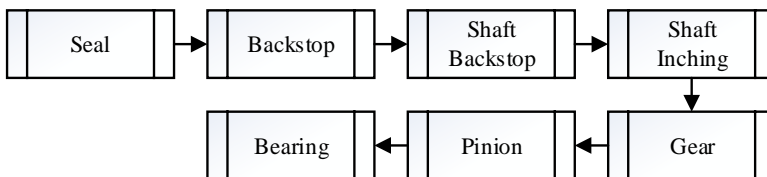


Gambar 6.6 Komponen Penyusun 521BE1

Berdasarkan data riwayat kerusakan, diketahui bahwa komponen *head shaft*, *reducer* dan *chain* pada alat 521BE1 merupakan komponen yang sering mengalami kegagalan. Komponen penyusun dari komponen *head shaft* dan *reducer* ditunjukkan pada Gambar 6.7 dan 6.8.



Gambar 6.7 Komponen Penyusun *Head Shaft*



Gambar 6.8 Komponen Penyusun *Reducer*

Analisis kerusakan peralatan terhadap komponen *head shaft*, *reducer* dan *chain* dapat dilihat pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Analisis Kerusakan *Head Shaft*, *Reducer* dan *Chain*

Peralatan	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Akar Penyebab Kegagalan
Head Shaft, Reducer dan Chain	<i>Chain</i> miring	<i>Chute feed end</i> tersumbat, <i>rim segment</i> aus	Material <i>input</i> berukuran besar-besar, putaran <i>chain</i> tidak stabil
	<i>Shaft backstop</i> bengkok, <i>bolt backstop</i> lepas	Benturan dengan benda asing (besi atau batu), putaran <i>chain</i> tidak stabil	Beban terlalu berat (<i>overload</i>)

1) Mode Kegagalan

Kegagalan yang biasa terjadi pada komponen *chain*, *head shaft* dan *reducer* adalah:

1. *Chain* miring.
2. *Shaft backstop* bengkok.
3. *Bolt backstop* lepas.

2) Gejala-Gejala Terjadinya Kegagalan

Gejala kegagalan pada *chain* ditandai dengan getaran pada mesin terutama pada komponen *shaft* atau dapat diketahui melalui pengamatan langsung terhadap komponen *chain* itu sendiri, sedangkan pada *reducer* ditandai dengan suara yang tidak normal pada motor. Apabila gejala-gejala tersebut muncul, mesin perlu dihentikan untuk melakukan inspeksi atas kegagalan yang terjadi pada *chain*, *head shaft* atau *reducer*.

3) Penyebab Kegagalan

Kegagalan yang terjadi pada *chain*, *head shaft* dan *reducer* disebabkan oleh:

1. *Chute feed end* pada *ball mill* tersumbat sehingga material yang masuk berukuran lebih besar dari yang semestinya dan menyebabkan *chain* menjadi miring.
2. Keausan *rim segment* yang menyebabkan *head shaft* mengalami kegagalan dan mengakibatkan putaran *chain* menjadi tidak stabil.

4) Efek Kegagalan

Efek yang ditimbulkan akibat kegagalan *chain*, *head shaft* dan *reducer* adalah:

1. *Bucket* rusak.
2. *Omega coupling* lepas.
3. Arah putar *chain* berlawanan arah dengan yang semestinya sehingga mesin harus berhenti beroperasi.

5) Tindakan Perawatan

Tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kegagalan pada komponen *chain*, *head shaft* dan *reducer* adalah:

1. Mengurangi pembebanan yang berlebihan pada saat proses produksi.
2. Cek kondisi material yang masuk ke dalam peralatan secara rutin.

6.1.2 Sub-Sub Unit HRC Line

6.1.2.1 Belt Conveyor (541BC3)

541BC3 berfungsi untuk memindahkan material terak hasil proses *pre-grinding* di 541CR1 menuju ke 541BM1 atau memindahkan material gypsum dan trass dari 541BE3 menuju ke 541BM1 untuk proses *main grinding* dan pencampuran. Analisis kerusakan terhadap 541BC3 dilakukan karena alat ini memiliki

frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 31 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1.

Pemodelan sistem komponen penyusun 541BC3 sama dengan 541BC2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.4. Dengan kondisi operasional yang sama, mode kegagalan yang terjadi pada 541BC3 memiliki kesamaan dengan 541BC2 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.3.

6.1.3 Sub-Sub Unit Peralatan Utama

6.1.3.1 *Fan* (541FN7)

541FN7 berfungsi untuk mengatur volume udara di dalam *air separator* (541SR1). Analisis kerusakan terhadap 541FN7 dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 96 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun alat ini mengikuti model seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.9. Dengan demikian, apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen maka akan menyebabkan seluruh sistem berhenti beroperasi.



Gambar 6.9 Komponen Penyusun 541FN7

Berdasarkan data riwayat kerusakan, diketahui bahwa komponen *bearing* dan *damper* pada alat 541FN7 merupakan komponen yang sering mengalami kegagalan. Komponen penyusun dari komponen *damper* ditunjukkan pada Gambar 6.10.



Gambar 6.10 Komponen Penyusun *Damper*

Analisis kerusakan peralatan terhadap komponen *bearing* dan *damper* dapat dilihat pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5 Analisis Kerusakan *Bearing* dan *Damper*

Peralatan	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Akar Penyebab Kegagalan
Bearing dan Damper	Vibrasi <i>bearing</i> abnormal	<i>Bearing looseness</i> , posisi <i>bearing</i> miring (tidak 90°)	Instalasi <i>bearing</i> tidak tepat, getaran mesin saat proses produksi
	<i>Blade</i> aus	<i>Impeller</i> aus akibat turbulensi udara	<i>Gap</i> antara <i>impeller</i> dan <i>defuser</i> terlalu lebar

1) Mode Kegagalan

Kegagalan yang biasa terjadi pada komponen *bearing* dan *damper* adalah:

1. Vibrasi *bearing* abnormal.
2. *Blade* aus.

2) Gejala-Gejala Terjadinya Kegagalan

Gejala kegagalan pada *bearing* ditandai dengan getaran dan suara pada mesin terutama pada komponen *shaft*, sedangkan pada *blade* ditandai dengan menurunnya volume udara yang dihasilkan. Apabila gejala-gejala tersebut muncul, perlu dilakukan inspeksi untuk melakukan pemeliharaan atau penggantian komponen *bearing* atau *blade*.

3) Penyebab Kegagalan

Kegagalan yang terjadi pada *bearing* dan *blade* disebabkan oleh:

1. Getaran pada mesin pada saat proses produksi.
2. *Overload*.
3. Instalasi pemasangan *bearing* tidak tepat.
4. Keausan *impeller* akibat turbulensi udara yang disebabkan oleh ketidaksesuaian desain alat dimana *gap* antara *impeller* dengan *defuser* terlalu lebar sehingga menyebabkan keausan *blade*.

4) Efek Kegagalan

Efek yang ditimbulkan akibat kegagalan *bearing* dan *blade* adalah:

1. Mengurangi umur *bearing*.
2. Putaran poros tidak stabil.
3. Keausan *blade* menyebabkan vibrasi yang tinggi bagi komponen *bearing*.
4. Menimbulkan *downtime* pada sistem.

5) Tindakan Perawatan

Tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kegagalan pada komponen *bearing* dan *blade*:

1. Pemasangan pengunci bearing di kedua sisi dilakukan secara benar untuk mencegah kemiringan posisi bearing.
2. Inovasi desain alat untuk menghindari keausan *blade*.

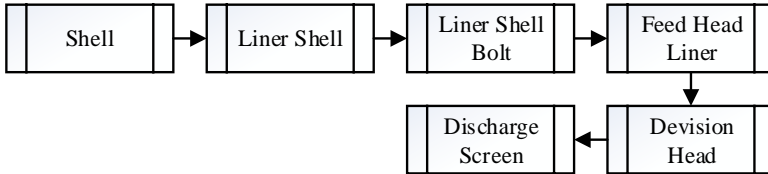
6.1.3.2 Ball Mill (541BM1)

541BM1 berfungsi untuk melakukan penggilingan akhir dan mencampurkan terak (semen setengah jadi) dengan bahan tambahan semen lainnya sehingga menjadi semen jadi. Analisis kerusakan terhadap 541BM1 dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 51 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun 541BM1 mengikuti model seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.11, sehingga apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen akan menyebabkan seluruh sistem berhenti beroperasi.



Gambar 6.11 Komponen Penyusun 541BM1

Berdasarkan data riwayat kerusakan, diketahui bahwa komponen *ball mill* area dalam pada alat 521BM1 merupakan komponen yang sering mengalami kegagalan. Komponen penyusun dari komponen *ball mill* area dalam ditunjukkan pada Gambar 6.12.



Gambar 6.12 Komponen Penyusun *Ball Mill* Area Dalam

Analisis kerusakan peralatan terhadap 541BM1 dapat dilihat pada Tabel 6.6.

Tabel 6.6 Analisis Kerusakan 541BM1

Peralatan	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Akar Penyebab Kegagalan
541BM1	<i>Chute feed end</i> tersumbat	<i>Discharge screen</i> tersumbat	HRC gagal
	<i>Liner compartment 1</i> bocor	<i>Liner compartment 1</i> patah atau pecah	Retorsi terlambat dilakukan

1) Mode Kegagalan

Kegagalan yang biasa terjadi pada komponen *ball mill* area dalam adalah:

1. *Chute feed end* tersumbat.
2. *Liner compartment 1* bocor.

2) Gejala-Gejala Terjadinya Kegagalan

Gejala kegagalan pada *chute feed end* ditandai dengan volume material di dalam *liner compartment 1* dan 2 tidak sesuai dengan yang ditentukan dan volume material pada peralatan-peralatan yang mendahului 541BM1 mengalami *overload*. Apabila gejala-

gejala tersebut ditemukan, seluruh sistem harus dihentikan untuk melakukan inspeksi terhadap komponen *chute feed end* atau *liner compartment 1*.

3) Penyebab Kegagalan

Kegagalan yang terjadi pada *chute feed end* dan *liner compartment 1* disebabkan oleh:

1. Tersumbatnya *discharge screen* akibat kegagalan proses *pre-grinding* di HRC yang menyebabkan material yang masuk berukuran besar-besar sehingga menyumbat lubang-lubang pada *discharge screen*.
2. *Liner compartment 1* patah atau pecah akibat keterlambatan *re-torque*.

4) Efek Kegagalan

Efek yang ditimbulkan akibat kegagalan *chute feed end* dan *liner compartment 1* adalah:

1. Penumpukan material mulai dari *liner compartment 1* hingga peralatan-peralatan sebelumnya sehingga mengakibatkan *downtime* pada sistem.
2. Pencemaran lingkungan dan kerugian bahan baku akibat tumpahnya material semen.

5) Tindakan Perawatan

Tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kegagalan pada komponen *chute feed end* dan *liner compartment 1* adalah:

1. Cek kondisi material yang masuk ke peralatan secara rutin.
2. Peninjauan ulang terhadap jadwal pemeliharaan.

6.1.4 Sub-Sub Unit Transportasi Produk

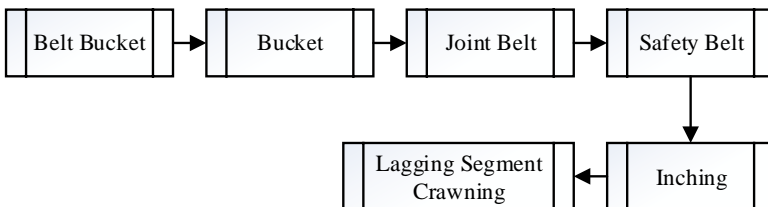
6.1.4.1 Bucket Elevator (561BE1)

561BE1 berfungsi untuk memindahkan produk (semen) dari 541AS5 menuju ke 561AS1 untuk diteruskan ke penampungan produk di silo semen. Analisis kerusakan terhadap 561BE1 dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 98 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun alat ini mengikuti model seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.13. Dengan demikian, apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen maka akan menyebabkan seluruh sistem berhenti beroperasi.



Gambar 6.13 Komponen Penyusun 561BE1

Berdasarkan data riwayat kerusakan, diketahui bahwa komponen *driven* pada alat 561BE1 merupakan komponen yang sering mengalami kegagalan. Komponen penyusun dari komponen *driven* ditunjukkan pada Gambar 6.14.



Gambar 6.14 Komponen Penyusun *Driven*

Analisis kerusakan peralatan terhadap komponen *driven* dapat dilihat pada Tabel 6.7.

Tabel 6.7 Analisis Kerusakan *Driven*

Peralatan	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Akar Penyebab Kegagalan
<i>Driven</i>	<i>Belt bucket</i> miring	<i>Lagging segment</i> <i>crawning</i> aus	Arah <i>chute</i> tidak sesuai dengan standar, <i>overload</i>

1) Mode Kegagalan

Kegagalan yang biasa terjadi pada komponen *driven* adalah *belt bucket* miring.

2) Gejala-Gejala Terjadinya Kegagalan

Gejala kegagalan pada *belt bucket* ditandai dengan getaran dan suara pada mesin terutama pada komponen *shaft* atau dapat diketahui melalui pengamatan langsung terhadap komponen *belt bucket* itu sendiri. Apabila ditemukan gejala tersebut, mesin perlu dihentikan untuk melakukan inspeksi atas kegagalan yang terjadi pada *belt bucket*.

3) Penyebab Kegagalan

Kegagalan yang terjadi pada *belt bucket* disebabkan oleh keausan *lagging segment* *crawning* yang disebabkan oleh arah *chute* yang tidak sesuai dengan standar atau diakibatkan oleh *overload* sehingga menyebabkan kegagalan *fatigue* pada *belt bucket* akibat abrasi.

4) Efek Kegagalan

Efek yang ditimbulkan akibat kegagalan *belt bucket* adalah putusanya *belt bucket* dan mengakibatkan *downtime* pada sistem.

5) Tindakan Perawatan

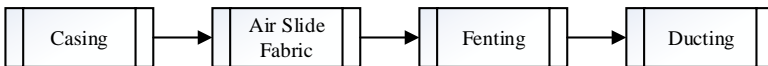
Tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kegagalan pada komponen *belt bucket* adalah:

1. Menghindari proses produksi yang berlebihan (*overload*).

2. Melakukan pengawasan terhadap instalasi peralatan agar sesuai dengan standar penggunaan.

6.1.4.2 *Air Slide* (541AS5)

Air slide memanfaatkan gravitasi dan udara bertekanan rendah yang masuk melalui media membran berpori untuk memindahkan produk dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah (kemiringan sekitar 6-14°). 541AS5 berfungsi untuk memindahkan produk semen dari 541CN1 menuju ke 561BE1. Analisis kerusakan terhadap 541AS5 dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 27 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun 541AS5 mengikuti model seri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.15, sehingga apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen akan menyebabkan seluruh sistem berhenti beroperasi.



Gambar 6.15 Komponen Penyusun 541AS5

Berdasarkan data riwayat kerusakan, diketahui bahwa komponen *casing* dan *air slide fabric* pada alat 541AS5 merupakan komponen yang sering mengalami kegagalan. Komponen penyusun dari komponen *casing* ditunjukkan pada Gambar 6.16.



Gambar 6.16 Komponen Penyusun *Casing*

Analisis kerusakan peralatan terhadap 541AS5 dapat dilihat pada Tabel 6.8.

Tabel 6.8 Analisis Kerusakan 541AS5

Peralatan	Mode Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Akar Penyebab Kegagalan
541AS5	Tersumbat (buntu)	<i>Air slide fabric</i> rusak, <i>casing</i> bocor, kondensasi	<i>Flanges</i> bocor, instalasi alat tidak tepat, material terlalu dingin, <i>overload</i>

1) Mode Kegagalan

Kegagalan yang biasa terjadi pada 541AS5 adalah tersumbat (buntu).

2) Gejala-Gejala Terjadinya Kegagalan

Gejala kegagalan pada 541AS5 ditandai dengan tidak adanya *supply* material pada peralatan berikutnya, yaitu 561BE1. Apabila gejala tersebut ditemukan, mesin perlu dihentikan untuk melakukan inspeksi atas kegagalan yang terjadi pada 541AS5.

3) Penyebab Kegagalan

Kegagalan yang terjadi pada 541AS5 disebabkan oleh:

1. *Air slide fabric* rusak.
2. *Casing* bocor akibat kebocoran pada *flanges*.
3. Kondensasi akibat material yang masuk memiliki suhu terlalu rendah dan mengakibatkan material tersebut mudah mengeras pada saat di dalam 541AS5.

4) Efek Kegagalan

Efek yang ditimbulkan akibat kegagalan 541AS5 adalah:

1. *Overload* pada peralatan-peralatan sebelum 541AS5.
2. Tidak ada *supply* material pada peralatan setelah 541AS5.
3. Menimbulkan *downtime* pada sistem.

5) Tindakan Perawatan

Tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk mencegah atau mengurangi terjadinya kegagalan pada komponen 541AS5:

1. Pengawasan terhadap kondisi material yang masuk ke dalam peralatan.
2. Mempertimbangkan pengatur suhu sebagai alat tambahan untuk menjaga temperatur di dalam 541AS5.
3. Menghindari proses produksi yang berlebihan.

6.1.5 Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

6.1.5.1 *Bucket Elevator (512BE1 dan 541BE3)*

512BE1 berfungsi untuk memindahkan material gypsum atau trass secara vertikal dari 512BC5 ke 512BC6 untuk diteruskan menuju ke penyimpanan gypsum sementara di 511BI3 atau penyimpanan trass sementara di 511BI4, sedangkan 541BE3 berfungsi untuk memindahkan material gypsum atau trass dari 541BC5 menuju ke 541BC3. Analisis kerusakan terhadap 512BE1 dan 541BE3 dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 44 kali dan 32 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun kedua alat ini sama dengan 521BE1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.6. Dengan kondisi operasional yang sama, mode kegagalan yang terjadi pada 512BE1 dan 541BE3 memiliki kesamaan dengan 521BE1 yang dapat dilihat pada Tabel 6.4.

