



TESIS - PM147501

**PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN
PENCEGAHAN SERTA LAJU BIAYANYA
BERDASARKAN ALOKASI DAN OPTIMASI
KEANDALAN PADA PERALATAN SUB UNIT
SINTESA UNIT UREA DI PT. X**

YULIA RIZKI NURMALA
9113201305

DOSEN PEMBIMBING
Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN INDUSTRI
PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS - PM147501

**DETERMINATION OF THE PREVENTIVE MAINTENANCE
TIME INTERVAL AS WELL AS ITS COST RATE BASED ON
THE ALLOCATION AND OPTIMIZATION OF THE
EQUIPMENT RELIABILITY IN SYNTHESIS SUB UNIT OF
UREA UNIT AT PT. X**

YULIA RIZKI NURMALA
9113201305

SUPERVISOR
Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

STUDY PROGRAM OF MASTER MANAGEMENT TECHNOLOGY
FIELD OF EXPERTISE MANAGEMENT INDUSTRY
POSTGRADUATE PROGRAM
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015

LEMBAR PENGESAHAN

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar
Magister Manajemen Teknologi (M.MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
YULIA RIZKI NURMALA
NRP. 9113201305**

**Tanggal Ujian : 13 Juli 2015
Periode Wisuda : September 2015**

Disetujui oleh:

**1. Ir.Bobby Oedy P. Soepangkat, MSc., Ph.D
NIP: 19530516 197803 1 001**

Bobby O. Soepangkat
(Pembimbing)

**2. Dr. Indung Sudarso, ST., MT
NIDN: 0727115201**

Indung Sudarso
(Penguji)

**3. Nani Kurniati, ST., MT, Ph.D
NIP: 19750408 199802 2 001**

Nani Kurniati
(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
NIP. 196404051990021001**

PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN PENCEGAHAN SERTA LAJU BIAYANYA BERDASARKAN ALOKASI DAN OPTIMASI KEANDALAN PADA PERALATAN SUB UNIT SINTESA UNIT UREA DI PT. X

Nama Mahasiswa : Yulia Rizki Nurmala
NRP : 9113201305
Pembimbing : Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

PT. X adalah salah satu perusahaan pupuk terbesar di Indonesia dan salah satu produknya adalah pupuk urea. Proses pembuatan pupuk merupakan proses yang kontinyu. Setiap pabrik yang beroperasi secara kontinyu memerlukan pemeliharaan yang baik. Apabila pemeliharannya kurang baik akan mengakibatkan proses produksi berhenti, sehingga akan menimbulkan kerugian yang berupa biaya perbaikan yang tinggi serta bertambahnya biaya langsung maupun tidak langsung. Ada empat sub unit dalam pembuatan pupuk urea, yaitu Sub Unit Sintesa, Sub Unit Purifikasi, Sub Unit Konsentrasi dan Sub Unit *Prilling*. Sub Unit Sintesa memiliki jumlah frekuensi kegagalan dan waktu *downtime* peralatan yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan suatu metode pemeliharaan pencegahan yang tepat untuk Sub Unit Sintesa Unit Urea. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang dapat meminimalkan laju biaya berdasarkan alokasi dan optimasi keandalan pada peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X.

Ada beberapa langkah yang dilakukan untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan. Langkah pertama adalah mengkonversikan data waktu kegagalan komponen menjadi data waktu antar kegagalan. Kemudian dengan menggunakan perangkat lunak *Weibull++6* dilakukan pemilihan distribusi terbaik dari data waktu antar kegagalan. Selanjutnya, dengan menggunakan perangkat lunak yang sama dapat diperoleh parameter-parameter seperti *mean*, standar deviasi, *beta*, *eta*, *gamma* dan *lamda* (μ , σ , β , η , γ dan λ) dari distribusi yang terpilih untuk menentukan fungsi keandalan ($R(t)$). Penentuan indeks kelayakan peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan optimasi dilakukan dengan menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP). Langkah terakhir adalah melakukan optimasi untuk memperoleh target keandalan sistem yang ingin dicapai dengan menggunakan program non-linier.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju biaya pemeliharaan pencegahan terendah didapatkan pada saat target keandalan Sub Unit Sintesa sebesar 0,9, yaitu sebesar Rp. 28.115.726. Dengan target keandalan sistem yang sama, interval waktu pemeliharaan pencegahan peralatan yang terpanjang dimiliki oleh sub-sub-sub unit Pemanas Amoniak, yaitu sebesar 98,3 hari, dan yang terpendek dimiliki oleh sub-sub-sub unit Karbamat Kondensat 1, yaitu sebesar 27,2 hari.

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

DETERMINATION OF THE PREVENTIVE MAINTENANCE TIME INTERVAL AS WELL AS ITS COST RATE BASED ON THE ALLOCATION AND OPTIMIZATION OF THE EQUIPMENT RELIABILITY IN SYNTHESIS SUB UNIT OF UREA UNIT AT PT. X

By : Yulia Rizki Nurmala
Student Identity Number : 9113201305
Advisor : Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

PT. X is one of the largest fertilizer companies in Indonesia and one of its products is urea fertilizer. The process of making fertilizer is a continuous process. Every plant operating continuously requires proper maintenance. If the maintenance is not adequate, it will result in the production process stopped, so it will cause loss in the form of high repair costs and the increase in direct and indirect costs. There are four sub-units in the manufacture of urea, namely Synthesis Sub Unit, Purification Sub Unit, Concentration Sub Unit, and Prilling Sub Unit. Synthesis Sub Unit has a high number of failure frequency and equipment downtime. Therefore a proper preventive maintenance method is required for Synthesis Sub Unit of Urea Unit. The goal of this study is to determine the preventive maintenance time interval, which could minimizing the cost rate of preventive maintenance based on the allocation and optimization of the equipment reliability in Synthesis Sub Unit of Urea Unit at PT. X.

There were several steps in determining the preventive maintenance time interval. The first step was converting downtime data into time between failure data. The best distribution of time between failure data was selected by using the Weibull + +6 software. Furthermore, by using the same software some parameters such as mean, standard deviation, beta, eta, gamma, and lamda (μ , σ , β , η , γ 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 program.

The results show that the lowest preventive maintenance cost rate is obtained when the Synthesis Sub Unit reliability target is set at 0,9, is IDR 28,115,726. With the same system reliability target, the longest is equipment preventive maintenance time interval is owned by Ammonia Heater sub unit (98.3 days), and the shortest is owned by Condensate Carbamate 1 sub unit (27.22 days).

Key words: reliability, preventive maintenance time interval, allocation, AHP, feasibility index

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan syukur kepada **Allah SWT**, atas segala limpahan rahmat dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan Tesis ini sesuai dengan harapan. Tesis ini disusun guna memenuhi persyaratan kelulusan akademis bagi Mahasiswa Strata-2 (S2) pada Program Studi Magister Manajemen Teknologi, bidang keahlian Manajemen Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Tentunya juga laporan ini tidak akan pernah terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak yang meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk terselesaikannya proses penyelesaian Tesis ini. Kami ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Bobby Oedy P. Soepangkat, M.Sc., Ph.D, selaku dosen pembimbing atas waktu, ide, pengarahan, kesabaran, serta bimbingan selama pengerjaan proposal tesis ini hingga tesis ini dapat diselesaikan.
2. Prof. Dr. Yulinah T., M. App. Sc., selaku ketua program studi MMT-ITS.
3. Bapak Djoko Darsono dan Bapak Angga Saputra dari PT. X yang telah membantu dalam proses pengambilan data selama berada di lapangan.
4. Papa dan mama atas doa, perhatian, nasehat, dorongan yang selalu diberikan selama ini, serta pengertiannya dalam memberikan dukungan moril tak terhingga, terutama di masa-masa sulit.
5. Iwan Prasetyo Wibowo atas pengorbanan waktu, dorongan semangat, inspirasi, dan perhatiannya.
6. Mbak Wid, Dek Nita, Aulia, Ogi, Mbak Juwita dan seluruh keluarga baik yang di Kalimantan maupun yang di Jawa yang selalu mengingatkan dan memberikan dorongan untuk selalu semangat dalam mengerjakan tesis ini serta yang selalu memberikan nasihat ketika bingung dalam mengambil keputusan.
7. Terima kasih secara khusus kepada teman-teman seperjuangan di Program Studi MMT-ITS angkatan 2013, khususnya Mbak Sidha atas kenangan dan perhatiannya serta dukungan dalam pengerjaan Tesis ini.

Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, kami ucapkan terima kasih. Penulis sangat berharap adanya masukan dan saran dari semua pihak guna kesempurnaan dalam penulisan laporan ini. Semoga pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis mampu memberikan manfaat dan berguna bagi seluruh umat manusia.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

Yulia Rizki Nurmala

9113201305

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.2.1 Batasan Penelitian	5
1.2.2 Asumsi Penelitian	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Sistematika Penelitian	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep Keandalan	10
2.1.1 Fungsi Keandalan.....	10
2.1.2 Penilaian Keandalan.....	10
2.2 <i>Mean Time Between Failure (MTBF)</i>	11
2.3 Pemodelan Sistem	11
2.3.1 Sistem Seri	11
2.3.2 Sistem Paralel.....	12
2.3.3 Kombinasi Sistem Seri dan Paralel	13
2.4 Karakteristik Kegagalan.....	13
2.5 Laju Kegagalan	15
2.6 Pola Distribusi Data Antar Kegagalan	15
2.6.1 Distribusi Eksponensial	16
2.6.2 Distribusi Normal.....	16
2.6.3 Distribusi Lognormal	17
2.6.4 Distribusi <i>Weibull</i>	18
2.7 Pengujian Distribusi.....	19
2.7.1 <i>Average Good of Fitness (AvGOF)</i>	20
2.7.2 <i>Average of Plot (AvPlot)</i>	20
2.7.3 <i>Likelihood Function Ratio</i>	21
2.8 <i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i>	21
2.9 Penetapan Target Keandalan yang Optimal.....	24
2.10 Optimasi Biaya Interval Pemeliharaan Peralatan.....	27
2.11 Posisi Penelitian	29

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1	Studi Lapangan	31
3.2	Tinjauan Pustaka.....	33
3.3	Penetapan Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian	33
3.4	Pengumpulan Data.....	33
3.5	Pengolahan Data	34
3.6	Analisis dan Pembahasan.....	35
3.7	Kesimpulan dan Saran	35
BAB 4	PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS KEANDALAN	
4.1	Tinjauan Umum.....	37
4.2	Pemodelan Sistem Sub Unit Sintesa.....	38
4.2.1	Pemodelan Sistem Sub-Sub Unit Sintesa 1	39
4.2.2	Pemodelan Sistem Sub-Sub Unit Sintesa 2	39
4.2.3	Pemodelan Sistem Sub-Sub Unit Sintesa 3	40
4.3	Penilaian Keandalan	40
4.3.1	Rekapitulasi Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan dan Parameter Keandalan Sub Unit Sintesa Unit Urea	41
4.3.2	Rekapitulasi Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Sub Unit Sintesa Unit Urea	41
4.3.3	Rekapitulasi Laju Kegagalan (λ) Sub Unit Sintesa Unit Urea	43
4.3.4	<i>Rekapitulasi Mean Time Between Failure (MTBF)</i> dan Keandalan pada Saat MTBF Sub Unit Sintesa Unit Urea	44
4.3.5	Keandalan (<i>Reliability</i>) Sistem.....	44
4.3.5.1	Keandalan (<i>Reliability</i>) Sub-Sub Unit Sintesa 1	45
4.3.5.2	Keandalan (<i>Reliability</i>) Sub-Sub Unit Sintesa 2	45
4.3.5.3	Keandalan (<i>Reliability</i>) Sub-Sub Unit Sintesa 3	46
4.3.5.4	Rekapitulasi Keandalan (<i>Reliability</i>) Sub Unit Sintesa Unit Urea	47
BAB 5	PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN PENCEGAHAN	
5.1	Penentuan Indeks Kelayakan.....	49
5.2	Optimasi Keandalan Sub Unit Sintesa	54
5.3	Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Sub Unit Sintesa	56
5.4	Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan	58
5.4.1	Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan Sub-Sub-Sub Unit Pompa 1 Sebelum Optimasi	58
5.4.2	Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan Sub-Sub-Sub Unit yang Lain	59
5.4.3	Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus	59
5.5	Pembahasan	62

BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1	Kesimpulan	63
6.2	Saran	64
	DAFTAR PUSTAKA	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Frekuensi Kegagalan, Jumlah <i>Down Time</i> dan Persentase <i>Down Time</i> dari Bulan Januari 2007 sampai dengan Bulan Agustus 2014 di Unit Urea.....	3
Tabel 1.2	Frekuensi Kegagalan, Biaya Pemeliharaan dan <i>Opportunity Cost</i> dari Bulan Januari 2007 sampai dengan Bulan Agustus 2014 di Unit Urea.....	3
Tabel 2.1	Skala Kepentingan AHP	23
Tabel 4.1	Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan dan Parameter Sub Unit Sintesa Unit Urea	41
Tabel 4.2	Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Sub Unit Sintesa Unit Urea	42
Tabel 4.3	Laju Kegagalan (λ) Sub Unit Sintesa Unit Urea.....	43
Tabel 4.4	<i>Mean Time Between Failure (MTBF)</i> dan Keandalan pada Saat <i>MTBF</i> Sub Unit Sintesa Unit Urea.....	44
Tabel 4.5	Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	45
Tabel 4.6	Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	46
Tabel 4.7	Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	46
Tabel 4.8	Nilai Keandalan Sub Unit Sintesa Unit Urea.....	47
Tabel 5.1	Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria Seluruh Responde.....	51
Tabel 5.2	Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan Seluruh Responden.....	51
Tabel 5.3	Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan Seluruh Responden.....	52
Tabel 5.4	Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional Seluruh Resonden.....	52
Tabel 5.5	Perbandingan Berpasangan Antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi Seluruh Resonden.....	52
Tabel 5.6	Indeks Kriteria.....	52
Tabel 5.7	Indeks Sub Kriteria.....	53
Tabel 5.8	Indeks Kelayakan Peralatan.....	53
Tabel 5.9	Keandalan Aktual ($t = 8760$ jam)	54
Tabel 5.10	Keandalan Optimal dengan Keandalan Sub-Sub Unit, $R_G = 0,7$...55	55
Tabel 5.11	Rekapitulasi Alokasi Keandalan Sub Unit Sintesa.....	56
Tabel 5.12	Rekapitulasi Alokasi Keandalan Sub-Sub-Sub Unit di Sub Unit Sintesa.....	57
Tabel 5.13	Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan yang Optimal.....	57
Tabel 5.14	Laju Biaya ($C(t)$) per Jam untuk Setiap Sub-Sub-Sub Unit.....	59
Tabel 5.15	Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan dan Jumlah Pemeliharaan Pencegahan per Tahun.....	60
Tabel 5.16	Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus.....	61
Tabel 5.17	Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus.....	61
Tabel A.1.1.1	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit Pompa 1.....	67
Tabel A.1.1.2	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit Pompa 2.....	67
Tabel A.1.1.3	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit Pemanas Amoniak.....	68
Tabel A.1.1.4	Parameter Distribusi <i>TBF</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	68

Tabel A.1.2	Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	68
Tabel A.1.3	Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	69
Tabel A.1.4	Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	69
Tabel A.1.5	<i>MTBF</i> dan Keandalan Saat <i>MTBF</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	70
Tabel A.2.1.1	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit Turbin.....	70
Tabel A.2.1.2	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit Kompresor CO ₂	71
Tabel A.2.1.3	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit <i>Stripper</i>	71
Tabel A.2.1.4	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit Karbamat Kondensat 2.....	72
Tabel A.2.1.5	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit Karbamat Kondensat 1.....	72
Tabel A.2.1.6	Parameter Distribusi <i>TBF</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	72
Tabel A.2.2	Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	73
Tabel A.2.3	Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	73
Tabel A.2.4	Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	74
Tabel A.2.5	<i>MTBF</i> dan Keandalan Saat <i>MTBF</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	74
Tabel A.3.1.1	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit <i>Reaktor</i>	75
Tabel A.3.1.2	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit <i>Scrubber</i>	75
Tabel A.3.1.3	Data <i>TBF</i> Sub-Sub-Sub Unit <i>High Pressure</i> Dekomposer.....	76
Tabel A.3.1.4	Parameter Distribusi <i>TBF</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	76
Tabel A.3.2	Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	76
Tabel A.3.3	Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	77
Tabel A.3.4	Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	77
Tabel A.3.6	<i>MTBF</i> dan Keandalan Saat <i>MTBF</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	77
Tabel C.1	Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 0,7.....	93
Tabel C.2	Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 0,8.....	94
Tabel C.3	Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 0,9.....	94
Tabel D.1	Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Sebelum Optimasi.....	95
Tabel D.2	Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,7$	96
Tabel D.3	Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,8$	97
Tabel D.4	Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,9$	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Blok Proses Produksi Pupuk Urea.....	2
Gambar 2.1	Model Keandalan Sistem Seri.....	11
Gambar 2.2	Model Keandalan Sistem Paralel	12
Gambar 2.3	Model Keandalan Kombinasi Sistem Seri dan Paralel	13
Gambar 2.4	Kurva Karakteristik Kegagalan (<i>bathub curve</i>).....	14
Gambar 2.5	Grafik Optimasi Waktu Pemeliharaan Pencegahan	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	Sub Unit Penyusun Peralatan Unit Urea (level 1).....	38
Gambar 4.2	Sub-Sub Unit Peralatan Penyusun Sub Unit Sintesa (level 2).....	39
Gambar 4.3	Sub-Sub-sub Sistem Peralatan Penyusun Sintesa 1 (level 3).....	39
Gambar 4.4	Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2 (level 3).....	40
Gambar 4.5	Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3 (level 3).....	40
Gambar 5.1	Struktur Hirarki Indeks Kelayakan Peralatan.....	50
Gambar 5.2	Grafik Indeks Kelayakan Sub Unit Sintesa Unit Urea.....	53
Gambar B.2.1	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 1.....	79
Gambar B.2.2	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 2.....	80
Gambar B.2.3	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 3.....	80
Gambar B.2.4	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 4.....	81
Gambar B.2.5	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 5.....	81
Gambar B.3.1	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan.....	82
Gambar B.3.2	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan.....	82
Gambar B.3.3	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional.....	83
Gambar B.3.4	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi.....	83
Gambar B.4.1	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan.....	84
Gambar B.4.2	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan.....	84
Gambar B.4.3	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional.....	85
Gambar B.4.4	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi.....	85
Gambar B.5.1	Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan.....	86

Gambar B.5.2 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan.....	86
Gambar B.5.3 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional.....	87
Gambar B.5.4 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi.....	87
Gambar B.6.1 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan.....	88
Gambar B.6.2 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan.....	88
Gambar B.6.3 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional.....	89
Gambar B.6.4 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi.....	89
Gambar B.7.1 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan.....	90
Gambar B.7.2 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan.....	90
Gambar B.7.3 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional.....	91
Gambar B.7.4 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi.....	91
Gambar B.7.5 Bobot Nilai Kriteria dan Sub Kriteria.....	92
Gambar B.7.6 Bobot Nilai Sub-Sub Unit Peralatan.....	92
Gambar C.1 Input Data untuk Target Keandalan 0,7.....	93
Gambar C.2 Input Data untuk Target Keandalan 0,8.....	93
Gambar C.3 Input Data untuk Target Keandalan 0,9.....	94

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Analisis Keandalan.....	67
1. Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	67
1.1 Waktu Antar Kegagalan (<i>TBF</i>) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	67
1.2 Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	68
1.3 Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Penyusun Sub-sub Unit Sintesa 1.....	69
1.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1....	69
1.5 <i>Mean Time Between Failure (MTBF)</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1.....	69
2. Sub-Sub Unit Sintesa 2	
2.1 Waktu Antar Kegagalan (<i>TBF</i>) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	70
2.2 Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	72
2.3 Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	73
2.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2....	73
2.5 <i>Mean Time Between Failure (MTBF)</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2.....	74
3. Sub-Sub Unit Sintesa 3	
3.1 Waktu Antar Kegagalan (<i>TBF</i>) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	75
3.2 Fungsi Padat Peluang (<i>pdf</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	76
3.3 Keandalan (<i>Reliability</i>) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	77
3.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3....	77
3.5 <i>Mean Time Between Failure (MTBF)</i> Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3.....	77
LAMPIRAN 2 Penentuan Indeks Kelayakan Peralatan	79
1. Pendahuluan	79
2. Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria	79
3. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 1.....	82

4.	Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 2.....	84
5.	Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 3.....	86
6.	Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 4.....	88
7.	Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 5.....	90
8.	Hasil Sintesis Pembobotan Seluruh Responden.....	92

LAMPIRAN 3 *Non Linear Programming*..... 93

1.	Input Data untuk Target Keandalan Peralatan 0,7	93
2.	Input Data untuk Target Keandalan Peralatan 0,8	93
3.	Input Data untuk Target Keandalan Peralatan 0,9	94

LAMPIRAN 4 Laju Biaya..... 95

1	Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Sintesa Sebelum Optimasi.....	95
2	Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Sintesa Saat $R_G = 0,7$	96
3	Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Sintesa Saat $R_G = 0,8$	97
4	Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Sintesa Saat $R_G = 0,9$	98

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

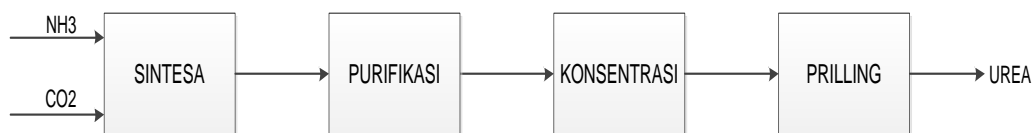
PT. X adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri dengan proses kontinyu. Setiap pabrik yang beroperasi secara kontinyu memerlukan pemeliharaan yang benar agar waktu operasi (*stream day*) pabrik dapat mendekati bahkan mencapai kapasitas rancangannya. Apabila pemeliharannya kurang baik akan mengakibatkan proses produksi berhenti, sehingga akan menimbulkan kerugian yang berupa biaya perbaikan yang tinggi serta bertambahnya biaya langsung maupun tidak langsung.

Secara umum manajemen pemeliharaan yang dilakukan oleh PT. X telah memenuhi standar. Hal ini dapat dilihat dari cara pencatatan terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi dan perbaikan yang dilakukan. Namun sampai saat ini belum dilakukan analisis terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi, agar dapat dilakukan pemeliharaan pencegahan. Ketika terjadi kerusakan pada salah satu alat dan alat tersebut mati atau ada indikasi alat tersebut tidak bekerja optimal maka sistem dimatikan. Pada saat sistem di matikan alat tersebut tidak langsung di perbaiki melainkan mencari penyebab terjadinya kerusakan terlebih dahulu. Setelah diketahui penyebabnya kemudian dilakukan perbaikan, oleh karena itu waktu *down timenya* sangat lama. Dengan kapasitas produksi rata-rata 1390 ton perhari, apabila pabrik tidak beroperasi maka akan menyebabkan peningkatan *opportunity cost* sebesar RP. 396.500.000,00 per hari.

Tujuan diadakannya pemeliharaan adalah untuk mempertahankan atau meningkatkan keandalan peralatan produksi. Pada proses kontinyu peralatan produksi digunakan secara terus menerus, sehingga menyebabkan keandalan peralatan tersebut menurun. Menurunnya keandalan peralatan produksi dapat menyebabkan proses produksi terganggu atau tidak dapat beroperasi. Oleh karena itu informasi nilai keandalan peralatan menjadi sangat penting untuk menentukan strategi operasionalnya.

PT. X memiliki tiga unit produksi, ketiga unit tersebut adalah Unit Produksi I (unit pupuk nitrogen), Unit Produksi II (unit pupuk phospat), dan Unit Produksi III (unit asam fosfat). Unit Produksi I terdiri dari pabrik pembuatan amoniak, pupuk ZA, pupuk urea, CO₂ cair, CO₂ padat (*dry ice*), gas nitrogen, nitrogen cair, gas oksigen, dan oksigen cair. Unit Produksi II terdiri dari pabrik pembuatan pupuk fosfat, pupuk majemuk, pupuk NPK kebomas, pupuk NPK granulasi, pupuk ZK, dan pupuk ROP *granule*. Unit Produksi III terdiri dari pabrik pembuatan pupuk fosfat (100% P₂O₅), asam sulfat, *cement retarder*, dan alum fluorida (AlF₃).