6.1.5.2 *Belt Conveyor (512BC6)*

Alat 512BC6 berfungsi untuk memindahkan material gypsum atau trass dari 512BE1 ke 512BC7 untuk diteruskan menuju ke 511BI3 atau 511BI4. Analisis kerusakan terhadap 512BC6 dilakukan karena alat ini memiliki frekuensi kerusakan yang tinggi sebanyak 27 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1. Pemodelan sistem komponen penyusun 512BC6 sama dengan 541BC2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.4. Dengan kondisi operasional yang sama, mode kegagalan yang terjadi pada 512BC6 memiliki kesamaan dengan 541BC2 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.3.

LAMPIRAN 1

A. Analisis Keandalan

1. Transportasi Terak

1.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak

Tabel A.1.1.1 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 521BC1

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66457,5	742,5
3	64320,25	2137,25
4	62113	2207,25
5	61370	743
6	60650	720
7	59908	742
8	59184,5	723,5
9	54816,25	4368,25
10	46057	8759,25

Tabel A.1.1.2 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 521BC2

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66456,5	743,5
3	64320,25	2136,25
4	61369	2951,25
5	60649	720
6	59904,25	744,75
7	59184,5	719,75
8	54817	4367,5
9	45342	9475

Tabel A.1.1.3 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 521BC3

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66458	742
3	65790	668
4	65041	749
5	64320,25	720,75
6	62859,5	1460,75
7	62114,5	745
8	61369,5	745
9	60649	720,5
10	59905	744
11	59186,5	718,5
12	58440,5	746
13	57026,5	1414
14	54818	2208,5
15	52614,5	2203,5
16	51892,5	722
17	51155,5	737
18	49683	1472,5
19	48275,5	1407,5
20	47521	754,5
21	43128,25	4392,75

Tabel A.1.1.4 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 521BC4

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66457	743
3	65040,25	1416,75
4	64320,25	720
5	63576,25	744
6	62857	719,25
7	62113	744
8	59185	2928
9	57025	2160
10	54818,5	2206,5
11	51889	2929,5
12	43130	8759

Tabel A.1.1.5 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 521BC5

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66456,5	743,5
3	65040,25	1416,25
4	63576,5	1463,75
5	62856,75	719,75
6	61368,25	1488,5
7	57025	4343,25
8	54817	2208
9	52614	2203
10	43128,25	9485,75
11	40920,5	2207,75

Tabel A.1.1.6 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 521BC6

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	62112,25	5087,75
3	60650	1462,25
4	59908,25	741,75
5	57027,5	2880,75
6	54096,25	2931,25
7	52609	1487,25
8	51889	720
9	48266	3623
10	46060	2206
11	44599	1461

Tabel A.1.1.7 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 521BE1

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	63578	3622
3	62862	716
4	61374	1488
5	60657	717
6	59912	745
7	59197	715
8	58441	756
9	56284	2157
10	53356	2928
11	52612,5	743,5

Tabel A.1.1.7 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 521BE1 (Lanjutan)

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
12	51144,5	1468
13	50425	719,5
14	48945	1480
15	47521	1424
16	45349	2172
17	42384,25	2964,75
18	41676	708,25
19	40921	755

Tabel A.1.1.8 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BC1

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	63577,42	3622,583
3	59905,75	3671,667
4	57696,5	2209,25
5	57024,25	672,25
6	56280,5	743,75
7	55564,25	716,25
8	54817,28	746,9667
9	49680,25	5137,033
10	47523	2157,25
11	46801	722
12	46057,5	743,5
13	45341,5	716
14	42384,33	2957,167

Tabel A.1.1.9 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BC2

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	56285,67	10914,33
3	55580,17	705,5
4	51888,25	3691,917
5	51145	743,25
6	49683,83	1461,167
7	48938,12	745,7167
8	47521,5	1416,617

Tabel A.1.1.10 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541WF3

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	66456,5	743,5
3	63578,17	2878,333
4	62856,5	721,6667
5	53353,05	9503,45
6	52611	742,05
7	45337	7274
8	44593	744
9	42384,5	2208,5
10	41664,83	719,6667
11	40921	743,8333

1.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak

Sesuai dengan hasil estimasi parameter oleh perangkat lunak Weibull++6, fungsi padat peluang (*pdf*) komponen penyusun dari Sub-Sub Unit Transportasi Terak dapat ditentukan berdasarkan Tabel A.1.2.

Tabel A.1.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak

Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
521BC1	Weibull 2	$\frac{1,210}{8761,667} \left(\frac{t}{8761,667}\right)^{1,210-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{8761,667}\right)^{1,210}\right]$
521BC2	Weibull 2	$\frac{1,110}{9234,833} \left(\frac{t}{9234,833}\right)^{1,110-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{9234,833}\right)^{1,110}\right]$
521BC3	Weibull 2	$\frac{1,254}{11322} \left(\frac{t}{11322}\right)^{1,254-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{11322}\right)^{1,254}\right]$
521BC4	Weibull 2	$\frac{1,139}{8732,29} \left(\frac{t}{8732,29}\right)^{1,139-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{8732,29}\right)^{1,139}\right]$
521BC5	Weibull 2	$\frac{1,001}{11240} \left(\frac{t}{11240}\right)^{1,001-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{11240}\right)^{1,001}\right]$
521BC6	Weibull 2	$\frac{2,195}{8761,667} \left(\frac{t}{8761,667}\right)^{2,195-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{8761,667}\right)^{2,195}\right]$

Tabel A.1.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
521BE1	Weibull 2	$\frac{1,210}{15320,5} \left(\frac{t}{15320,5}\right)^{1,210-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{15320,5}\right)^{1,210}\right]$
541BC1	Weibull 2	$\frac{2,141}{16766} \left(\frac{t}{16766}\right)^{2,141-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{16766}\right)^{2,141}\right]$
541BC2	Weibull 2	$\frac{4,933}{16962} \left(\frac{t}{16962}\right)^{4,933-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{16962}\right)^{4,933}\right]$
541WF3	Weibull 2	$\frac{1,002}{18028} \left(\frac{t}{18028}\right)^{1,002-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{18028}\right)^{1,002}\right]$

1.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak

Fungsi keandalan dari komponen penyusun sub-sub unit transportasi terak terdapat pada Tabel A.1.3.

Tabel A.1.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak

Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
521BC1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{8761,667}\right)^{1,210}}$
521BC2	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{9234,833}\right)^{1,110}}$
521BC3	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{11322}\right)^{1,224}}$
521BC4	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{8732,239}\right)^{1,129}}$
521BC5	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{11240}\right)^{1,001}}$
521BC6	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{8761,667}\right)^{2,192}}$
521BE1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{15320,5}\right)^{1,210}}$
541BC1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{16766}\right)^{2,141}}$
541BC2	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{16962}\right)^{4,933}}$
541WF3	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{18028}\right)^{1,002}}$

1.4 Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak

Waktu rata-rata antar kegagalan (MTBF) dan keandalan saat MTBF pada komponen penyusun sub-sub unit transportasi terak terdapat pada Tabel A.1.5.

Tabel A.1.5 MTBF dan Keandalan saat MTBF Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
521BC1	Weibull 2	$8761,667\Gamma\left(\frac{1}{1,210} + 1\right)$	0,396
521BC2	Weibull 2	$9234,833\Gamma\left(\frac{1}{1,110} + 1\right)$	0,384
521BC3	Weibull 2	$11322\Gamma\left(\frac{1}{1,254} + 1\right)$	0,401
521BC4	Weibull 2	$8732,29\Gamma\left(\frac{1}{1,139} + 1\right)$	0,387
521BC5	Weibull 2	$11240\Gamma\left(\frac{1}{1,001} + 1\right)$	0,368
521BC6	Weibull 2	$8761,667\Gamma\left(\frac{1}{2,195} + 1\right)$	0,465

Tabel A.1.5 MTBF dan Keandalan saat MTBF Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Terak (Lanjutan)

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
521BE1	Weibull 2	$15320,5\Gamma\left(\frac{1}{1,210} + 1\right)$	0,451
541BC1	Weibull 2	$16766\Gamma\left(\frac{1}{2,141} + 1\right)$	0,463
541BC2	Weibull 2	$16962\Gamma\left(\frac{1}{4,933} + 1\right)$	0,520
541WF3	Weibull 2	$18028\Gamma\left(\frac{1}{1,002} + 1\right)$	0,368

2. HRC Line

2.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line

Tabel A.2.1.1 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BC3

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66462	738
3	65040,25	1421,75
4	63581	1459,25
5	62857,5	723,5
6	62114	743,5
7	58444	3670
8	57696,25	747,75
9	57024,25	672
10	56283,5	740,75
11	55563	720,5
12	54819	744
13	53354	1465
14	52610	744
15	51147	1463
16	48941	2206
17	47527	1414
18	46801	726
19	46057	744
20	43848,25	2208,75
21	43128,25	720

Tabel A.2.1.2 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BC4

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66459	741
3	63577	2882
4	62112,75	1464,25
5	61368,5	744,25
6	60648,75	719,75
7	59905	743,75
8	59185	720
9	58441	744
10	57701,5	739,5
11	57024,25	677,25
12	56281,25	743

Tabel A.2.1.2 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BC4 (Lanjutan)

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
13	55560,25	721
14	54818	742,25
15	52609	2209
16	51146	1463
17	50424,5	721,5
18	48266	2158,5
19	46801	1465
20	46057	744
21	45336,5	720,5
22	44595	741,5
23	40921	3674

Tabel A.2.1.3 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541CR1

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	65786	1414
3	65044	742
4	63578	1466
5	61370	2208
6	57698	3672
7	52610	5088
8	49731	2879
9	48268	1463
10	46805	1463
11	43129	3676
12	42392	737
13	40922	1470

2.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line

Sesuai dengan hasil estimasi parameter oleh perangkat lunak Weibull++6, fungsi padat peluang (pdf) komponen penyusun dari Sub-Sub Unit HRC Line dapat ditentukan berdasarkan Tabel A.2.2.

Tabel A.2.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
541BC3	Weibull 2	$\frac{1,345}{14461} \left(\frac{t}{14461}\right)^{1,345-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{14461}\right)^{1,345}\right]$
541BC4	Weibull 2	$\frac{1,537}{14627} \left(\frac{t}{14627}\right)^{1,537-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{14627}\right)^{1,537}\right]$
541CR1	Weibull 2	$\frac{1,149}{15796} \left(\frac{t}{15796}\right)^{1,149-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{15796}\right)^{1,149}\right]$

2.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line

Fungsi keandalan dari komponen penyusun sub-sub unit HRC Line terdapat pada Tabel A.2.3.

Tabel A.2.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
541BC3	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{14461}\right)^{1,345}}$
541BC4	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{14627}\right)^{1,537}}$
541CR1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{15796}\right)^{1,149}}$

2.4 Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line

Waktu rata-rata antar kegagalan (MTBF) dan keandalan saat MTBF pada komponen penyusun sub-sub unit HRC Line terdapat pada Tabel A.2.5.

Tabel A.2.5 MTBF dan Keandalan saat MTBF Komponen Penyusun Sub-Sub Unit HRC Line

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
541BC3	Weibull 2	$14461\Gamma\left(\frac{1}{1,345} + 1\right)$	0,410
541BC4	Weibull 2	$14627\Gamma\left(\frac{1}{1,537} + 1\right)$	0,427
541CR1	Weibull 2	$15796\Gamma\left(\frac{1}{1,149} + 1\right)$	0,389

3. Peralatan Utama

3.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama

Tabel A.3.1.1 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BE2

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	59956	7244
3	48316,17	11639,83
4	46801,4	1514,767

Tabel A.3.1.2 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BL1

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	56280,5	10919,5
3	47520,5	8760

Tabel A.3.1.3 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BM1

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66470,5	729,5
3	65785,25	685,25
4	65043,63	741,6167
5	64328,33	715,3
6	63596,22	732,1167
7	62857,17	739,05
8	59922,62	2934,55
9	58450,75	1471,867

Tabel A.3.1.3 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BM1 (Lanjutan)

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
10	57697,03	753,7167
11	57028,22	668,8167
12	56293	735,2167
13	55566,42	726,5833
14	54816,88	749,5333
15	54097,33	719,55
16	53358,33	739
17	51146,42	2211,917
18	49689,85	1456,567
19	46059,42	3630,433
20	45350,33	709,0833
21	44593,05	757,2833
22	43848,42	744,6333
23	42385,67	1462,75
24	40931,33	1454,333

Tabel A.3.1.4 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541FN7

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	65797,25	1402,75
3	65044,3	752,95
4	64323,12	721,1833
5	59905,67	4417,45
6	57698,65	2207,017
7	57024,62	674,0333
8	56282,1	742,5167
9	55568,55	713,55
10	54816,17	752,3833
11	54098,17	718
12	53356,55	741,6167
13	49687,07	3669,483

Tabel A.3.1.4 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541FN7

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
14	47523,67	2163,4
15	46800,3	723,3667
16	46056,33	743,9667
17	45349,77	706,5667
18	44594,87	754,9
19	41665,95	2928,917

Tabel A.3.1.5 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541FN8

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	63577,5	3622,5
3	62114	1463,5
4	46057,62	16056,38

Tabel A.3.1.6 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541MM1

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	64325,22	2874,783
3	62114,33	2210,883
4	57697,2	4417,133
5	54829	2868,2
6	51890,5	2938,5
7	48937,18	2953,317
8	43848,17	5089,017

Tabel A.3.1.7 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541SR1

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	53356	13844
3	51889,05	1466,95
4	51145,58	743,4667
5	47573,33	3572,25

3.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama

Sesuai dengan hasil estimasi parameter oleh perangkat lunak Weibull++6, fungsi padat peluang (pdf) komponen penyusun dari Sub-Sub Unit Peralatan Utama dapat ditentukan berdasarkan Tabel A.3.2.

Tabel A.3.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama

Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
541BE2	Weibull 2	$\frac{1,796}{18173,333} \left(\frac{t}{18173,333}\right)^{1,796-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{18173,333}\right)^{1,796}\right]$
541BL1	Weibull 2	$\frac{2,148}{17885} \left(\frac{t}{17885}\right)^{2,148-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{17885}\right)^{2,148}\right]$
541BM1	Weibull 2	$\frac{1,223}{14021} \left(\frac{t}{14021}\right)^{1,223-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{14021}\right)^{1,223}\right]$
541FN7	Weibull 2	$\frac{1,440}{15572} \left(\frac{t}{15572}\right)^{1,440-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{15572}\right)^{1,440}\right]$
541FN8	Weibull 2	$\frac{1,130}{10957} \left(\frac{t}{10957}\right)^{1,130-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{10957}\right)^{1,130}\right]$
541MM1	Weibull 2	$\frac{1,465}{14388} \left(\frac{t}{14388}\right)^{1,465-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{14388}\right)^{1,465}\right]$
541SR1	Weibull 2	$\frac{7,283}{17166} \left(\frac{t}{17166}\right)^{7,283-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{17166}\right)^{7,283}\right]$

3.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama

Fungsi keandalan dari komponen penyusun sub-sub unit peralatan utama terdapat pada Tabel A.3.3.

Tabel A.3.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama

Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
541BE2	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{18173,333}\right)^{1,796}}$
541BL1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{17885}\right)^{2,148}}$
541BM1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{14021}\right)^{1,223}}$
541FN7	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{15572}\right)^{1,440}}$
541FN8	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{10957}\right)^{1,130}}$
541MM1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{14388}\right)^{1,465}}$
541SR1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{17166}\right)^{7,283}}$

3.4 Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama

Waktu rata-rata antar kegagalan (MTBF) dan keandalan saat MTBF pada komponen penyusun sub-sub unit peralatan utama terdapat pada Tabel A.3.5.

Tabel A.3.5 MTBF dan Keandalan saat MTBF Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Peralatan Utama

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
541BE2	Weibull 2	$18173,333\Gamma\left(\frac{1}{1,796} + 1\right)$	0,445
541BL1	Weibull 2	$17885\Gamma\left(\frac{1}{2,148} + 1\right)$	0,463
541BM1	Weibull 2	$14021\Gamma\left(\frac{1}{1,223} + 1\right)$	0,398
541FN7	Weibull 2	$15572\Gamma\left(\frac{1}{1,440} + 1\right)$	0,419
541FN8	Weibull 2	$10957\Gamma\left(\frac{1}{1,130} + 1\right)$	0,386
541MM1	Weibull 2	$14388\Gamma\left(\frac{1}{1,465} + 1\right)$	0,421
541SR1	Weibull 2	$17166\Gamma\left(\frac{1}{7,283} + 1\right)$	0,536

4. Transportasi Produk

4.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Tabel A.4.1.1 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541AS5

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	63584,28	3615,717
3	62857,53	726,75
4	62116	741,5333
5	61369,95	746,05
6	59188	2181,95
7	58441,03	746,9667

Tabel A.4.1.1 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541AS5 (Lanjutan)

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
8	57703,47	737,5667
9	57032,17	671,3
10	54102,17	2930
11	53371,45	730,7167

Tabel A.4.1.2 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 561AS1

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	64321	2879
3	62857,3	1463,7
4	59907,17	2950,133
5	54817,5	5089,667
6	54097	720,5
7	50426	3671
8	48942,5	1483,5
9	48264,7	677,8
10	44599	3665,7
11	42388	2211

Tabel A.3.1.3 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 561BE1

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	65786,17	1413,833
3	65044,02	742,15
4	64324,97	719,05
5	63586,83	738,1333
6	62861,58	725,25
7	62112,33	749,25
8	61368,33	744
9	60651,58	716,75
10	58451,18	2200,4
11	57035,32	1415,867
12	56281,97	753,35
13	55568,05	713,9167
14	54819	749,05
15	54114,5	704,5
16	53353,05	761,45
17	52610,33	742,7167
18	51889	721,3333
19	51144,83	744,1667

Tabel A.3.1.3 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 561BE1 (Lanjutan)

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
20	50428	716,8333
21	48937,8	1490,2
22	48265,2	672,6
23	47529,33	735,8667
24	46804,95	724,3833
25	46059,72	745,2333
26	45337,12	722,6
27	44601,53	735,5833
28	43857,55	743,9833
29	43129	728,55
30	42385,17	743,8333
31	40920,33	1464,833

4.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Sesuai dengan hasil estimasi parameter oleh perangkat lunak Weibull++6, fungsi padat peluang (pdf) komponen penyusun dari Sub-Sub Unit Transportasi Produk dapat ditentukan berdasarkan Tabel A.4.2.