Pembuatan pupuk urea membutuhkan dua macam bahan baku, yaitu amoniak cair (NH₃) dan gas CO₂. Proses produksi di Unit Urea dapat dilihat pada diagram blok proses produksi yang ditunjukkan oleh Gambar 1.1 berikut ini:



Gambar 1.1 Diagram Blok Proses Produksi Pupuk Urea (Departemen Har 1, 2014)

Proses yang terjadi pada Sub Unit Sintesa adalah proses terpenting dalam pembuatan pupuk urea karena merupakan sebagai awal proses dalam pembuatan pupuk urea. Alat-alat yang digunakan dalam proses sintesa 80% adalah peralatan yang kritis kategori A, yaitu alat yang hanya ada satu saja dan apabila tidak berfungsi akan mematikan keseluruhan proses karena tidak ada penggantinya. Kegagalan yang sering terjadi pada peralatan di Unit Urea akan menyebabkan tingginya waktu *down time*. Tabel 1.1 menunjukkan frekuensi kegagalan, jumlah *down time*, dan persentase *down time* dari bulan Januari 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014.

Tabel 1.1 Frekuensi Kegagalan, Jumlah *Down Time*, dan Persentase *Down Time* dari Bulan Januari 2007 sampai dengan Bulan Agustus 2014 di Unit Urea

No	Sub Unit	Frekuensi Kegagalan	<i>Down Time</i> (Jam)	Persentase <i>Down Time</i> (%)
1	SINTESA	243	2503,18	4,29
2	PURIFIKASI	64	911,87	1,56
3	KONSENTRASI	25	284,33	0,48
4	PRILLING	43	440,98	0,75

Sumber: Data *breakdown* Unit Urea dari bulan Januari 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014

Pada Tabel 1.1 ditunjukkan frekuensi kegagalan terbesar berada pada Sub Unit Sintesa, yaitu sebesar 4,29% dari waktu operasi 67.200 jam. Oleh karena itu potensi peningkatan *opportunity cost* di sub unit tersebut menjadi sangat tinggi. Tabel 1.2 menunjukkan biaya pemeliharaan dan *opportunity cost* pada tiap sub unit di Unit Urea dari bulan Januari 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014.

Tabel 1.2 Frekuensi Kegagalan, Biaya Pemeliharaan, dan *Opportunity Cost* dari Bulan Januari 2007 sampai dengan Bulan Agustus 2014 di Unit Urea

No	Sub Unit	Frekuensi Kegagalan	Biaya Pemeliharaan	<i>Opportunity Cost</i>
1	SINTESA	243	Rp. 427.000.000	Rp. 41.318.235.371
2	PURIFIKASI	64	Rp. 161.000.000	Rp. 15.051.642.221
3	KONSENTRASI	25	Rp. 74.000.000	Rp. 4.693.277.083
4	PRILLING	43	Rp. 133.000.000	Rp. 7.278.981.146

Sumber: Data biaya produksi dan biaya pemeliharaan dari bulan Januari 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014

Pada Tabel 1.2 ditunjukkan bahwa frekuensi kegagalan berbanding lurus dengan biaya pemeliharaan dan *opportunity cost*. Semakin tinggi frekuensi kegagalan maka semakin tinggi pula biaya pemeliharaan dan *opportunity cost* yang harus ditanggung oleh perusahaan. Oleh karena itu diperlukan metode pemeliharaan yang tepat untuk Sub Unit Sintesa Unit Urea. *Mettas (2000)* melakukan penelitian untuk mengevaluasi keandalan dari suatu rangkaian sistem-sistem. Alokasi dan optimasi keandalan sistem digunakan untuk memenuhi target

keandalan ketika keandalan diperkirakan tidak mencukupi. Penelitian ini akan menghasilkan dua formulasi. Formulasi pertama adalah *nonlinear programming* untuk perumusan masalah alokasi nilai keandalan, dan formulasi kedua adalah formulasi biaya untuk digunakan dalam algoritma *nonlinear programming*. *Malaiya (2005)* telah melakukan pendekatan alokasi nilai keandalan dengan menggunakan biaya total yang minimal. Nilai keandalan sistem didapatkan dari nilai keandalan sub sistem, yang nantinya akan digabung untuk dioptimasi.

Sub Unit Sintesa berada pada tahap kegagalan meningkat (*wear-out zone*), oleh karena itu jenis pemeliharaan peralatan yang paling baik adalah dengan pemeliharaan pencegahan (*Anonim, 1999*). Menurut *Jardine (1973)*, pemeliharaan pencegahan memiliki keuntungan seperti dapat meminimumkan waktu berhentinya peralatan produksi (*down time*), dan dapat menurunkan tingkat kegiatan pekerjaan yang bersifat darurat. Informasi nilai keandalan tiap peralatan sangat penting untuk menentukan jadwal pemeliharaan pencegahan, agar dapat dilakukan pengurangan biaya-biaya yang terjadi akibat berhentinya proses dalam pembuatan pupuk urea akibat adanya kegagalan pada peralatan. Oleh karena itu, penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan dengan melakukan alokasi dan optimasi diperlukan untuk meningkatkan keandalan pada Unit Urea serta menentukan laju biaya total yang minimal.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan dengan melakukan alokasi dan optimasi keandalan pada peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X.
2. Bagaimana menentukan laju biaya total pemeliharaan pencegahan peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X.

1.2.1 Batasan Penelitian

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

1. Analisis keandalan hanya dilakukan pada peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X.
2. Data kegagalan peralatan yang dicatat adalah data kegagalan yang mengakibatkan kehilangan jam kerja produksi dari bulan Januari tahun 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014.
3. Data biaya perbaikan yang dicatat meliputi biaya pemeliharaan pencegahan dan biaya kegagalan peralatan di Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X dari bulan Januari tahun 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014.
4. Tidak membahas kegagalan mesin secara rinci seperti penyebab kegagalan mesin, kegunaan komponen-komponen mesin, serta proses yang terjadi pada mesin.
5. Tidak membahas kegagalan akibat tidak ada atau kurangnya bahan baku.

1.2.2 Asumsi Penelitian

Asumsi-asumsi dalam penelitian ini adalah:

1. Tidak ada kesalahan pengoperasian peralatan oleh operator produksi pada peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X.
2. Kemampuan teknisi Departemen Pemeliharaan I dalam hal melakukan pemeliharaan dan perbaikan dianggap sama dan telah sesuai dengan standar.
3. Untuk peralatan yang tanpa data kegagalan, nilai keandalan dari peralatan tersebut diasumsikan sama dengan satu.
4. Kriteria yang digunakan pada metode *analytical hierarchy process* dianggap tidak memiliki hubungan.

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan dengan melakukan alokasi dan optimasi keandalan pada peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X.
2. Menentukan laju biaya total pemeliharaan pencegahan peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi:

1. Dasar bagi perusahaan untuk melakukan perencanaan pemeliharaan/ pemeliharaan pencegahan, penyediaan suku cadang, alokasi personel, penjadwalan produksi, dan pembuatan anggaran tahunan di Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X.
2. Dasar bagi peneliti atau akademisi dalam menerapkan manajemen pemeliharaan pencegahan dengan pendekatan analisis keandalan untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang optimal pada Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X.

1.5 Sistematika Penelitian

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan penelitian dan asumsi penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang dasar teori dan referensi yang berhubungan dengan teori-teori yang akan dipergunakan dalam menganalisis data untuk mendapatkan solusi terbaik dari permasalahan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan penjelasan langkah-langkah yang digunakan dalam mencapai tujuan penelitian dengan menggunakan metode pengambilan keputusan yang telah ditetapkan sesuai dengan permasalahan, pembatasan masalah, dan asumsi yang telah ditentukan. Urutan langkah yang telah ditetapkan merupakan suatu kerangka yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan penelitian.

BAB 4 PENGOLAHAN DATA ANALISIS KEANDALAN

Pada bab ini dijelaskan tentang proses pembuatan pupuk urea di PT.X serta menjelaskan analisis data yang meliputi penentuan distribusi data kegagalan, analisis keandalan, analisis laju kegagalan dan waktu rata-rata antar kegagalan Sub Unit Sintesa.

BAB 5 PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN PENCEGAHAN DAN TOTAL LAJU BIAYA PEMELIHARAAN PENCEGAHAN

Bab ini menjelaskan bagaimana penentuan indeks kelayakan, optimasi keandalan masing-masing sub-sub-sub unit peralatan, dan penentuan interval pemeliharaan pencegahan yang optimal. Bab ini juga menjelaskan tentang biaya total pemeliharaan pencegahan yang optimal.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan akhir dari penelitian ini serta saran-saran untuk perusahaan dan penelitian mendatang yang sekaligus menjadi penutup penelitian ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Di dunia industri yang memiliki berbagai macam mesin dan peralatan yang kompleks tentu saja tidak asing dengan istilah *maintenance* atau pemeliharaan. Pemeliharaan adalah suatu kegiatan atau operasi yang harus dilakukan secara berkala, dengan tujuan untuk melakukan pergantian kerusakan peralatan atau memperbaiki kerusakan peralatan dengan sumber daya yang ada. Pemeliharaan juga ditujukan untuk mengembalikan suatu sistem pada kondisinya agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya, memperpanjang usia kegunaan mesin, dan menekan kegagalan sekecil mungkin.

Manajemen pemeliharaan dapat digunakan untuk membuat sebuah kebijakan mengenai aktivitas pemeliharaan, dengan melibatkan aspek teknis dan pengendalian manajemen ke dalam sebuah program pemeliharaan. Pada umumnya, semakin tinggi aktivitas perbaikan dalam sebuah sistem, kebutuhan akan manajemen dan pengendalian pemeliharaan menjadi semakin penting. Salah satu strategi manajemen pemeliharaan adalah melaksanakan perencanaan pemeliharaan dan pencegahan yang tepat dengan dasar data keandalan (*reliability*) dari peralatan dan biaya pemeliharaan yang optimal (*Suhandoko, 2011*). Salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses produksi adalah keandalan komponen, sub sistem atau sistem produksi untuk tidak mengalami kegagalan dalam jangka waktu tertentu. Penerapan teori keandalan dapat membantu untuk memperkirakan peluang suatu komponen, sub sistem atau sistem untuk melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu tertentu dalam kondisi operasi tertentu. Keandalan menjadi sangat penting karena akan mempengaruhi biaya pemeliharaan yang pada akhirnya akan mempengaruhi profitabilitas perusahaan.

2.1 Konsep Keandalan

Menurut Lewis (1998), keandalan atau *reliability* dapat diartikan sebagai peluang bahwa sebuah komponen akan mampu melaksanakan sebuah fungsi yang spesifik dalam suatu kondisi operasi dan periode waktu tertentu. Keandalan merupakan salah satu ukuran keberhasilan sistem pemeliharaan yang digunakan untuk menentukan penjadwalan pemeliharaan itu sendiri. Konsep keandalan digunakan juga pada berbagai industri, misalnya dalam penentuan interval waktu penggantian komponen mesin.

2.1.1 Fungsi Keandalan

Keandalan dari suatu komponen adalah peluang untuk tidak rusak atau dapat melakukan fungsinya selama periode waktu t atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu dapat diformulasikan sebagai berikut (Ebeling, 1997):

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

dengan:

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

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

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

2.1.2 Penilaian Keandalan

Penilaian keandalan, baik untuk proses, sistem ataupun peralatan, secara umum dapat didekati dengan dua metode analisis, yaitu:

a. Analisis Kuantitatif

Analisis secara kuantitatif dibedakan menjadi dua bagian, yaitu dengan menggunakan metode analisis statistik seperti *weibull analysis* dan dengan metode simulasi.

b. Analisis Kualitatif

Penilaian keandalan dengan Analisis kualitatif dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). *Failure Mode Effect Analysis* merupakan suatu metode yang dirancang untuk mengidentifikasi dan memahami model kegagalan yang potensial dan penyebabnya, serta dampaknya bagi sistem (Carlson, 2012).

2.2 Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF adalah waktu rata-rata antar kegagalan atau rata-rata waktu operasinya komponen atau sistem tanpa mengalami kegagalan. MTBF merupakan perbandingan antara waktu operasi dengan jumlah kegagalan dalam periode waktu tertentu.

$$MTBF = \frac{\text{Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Kegagalan}} \quad (2.2)$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.3)$$

2.3 Pemodelan Sistem

2.3.1 Sistem Seri

Sistem seri dapat melaksanakan fungsinya atau beroperasi jika semua komponen dalam sistem tersebut beroperasi. Jika salah satu komponen mengalami kegagalan, maka keseluruhan sistem mengalami kegagalan. Blok diagram sistem dengan susunan seri ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Model Keandalan Sistem Seri (Ebeling,1997)

Jika keandalan masing-masing komponen adalah R_1, R_2, \dots, R_n , maka keandalan sistem seri adalah (Ebeling, 1997):

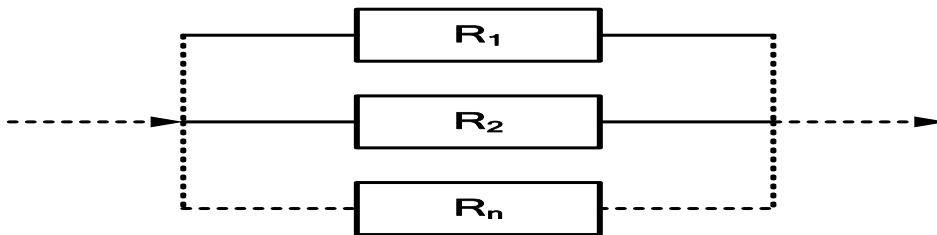
$$\begin{aligned}
 R_S &= R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \\
 &= \prod_{i=1}^n R_i(t)
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

dengan:

R_S = keandalan sistem seri

2.3.2 Sistem Paralel

Sistem paralel dapat melaksanakan fungsinya jika minimal satu dari komponen penyusunnya beroperasi. Sistem paralel gagal bila seluruh komponen penyusunnya gagal. Blok diagram sistem dengan susunan paralel ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model Keandalan Sistem Paralel (Ebeling, 1997)

Jika keandalan masing-masing komponen adalah R_1, R_2, \dots, R_n maka keandalan sistem paralel adalah (Ebeling, 1997):

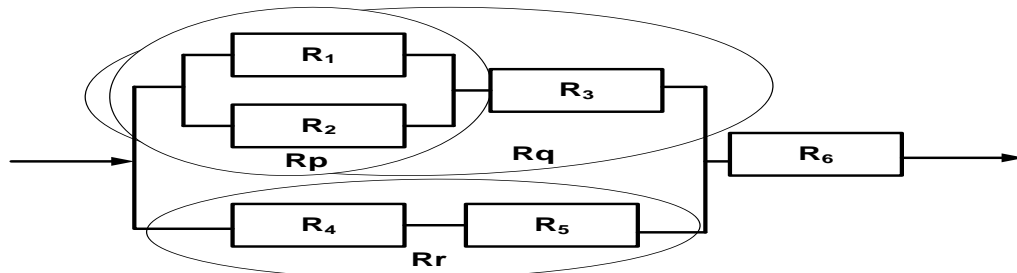
$$\begin{aligned}
 R_P &= 1 - (1-R_1)(1-R_2) \dots (1-R_n) \\
 &= 1 - \prod_{i=1}^n [1-R_i(t)]
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

dengan:

R_P = keandalan sistem paralel

2.3.3 Kombinasi Sistem Seri dan Paralel

Contoh dari gabungan sistem seri dan paralel ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut ini:



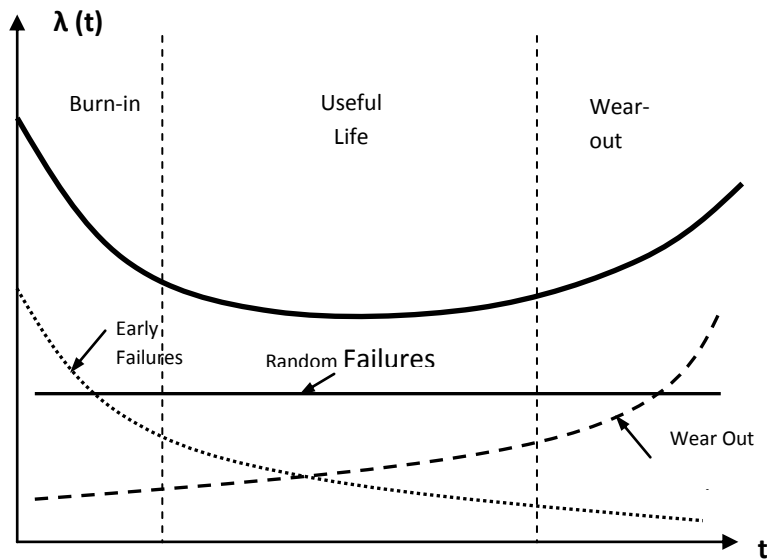
Gambar 2.3 Model Keandalan Kombinasi Sistem Seri dan Paralel (Ebeling, 1997)

Nilai keandalan dari sistem yang tersusun secara seri dan paralel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini (Ebeling, 1997):

$$\begin{aligned} R_P &= [1 - (1-R_1)(1-R_2)], R_q = R_P(R_3), R_r = R_4(R_5) \\ R_{Total} &= [1 - (1-R_q)(1-R_r)](R_6) \end{aligned} \quad (2.6)$$

2.4 Karakteristik Kegagalan

Ukuran pemenuhan performa dinyatakan dalam sebuah notasi peluang. Pemenuhan performa tersebut bukan bersifat deterministik, sehingga tidak dapat diketahui dengan pasti terjadi atau tidak. Oleh sebab itu, harus digunakan peluang untuk menentukan sebuah komponen akan sukses atau tidak. Secara umum konsep *reliability* dapat digambarkan dalam *bathtub curve* untuk menjelaskan siklus hidup komponen (Ebeling, 1997), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Ada tiga tahapan kegagalan yang dijelaskan pada Gambar 2.4, yaitu:



Gambar 2.4 Kurva Karakteristik Kegagalan atau *Bathub Curve* (Ebeling,1997)

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

Pada tahap awal pengembangan produk, terdapat beberapa part, material, proses yang tidak terpantau oleh bagian *quality control*. Waktu berlangsungnya tahap ini paling cepat dibandingkan dengan periode yang lain. Pada kurva ditunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan karena adanya kesalahan pada saat proses manufaktur dan fabrikasi, pengoperasian yang tidak tepat, belum terampilnya operator sehingga perlu beberapa penyesuaian lebih lanjut.

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

Saat stabilisasi populasi selesai, laju kerusakan produk menjadi konstan yang disebut *Constant Failure Rate (CFR)*. Namun, kerusakan tidak dapat diprediksikan secara pasti kapan kerusakan itu akan terjadi karena kerusakan tersebut secara random dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bekerjanya peralatan. Periode ini merupakan periode pemakaian peralatan secara normal.

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

Saat masa pemakaian produk meningkat, beberapa mekanisme kegagalan mempunyai potensi untuk terjadi namun tidak secara random.

Faktanya, kerusakan tersebut berdasarkan waktu atau siklus dan mengarah pada penuaan dan keausan. Dengan demikian, laju kerusakan akan mulai naik dan umur pakai produk mendekati akhir.

Analisis *Weibull* memberikan β yang berbeda-beda untuk ketiga zona tersebut diatas, yaitu: daerah *burn in zone* atau *early life* mempunyai $\beta < 1$, daerah *useful life time zone* mempunyai $\beta = 1$, daerah *wearout zone* dengan nilai β antara 1 dan 4 ($1 < \beta < 4$), dan daerah *old age wear out zone* dengan nilai parameter $\beta > 4$. Nilai β merupakan *shape parameter* atau *slope parameter* yang berarti juga menggambarkan kemiringan garis plot dalam grafik *Weibull*.

2.5 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan persatuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem. Laju kegagalan dinyatakan sebagai berikut (*Ebeling, 1997*):

$$\lambda = \frac{f}{T}, \text{ atau} \tag{2.7}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{T(t)} \tag{2.8}$$

dengan:

f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total antar waktu kegagalan

2.6 Pola Distribusi Data Antar Kegagalan

Dalam teori keandalan, langkah pertama dalam menghitung keandalan suatu peralatan atau komponen adalah menentukan model probabilitas peralatan atau komponen, yang biasanya dinyatakan dalam distribusi statistik. Dalam analisis keandalan ada beberapa distribusi yang umum digunakan yaitu distribusi eksponensial, distribusi normal, distribusi lognormal, dan distribusi *Weibull*. Analisis yang digunakan untuk menentukan distribusi waktu antar kegagalan adalah *Weibull Analysis*.

Dari parameter-parameter distribusi yang didapatkan, dapat ditentukan fungsi padat peluang atau *probability density function (pdf)*, keandalan atau *reliability (R(t))*, laju kegagalan atau *failure rate (f(t))*, dan rata-rata waktu antar kegagalan atau *mean time between failure (MTBF)*.

2.6.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi ini secara luas digunakan dalam keandalan dan pemeliharaan. Hal ini dikarenakan distribusi ini mudah digunakan untuk berbagai tipe analisis dan memiliki laju kegagalan yang konstan selama masa pakai. Fungsi-fungsi dari distribusi eksponensial adalah (*Ebeling, 1997*):

1. Fungsi padat peluang (*pdf*)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0, \lambda > 0 \quad (2.9)$$

2. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.10)$$

3. Laju kegagalan

$$\lambda = f/T \quad (2.11)$$

dengan:

- λ = laju kegagalan per unit waktu
- f = banyaknya kegagalan dalam kurun waktu
- T = total waktu antar kegagalan

4. *Mean Time Between Failure (MTBF)*

$$MTBF = 1 / \lambda \quad (2.12)$$

2.6.2 Distribusi Normal

Distribusi normal adalah distribusi yang paling sering dan umum digunakan. Distribusi normal disebut juga sebagai distribusi *Gauss* yang

ditemukan oleh Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Fungsi-fungsi dari distribusi Normal adalah (Ebeling, 1997):

1. Fungsi padat peluang (*pdf*)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.13)$$

dengan:

- σ = deviasi standar
 μ = rata-rata (*mean*)

2. Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt \quad (2.14)$$

3. Laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2\right]}{\int_t^{\infty} \exp\left[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2\right] dt} \quad (2.15)$$

4. *Mean Time Between Failure (MTBF)*

$$MTBF = \mu \quad (2.16)$$

2.6.3 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal sangat cocok menggambarkan lamanya waktu perbaikan suatu komponen. Fungsi-fungsi dari distribusi lognormal adalah (Ebeling, 1997):

1. Fungsi padat peluang (*pdf*)

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} [\ln t - \mu]^2\right\} \quad (2.17)$$

dengan:

μ = rata-rata

σ = deviasi standar

2. Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{\sigma} \ln \left(\frac{t}{e^\mu} \right) \right] \quad (2.18)$$

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

3. Laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.19)$$

4. *Mean Time Between Failure (MTBF)*

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

2.6.4 Distribusi Weibull

Distribusi ini dikembangkan oleh W. Weibull pada awal tahun 1950. Distribusi *Weibull* adalah salah satu distribusi yang penting pada teori *reliability*. Distribusi *Weibull* sangat luas digunakan untuk menganalisis kehilangan performansi pada sistem kompleks di dalam sistem rekayasa. Secara umum, distribusi ini dapat digunakan untuk menjelaskan data saat waktu menunggu hingga terjadi kejadian dan untuk menyatakan berbagai fenomena fisika yang berbeda-beda. Dengan demikian, distribusi ini dapat diterapkan pada analisis resiko karena dapat menduga umur pakai (*life time*) komponen. Fungsi-fungsi dari distribusi *Weibull* meliputi (Ebeling, 1997):

1. Fungsi padat peluang (*pdf*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.21)$$

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

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

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

2. Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.22)$$

3. Laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.23)$$

4. *Mean Time Between Failure (MTBF)*

$$MTBF = \eta \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (2.24)$$

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

2.7 Pengujian Distribusi

Untuk melakukan estimasi parameter-parameter kehandalan dari data kegagalan dilakukan *curve fitting* antara data dan model distribusi dengan menggunakan metode regresi *least squares*, baik *linier* maupun *non linier*. Pada perangkat lunak *Weibull* hampir semua model distribusi diregresikan dengan metode *linier least squares*, kecuali untuk model distribusi *three parameter Weibull*, *mixed Weibull*, *gamma*, dan *generalized gamma*. Kemudian model distribusi mana yang terbaik dipilih dengan menggunakan tiga parameter metode pengujian berikut ini.

2.7.1 Average Goodness of Fit (AvGOF)

Dalam menganalisis kesesuaian data dapat dimanfaatkan uji *goodness of fit* (kesesuaian) antara frekuensi hasil pengamatan dengan frekuensi yang diharapkan. Alternatif dari uji *goodness of fit* adalah uji Kolmogorov–Smirnov, yang beranggapan bahwa distribusi variabel yang sedang diuji bersifat kontinu dan sampel diambil dari populasi sederhana (Ebeling, 1997).

Nilai *AvGOF* didapatkan dari uji *Kolmogorov-Smirnov (KS)* dengan membandingkan distribusi empiris data dengan distribusi teoritis tertentu yang dihipotesiskan. Pada prinsipnya jika nilai *KS* lebih kecil maka akan lebih baik. Persamaan untuk menghitung parameter *KS* adalah:

$$D_n = \max |S_N(t) - Q(t)| \quad (2.25)$$

dengan:

$S_N(t)$ = fraksi kumulatif jumlah data kegagalan hasil observasi pada (t) terhadap total (t) pengamatan.