Tabel A.4.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
541AS5	Weibull 2	$\frac{2,475}{9282,167} \left(\frac{t}{9282,167}\right)^{2,475-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{9282,167}\right)^{2,475}\right]$
561AS1	Weibull 2	$\frac{1,576}{16316} \left(\frac{t}{16316}\right)^{1,576-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{16316}\right)^{1,576}\right]$
561BE1	Weibull 2	$\frac{1,320}{15192} \left(\frac{t}{15192}\right)^{1,320-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{15192}\right)^{1,320}\right]$

4.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Fungsi keandalan dari komponen penyusun sub-sub unit transportasi produk terdapat pada Tabel A.4.3.

Tabel A.4.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
541AS5	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{9282,167}\right)^{2,475}}$
561AS1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{16316}\right)^{1,576}}$
561BE1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{15192}\right)^{1,220}}$

4.4 Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Waktu rata-rata antar kegagalan (MTBF) dan keandalan saat MTBF pada komponen penyusun sub-sub unit transportasi produk terdapat pada Tabel A.4.5.

Tabel A.4.5 MTBF dan Keandalan saat MTBF Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Produk

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
541AS5	Weibull 2	$9282,167\Gamma\left(\frac{1}{2,475} + 1\right)$	0,476
561AS1	Weibull 2	$16316\Gamma\left(\frac{1}{1,576} + 1\right)$	0,430
561BE1	Weibull 2	$15192\Gamma\left(\frac{1}{1,320} + 1\right)$	0,408

5. Transportasi Material Ketiga

5.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

Tabel A.5.1.1 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 511BC4

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	66456,5	743,5
3	62856,5	3600

Tabel A.5.1.1 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 511BC4 (Lanjutan)

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
4	62116	740,5
5	60648,5	1467,5
6	59905,5	743
7	59185	720,5
8	58443,25	741,75
9	57696,5	746,75

Tabel A.5.1.2 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 511BC5

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	65043	2157
3	63583	1460
4	62856,5	726,5
5	62116	740,5
6	61371	745
7	60648,25	722,75
8	59906,25	742
9	59184,5	721,75
10	58440,5	744
11	57700	740,5
12	51890	5810
13	49680,5	2209,5
14	46814	2866,5

Tabel A.5.1.3 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 511BC6

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	65785,5	1414,5
3	65040,25	745,25
4	62856,5	2183,75
5	62115,5	741
6	61368,25	747,25
7	59904,5	1463,75
8	59185	719,5
9	58441	744
10	56282	2159
11	54818,33	1463,667
12	54096,25	722,0833
13	52609	1487,25
14	51889	720

Tabel A.5.1.4 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 512BC5

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	65040,25	2159,75
3	64320,5	719,75
4	63577,5	743
5	62856,75	720,75
6	62113	743,75
7	60649	1464
8	59184,5	1464,5
9	58441	743,5
10	56280,5	2160,5
11	48266	8014,5

Tabel A.5.1.5 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 512BC6

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	64322,5	2877,5
3	63577,5	745
4	60654	2923,5
5	59905,75	748,25
6	59184,25	721,5
7	58442	742,25
8	57699	743
9	57025,5	673,5
10	56281	744,5
11	52609	3672
12	48936,25	3672,75

Tabel A.5.1.6 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 512BC7

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	62857	4343
3	59909	2948

Tabel A.5.1.7 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 512BE1

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	64327	2873
3	63590	737
4	62899	691

Tabel A.5.1.7 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 512BE1 (Lanjutan)

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
5	62130	769
6	61373	757
7	60689	684
8	59906	783

Tabel A.5.1.8 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BC5

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	66456,25	743,75
3	65784,25	672
4	64320,5	1463,75
5	63576,25	744,25
6	62856,25	720
7	62112,25	744
8	61368,5	743,75
9	59905	1463,5
10	57696,25	2208,75
11	57028,75	667,5
12	56280,25	748,5
13	54096,25	2184
14	52608,25	1488
15	50425	2183,25
16	48266	2159
17	43848,25	4417,75

Tabel A.5.1.9 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541BE3

No.	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	TBF (Jam)
1	67200	
2	65784,5	1415,5
3	63576,5	2208
4	62856,63	719,8667
5	62113,67	742,9667
6	59907	2206,667
7	58441,33	1465,667
8	57748,55	692,7833
9	57028,73	719,8167
10	55562,63	1466,1
11	54817	745,6333
12	54105,22	711,7833
13	53353	752,2167

Tabel A.5.1.7 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 512BE1 (Lanjutan)

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
14	48942,33	4410,667
15	48266	676,3333
16	46801	1465

Tabel A.5.1.10 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit 541WF1

No.	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	56282	10918
3	53352,33	2929,667
4	52609,67	742,6667
5	51888,28	721,3833
6	45336,67	6551,617
7	44592,28	744,3833
8	43848,83	743,45
9	41679,17	2169,667

5.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

Sesuai dengan hasil estimasi parameter oleh perangkat lunak Weibull++6, fungsi padat peluang (pdf) komponen penyusun dari Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga dapat ditentukan berdasarkan Tabel A.5.2.

Tabel A.5.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
511BC4	Weibull 2	$\frac{1,475}{7352,333} \left(\frac{t}{7352,333}\right)^{1,475-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{7352,333}\right)^{1,475}\right]$
511BC5	Weibull 2	$\frac{1,819}{9822,289} \left(\frac{t}{9822,289}\right)^{1,819-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{9822,289}\right)^{1,819}\right]$
511BC6	Weibull 2	$\frac{1,580}{9664,463} \left(\frac{t}{9664,463}\right)^{1,580-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{9664,463}\right)^{1,580}\right]$
512BC5	Weibull 2	$\frac{1,750}{7898,747} \left(\frac{t}{7898,747}\right)^{1,750-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{7898,747}\right)^{1,750}\right]$

Tabel A.5.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga (Lanjutan)

Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
512BC6	Weibull 2	$\frac{2,111}{10398,667} \left(\frac{t}{10398,667}\right)^{2,111-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{10398,667}\right)^{2,111}\right]$
512BC7	Weibull 2	$\frac{2,442}{6703} \left(\frac{t}{6703}\right)^{2,442-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{6703}\right)^{2,442}\right]$
512BE1	Weibull 2	$\frac{3,263}{5658,326} \left(\frac{t}{5658,326}\right)^{3,263-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{5658,326}\right)^{3,263}\right]$
541BC5	Weibull 2	$\frac{1,218}{10393} \left(\frac{t}{10393}\right)^{1,218-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{10393}\right)^{1,218}\right]$
541BE3	Weibull 2	$\frac{1,611}{12176} \left(\frac{t}{12176}\right)^{1,611-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{12176}\right)^{1,611}\right]$
541WF1	Weibull 2	$\frac{3,683}{20438} \left(\frac{t}{20438}\right)^{3,683-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{20438}\right)^{3,683}\right]$

5.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

Fungsi keandalan dari komponen penyusun sub-sub unit transportasi material ketiga terdapat pada Tabel A.5.3.

Tabel A.5.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
511BC4	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{7952,333}\right)^{1,472}}$
511BC5	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{9822,289}\right)^{1,819}}$
511BC6	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{9664,463}\right)^{1,280}}$
512BC5	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{7898,747}\right)^{1,720}}$
512BC6	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{10398,667}\right)^{2,111}}$
512BC7	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{6703}\right)^{2,442}}$
512BE1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{5658,326}\right)^{3,263}}$

Tabel A.5.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga (Lanjutan)

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi Padat Peluang
541BC5	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{10398}\right)^{2,211}}$
541BE3	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{12176}\right)^{2,611}}$
541WF1	Weibull 2	$e^{-\left(\frac{t}{20438}\right)^{2,822}}$

5.4 Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Material Transport Ketiga

Waktu rata-rata antar kegagalan (MTBF) dan keandalan saat MTBF pada komponen penyusun sub-sub unit material transport ketiga terdapat pada Tabel A.5.5.

Tabel A.5.5 MTBF dan Keandalan saat MTBF Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Material Transport Ketiga

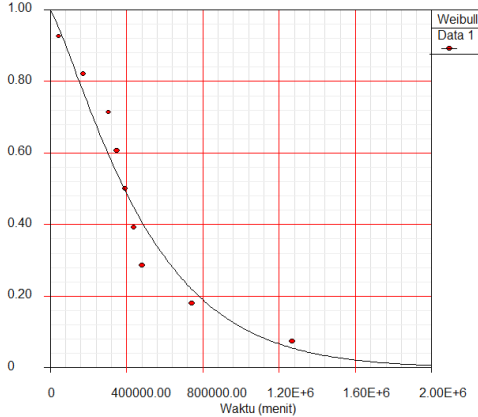
Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
511BC4	Weibull 2	$7352,333\Gamma\left(\frac{1}{1,475} + 1\right)$	0,422
511BC5	Weibull 2	$9822,289\Gamma\left(\frac{1}{1,819} + 1\right)$	0,446
511BC6	Weibull 2	$9664,463\Gamma\left(\frac{1}{1,580} + 1\right)$	0,430
512BC5	Weibull 2	$7898,747\Gamma\left(\frac{1}{1,750} + 1\right)$	0,442
512BC6	Weibull 2	$10398,667\Gamma\left(\frac{1}{2,111} + 1\right)$	0,461
512BC7	Weibull 2	$6703\Gamma\left(\frac{1}{2,442} + 1\right)$	0,474
512BE1	Weibull 2	$5658,326\Gamma\left(\frac{1}{3,263} + 1\right)$	0,497
541BC5	Weibull 2	$10393\Gamma\left(\frac{1}{1,218} + 1\right)$	0,397
541BE3	Weibull 2	$12176\Gamma\left(\frac{1}{1,611} + 1\right)$	0,433
541WF1	Weibull 2	$20438\Gamma\left(\frac{1}{3,683} + 1\right)$	0,504

LAMPIRAN 2

B. Grafik Keandalan (*Reliability*) Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1

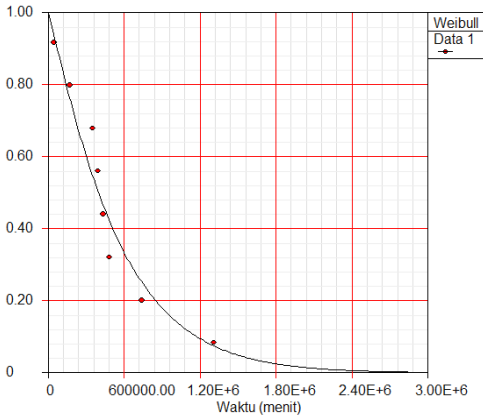
1. Sub-Sub Unit Transportasi Terak

1.1 Sub-Sub-Sub Unit 521BC1



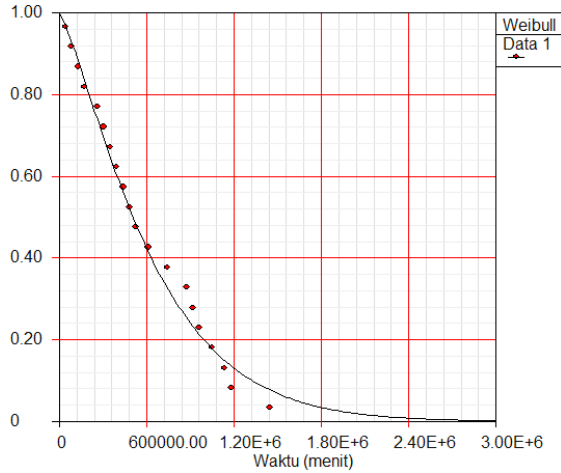
Gambar B.1 Keandalan *Belt Conveyor* (521BC1)

1.2 Sub-Sub-Sub Unit 521BC2



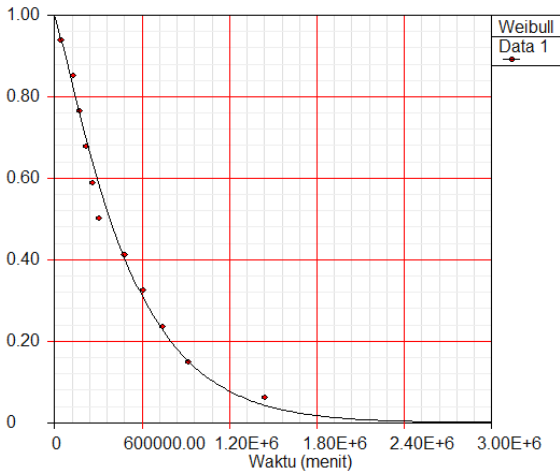
Gambar B.2 Keandalan *Belt Conveyor* (521BC2)

1.3 Sub-Sub-Sub Unit 521BC3



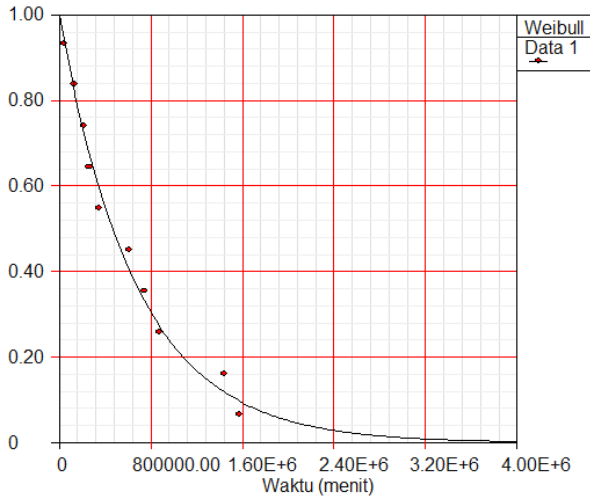
Gambar B.3 Keandalan *Belt Conveyor* (521BC3)

1.4 Sub-Sub-Sub Unit 521BC4



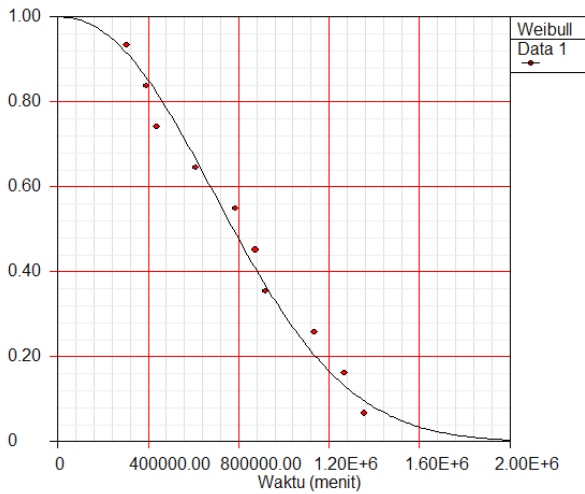
Gambar B.4 Keandalan *Belt Conveyor* (521BC4)

1.5 Sub-Sub-Sub Unit 521BC5



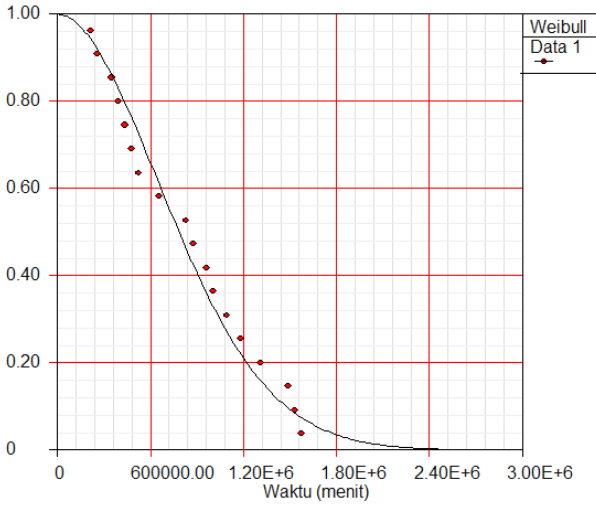
Gambar B.5 Keandalan *Belt Conveyor* (521BC5)