$Q_N(t)$ = fraksi kumulatif jumlah kegagalan hasil dari perhitungan jenis distribusi yang diharapkan pada (t) terhadap total (t) perhitungan.

Hipotesa yang digunakan adalah:

H_0 : mengikuti suatu distribusi kontinu tertentu

H_1 : mengikuti suatu distribusi kontinu yang lain

Jika $D_n < D_{kritis}$, maka H_0 gagal ditolak, dengan D_{kritis} bisa didapatkan di tabel uji *KS* di buku-buku statistik. Pada perangkat lunak *Weibull++6*, nilai *AvGOF* adalah peluang dari $D_{kritis} < D_n$, sehingga semakin kecil *AvGOF* maka semakin baik distribusi yang diuji dibandingkan dengan yang lain.

2.7.2 Average of Plot (AvPlot)

AvPlot didasarkan pada *normalized index* dari uji *plot fit*. Hasil uji ditunjukkan dalam *AvPlot index* yang merupakan normalisasi dari koefisien korelasi (ρ'). Nilai koefisien korelasi adalah $-1 \leq \rho' \leq 1$. Jika nilai mutlaknya mendekati 1, maka akan semakin baik. Pada perangkat lunak *Weibull ++6*, nilai

AvPlot index didapatkan dengan melakukan normalisasi dari koefisien korelasi diatas. Ketentuan yang dipakai adalah jika semakin kecil nilai *AvPlot*, maka distribusi yang diuji akan lebih baik dari yang lain.

2.7.3 Likelihood Function Ratio (LKV)

LKV adalah suatu metode untuk melakukan estimasi parameter keandalan yang cukup *robust*. Persamaan *log-likelihood* adalah:

$$\Lambda = \ln(L) = \prod_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (2.26)$$

Nilai maksimum dari persamaan 2.26 didapatkan dengan menurunkan persamaan tersebut secara parsial dan kemudian disamakan dengan nol.

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial j} = 0, j = 1, 2, 3, \dots k$$

dengan:

- n = jumlah data kegagalan
- x_i = waktu kegagalan
- $\theta_1, \dots, \theta_k$ = parameter yang diestimasi

Ketentuan dari nilai LKV adalah bahwa semakin positif nilainya akan semakin baik untuk distribusi yang diuji. Setelah tiga parameter tersebut didapatkan, masing-masing parameter diberi bobot. Untuk menetapkan besaran bobot pada masing-masing parameter tersebut digunakan nilai baku yang telah ditetapkan pada perangkat lunak *Weibull++6*.

2.8 Analytical Hierarchy Process (AHP)

Metode AHP dikembangkan oleh Thomas L. Saaty, seorang ahli matematika, metode ini merupakan suatu kerangka untuk mengambil keputusan dengan efektif atas persoalan yang kompleks. Dengan cara menyederhanakan dan mempercepat proses pengambilan keputusan. Metode ini memecahkan persoalan kedalam bagian-bagiannya, menata bagian atau variabel ini dalam suatu susunan

hirarki, memberi nilai numerik pada pertimbangan subjektif tentang pentingnya tiap variabel dan mensintesis berbagai pertimbangan ini untuk menetapkan variabel yang mana yang memiliki prioritas paling tinggi dan bertindak untuk mempengaruhi hasil pada situasi tersebut.

Metode ini juga biasa digunakan untuk mengolah data yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif, sehingga kompleksitas permasalahan yang multi-objektif dan multi-kriteria dapat di dekati dengan model. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam menggunakan metode AHP menurut *Saaty* (1988):

1. Pengidentifikasian sistem

Pengidentifikasian sistem dilakukan dan terkait dengan tujuan dari penelitian itu sendiri.

2. Penyusunan hirarki

Hirarki adalah abstraksi struktur suatu sistem yang mempelajari fungsi interaksi antara komponen dan juga dampak-dampaknya pada sistem. Penyusunan hirarki atau struktur keputusan untuk menggambarkan elemen sistem atau alternatif keputusan yang teridentifikasi.

3. Penentuan prioritas

Penentuan prioritas dilakukan dengan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dengan cara membandingkan setiap elemen dengan elemen yang lainnya sehingga didapat nilai tingkat kepentingan elemen dalam bentuk kualitatif. Untuk mengkuantitatifkan bentuk tersebut, digunakan skala kepentingan yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 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 lain (elemen satu, 9 kali lebih penting)
2, 4, 6, 8	Nilai-nilai diantara 2 pertimbangan yang berdekatan	Kolom tingkat kepentingan dapat diisi dua tanda silang (x) diantara 2 kolom yang dimaksud

Sumber: Saaty (1988)

4. Pemeriksaan indeks konsistensi

Langkah-langkah dalam melakukan pemeriksaan indeks konsistensi menurut Saaty (1988) adalah:

- a. Menentukan hasil sintesa pertimbangan.
- b. Mengalikan tiap *entry* tiap kolom dari matriks dengan hasil sintesa pertimbangan.
- c. Membagi tiap *entry* dalam kolom jumlah baris dengan *entry* yang sesuai dari vektor prioritas untuk mendapatkan λ_{maks} .
- d. Menghitung *Consistency Index (CI)*

$$Consistency Index (CI) = \frac{\lambda_{maks} - n}{(n-1)} \quad (2.27)$$

dengan:

λ_{maks} = nilai *eigen* maksimum,

n = ukuran matriks.

- e. Menghitung *Consistency Ratio (CR)*

$$Consistency Ratio (CR) = \frac{CI}{RI} \quad (2.28)$$

dengan:

$CI = Consistency Index$

$RI = Random Index$

5. Penentuan bobot prioritas

Hasil perbandingan berpasangan AHP dalam bobot prioritas mencerminkan relatif pentingnya elemen-elemen dalam hirarki. Ada 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.

2.9 Penetapan Target Keandalan yang Optimal

Setelah keandalan suatu sistem dihitung, maka dapat dianalisis apakah keandalan sistem aktual telah mencapai target keandalan yang telah ditetapkan. Jika belum tercapai, maka dilakukan upaya untuk meningkatkan keandalan sistem tersebut. Untuk sistem yang terdiri dari sejumlah komponen atau sub sistem, keandalannya ditentukan oleh keandalan dari masing-masing komponen atau sub sistem penyusun sistem tersebut (*Mettas, 2000*). Keandalan sistem akan tinggi jika keandalan komponen atau sub sistem penyusun sistem tersebut juga tinggi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengalokasikan keandalan pada sub sistem penyusun suatu sistem adalah dengan menggunakan *nonlinear programming* dan formulasi fungsi biaya. Permasalahan alokasi keandalan yang telah dilakukan oleh *Mettas (2000)* dapat dicari solusinya dengan menggunakan metode optimasi dengan *nonlinear programming* yang akan dijelaskan berikut ini.

Bila suatu sistem terdiri atas n komponen dan nilai keandalan yang ingin dicapai R_G , maka permasalahan yang muncul adalah bagaimana mengalokasikan keandalan untuk semua atau beberapa sub sistem penyusun sistem tersebut. Dengan melakukan alokasi keandalan, maka nilai keandalan

sistem yang optimal telah ditetapkan dengan biaya minimal. Permasalahan dapat dirumuskan dengan menggunakan *nonlinear programming* sebagai berikut (Mettas, 2000):

$$P: \min C = \sum_{i=1}^n c_i(R_i) \quad (2.29)$$

$$\begin{aligned} \text{Batasan:} \quad R_S &\geq R_G, \\ R_{i,min} &\leq R_i \leq R_{i,max}, i = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

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 maksimal sub sistem i

R_S = keandalan sistem

R_G = keandalan sistem yang ingin dicapai

Pada persamaan 2.29, tampak bahwa biaya komponen atau sub sistem merupakan nilai yang sangat menentukan hasil optimasi. Namun data mengenai biaya relatif sulit untuk diperoleh. Hal ini disebabkan oleh karena tidak adanya data historis dari komponen atau sub sistem maupun karena kesulitan dalam mengalokasikan biaya pada komponen atau sub sistem tersebut.

Langkah selanjutnya adalah menentukan hubungan antara biaya masing-masing komponen atau sub sistem sebagai fungsi dari keandalan. Pada beberapa kasus, jika data-data tentang biaya sulit didapatkan, maka dengan memandang sifat-sifat dari fungsi biaya, dapat diformulasikan hubungan antara biaya dengan fungsi keandalan sebagai berikut (Mettas, 2000):

$$c_i(R_i, f_i, R_{i,min}, R_{i,max}) = e^{\left[(1-f_i) \frac{R_i - R_{i,min}}{R_{i,max} - R_i} \right]} \quad (2.30)$$

Persamaan 2.30 mempunyai 3 variabel yang bersifat eksponensial, yaitu:

1. f_i , yang merupakan indeks kelayakan (*feasibility index*) untuk peningkatan keandalan dari sistem. Indeks kelayakan menunjukkan tingkat kesulitan peningkatan keandalan sistem. Nilai f_i diasumsikan berharga antara 0-1. Nilai ini tergantung pada kompleksitas dari desain, kondisi operasi, tingkat kekritisan, ketersediaan suku cadang, kelancaran pemeliharaan, dan lain-lain. Dengan kata lain, semakin sulit suatu sistem untuk ditingkatkan keandalannya maka biaya yang dibutuhkan semakin besar. Sesuai dengan persamaan 2.30, terlihat bahwa semakin kecil nilai f_i semakin cepat menjadi biaya yang besarnya tak terhingga.
2. $R_{i,min}$, yang merupakan nilai keandalan awal atau nilai keandalan sistem sekarang. 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. $R_{i,max}$, yang merupakan nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai sistem. Nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai adalah 1. Jika nilai keandalan maksimum yang mungkin dicapai suatu sistem semakin kecil, maka biaya peningkatan keandalan sistem semakin cepat mencapai nilai tak terhingga.

Model fungsi biaya pada persamaan 2.30 ditentukan berdasarkan hasil pengamatan terhadap biaya peningkatan keandalan komponen seperti:

- Peningkatan biaya sebagai fungsi dari alokasi keandalan berawal dari keandalan minimal ($R_{i,min}$), nilai keandalan sekarang (R_i), sampai keandalan maksimal ($R_{i,max}$) yang mungkin dicapai oleh sistem.
- Biaya sebagai fungsi dari selang peningkatan dimana ada perbedaan antara nilai $R_{i,min}$ dan $R_{i,max}$.
- Nilai eksponen pada persamaan 2.30 mendekati tak terhingga ketika keandalan mendekati titik maksimal yang mungkin dicapai. Biaya selalu meningkat seiring dengan peningkatan keandalan komponen.

Fungsi peningkatan keandalan sistem pada persamaan 2.30 tidak memiliki satuan, karena peranannya hanya sebagai pembobot biaya peningkatan

nilai keandalan suatu sistem dari nilai keandalan sekarang terhadap sistem lain dalam suatu sistem yang dioptimasi. Beberapa asumsi yang dipakai dalam penggunaan fungsi biaya pada persamaan 2.30 adalah:

- Peningkatan biaya merupakan fungsi dari nilai keandalan sistem.
- Sistem keandalan yang tinggi memiliki biaya tinggi.
- Sistem keandalan yang rendah memiliki biaya rendah.

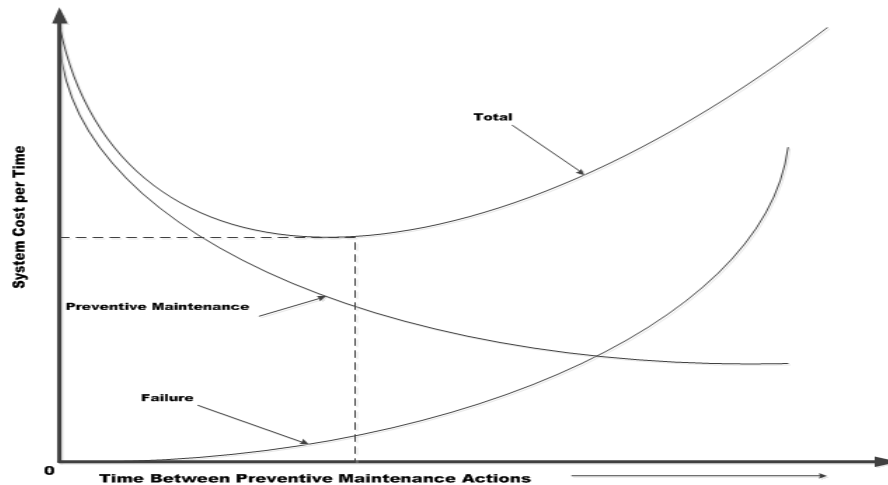
Dalam penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan ini, akan digunakan algoritma *nonlinear programming* pada perangkat lunak *WinQSB* yang berperan sebagai program bantu dalam optimasi alokasi keandalan dengan fungsi biaya pada persamaan 2.30.

2.10 Optimasi Biaya Interval Pemeliharaan Peralatan

Menurut *Ushakov* dan *Horrison (1994)*, selama proses operasi semua peralatan akan mengalami penurunan kemampuan. Kegagalan (*failure*), degradasi, dan *aging* akan selalu terjadi, sehingga aktifitas-aktifitas seperti monitoring atau inspeksi sangat dibutuhkan. Biaya-biaya yang harus dikeluarkan yaitu biaya inspeksi, biaya perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) dan biaya perbaikan. Biaya-biaya yang muncul untuk pemeliharaan sangat berkaitan dengan optimasi interval waktu pemeliharaan. Terdapat tiga kegiatan pemeliharaan yang secara garis besarnya adalah sebagai berikut:

1. Inspeksi
2. Pemeliharaan pencegahan
3. Pemeliharaan prediktif

Pemeliharaan pencegahan dapat dilakukan jika nilai laju kegagalan semakin tinggi, dimana pada kurva *bathtub* ditunjukkan dengan distribusi *Weibull* yang mempunyai nilai $\beta > 1$. Daerah ini juga disebut dengan nama *wear-out zone* (tahap kegagalan meningkat). Kegagalan peralatan atau sistem yang terjadi didaerah ini dapat dicegah dengan pemeliharaan pencegahan (*Jardine, 1973*). Grafik penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang optimal dengan meminimalkan total biaya per unit waktu ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2.5 Grafik Optimasi Waktu Pemeliharaan Pencegahan (Anonim, 1999)

Rumus untuk total biaya per unit waktu tersebut adalah:

$$C(t) = \frac{[C_p \times R(t) + C_f \times (1 - R(t))]}{T_p \times R(t) + M(t) \times (1 - R(t))} \quad (2.31)$$

Untuk nilai $M(t) = \int_0^{T_p} \frac{tf(t)dt}{(1 - R(t))}$ maka perumusan diatas menjadi: (2.32)

$$C(t) = \frac{C_p R(t) + C_f [1 - R(t)]}{tR(t) + \int_0^t tf(t)dt} \quad (2.33)$$

dengan:

- C = total biaya per unit waktu
- C_p = biaya pemeliharaan terencana/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

2.11 Posisi Penelitian

Judul	Penulis	Tahun	Metode					Obyek Penelitian
			Excel	Weibull++6	AHP	Monte Carlo	Non-Linear programing	
Penentuan Interval Waktu Perawatan Pencegahan pada Proses Continuous Soap Making (CSM) Pembuatan Sabun Mandi Batang dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo	Prakoso, Yogi Sapta	2012	√	√		√		Perusahaan Manufaktur Sabun Batang
Penentuan Interval Waktu Penggantian Sub-Sub Sistem pada Mesin Heidelberg CD 102 di PT. X	Putra, Trisian Hendra	2013	√					Perusahaan Manufaktur Kertas
Penentuan Interval Waktu Perawatan Pencegahan Berdasarkan Alokasi dan Optimasi Keandalan pada Peralatan Proses Continuous Soap Making (CSM) Pembuatan Sabun Mandi Batang	Ariwibowo, Aji Mudho	2013	√	√	√		√	Perusahaan Manufaktur Sabun Batang
Penentuan Interval Waktu Perawatan Pencegahan pada Proses Produksi Dextrose Powder dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo	Santoso, Wili	2013	√	√		√		Perusahaan Produsen Pemanis
Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan serta Laju Biayanya Berdasarkan Alokasi dan Optimasi Keandalan pada Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X	Nurmala, Yulia Rizki	2015	√	√	√		√	Perusahaan Pupuk

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

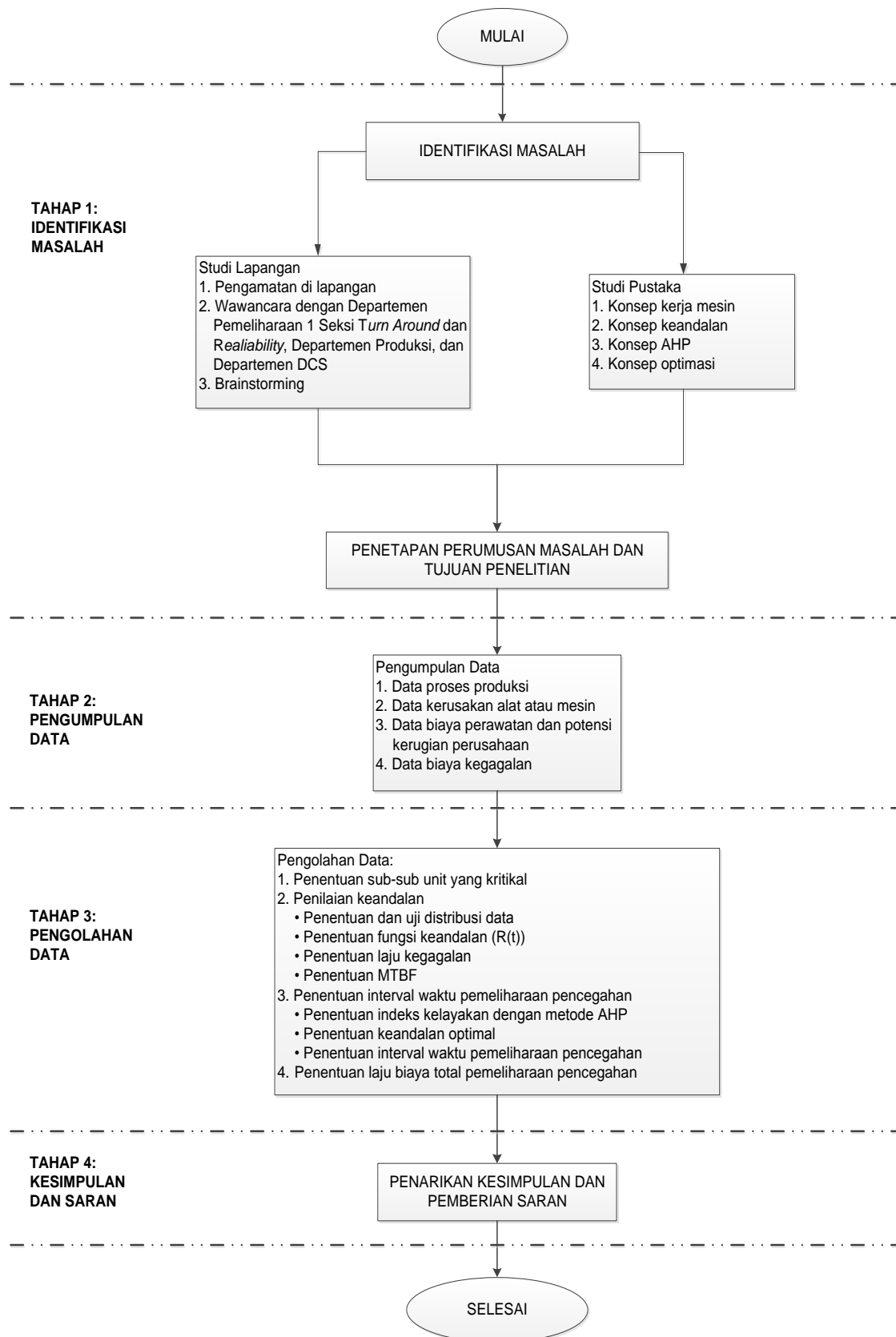
Untuk melakukan suatu penelitian diperlukan sebuah metode yang terstruktur, yang didalamnya terdapat langkah-langkah dan aturan-aturan tertentu untuk mendapatkan suatu hasil penelitian secara benar. Langkah-langkah tersebut tersusun secara sistematis untuk memudahkan pihak lain dalam memahami dan mengikuti proses penelitian. Berikut ini langkah-langkah dasar yang dilakukan untuk mencapai tujuan diatas adalah sebagai berikut:

1. Studi Lapangan dan Identifikasi Masalah
2. Tinjauan Pustaka
3. Penetapan Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian
4. Pengambilan Data
5. Pengolahan Data
6. Analisis dan pembahasan
7. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Agar mudah dipahami dan diikuti langkah-langkah tersebut dapat dilihat pada diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

3.1 Studi Lapangan

Kelompok peralatan yang akan diteliti adalah peralatan–peralatan di Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X. Data kegagalan peralatan diperoleh dari data *downtime* dari data operasi produksi, sedangkan data biaya pemeliharaan diperoleh dari Departemen Pemeliharaan I Seksi *Turn Around* dan *Reliability*. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk melakukan identifikasi masalah pemeliharaan yang terjadi di Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tinjauan Pustaka

Studi kepustakaan merupakan langkah awal untuk membentuk kerangka berpikir mengenai masalah yang dihadapi oleh perusahaan. Dengan studi kepustakaan dapat dibandingkan teori-teori yang diperoleh dengan kondisi aktual yang ada di perusahaan. Studi kepustakaan yang dilakukan antara lain kegiatan telaah buku-buku referensi yang ada di perpustakaan dan sumber-sumber referensi umum seperti jurnal yang terkait dengan analisis keandalan dan teknik optimasi.

3.3 Penetapan Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

Setelah mempertimbangkan beberapa hal, diputuskan untuk memfokuskan permasalahan pada analisis keandalan terhadap peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang optimal sehingga dapat dicapai sistem keandalan peralatan yang tinggi.

3.4 Pengumpulan Data

Dalam analisis keandalan, data utama yang menjadi dasar analisis adalah data beda waktu antar kegagalan. Oleh karena itu, data yang dikumpulkan adalah data *downtime* masing-masing peralatan yang dianggap kritis pada Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

- Data proses produksi dari Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X dari bulan Januari 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014.
- Data *downtime* peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X dari bulan Januari 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014.
- Data biaya pemeliharaan pencegahan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X dari bulan Januari 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014.
- Data biaya kegagalan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X dari bulan Januari 2007 sampai dengan bulan Agustus 2014.
- Aliran proses di Sub Unit Sintesa Unit Urea PT. X.

Selain data-data diatas diperlukan data tambahan yang didapatkan dengan cara penyebaran kuisioner kepada para ahli (*expert*) Unit Urea di PT. X. Penyebaran kuisioner tersebut diperlukan sebagai *input* dalam penggunaan metode *analytical hierarchy process* (AHP), untuk menentukan indeks kelayakan peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X. Responden terdiri dari lima orang, yang terdiri dari Kepala Bagian Produksi, Kepala Bagian Pemeliharaan, Kepala Bagian Perencanaan dan Pengendalian, Wakil Kepala Bagian Pemeliharaan, serta Kepala Bagian Pemeliharaan Seksi *Turn Around* dan *Reliability*. Selain itu dilakukan wawancara kepada karyawan yang berada di Seksi *Turn Around* dan *Reliability* terkait dengan permasalahan yang sering timbul pada peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT. X.

3.5 Pengolahan Data

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

- Mengkonversi data *downtime* dari data operasi produksi atau *log sheet* menjadi data waktu antar kegagalan.
- Menentukan distribusi data waktu antar kegagalan dengan menggunakan perangkat lunak *Weibull++6* (dengan membandingkan *Goodness of Fit*, *Plot Fit*, dan *Likelihood Function Value*). Dari sini didapatkan distribusi probabilitas yang paling sesuai untuk data waktu antar kegagalan yang dimaksud.
- Menentukan fungsi padat peluang untuk kegagalan, laju kegagalan, keandalan peralatan, dan fungsi padat peluang untuk peralatan. Dengan demikian keandalan masing-masing mesin dan sistem secara keseluruhan untuk suatu periode operasi tertentu dapat dihitung.
- Menentukan indeks kelayakan peralatan menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP) dengan bantuan perangkat lunak *Expert Choice*. Metode AHP dipilih karena metode tersebut menggunakan pendekatan yang sederhana pada permasalahan yang kompleks. Metode AHP menggunakan persepsi para ahli (*expert*) yang mengerti benar terhadap

masalah yang ada sebagai *input* utamanya, sehingga metode tersebut dapat mengolah data yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif.