1.6 Sub-Sub-Sub Unit 521BC6



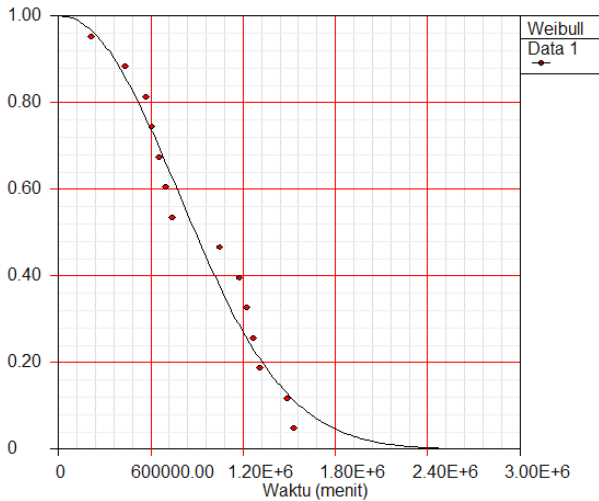
Gambar B.6 Keandalan *Belt Conveyor* (521BC6)

1.7 Sub-Sub-Sub Unit 521BE1



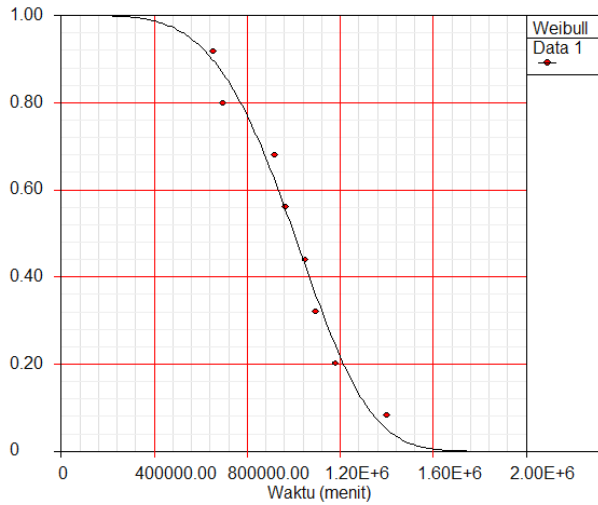
Gambar B.7 Keandalan *Bucket Elevator* (521BE1)

1.8 Sub-Sub-Sub Unit 541BC1



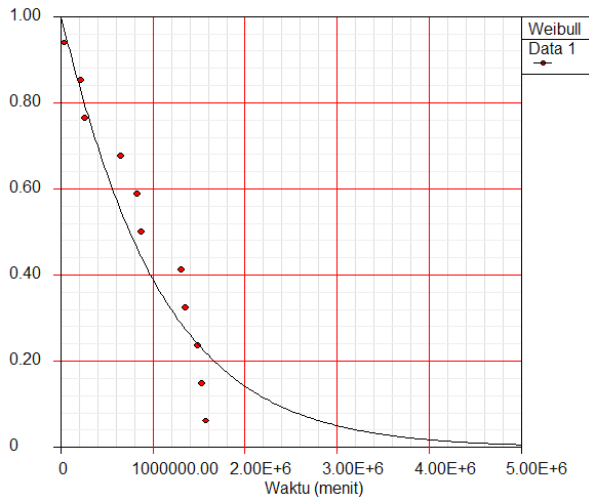
Gambar B.8 Keandalan *Belt Conveyor* (541BC1)

1.9 Sub-Sub-Sub Unit 541BC2



Gambar B.9 Keandalan *Belt Conveyor* (541BC2)

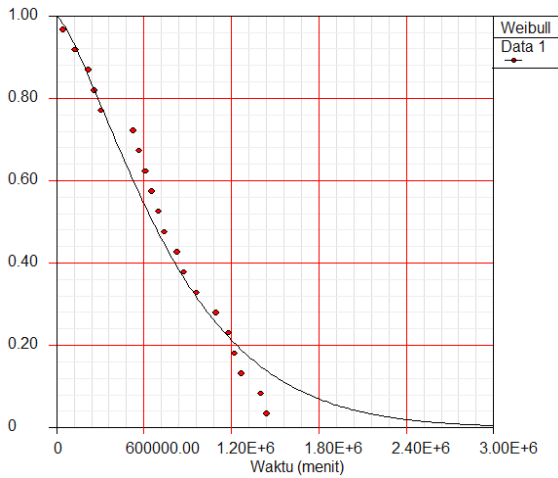
1.10 Sub-Sub-Sub Unit 541WF3



Gambar B.10 Keandalan *Weight Feeder* (541WF3)

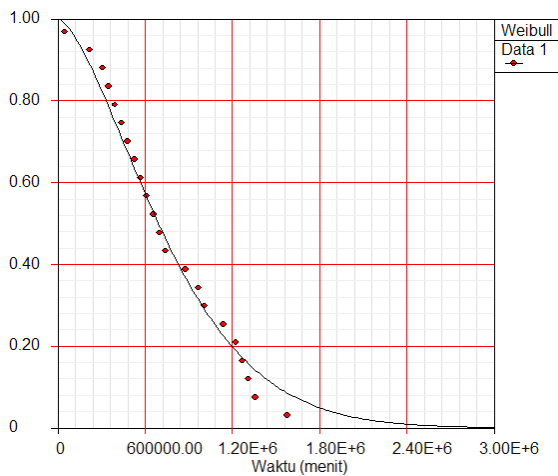
2. Sub-Sub Unit HRC Line

2.1 Sub-Sub-Sub Unit 541BC3



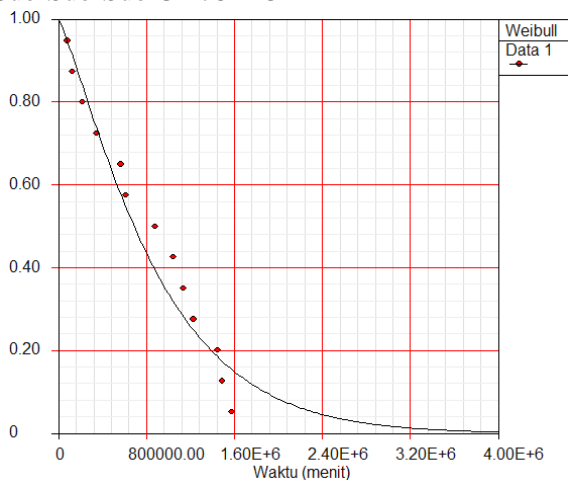
Gambar B.11 Keandalan *Belt Conveyor* (541BC3)

2.2 Sub-Sub-Sub Unit 541BC4



Gambar B.12 Keandalan *Belt Conveyor* (541BC4)

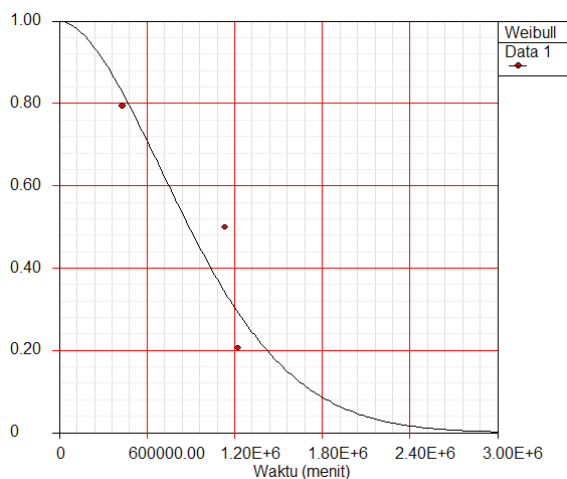
2.3 Sub-Sub-Sub Unit 541CR1



Gambar B.13 Keandalan *Hydraulic Roller Crusher* (541CR1)

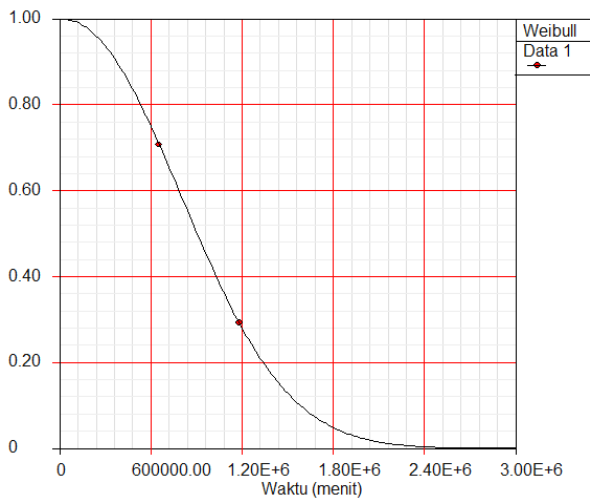
3. Sub-Sub Unit Peralatan Utama

3.1 Sub-Sub-Sub Unit 541BE2



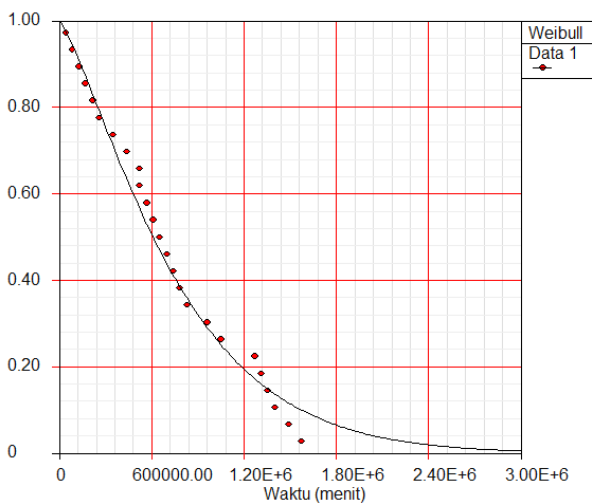
Gambar B.14 Keandalan *Bucket Elevator* (541BE2)

3.2 Sub-Sub-Sub Unit 541BL1



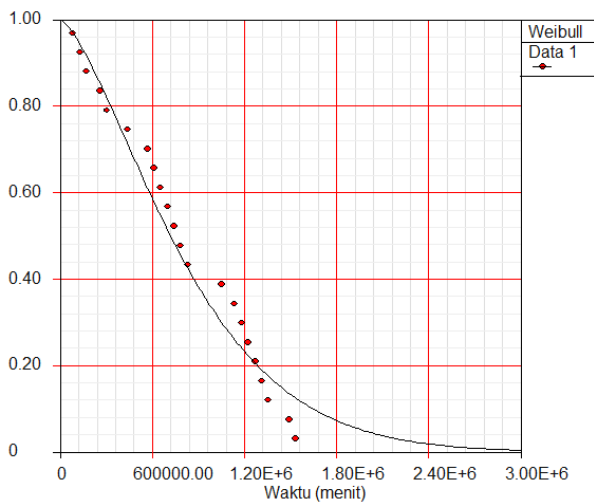
Gambar B.15 Keandalan *Blower* (541BL1)

3.3 Sub-Sub-Sub Unit 541BM1



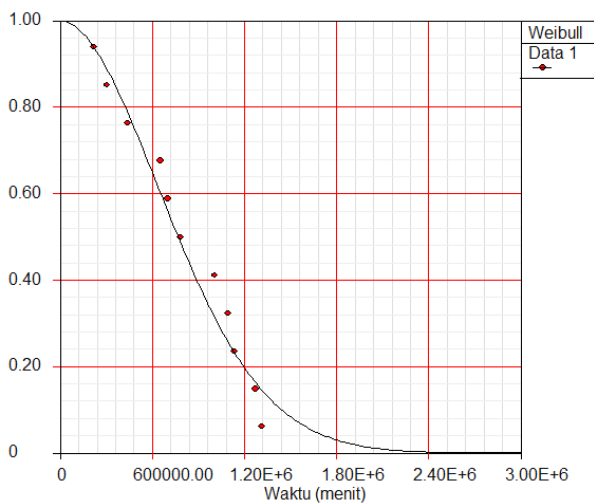
Gambar B.16 Keandalan *Ball Mill* (541BM1)

3.4 Sub-Sub-Sub Unit 541FN7



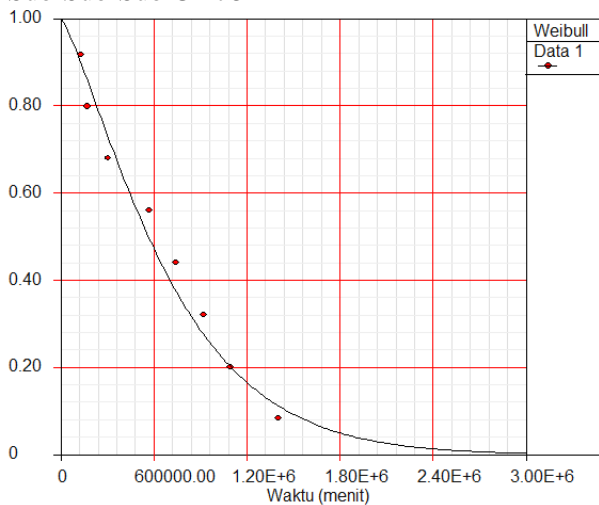
Gambar B.17 Keandalan F_{an} (541FN7)

3.5 Sub-Sub-Sub Unit 541FN8



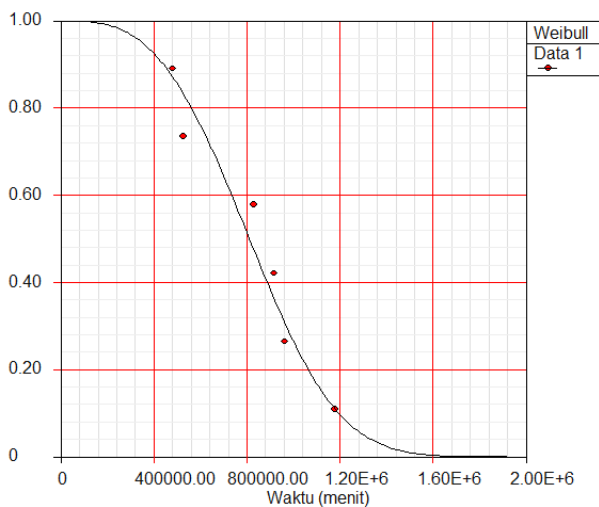
Gambar B.18 Keandalan F_{an} (541FN8)

3.6 Sub-Sub-Sub Unit 541MM1



Gambar B.19 Keandalan *Gearbox Mill* (541MM1)

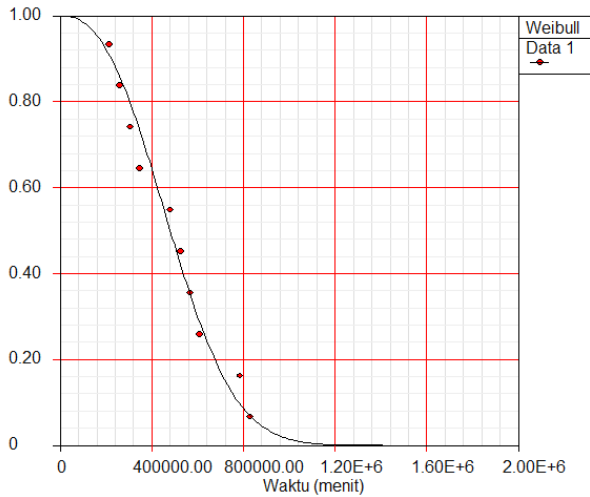
3.7 Sub-Sub-Sub Unit 541SR1



Gambar B.20 Keandalan *Air Separator* (541SR1)

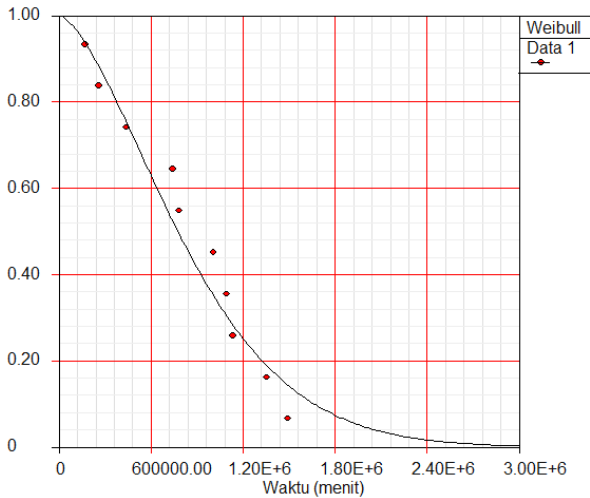
4. Sub-Sub Unit Transportasi Produk

4.1 Sub-Sub-Sub Unit 541AS5



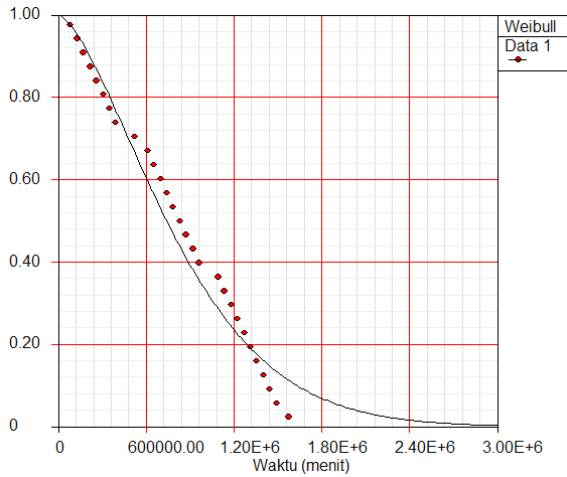
Gambar B.21 Keandalan *Air Slide* (541AS5)

4.2 Sub-Sub-Sub Unit 561AS1



Gambar B.22 Keandalan *Air Slide* (561AS1)

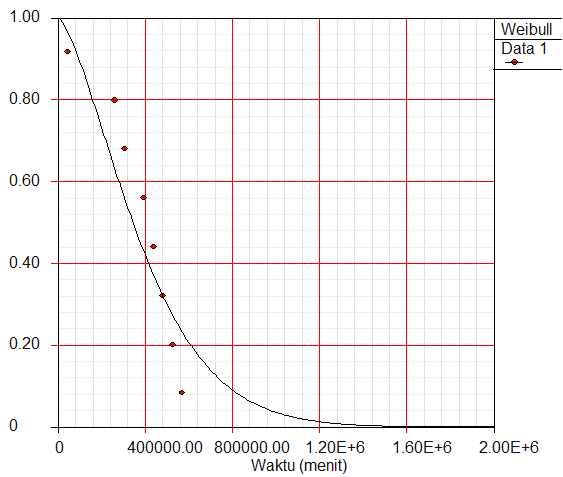
4.3 Sub-Sub-Sub Unit 561BE1



Gambar B.23 Keandalan *Bucket Elevator* (561BE1)

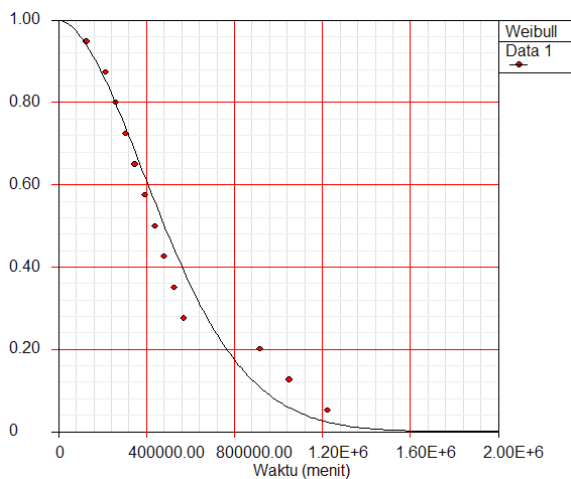
5. Sub-Sub Unit Transportasi Material Ketiga

5.1 Sub-Sub-Sub Unit 511BC4



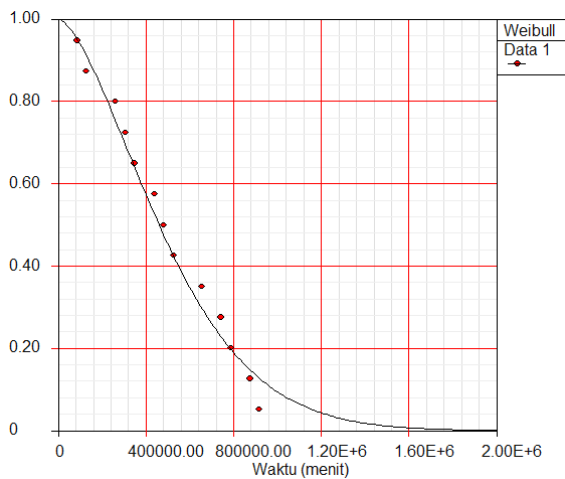
Gambar B.24 Keandalan *Belt Conveyor* (511BC4)

5.2 Sub-Sub-Sub Unit 511BC5



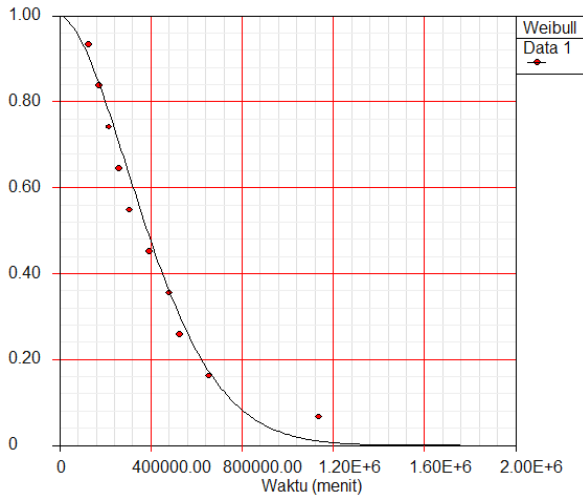
Gambar B.25 Keandalan *Belt Conveyor* (511BC5)

5.3 Sub-Sub-Sub Unit 511BC6



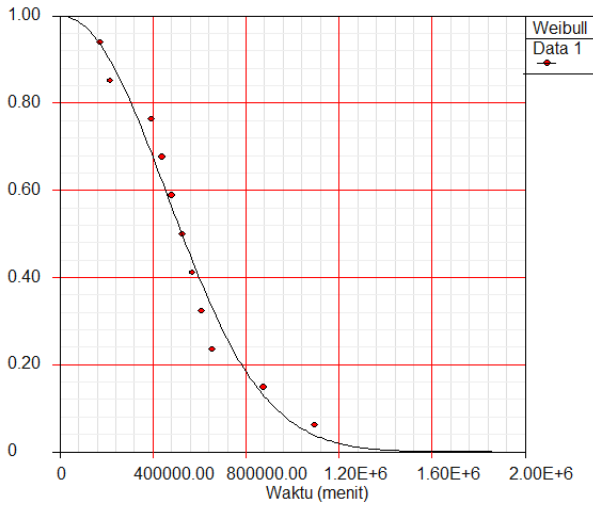
Gambar B.26 Keandalan *Belt Conveyor* (511BC6)

5.4 Sub-Sub-Sub Unit 512BC5



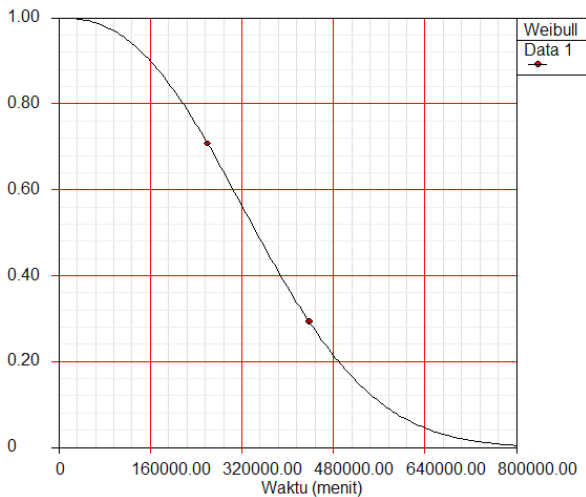
Gambar B.27 Keandalan *Belt Conveyor* (512BC5)

5.5 Sub-Sub-Sub Unit 512BC6



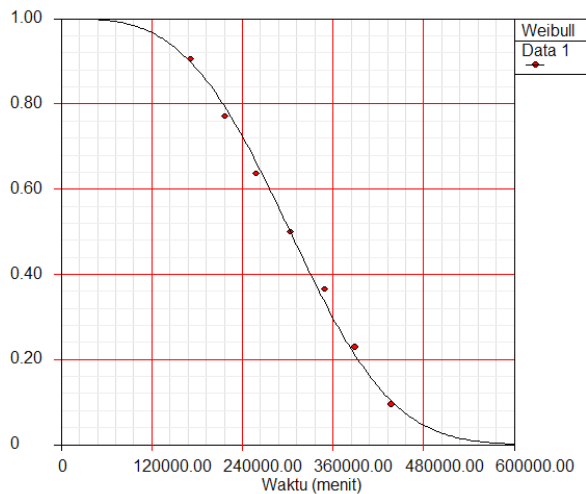
Gambar B.28 Keandalan *Belt Conveyor* (512BC6)

5.6 Sub-Sub-Sub Unit 512BC7



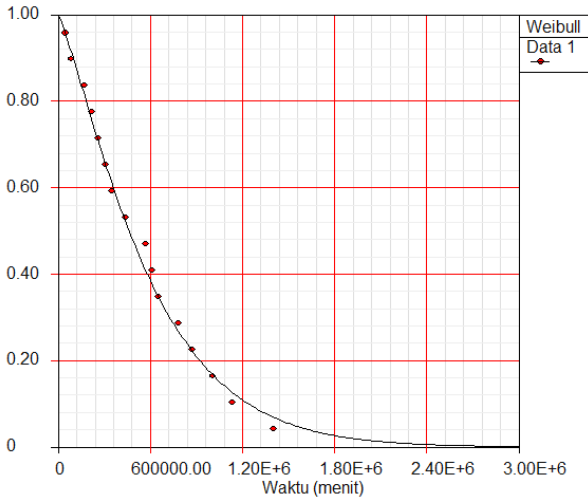
Gambar B.29 Keandalan *Belt Conveyor* (512BC7)

5.7 Sub-Sub-Sub Unit 512BE1



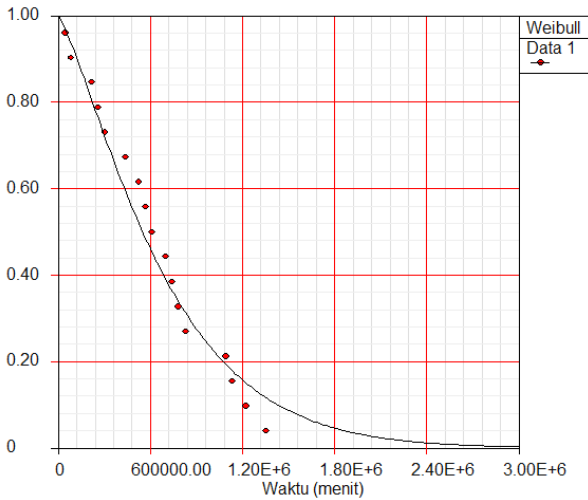
Gambar B.30 Keandalan *Bucket Elevator* (512BE1)

5.8 Sub-Sub-Sub Unit 541BC5



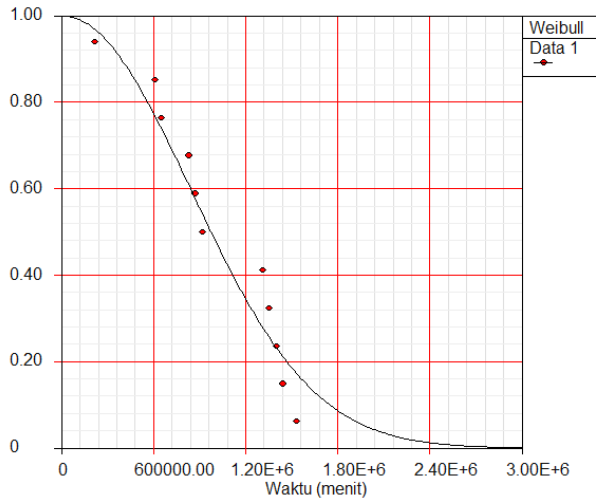
Gambar B.31 Keandalan *Belt Conveyor* (541BC5)

5.9 Sub-Sub-Sub Unit 541BE3



Gambar B.32 Keandalan *Bucket Elevator* (541BE3)

5.10 Sub-Sub-Sub Unit 541WF1



Gambar B.33 Keandalan *Weight Feeder* (541WF1)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 3

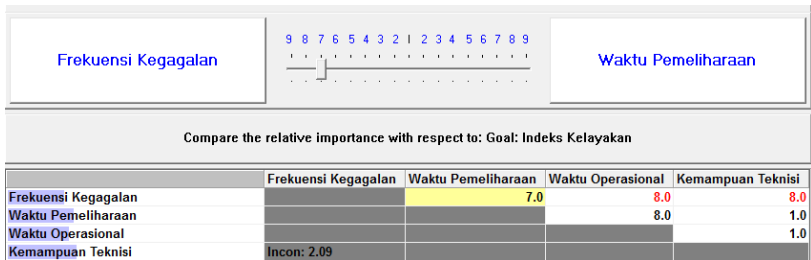
C. Penentuan Indeks Kelayakan Peralatan

1. Pendahuluan

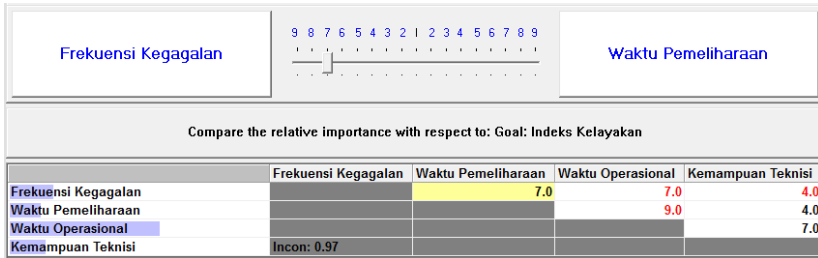
Yth. Bapak Responden,

Saya Rizqi Surya Saputra Suroto, mahasiswa S1-Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang sedang melakukan penelitian tentang **”Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan dengan Metode Alokasi dan Optimasi Keandalan pada Peralatan Sub Unit Penggilingan Akhir 1 (Studi Kasus: PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.)”**. Saya mengharapkan kesediaan dan bantuan Bapak untuk mengisi kuisioner yang berkenaan dengan tingkat kepentingan sub unit penggilingan akhir (*finish mill*) 1. Penyebaran kuisioner ini bersifat murni penelitian dan hanya digunakan pada penelitian ini.

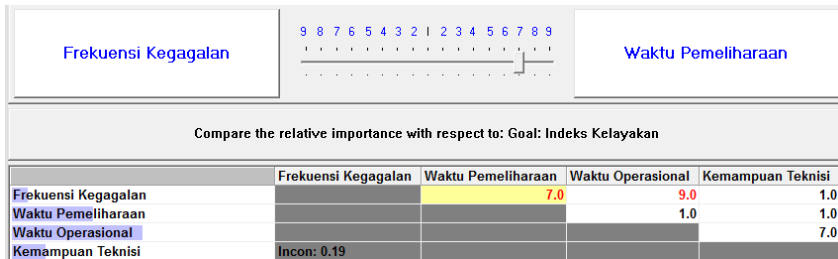
2. Perbandingan Berpasangan antar Kriteria



Gambar C.2.1 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 1



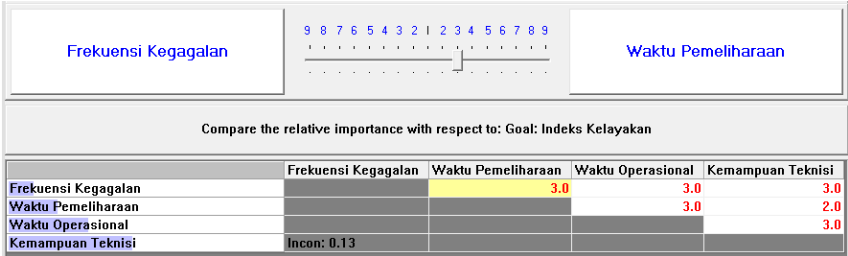
Gambar C.2.2 Hasil Pengisian Kuisiонер Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 2



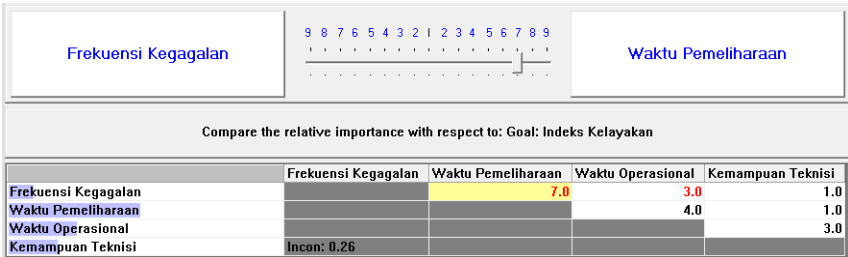
Gambar C.2.3 Hasil Pengisian Kuisiонер Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 3



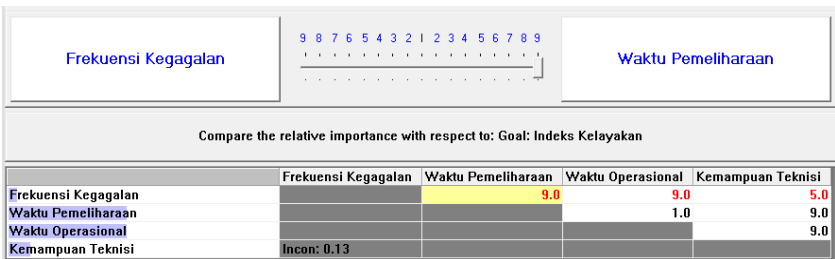
Gambar C.2.4 Hasil Pengisian Kuisiонер Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 4



Gambar C.2.5 Hasil Pengisian Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 5

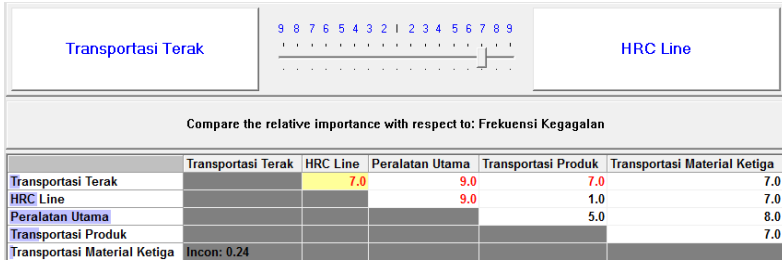


Gambar C.2.6 Hasil Pengisian Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 6

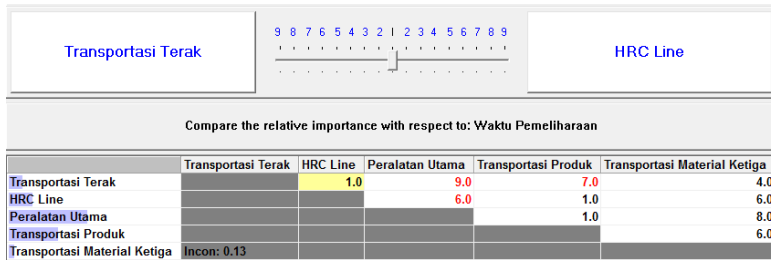


Gambar C.2.7 Hasil Pengisian Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar KriteriaPartisipan 7