- Melakukan optimasi dengan program non linier untuk menentukan alokasi keandalan masing-masing sub-sub unit sehingga keandalan sistem yang ditargetkan dapat dicapai dengan biaya minimal. Langkah ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *WinQSB*. Dilakukan interpolasi untuk menentukan alokasi keandalan pada masing-masing sub-sub-sub unit dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excell*.
- Menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan berdasarkan alokasi dan optimasi keandalan sistem, serta laju biaya pemeliharaan pencegahan masing-masing sub-sub-sub unit dan penurunan laju biaya tersebut.

3.6 Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini menganalisis hasil pengolahan data yang telah dihitung, dan membahas hasil yang didapat tersebut. Mencari hubungan antara rumusan masalah tujuan penelitian apakah telah menjawab semua permasalahan yang telah diutarakan.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini diberikan kesimpulan dan saran dari keseluruhan rangkaian penelitian yang sudah dicapai dan pemberian saran-saran terhadap perusahaan maupun penelitian yang akan datang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS KEANDALAN

4.1 Tinjauan Umum

PT. X adalah perusahaan penghasil pupuk dan produk sampingannya di Indonesia. PT. X memiliki tiga unit produksi, Unit Produksi I (unit pupuk nitrogen), Unit Produksi II (unit pupuk fosfat), dan Unit Produksi III (unit asam fosfat). Unit Produksi I terdiri dari pabrik pembuatan amoniak, pupuk ZA, pupuk urea, CO₂ cair, CO₂ padat (*dry ice*), gas nitrogen, nitrogen cair, gas oksigen, dan oksigen cair. Unit Produksi II terdiri dari pabrik pembuatan pupuk fosfat, pupuk majemuk, pupuk NPK kebomas, pupuk NPK granulasi, pupuk ZK, dan pupuk ROP *granule*. Unit Produksi III terdiri dari pabrik pembuatan pupuk fosfat (100% P₂O₅), asam sulfat, *cement retarder*, dan alum fluorida (AlF₃).

Salah satu produk andalan di PT. X adalah pupuk urea. Tahapan proses produksi pupuk urea secara umum adalah sebagai berikut:

1. Penyediaan bahan baku

Bahan baku utama pembuatan pupuk urea adalah amoniak cair NH₃ dan gas karbon dioksida CO₂. Amoniak cair memiliki kandungan NH₃ sebesar 99,5% dan H₂O 0,5%, Temperatur 19,3⁰C dan tekanannya adalah sebesar 20 kg/cm². Sedangkan gas karbon dioksida memiliki kandungan CO₂ sebesar 99%, hidrogen 0,8%, dan sulfur 19,3 kg/cm², Temperatur 35⁰C dan tekanannya adalah sebesar 1 kg/cm².

2. Unit produksi urea

Unit Urea merupakan unit yang menghasilkan pupuk urea. Kapasitas produksi pupuk urea adalah sebesar 460.000 ton/tahun. Pembuatan pupuk urea membutuhkan NH₃ sebesar 795 ton/hari dan CO₂ sebesar 1043 ton/hari. Unit Urea memiliki empat sub unit, yaitu Sub Unit Sintesa, Purifikasi, Konsentrasi, dan *Prilling*.

3. Pengantongan pupuk

Pengantongan merupakan proses akhir dalam pembuatan pupuk urea. Pupuk yang berbentuk butiran sebagian didistribusikan langsung ke Unit Pengantongan, dan sebagian lainnya harus diberi pewarnaan terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan karena pupuk urea memiliki dua kategori, yaitu pupuk urea subsidi dan pupuk urea non-subsidi.

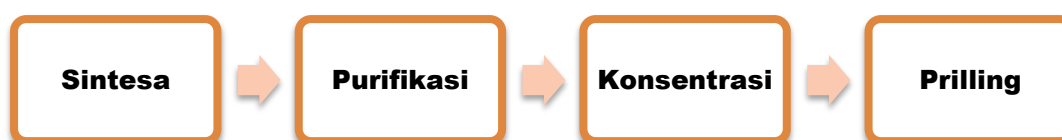
Proses produksi yang diamati adalah Sub Unit Sintesa karena memiliki frekuensi kegagalan dan jumlah *downtime* terbesar. Proses yang digunakan pada pembuatan pupuk urea adalah “*Aces Process*” dari TEC Tokyo, Jepang proses ini memiliki kapasitas produksi sebesar 460.000 ton/tahun.

4.2 Pemodelan Sistem Sub Unit Sintesa

Secara umum tahapan untuk pemodelan sistem Sub Unit Sintesa adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan didasarkan pada proses produksi pupuk urea yang ditunjukkan pada Gambar 1.1.
2. Sub sistem peralatan yang sesuai dengan fungsinya pada proses produksi pupuk urea 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 didalam sub-sub unit disebut sebagai level 3 atau sub-sub-sub unit

Pemodelan sistem sub unit pada Unit Urea ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Sub Unit Penyusun Peralatan Unit Urea (level 1)

Sintesa, purifikasi, konsentrasi, dan *prilling* adalah sub unit penyusun Unit Urea. Sub Unit Sintesa disusun oleh sub-sub unit sintesa 1, sub-sub unit

sintesa 2 dan sub-sub unit sintesa 3 yang tersusun secara seri seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut:

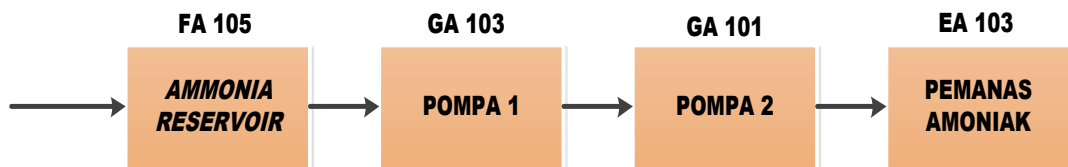


Gambar 4.2 Sub-Sub Unit Peralatan Penyusun Sub Unit Sintesa (level 2)

Pemodelan dari sub-sub unit peralatan Sub Unit Sintesa yang disusun oleh sub-sub-sub unit dan fungsi-fungsinya adalah sebagai berikut:

4.2.1 Pemodelan Sub-Sub Unit Sintesa 1

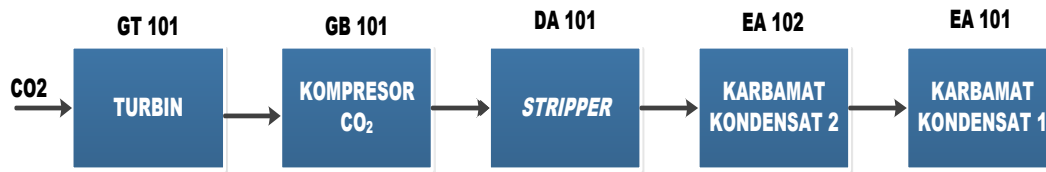
Sub-sub unit sintesa 1 terdiri dari sub-sub-sub unit *ammonia reservoir*, pompa 1, pompa 2, dan pemanas amoniak. Sub-sub unit ini berfungsi untuk melakukan *treatment* pada amoniak cair agar siap direaksikan dengan gas karbondioksida di *reaktor*. Sub-sub-sub peralatan penyusun sub-sub unit sintesa 1 dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1 (level 3)

4.2.2 Pemodelan Sub-Sub Unit Sintesa 2

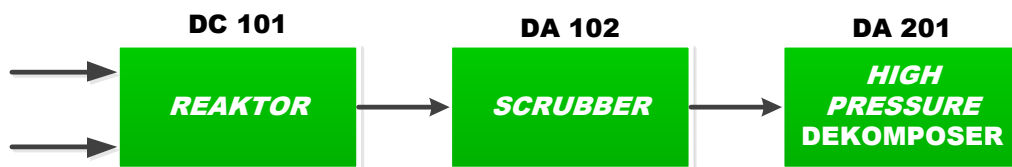
Sub-sub unit sintesa 2 terdiri dari sub-sub-sub unit turbin, kompresor CO₂, *stripper*, karbamat kondensat 2, dan karbamat kondensat 1. Sub-sub unit ini berfungsi untuk melakukan *treatment* pada gas karbon dioksida yang diambil dari udara bebas agar siap direaksikan dengan amoniak cair yang telah di-*treatment* di sub-sub unit sintesa 1. Sub-sub-sub unit peralatan penyusun sub-sub unit sintesa 2 dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 Sub-Sub-Sub Unit Peralatan Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2 (level 3)

4.2.3 Pemodelan Sub-Sub Unit Sintesa 3

Sub-sub unit sintesa 3 terdiri dari sub-sub-sub unit *reaktor*, *scrubber*, dan *high pressure* dekomposer. Sub-sub unit ini berfungsi untuk mengubah amoniak cair dan gas karbon dioksida yang telah di-*treatment* menjadi larutan urea. Sub-sub-sub unit peralatan penyusun sub-sub unit sintesa 3 dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut:



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

4.3 Penilaian Keandalan

Penentuan parameter keandalan dari Sub Unit Sintesa Unit Urea dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Weibull++6*. Penilaian keandalan Sub Unit Sintesa terdiri dari penilaian keandalan dari sub-sub unit sintesa dan sub-sub-sub unit penyusun. Langkah pertama dalam penentuan parameter keandalan adalah menentukan jenis distribusi yang terbaik dari data antar waktu kegagalan. Distribusi terbaik diperoleh dari peringkat pertama hasil pengujian terhadap *curve fitting* antara data dan model dengan 3 buah parameter uji. Ketiga parameter uji tersebut adalah *Average Good of Fitness (AvGOF)*, *Average of Plot (AvPlot)*, dan *Likelihood Function Ratio (LKV)*. Dari hasil *curve fitting* tersebut diperoleh parameter-parameter distribusi yang juga merupakan parameter keandalan. Penilaian keandalan dari peralatan pada tiap sub-sub-sub unit dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.3.1 Rekapitulasi Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan dan Parameter Keandalan Sub Unit Sintesa Unit Urea

Dari hasil analisis data waktu antar kegagalan sub-sub-sub unit didapatkan distribusi waktu antar kegagalan dan parameter keandalan sub-sub unit. Rincian penentuan distribusi waktu antar kegagalan dan parameter ditunjukkan pada Lampiran 1. Rekapitulasi distribusi data waktu antar kegagalan dan parameter keandalan ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan dan Parameter Sub Unit Sintesa Unit Urea

Sub Unit	Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	β	η	ρ
Sintesa	Sintesa 1	Pompa 1	Weibull 2	1,704	46485	0,975
		Pompa 2	Weibull 2	1,055	40079	0,942
		Pemanas Amoniak	Weibull 2	1,913	54955	0,913
	Sintesa 2	Turbin	Weibull 2	1,045	36950	0,973
		Kompresor CO ₂	Weibull 2	1,553	31312	0,982
		Stripper	Weibull 2	1,316	37975	0,986
		Karbamat Kondensat 2	Weibull 2	1,327	46851	0,922
		Karbamat Kondensat 1	Weibull 2	1,085	36833	0,967
	Sintesa 3	Reaktor	Weibull 2	1,317	45018	0,968
		Scrubber	Weibull 2	1,469	45824	0,971
		High Pressure Dekomposer	Weibull 2	1,137	32485	0,963

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Weibull++6* dan *Microsoft Excel*

4.3.2 Rekapitulasi Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Sub Unit Sintesa Unit Urea

Berdasarkan parameter keandalan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, maka didapatkan fungsi padat peluang (*pdf*) waktu antar kegagalan Sub Unit Sintesa Unit Urea. Fungsi padat peluang (*pdf*) tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Sub Unit Sintesa Unit Urea

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi padat Peluang (<i>pdf</i>)
Sintesa 1	Pompa 1	Weibull 2	$\frac{1,704}{46485} \left(\frac{t}{46485}\right)^{1,704-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{46485}\right)^{1,704} \right]$
	Pompa 2	Weibull 2	$\frac{1,055}{40079} \left(\frac{t}{40079}\right)^{1,055-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{40079}\right)^{1,055} \right]$
	Pemanas Amoniak	Weibull 2	$\frac{1,913}{54955} \left(\frac{t}{54955}\right)^{1,913-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{54955}\right)^{1,913} \right]$
Sintesa 2	Turbin	Weibull 2	$\frac{1,045}{36950} \left(\frac{t}{36950}\right)^{1,045-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{36950}\right)^{1,045} \right]$
	Kompresor CO ₂	Weibull 2	$\frac{1,553}{31312} \left(\frac{t}{31312}\right)^{1,553-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{31312}\right)^{1,553} \right]$
	Stripper	Weibull 2	$\frac{1,316}{37975} \left(\frac{t}{37975}\right)^{1,316-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{37975}\right)^{1,316} \right]$
	Karbamat Kondensat 2	Weibull 2	$\frac{1,327}{46851} \left(\frac{t}{46851}\right)^{1,327-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{46851}\right)^{1,327} \right]$
	Karbamat Kondensat 1	Weibull 2	$\frac{1,085}{36833} \left(\frac{t}{36833}\right)^{1,085-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{36833}\right)^{1,085} \right]$
Sintesa 3	Reaktor	Weibull 2	$\frac{1,317}{45018} \left(\frac{t}{45018}\right)^{1,317-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{45018}\right)^{1,317} \right]$
	Scrubber	Weibull 2	$\frac{1,469}{45824} \left(\frac{t}{45824}\right)^{1,469-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{45824}\right)^{1,469} \right]$
	High Pressure Dekomposer	Weibull 2	$\frac{1,137}{32485} \left(\frac{t}{32485}\right)^{1,137-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{32485}\right)^{1,137} \right]$