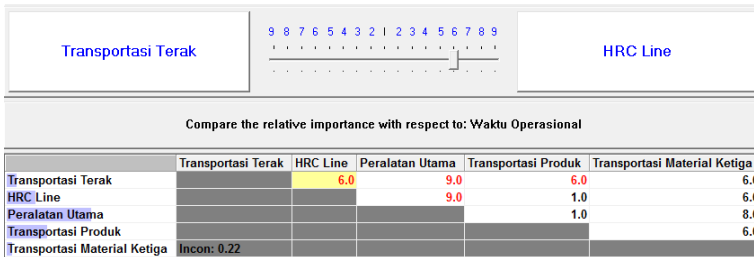
3. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 1



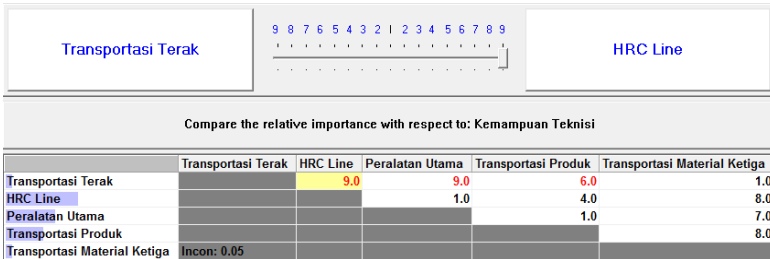
Gambar C.3.1 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan



Gambar C.3.2 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

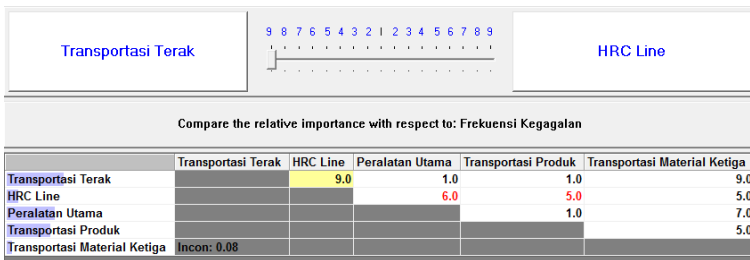


Gambar C.3.3 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

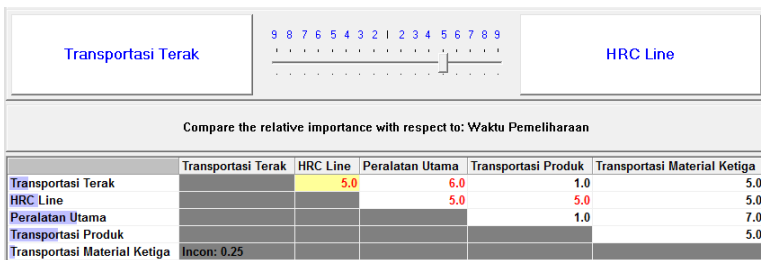


Gambar C.3.4 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

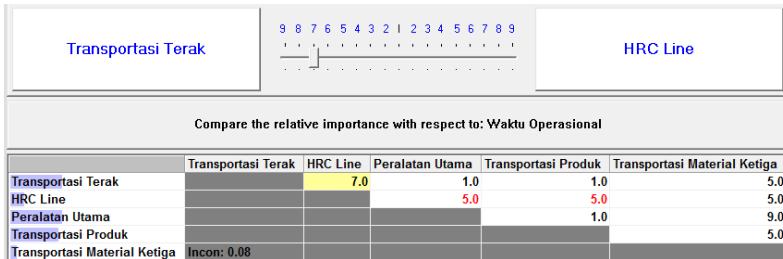
4. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 2



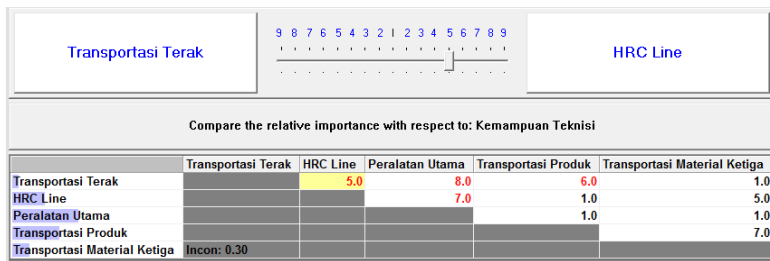
Gambar C.4.1 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan



Gambar C.4.2 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

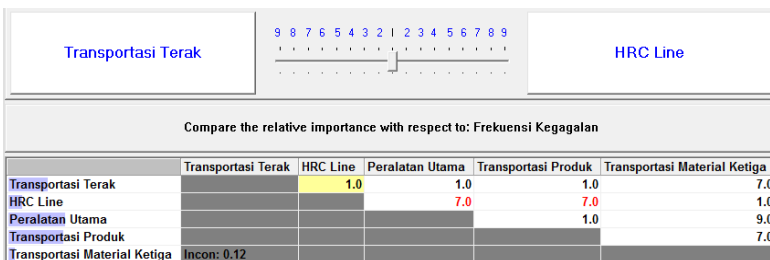


Gambar C.4.3 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

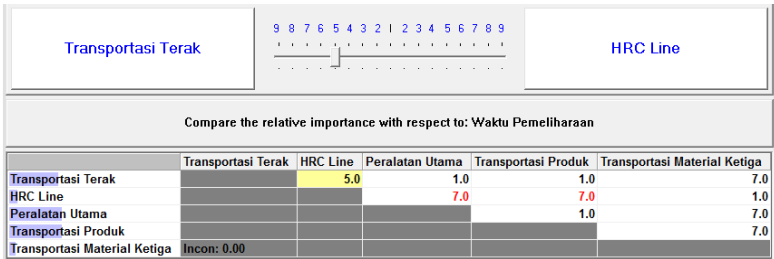


Gambar C.4.4 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

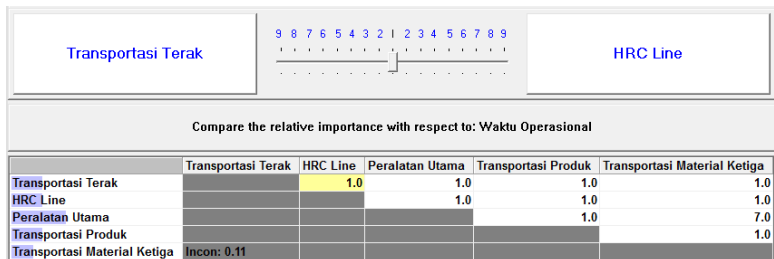
5. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 3



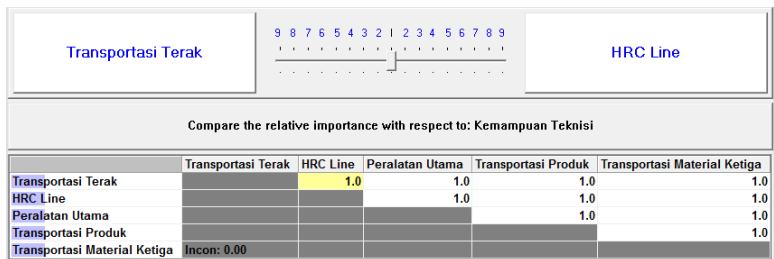
Gambar C.5.1 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan



Gambar C.5.2 Hasil Pengisian Kuisiomer Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan



Gambar C.5.3 Hasil Pengisian Kuisiomer Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional



Gambar C.5.4 Hasil Pengisian Kuisiomer Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

6. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 4

Transportasi Terak	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	HRC Line			
Compare the relative importance with respect to: Frekuensi Kegagalan					
	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga
Transportasi Terak		3.0	5.0	1.0	3.0
HRC Line			1.0	3.0	3.0
Peralatan Utama				3.0	8.0
Transportasi Produk					5.0
Transportasi Material Ketiga	Incon: 0.16				

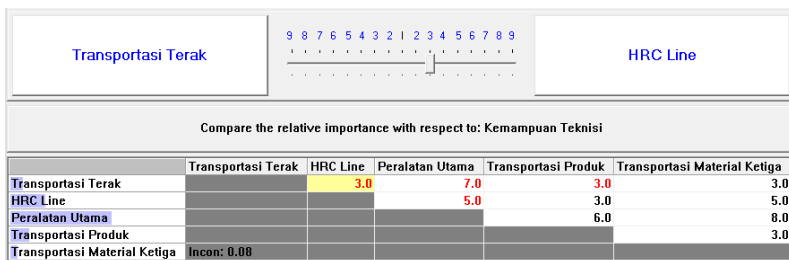
Gambar C.6.1 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan

Transportasi Terak	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	HRC Line			
Compare the relative importance with respect to: Waktu Pemeliharaan					
	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga
Transportasi Terak		5.0	7.0	3.0	3.0
HRC Line			1.0	3.0	3.0
Peralatan Utama				7.0	8.0
Transportasi Produk					3.0
Transportasi Material Ketiga	Incon: 0.21				

Gambar C.6.2 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

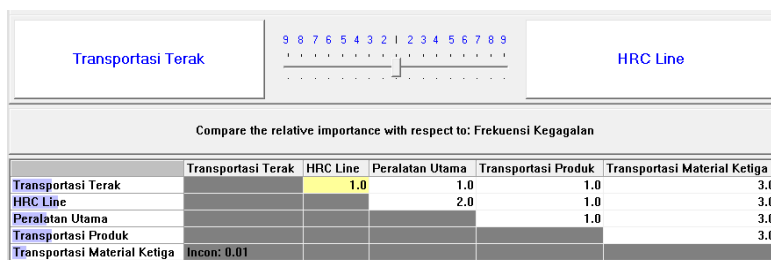
Transportasi Terak	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	HRC Line			
Compare the relative importance with respect to: Waktu Operasional					
	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga
Transportasi Terak		7.0	8.0	5.0	3.0
HRC Line			7.0	5.0	5.0
Peralatan Utama				1.0	8.0
Transportasi Produk					3.0
Transportasi Material Ketiga	Incon: 0.29				

Gambar C.6.3 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

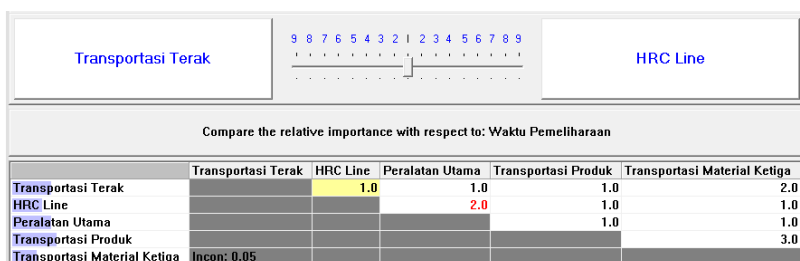


Gambar C.6.4 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

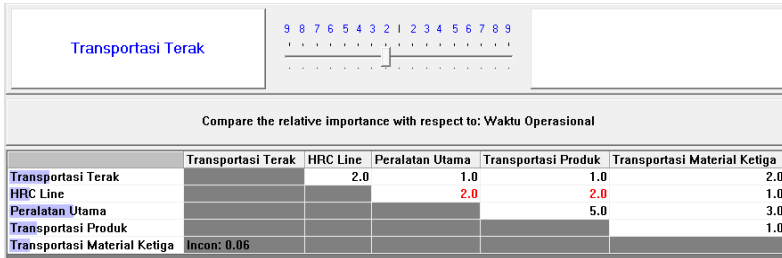
7. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 5



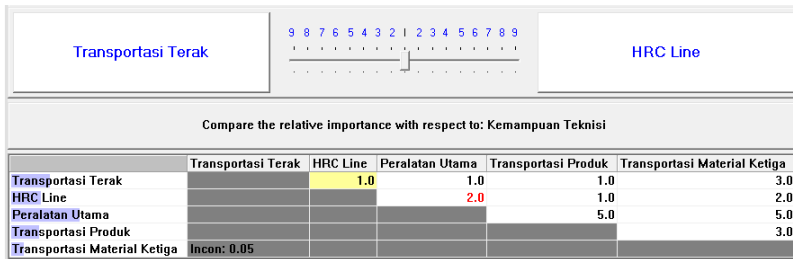
Gambar C.7.1 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan



Gambar C.7.2 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

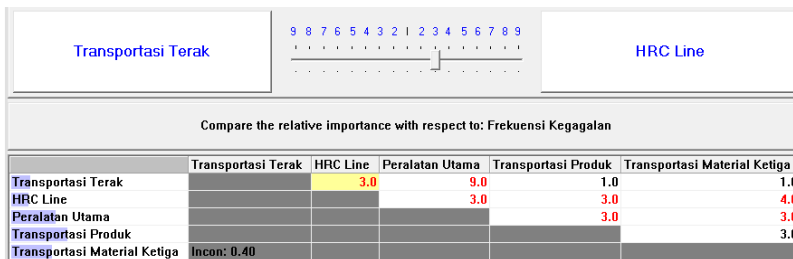


Gambar C.7.3 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

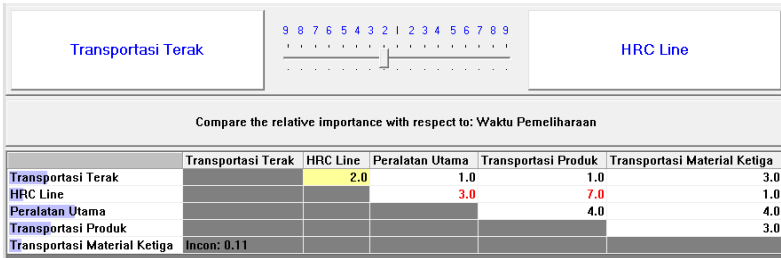


Gambar C.7.4 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

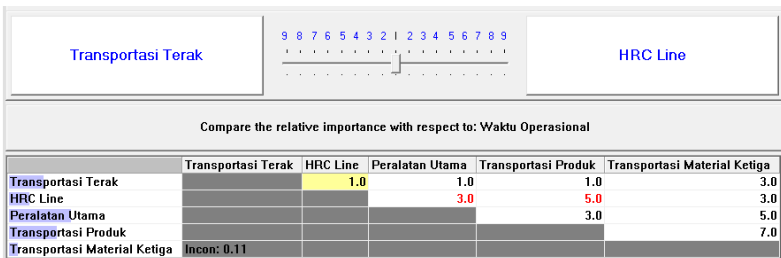
8. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 6



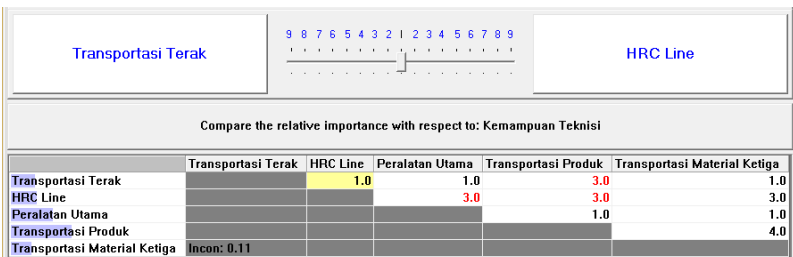
Gambar C.8.1 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan



Gambar C.8.2 Hasil Pengisian Kuisiонер Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

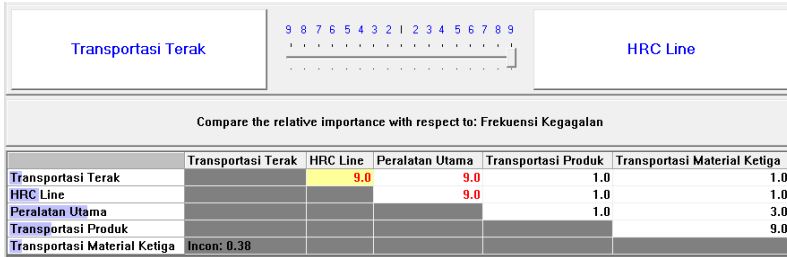


Gambar C.8.3 Hasil Pengisian Kuisiонер Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

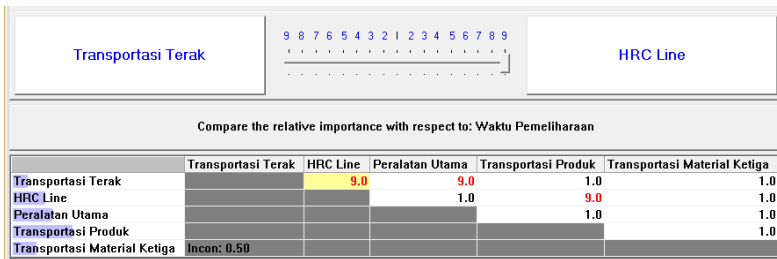


Gambar C.8.4 Hasil Pengisian Kuisiонер Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

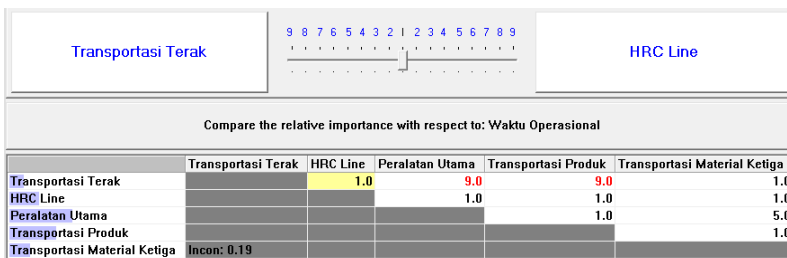
9. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 7



Gambar C.9.1 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan



Gambar C.9.2 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

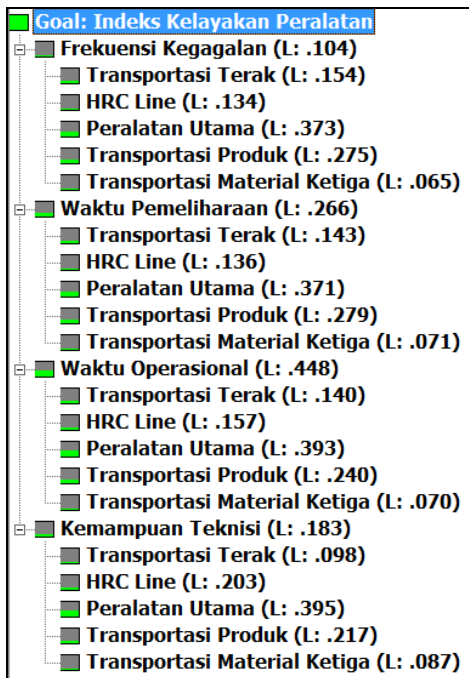


Gambar C.9.3 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

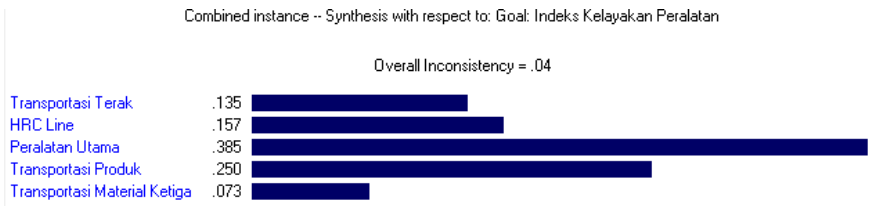
Transportasi Terak	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	HRC Line			
Compare the relative importance with respect to: Kemampuan Teknisi					
	Transportasi Terak	HRC Line	Peralatan Utama	Transportasi Produk	Transportasi Material Ketiga
Transportasi Terak		9.0	9.0	1.0	1.0
HRC Line			9.0	9.0	1.0
Peralatan Utama				7.0	5.0
Transportasi Produk					1.0
Transportasi Material Ketiga	Incon: 0.47				

Gambar C.9.4 Hasil Pengisian Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

10. Hasil Sintesis Pembobotan Seluruh Responden



Gambar C.10.1 Bobot Nilai Kriteria dan Sub Kriteria



Gambar C.10.2 Bobot Nilai Sub-Sub Unit Peralatan

LAMPIRAN 4

D. Nonlinear Programming

1. Target Keandalan Peralatan 70%

```

LINGO Model - Koding nonlinear programming
min=@EXP(0.865*((X1-0.182)/(1-X1)))+@EXP(0.843*((X2-0.514)/(1-X2)))
+@EXP(0.615*((X3-0.064)/(1-X3)))+@EXP(0.75*((X4-0.178)/(1-X4)))
+@EXP(0.927*((X5-0.00002)/(1-X5)));

X1*X2*X3*X4*X5>=0.7;

X1>=0.182;
X1<=1;
X2>=0.514;
X2<=1;
X3>=0.064;
X3<=1;
X4>=0.178;
X4<=1;
X5>=0.00002;
X5<=1;
    
```

Gambar D.1.1 Input Data untuk Target Keandalan 70%

Local optimal solution found.

Objective value:	26672.42
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	0
Total solver iterations:	28

Variable	Value	Reduced Cost
X1	0.9256513	0.8149073E-08
X2	0.9545993	0.000000
X3	0.9369588	0.9895302E-08
X4	0.9337189	0.000000
X5	0.9055092	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	26672.42	-1.000000
2	0.000000	-968387.1
3	0.7436513	0.000000
4	0.7434871E-01	0.000000
5	0.4405993	0.000000
6	0.4540066E-01	0.000000
7	0.8729588	0.000000
8	0.6304122E-01	0.000000
9	0.7557189	0.000000
10	0.6628113E-01	0.000000
11	0.9054892	0.000000
12	0.9449077E-01	0.000000

Gambar D.1.2 Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 70%

2. Input Data untuk Target Keandalan Peralatan 85%

```

LINGO Model - Koding nonlinear programming
min=@EXP(0.865*((X1-0.182)/(1-X1)))+@EXP(0.843*((X2-0.514)/(1-X2)))+
+@EXP(0.615*((X3-0.064)/(1-X3)))+@EXP(0.75*((X4-0.178)/(1-X4)))+
+@EXP(0.927*((X5-0.00002)/(1-X5)));

X1*X2*X3*X4*X5>=0.85;

X1>=0.182;
X1<=1;
X2>=0.514;
X2<=1;
X3>=0.064;
X3<=1;
X4>=0.178;
X4<=1;
X5>=0.00002;
X5<=1;

```

Gambar D.2.1 Input Data untuk Target Keandalan 85%

Local optimal solution found.

Objective value: 0.1353999E+10
 Infeasibilities: 0.000000
 Extended solver steps: 0
 Total solver iterations: 100

Variable	Value	Reduced Cost
X1	0.9652498	22.75494
X2	0.9793410	0.000000
X3	0.9711328	26.46814
X4	0.9693706	21.78409
X5	0.9551615	16.96503

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.1353999E+10	-1.000000
2	0.000000	-0.1951422E+12
3	0.7832498	0.000000
4	0.3475018E-01	0.000000
5	0.4653410	0.000000
6	0.2065898E-01	0.000000
7	0.9071328	0.000000
8	0.2886724E-01	0.000000
9	0.7913706	0.000000
10	0.3062944E-01	0.000000
11	0.9551415	0.000000
12	0.4483848E-01	0.000000

Gambar D.2.2 Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 85%

3. Input Data untuk Target Keandalan Peralatan 90%

```

LINGO Model - Koding nonlinear programming
min=@EXP(0.865*((X1-0.182)/(1-X1)))+@EXP(0.843*((X2-0.514)/(1-X2)))+
+@EXP(0.615*((X3-0.064)/(1-X3)))+@EXP(0.75*((X4-0.178)/(1-X4)))+
+@EXP(0.927*((X5-0.00002)/(1-X5)));

X1*X2*X3*X4*X5>=0.9;

X1>=0.182;
X1<=1;
X2>=0.514;
X2<=1;
X3>=0.064;
X3<=1;
X4>=0.178;
X4<=1;
X5>=0.00002;
X5<=1;

```

Gambar D.3.1 Input Data untuk Target Keandalan 90%

Local optimal solution found.

Objective value:	0.6648720E+14
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	0
Total solver iterations:	143

Variable	Value	Reduced Cost
X1	0.9772971	-2588.000
X2	0.9866215	3008.000
X3	0.9812703	0.000000
X4	0.9800655	0.000000
X5	0.9705581	-136.0000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.6648720E+14	-1.000000
2	0.000000	-0.2153557E+17
3	0.7952971	0.000000
4	0.2270292E-01	0.000000
5	0.4726215	0.000000
6	0.1337846E-01	0.000000
7	0.9172703	0.000000
8	0.1872974E-01	0.000000
9	0.8020655	0.000000
10	0.1993446E-01	0.000000
11	0.9705381	0.000000
12	0.2944186E-01	0.000000

Gambar D.3.2 Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 90%

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 5

E. Laju Biaya

1. Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Sebelum Optimasi

Tabel E.1 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Sebelum Optimasi

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
1	521BC1	$(5.945 \times 0,396) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,396))$ $(8.225,17 \times 0,396) + \int_0^t t f(t) dt$
2	521BC2	$(5.945 \times 0,384) + (13.135.500 \times (1 - 0,384))$ $(8.884,09 \times 0,384) + \int_0^t t f(t) dt$
3	521BC3	$(5.945 \times 0,401) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,401))$ $(10.538,06 \times 0,401) + \int_0^t t f(t) dt$
4	521BC4	$(5.945 \times 0,387) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,387))$ $(8.334,81 \times 0,387) + \int_0^t t f(t) dt$
5	521BC5	$(5.945 \times 0,368) + (13.135.500 \times (1 - 0,368))$ $(11.234,78 \times 0,368) + \int_0^t t f(t) dt$
6	521BC6	$(5.945 \times 0,465) + (13.135.500 \times (1 - 0,465))$ $(13.568,13 \times 0,465) + \int_0^t t f(t) dt$
7	521BE1	$(5.945 \times 0,451) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,451))$ $(14.077,81 \times 0,451) + \int_0^t t f(t) dt$
8	541BC1	$(5.945 \times 0,463) + (13.135.500 \times (1 - 0,463))$ $(14.848,24 \times 0,463) + \int_0^t t f(t) dt$
9	541BC2	$(5.945 \times 0,520) + (13.135.500 \times (1 - 0,520))$ $(15.561,88 \times 0,520) + \int_0^t t f(t) dt$
10	541WF3	$(5.945 \times 0,368) + (13.578.462 \times (1 - 0,368))$ $(18.009,79 \times 0,368) + \int_0^t t f(t) dt$
11	541BC3	$(5.945 \times 0,410) + (13.135.500 \times (1 - 0,410))$ $(13.269,75 \times 0,410) + \int_0^t t f(t) dt$
12	541BC4	$(5.945 \times 0,427) + (13.135.500 \times (1 - 0,427))$ $(13.167,28 \times 0,427) + \int_0^t t f(t) dt$

Tabel E.1 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Sebelum Optimasi
(Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
13	541CR1	$(5.945 \times 0,389) + (18.904,948,34 \times (1 - 0,389))$ $(15.037,27 \times 0,389) + \int_0^t t f(t) dt$
14	541BE2	$(5.945 \times 0,445) + (46.693,352,20 \times (1 - 0,445))$ $(16.163,19 \times 0,445) + \int_0^t t f(t) dt$
15	541BL1	$(5.945 \times 0,463) + (17.380,606,50 \times (1 - 0,463))$ $(15.839,14 \times 0,463) + \int_0^t t f(t) dt$
16	541BM1	$(5.945 \times 0,398) + (37.399,340 \times (1 - 0,398))$ $(13.126,33 \times 0,398) + \int_0^t t f(t) dt$
17	541FN7	$(5.945 \times 0,419) + (16.051,333,33 \times (1 - 0,419))$ $(14.132,83 \times 0,419) + \int_0^t t f(t) dt$
18	541FN8	$(5.945 \times 0,386) + (16.051,333,33 \times (1 - 0,386))$ $(10.482,57 \times 0,386) + \int_0^t t f(t) dt$
19	541MM1	$(5.945 \times 0,421) + (11.000,000 \times (1 - 0,421))$ $(13.027,70 \times 0,421) + \int_0^t t f(t) dt$
20	541SR1	$(5.945 \times 0,536) + (14.500,000 \times (1 - 0,536))$ $(16.090,55 \times 0,536) + \int_0^t t f(t) dt$
21	541AS5	$(5.945 \times 0,476) + (2.900,000 \times (1 - 0,476))$ $(8.233,74 \times 0,476) + \int_0^t t f(t) dt$
22	561AS1	$(5.945 \times 0,430) + (5.884,724,88 \times (1 - 0,430))$ $(14.649,31 \times 0,430) + \int_0^t t f(t) dt$
23	561BE1	$(5.945 \times 0,408) + (11.992,938,74 \times (1 - 0,408))$ $(13.989,31 \times 0,408) + \int_0^t t f(t) dt$
24	511BC4	$(5.945 \times 0,422) + (13.135,00 \times (1 - 0,422))$ $(6.651,10 \times 0,422) + \int_0^t t f(t) dt$
25	511BC5	$(5.945 \times 0,446) + (13.135,500 \times (1 - 0,446))$ $(8.730,59 \times 0,446) + \int_0^t t f(t) dt$
26	511BC6	$(5.945 \times 0,430) + (13.135,500 \times (1 - 0,430))$ $(8.675,13 \times 0,430) + \int_0^t t f(t) dt$
27	512BC5	$(5.945 \times 0,442) + (13.135,500 \times (1 - 0,442))$ $(7.034,72 \times 0,442) + \int_0^t t f(t) dt$

Tabel E.1 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Sebelum Optimasi (Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
28	512BC6	$(5.945 \times 0,461) + (13.135.500 \times (1 - 0,461))$ $(9.209,75 \times 0,461) + \int_0^t t f(t)dt$
29	512BC7	$(5.945 \times 0,474) + (13.135.500 \times (1 - 0,474))$ $(5.944,12 \times 0,474) + \int_0^t t f(t)dt$
30	512BE1	$(5.945 \times 0,497) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,497))$ $(5.072,77 \times 0,497) + \int_0^t t f(t)dt$
31	541BC5	$(5.945 \times 0,397) + (13.135.500 \times (1 - 0,397))$ $(9.739,61 \times 0,397) + \int_0^t t f(t)dt$
32	541BE3	$(5.945 \times 0,433) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,433))$ $(10.909,85 \times 0,433) + \int_0^t t f(t)dt$
33	541WF1	$(5.945 \times 0,504) + (13.578.462 \times (1 - 0,504))$ $(18.439,54 \times 0,504) + \int_0^t t f(t)dt$

2. Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Saat $R_G = 0,7$

Tabel E.2 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,7$

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
1	521BC1	$(5.945 \times 0,917) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,917))$ $(8.225,17 \times 0,917) + \int_0^t t f(t)dt$
2	521BC2	$(5.945 \times 0,905) + (13.135.500 \times (1 - 0,905))$ $(8.884,09 \times 0,905) + \int_0^t t f(t)dt$
3	521BC3	$(5.945 \times 0,944) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,944))$ $(10.538,06 \times 0,944) + \int_0^t t f(t)dt$
4	521BC4	$(5.945 \times 0,904) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,904))$ $(8.334,81 \times 0,904) + \int_0^t t f(t)dt$
5	521BC5	$(5.945 \times 0,903) + (13.135.500 \times (1 - 0,903))$ $(11.234,78 \times 0,903) + \int_0^t t f(t)dt$
6	521BC6	$(5.945 \times 0,996) + (13.135.500 \times (1 - 0,996))$ $(13.568,13 \times 0,996) + \int_0^t t f(t)dt$

Tabel E.2 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,7$
(Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
7	521BE1	$(5.945 \times 0,993) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,993))$ $(14.077,81 \times 0,993) + \int_0^t t f(t) dt$
8	541BC1	$(5.945 \times 0,996) + (13.135.500 \times (1 - 0,996))$ $(14.848,24 \times 0,996) + \int_0^t t f(t) dt$
9	541BC2	$(5.945 \times 1,000) + (13.135.500 \times (1 - 1,000))$ $(15.561,88 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
10	541WF3	$(5.945 \times 0,938) + (13.578.462 \times (1 - 0,938))$ $(18.009,79 \times 0,938) + \int_0^t t f(t) dt$
11	541BC3	$(5.945 \times 0,970) + (13.135.500 \times (1 - 0,970))$ $(13.269,75 \times 0,970) + \int_0^t t f(t) dt$
12	541BC4	$(5.945 \times 0,982) + (13.135.500 \times (1 - 0,982))$ $(13.167,28 \times 0,982) + \int_0^t t f(t) dt$
13	541CR1	$(5.945 \times 0,956) + (18.904.948,34 \times (1 - 0,956))$ $(15.037,27 \times 0,956) + \int_0^t t f(t) dt$
14	541BE2	$(5.945 \times 0,998) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,998))$ $(16.163,19 \times 0,998) + \int_0^t t f(t) dt$
15	541BL1	$(5.945 \times 0,999) + (17.380.606,50 \times (1 - 0,999))$ $(15.839,14 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
16	541BM1	$(5.945 \times 0,983) + (37.399.340 \times (1 - 0,983))$ $(13.126,33 \times 0,983) + \int_0^t t f(t) dt$
17	541FN7	$(5.945 \times 0,992) + (16.051.333,33 \times (1 - 0,992))$ $(14.132,83 \times 0,992) + \int_0^t t f(t) dt$
18	541FN8	$(5.945 \times 0,970) + (16.051.333,33 \times (1 - 0,970))$ $(10.482,57 \times 0,970) + \int_0^t t f(t) dt$
19	541MM1	$(5.945 \times 0,992) + (11.000.000 \times (1 - 0,992))$ $(13.027,70 \times 0,992) + \int_0^t t f(t) dt$
20	541SR1	$(5.945 \times 1,000) + (14.500.000 \times (1 - 1,000))$ $(16.090,55 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$

Tabel E.2 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,7$
(Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
21	541AS5	$(5.945 \times 0,991) + (2.900.000 \times (1 - 0,991))$ $(8.233,74 \times 0,991) + \int_0^t t f(t) dt$
22	561AS1	$(5.945 \times 0,981) + (5.884.724,88 \times (1 - 0,981))$ $(14.649,31 \times 0,981) + \int_0^t t f(t) dt$
23	561BE1	$(5.945 \times 0,960) + (11.992.938,74 \times (1 - 0,960))$ $(13.989,31 \times 0,960) + \int_0^t t f(t) dt$
24	511BC4	$(5.945 \times 0,970) + (13.135,00 \times (1 - 0,970))$ $(6.651,10 \times 0,970) + \int_0^t t f(t) dt$
25	511BC5	$(5.945 \times 0,992) + (13.135,500 \times (1 - 0,992))$ $(8.730,59 \times 0,992) + \int_0^t t f(t) dt$
26	511BC6	$(5.945 \times 0,985) + (13.135,500 \times (1 - 0,985))$ $(8.675,13 \times 0,985) + \int_0^t t f(t) dt$
27	512BC5	$(5.945 \times 0,986) + (13.135,500 \times (1 - 0,986))$ $(7.034,72 \times 0,986) + \int_0^t t f(t) dt$
28	512BC6	$(5.945 \times 0,997) + (13.135,500 \times (1 - 0,997))$ $(9.209,75 \times 0,997) + \int_0^t t f(t) dt$
29	512BC7	$(5.945 \times 0,996) + (13.135,500 \times (1 - 0,996))$ $(5.944,12 \times 0,996) + \int_0^t t f(t) dt$
30	512BE1	$(5.945 \times 0,999) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,999))$ $(5.072,77 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
31	541BC5	$(5.945 \times 0,965) + (13.135,500 \times (1 - 0,965))$ $(9.739,61 \times 0,965) + \int_0^t t f(t) dt$
32	541BE3	$(5.945 \times 0,990) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,990))$ $(10.909,85 \times 0,990) + \int_0^t t f(t) dt$
33	541WF1	$(5.945 \times 1,000) + (13.578.462 \times (1 - 1,000))$ $(18.439,54 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$

3. Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Saat $R_G = 0,85$

Tabel E.3 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,85$

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
1	521BC1	$(5.945 \times 0,962) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,962))$ $(8.225,17 \times 0,962) + \int_0^t t f(t) dt$
2	521BC2	$(5.945 \times 0,954) + (13.135.500 \times (1 - 0,954))$ $(8.884,09 \times 0,954) + \int_0^t t f(t) dt$
3	521BC3	$(5.945 \times 0,975) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,975))$ $(10.538,06 \times 0,975) + \int_0^t t f(t) dt$
4	521BC4	$(5.945 \times 0,954) + (10.415.620,75 \times (1 - 0,954))$ $(8.334,81 \times 0,954) + \int_0^t t f(t) dt$
5	521BC5	$(5.945 \times 0,950) + (13.135.500 \times (1 - 0,950))$ $(11.234,78 \times 0,950) + \int_0^t t f(t) dt$
6	521BC6	$(5.945 \times 0,999) + (13.135.500 \times (1 - 0,999))$ $(13.568,13 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
7	521BE1	$(5.945 \times 0,998) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,998))$ $(14.077,81 \times 0,998) + \int_0^t t f(t) dt$
8	541BC1	$(5.945 \times 0,999) + (13.135.500 \times (1 - 0,999))$ $(14.848,24 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
9	541BC2	$(5.945 \times 1,000) + (13.135.500 \times (1 - 1,000))$ $(15.561,88 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
10	541WF3	$(5.945 \times 0,968) + (13.578.462 \times (1 - 0,968))$ $(18.009,79 \times 0,968) + \int_0^t t f(t) dt$
11	541BC3	$(5.945 \times 0,987) + (13.135.500 \times (1 - 0,987))$ $(13.269,75 \times 0,987) + \int_0^t t f(t) dt$
12	541BC4	$(5.945 \times 0,993) + (13.135.500 \times (1 - 0,993))$ $(13.167,28 \times 0,993) + \int_0^t t f(t) dt$
13	541CR1	$(5.945 \times 0,979) + (18.904.948,34 \times (1 - 0,979))$ $(15.037,27 \times 0,979) + \int_0^t t f(t) dt$
14	541BE2	$(5.945 \times 0,999) + (46.693.352,20 \times (1 - 0,999))$ $(16.163,19 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$

Tabel E.3 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,85$
(Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
15	541BL1	$(5.945 \times 1,000) + (17.380.606,50 \times (1 - 1,000))$ $(15.839,14 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
16	541BM1	$(5.945 \times 0,992) + (37.399.340 \times (1 - 0,992))$ $(13.126,33 \times 0,992) + \int_0^t t f(t) dt$
17	541FN7	$(5.945 \times 0,997) + (16.051.333,33 \times (1 - 0,997))$ $(14.132,83 \times 0,997) + \int_0^t t f(t) dt$
18	541FN8	$(5.945 \times 0,985) + (16.051.333,33 \times (1 - 0,985))$ $(10.482,57 \times 0,985) + \int_0^t t f(t) dt$
19	541MM1	$(5.945 \times 0,997) + (11.000.000 \times (1 - 0,997))$ $(13.027,70 \times 0,997) + \int_0^t t f(t) dt$
20	541SR1	$(5.945 \times 1,000) + (14.500.000 \times (1 - 1,000))$ $(16.090,55 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
21	541AS5	$(5.945 \times 0,998) + (2.900.000 \times (1 - 0,998))$ $(8.233,74 \times 0,998) + \int_0^t t f(t) dt$
22	561AS1	$(5.945 \times 0,992) + (5.884.724,88 \times (1 - 0,992))$ $(14.649,31 \times 0,992) + \int_0^t t f(t) dt$
23	561BE1	$(5.945 \times 0,980) + (11.992.938,74 \times (1 - 0,980))$ $(13.989,31 \times 0,980) + \int_0^t t f(t) dt$
24	511BC4	$(5.945 \times 0,986) + (13.135.00 \times (1 - 0,986))$ $(6.651,10 \times 0,986) + \int_0^t t f(t) dt$
25	511BC5	$(5.945 \times 0,996) + (13.135.500 \times (1 - 0,996))$ $(8.730,59 \times 0,996) + \int_0^t t f(t) dt$
26	511BC6	$(5.945 \times 0,993) + (13.135.500 \times (1 - 0,993))$ $(8.675,13 \times 0,993) + \int_0^t t f(t) dt$
27	512BC5	$(5.945 \times 0,994) + (13.135.500 \times (1 - 0,994))$ $(7.034,72 \times 0,994) + \int_0^t t f(t) dt$
28	512BC6	$(5.945 \times 0,999) + (13.135.500 \times (1 - 0,999))$ $(9.209,75 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$

Tabel E.3 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,85$
(Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
29	512BC7	$(5.945 \times 0,998) + (13.135,500 \times (1 - 0,998))$ $(5.944,12 \times 0,998) + \int_0^t t f(t) dt$
30	512BE1	$(5.945 \times 1,000) + (46.693,352,20 \times (1 - 1,000))$ $(5.072,77 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
31	541BC5	$(5.945 \times 0,982) + (13.135,500 \times (1 - 0,982))$ $(9.739,61 \times 0,982) + \int_0^t t f(t) dt$
32	541BE3	$(5.945 \times 0,996) + (46.693,352,20 \times (1 - 0,996))$ $(10.909,85 \times 0,996) + \int_0^t t f(t) dt$
33	541WF1	$(5.945 \times 1,000) + (13.578,462 \times (1 - 1,000))$ $(18.439,54 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$

4. Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Penggilingan Akhir 1 Saat $R_G = 0,9$

Tabel E.4 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,9$

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
1	521BC1	$(5.945 \times 0,976) + (10.415,620,75 \times (1 - 0,976))$ $(8.225,17 \times 0,976) + \int_0^t t f(t) dt$
2	521BC2	$(5.945 \times 0,970) + (13.135,500 \times (1 - 0,970))$ $(8.884,09 \times 0,970) + \int_0^t t f(t) dt$
3	521BC3	$(5.945 \times 0,984) + (10.415,620,75 \times (1 - 0,984))$ $(10.538,06 \times 0,984) + \int_0^t t f(t) dt$
4	521BC4	$(5.945 \times 0,971) + (10.415,620,75 \times (1 - 0,971))$ $(8.334,81 \times 0,971) + \int_0^t t f(t) dt$
5	521BC5	$(5.945 \times 0,966) + (13.135,500 \times (1 - 0,966))$ $(11.234,78 \times 0,966) + \int_0^t t f(t) dt$
6	521BC6	$(5.945 \times 0,999) + (13.135,500 \times (1 - 0,999))$ $(13.568,13 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
7	521BE1	$(5.945 \times 0,999) + (46.693,352,20 \times (1 - 0,999))$ $(14.077,81 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$

Tabel E.4 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,9$
(Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
8	541BC1	$(5.945 \times 0,999) + (13.135.500 \times (1 - 0,999))$ $(14.848,24 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
9	541BC2	$(5.945 \times 1,000) + (13.135.500 \times (1 - 1,000))$ $(15.561,88 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
10	541WF3	$(5.945 \times 0,979) + (13.578.462 \times (1 - 0,979))$ $(18.009,79 \times 0,979) + \int_0^t t f(t) dt$
11	541BC3	$(5.945 \times 0,993) + (13.135.500 \times (1 - 0,993))$ $(13.269,75 \times 0,993) + \int_0^t t f(t) dt$
12	541BC4	$(5.945 \times 0,996) + (13.135.500 \times (1 - 0,996))$ $(13.167,28 \times 0,996) + \int_0^t t f(t) dt$
13	541CR1	$(5.945 \times 0,987) + (18.904.948,34 \times (1 - 0,987))$ $(15.037,27 \times 0,987) + \int_0^t t f(t) dt$
14	541BE2	$(5.945 \times 1,000) + (46.693.352,20 \times (1 - 1,000))$ $(16.163,19 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
15	541BL1	$(5.945 \times 1,000) + (17.380.606,50 \times (1 - 1,000))$ $(15.839,14 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
16	541BM1	$(5.945 \times 0,995) + (37.399.340 \times (1 - 0,995))$ $(13.126,33 \times 0,995) + \int_0^t t f(t) dt$
17	541FN7	$(5.945 \times 0,998) + (16.051.333,33 \times (1 - 0,998))$ $(14.132,83 \times 0,998) + \int_0^t t f(t) dt$
18	541FN8	$(5.945 \times 0,990) + (16.051.333,33 \times (1 - 0,990))$ $(10.482,57 \times 0,990) + \int_0^t t f(t) dt$
19	541MM1	$(5.945 \times 0,998) + (11.000.000 \times (1 - 0,998))$ $(13.027,70 \times 0,998) + \int_0^t t f(t) dt$
20	541SR1	$(5.945 \times 1,000) + (14.500.000 \times (1 - 1,000))$ $(16.090,55 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
21	541AS5	$(5.945 \times 0,999) + (2.900.000 \times (1 - 0,999))$ $(8.233,74 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
22	561AS1	$(5.945 \times 0,995) + (5.884.724,88 \times (1 - 0,995))$ $(14.649,31 \times 0,995) + \int_0^t t f(t) dt$

Tabel E.4 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,9$
(Lanjutan)

No.	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (Cr), Rp./Jam
23	561BE1	$(5.945 \times 0,987) + (11.992,938,74 \times (1 - 0,987))$ $(13.989,31 \times 0,987) + \int_0^t t f(t) dt$
24	511BC4	$(5.945 \times 0,991) + (13.135,00 \times (1 - 0,991))$ $(6.651,10 \times 0,991) + \int_0^t t f(t) dt$
25	511BC5	$(5.945 \times 0,998) + (13.135,500 \times (1 - 0,998))$ $(8.730,59 \times 0,998) + \int_0^t t f(t) dt$
26	511BC6	$(5.945 \times 0,996) + (13.135,500 \times (1 - 0,996))$ $(8.675,13 \times 0,996) + \int_0^t t f(t) dt$
27	512BC5	$(5.945 \times 0,996) + (13.135,500 \times (1 - 0,996))$ $(7.034,72 \times 0,996) + \int_0^t t f(t) dt$
28	512BC6	$(5.945 \times 0,999) + (13.135,500 \times (1 - 0,999))$ $(9.209,75 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
29	512BC7	$(5.945 \times 0,999) + (13.135,500 \times (1 - 0,999))$ $(5.944,12 \times 0,999) + \int_0^t t f(t) dt$
30	512BE1	$(5.945 \times 1,000) + (46.693,352,20 \times (1 - 1,000))$ $(5.072,77 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$
31	541BC5	$(5.945 \times 0,988) + (13.135,500 \times (1 - 0,988))$ $(9.739,61 \times 0,988) + \int_0^t t f(t) dt$
32	541BE3	$(5.945 \times 0,997) + (46.693,352,20 \times (1 - 0,997))$ $(10.909,85 \times 0,997) + \int_0^t t f(t) dt$
33	541WF1	$(5.945 \times 1,000) + (13.578,462 \times (1 - 1,000))$ $(18.439,54 \times 1,000) + \int_0^t t f(t) dt$

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan optimasi, analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi data waktu antar kegagalan sub-sub-sub unit dari Sub Unit Penggilingan Akhir 1 mengikuti distribusi Weibull 2.
2. Pada saat target keandalan sistem sebesar 0,9:
 - a. Interval waktu pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit terpanjang dimiliki oleh sub-sub-sub unit 541AS5, yaitu sebesar 638,7 jam atau 26,6 hari.
 - b. Interval waktu pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit terpendek dimiliki oleh sub-sub-sub unit 541FN8, yaitu sebesar 187,4 jam atau 7,8 hari.
3. Total laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun untuk Sub Unit Penggilingan Akhir 1 pada saat target keandalan sistem sebesar 0,9 adalah Rp285.514.966,00.
4. Total penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per tiga tahun untuk Sub Unit Penggilingan Akhir 1 pada saat target keandalan sistem sebesar 0,9 adalah Rp1.168.139.930,00.
5. Kegagalan utama pada Sub Unit Penggilingan Akhir 1 akibat frekuensi kegagalan yang tinggi disebabkan oleh 561BE1, 541FN7, 541BM1, 521BC3, 512BE1, 541BC2, 521BE1, 541BE3, 541BC3, 512BC6 dan 541AS5.

7.2 Saran

Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi pihak perusahaan dan penelitian lebih lanjut.

1. Interval waktu pengamatan yang digunakan sebaiknya diperpanjang atau pada interval waktu yang memiliki data *downtime* yang banyak untuk masing-masing peralatan.

2. Sebaiknya perusahaan lebih memperhatikan manajemen data kerusakan peralatan dan data biaya pemeliharaan pencegahan serta perbaikan agar hasil akhir dari penelitian memiliki tingkat kesalahan minimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah, D., dan Nuh, A. F., 2015, *Unit Kerja Pemeliharaan Mesin Finish Mill 1-2 Di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Tuban*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Balakrishnan, N., dan Basu, A. P., 1995, *The Exponential Distribution: Theory, Methods and Application*, OPA, Amsterdam.
- Billington, R., 1992, *Reliability Evaluation of Engineering System 2nd*, Plenum Press, New York dan London.
- Blanchard, B.S., 1995, *Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Buwana, A. W., 2006, *Analisa Keandalan Sebagai Dasar Optimasi Interval Waktu Pemeliharaan Pada Sistem Fine Grinding Studi Kasus Di PT. Central Proteinaprima*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Campbell, J. D., dan Jardine, A. K., 1973, *Maintenance Excellence*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Carlson, C. S., 2012, *Effective FMEAs Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Cheng, T., 2006, *A Critical Discussion On Bath-tub Curve*, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung.
- Dodson, B., 2002, *The Weibull Analysis Handbook*, ASQ, Milwaukee.
- Ebeling, C. E., 1997, *Reliability and Maintainability Engineering, International Edition*, McGraw-Hill Education, New York.
- Enders, C. K., 2010, *Applied Missing Data Analysis*, The Guilford Press, New York.
- Jardine, A. K., 1973, *Maintenance Excellence*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

- Kister, T. C., dan Hawkins, B., 2006, *Maintenance Planning and Scheduling: Streamline Your Organization For A Lean Environment*, Elsevier Inc., Oxford.
- Kocecioğlu, D., 1991, *Reliability Engineering Handbook, Volume 1*, PTR, Prentice Hall.
- Lewis, E. E., 1998, *Introduction to Reliability Engineering*, John Wiley & Sons, New York.
- Malaiya, Y. K., 2005, *Reliability Allocation*, Colorado State University, Fort Collins.
- Mettas, A., 2000, *Reliability Allocation and Optimization for Complex System*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Los Angeles.
- Mishra, R. dan Pathak, K., 2006, *Maintenance Engineering and Management*, Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Mobley, R. K., Higgins, L. R., dan Wikoff, D., 2008, *Maintenance Engineering Handbook, Seventh Edition*, McGraw-Hill Education, New York.
- Nurmalia, Y. R., 2015, *Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Serta Laju Biayanya Berdasarkan Alokasi Dan Optimasi Keandalan Pada Peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea Di PT. X*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., 2015, *Downtime Finish Mill Pabrik Tuban*, PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk., Tuban.
- Ramakumar, R., 1993, *Engineering Reliability: Fundamentals and Applications*, Simon & Schuster Company, New Jersey.
- Saaty, T. L., 1998, *Decision Making For Leaders; The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*, RWS Publication, Pittsburgh.
- Slack, N., 2001, *Operations Management 3rd*, Prentice Hall, London.

- Stephens, K. S., 2012, *Reliability Data Analysis with Excel and Minitab*, ASQ, Milwaukee.
- Ushakov, I. A., dan Harison, R. A., 1994, *Handbook of Reliability Engineering*, John Wiley, New York.
- Utomo, M. R., Rahayu, S., dan Wicaksono, P. A., 2015, *Pemeliharaan Mesin Finish Mill 1-2 PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban*. Universitas Jember, Jember.
- Wilkins, D. J., 2002, *Reliability Engineering Resources*, diakses tanggal 26 Juli 2016,
<http://www.weibull.com/hotwire/issue21/hottopics21.htm>

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Rizqi Surya Saputra Suroto lahir pada tanggal 11 Mei 1994. Penulis merupakan anak keempat dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Kartika VI-4 Balikpapan, SMPN 7 Balikpapan dan SMAN 1 Balikpapan. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Semasa kuliah, penulis aktif sebagai anggota organisasi Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai staf Departemen Sosiasl Masyarakat periode 203/2014 dan bergabung dalam volunteer ITS International Office sebagai wakil koordinator divisi *hospitality for international student* pada periode 2014/2015. Prestasi yang pernah diraih selama masa perkuliahan yaitu pertukaran pelajar ke Universitas Kumamoto, Jepang selama satu minggu dalam program *Sakura Exchange Program* pada tahun 2014 yang disponsori oleh *Japan Science and Technology Agency* (JST). Segala kritik dan saran serta pertanyaan mengenai penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dapat dikirimkan melalui e-mail ke rizqisuryass@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)