Sumber: Hasil pengolahan data dengan Weibull++6

4.3.3 Rekapitulasi Laju Kegagalan (λ) Sub Unit Sintesa Unit Urea

Berdasarkan parameter keandalan yang pada Tabel 4.1, juga didapatkan laju kegagalan (λ) Sub Unit Sintesa Unit Urea. Laju kegagalan (λ) tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Laju Kegagalan (λ) Sub Unit Sintesa Unit Urea

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Laju Kegagalan (λ)
Sintesa 1	Pompa 1	Weibull 2	$\frac{1,704}{46485} \left(\frac{t}{46485} \right)^{1,704-1}$
	Pompa 2	Weibull 2	$\frac{1,055}{40079} \left(\frac{t}{40079} \right)^{1,055-1}$
	Pemanas Amoniak	Weibull 2	$\frac{1,913}{54955} \left(\frac{t}{54955} \right)^{1,913-1}$
Sintesa 2	Turbin	Weibull 2	$\frac{1,045}{36950} \left(\frac{t}{36950} \right)^{1,045-1}$
	Kompresor CO ₂	Weibull 2	$\frac{1,553}{31312} \left(\frac{t}{31312} \right)^{1,553-1}$
	Stripper	Weibull 2	$\frac{1,316}{37975} \left(\frac{t}{37975} \right)^{1,316-1}$
	Karbamat Kondensat 2	Weibull 2	$\frac{1,327}{46851} \left(\frac{t}{46851} \right)^{1,327-1}$
	Karbamat Kondensat 1	Weibull 2	$\frac{1,085}{36833} \left(\frac{t}{36833} \right)^{1,085-1}$
Sintesa 3	Reaktor	Weibull 2	$\frac{1,317}{45018} \left(\frac{t}{45018} \right)^{1,317-1}$
	Scrubber	Weibull 2	$\frac{1,469}{45824} \left(\frac{t}{45824} \right)^{1,469-1}$
	High Pressure Dekomposer	Weibull 2	$\frac{1,137}{32485} \left(\frac{t}{32485} \right)^{1,137-1}$

Sumber: Hasil pengolahan data dengan Weibull++6

4.3.4 Rekapitulasi *Mean Time Between Failure (MTBF)* dan Keandalan pada Saat *MTBF* Sub Unit Sintesa Unit Urea

Berdasarkan parameter keandalan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, juga didapatkan *Mean Time Between Failure (MTBF)* dan keandalan pada saat *MTBF* Sub Unit Sintesa Unit Urea yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 *Mean Time Between Failure (MTBF)* dan Keandalan pada Saat *MTBF* Sub Unit Sintesa Unit Urea

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	<i>MTBF</i>	R (<i>MTBF</i>)
Sintesa 1	Pompa 1	<i>Weibull 2</i>	41470,04	0,439
	Pompa 2	<i>Weibull 2</i>	39376,8	0,375
	Pemanas Amoniak	<i>Weibull 2</i>	48754,5	0,452
Sintesa 2	Turbin	<i>Weibull 2</i>	36306,6	0,375
	Kompresor CO ₂	<i>Weibull 2</i>	28155,3	0,428
	<i>Stripper</i>	<i>Weibull 2</i>	34987,1	0,407
	Karbamat Kondensat 2	<i>Weibull 2</i>	43097,4	0,408
	Karbamat Kondensat 1	<i>Weibull 2</i>	35704,8	0,380
Sintesa 3	<i>Reaktor</i>	<i>Weibull 2</i>	41473,5	0,407
	<i>Scrubber</i>	<i>Weibull 2</i>	41475,9	0,421
	<i>High Pressure</i> Dekomposer	<i>Weibull 2</i>	31021,1	0,387

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Weibull++6* dan *Microsoft Excel*

Rincian data waktu antar kegagalan, laju kegagalan, keandalan dan *MTBF* untuk sub-sub unit dan sub-sub-sub unit dapat dilihat pada Lampiran 1.

4.3.5 Keandalan (*Reliability*) Sistem

Berdasarkan model keandalan sistem, Sub Unit Sintesa Unit Urea mengikuti permodelan seri, sehingga nilai keandalan sistem terhadap jam kerja peralatan yang direncanakan dapat dihitung. Keandalan sistem Sub Unit Sintesa Unit Urea disusun oleh keandalan sub-sub unit dan sub-sub-sub unit penyusun. Nilai *t* sebesar 8760 jam merupakan waktu yang digunakan untuk menentukan nilai keandalan. Nilai *t* tersebut merupakan jumlah jam kerja produksi yang dipersyaratkan oleh manajemen selama satu tahun.

4.3.5.1 Keandalan (*Reliability*) Sub-Sub Unit Sintesa 1

Keandalan sub-sub unit sintesa 1 disusun oleh sub-sub-sub unit *ammonia reservoir*, pompa 1, pompa 2 dan pemanas amoniak. Untuk sub-sub-sub unit *ammonia reservoir*, nilai keandalannya diasumsikan sama dengan satu karena sub-sub-sub unit tersebut tidak memiliki data kegagalan. Hasil penghitungan nilai keandalan sub-sub unit sintesa 1 dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Sintesa 1

t (Jam)	R (t)				R-Sintesa 1 (t)
	<i>Ammonia Reservoir</i>	Pompa 1	Pompa 2	Pemanas Amoniak	
0	1	1,000	1,000	1,000	1,000
24	1	1,000	1,000	1,000	1,000
168	1	1,000	0,997	1,000	0,997
744	1	0,999	0,985	1,000	0,983
1416	1	0,997	0,970	0,999	0,967
2160	1	0,995	0,954	0,998	0,947
2880	1	0,991	0,938	0,996	0,927
3624	1	0,987	0,922	0,995	0,905
4344	1	0,983	0,907	0,992	0,884
5088	1	0,977	0,891	0,990	0,861
5832	1	0,971	0,875	0,986	0,838
6552	1	0,965	0,860	0,983	0,816
7296	1	0,958	0,845	0,979	0,793
8016	1	0,951	0,830	0,975	0,770
8760	1	0,943	0,815	0,971	0,747

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

4.3.5.2 Keandalan (*Reliability*) Sub-Sub Unit Sintesa 2

Keandalan sub-sub unit sintesa 2 disusun oleh sub-sub-sub unit turbin, kompresor CO₂, *stripper*, karbamat kondensat 2, dan karbamat kondensat 1. Hasil penghitungan nilai keandalan sub-sub unit sintesa 2 dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Sintesa 2

t (Jam)	R (t)					R-Sintesa 2 (t)
	Turbin	Kompresor CO ₂	Stripper	Karbamat Kondensat 2	Karbamat Kondensat 1	
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
24	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
168	0,996	1,000	0,999	0,999	0,997	0,992
744	0,983	0,997	0,994	0,996	0,986	0,957
1416	0,967	0,992	0,987	0,990	0,971	0,911
2160	0,950	0,984	0,977	0,983	0,955	0,858
2880	0,933	0,976	0,967	0,976	0,939	0,806
3624	0,915	0,966	0,956	0,967	0,922	0,753
4344	0,899	0,955	0,944	0,958	0,906	0,703
5088	0,882	0,942	0,931	0,949	0,890	0,653
5832	0,865	0,929	0,919	0,939	0,873	0,605
6552	0,849	0,916	0,906	0,929	0,858	0,561
7296	0,832	0,901	0,892	0,919	0,841	0,517
8016	0,817	0,887	0,879	0,908	0,826	0,477
8760	0,801	0,871	0,865	0,898	0,810	0,439

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

4.3.5.3 Keandalan (*Reliability*) Sub-Sub Unit Sintesa 3

Keandalan sub-sub unit sintesa 3 disusun oleh sub-sub-sub unit *reaktor*, *scrubber*, dan *high pressure* dekomposer. Hasil penghitungan nilai keandalan sub-sub unit sintesa 3 dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Nilai Keandalan Sub-Sub Unit Sintesa 3

t (Jam)	R (t)			R- Sintesa 3 (t)	t (Jam)	R (t)			R- Sintesa 3 (t)
	Reaktor	Scrubber	High Pressure Dekomposer			Reaktor	Scrubber	High Pressure Dekomposer	
0	1,000	1,000	1,000	1,000	4344	0,955	0,969	0,903	0,836
24	1,000	1,000	1,000	1,000	5088	0,945	0,961	0,886	0,804
168	0,999	1,000	0,997	0,997	5832	0,934	0,953	0,868	0,772
744	0,996	0,998	0,986	0,980	6552	0,924	0,944	0,850	0,742
1416	0,990	0,994	0,972	0,956	7296	0,913	0,935	0,833	0,711
2160	0,982	0,989	0,955	0,927	8016	0,902	0,926	0,816	0,681
2880	0,974	0,983	0,938	0,898	8760	0,891	0,916	0,798	0,651
3624	0,964	0,976	0,921	0,867					

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

4.3.5.4 Rekapitulasi Keandalan (*Reliability*) Sub Unit Sintesa Unit Urea

Keandalan Sub Unit Sintesa disusun oleh sub-sub unit sintesa 1, sub-sub unit sintesa 2 dan sub-sub unit sintesa 3 secara seri. Hasil penghitungan nilai keandalan Sub Unit Sintesa dapat dilihat pada Tabel 4.8:

Tabel 4.8 Nilai Keandalan Sub Unit Sintesa Unit Urea

t (Jam)	R (t)			Rs-Sintesa
	Sintesa 1	Sintesa 2	Sintesa 3	
0	1,000	1,000	1,000	1,000
24	1,000	0,999	1,000	0,998
168	0,997	0,992	0,997	0,985
744	0,983	0,957	0,980	0,922
1416	0,967	0,911	0,956	0,842
2160	0,947	0,858	0,927	0,753
2880	0,927	0,806	0,898	0,671
3624	0,905	0,753	0,867	0,591
4344	0,884	0,703	0,836	0,520
5088	0,861	0,653	0,804	0,453
5832	0,838	0,605	0,772	0,392
6552	0,816	0,561	0,742	0,340
7296	0,793	0,517	0,711	0,292
8016	0,770	0,477	0,681	0,250
8760	0,747	0,439	0,651	0,213

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa pada saat t sebesar 8760 jam (waktu produksi pupuk dalam satu tahun), ada perbedaan nilai keandalan untuk masing-masing sub-sub unit. Nilai keandalan tersebut nantinya akan dipakai di dalam sub bab 5.2 untuk menghitung alokasi keandalan yang optimal dengan menggunakan persamaan 2.30 sebagai input parameter keandalan aktual ($R_{i,min}$).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENENTUAN INTERVAL WAKTU PEMELIHARAAN PENCEGAHAN

Keandalan aktual dari Sub Unit Sintesa Unit Urea telah didapatkan pada bab sebelumnya (BAB 4). Keandalan tersebut kemudian akan dibandingkan dengan target keandalan yang telah ditetapkan. Jika nilainya lebih kecil, maka akan dilakukan upaya untuk meningkatkan keandalan sub unit tersebut sampai mencapai target yang telah ditetapkan. Keandalan sub unit ditentukan oleh keandalan sub-sub unit dan keandalan masing-masing sub-sub-sub unit penyusun. Sub Unit Sintesa bekerja secara seri, dimana jika terdapat kegagalan sebagian atau seluruh peralatan maka sistem akan berhenti beroperasi.

Optimasi keandalan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.30. Untuk penghitungan optimasi keandalan dari suatu sub-sub unit diperlukan indeks kelayakan (f_i), yaitu konstanta peningkatan keandalan sub sistem relatif terhadap seluruh sub sistem penyusun dalam suatu sistem yang dioptimasi. Indeks kelayakan tersebut dicari dengan menggunakan metode *analytical hierarchy process (AHP)*, dimana perhitungannya menggunakan bantuan perangkat lunak *Expert Choice*.

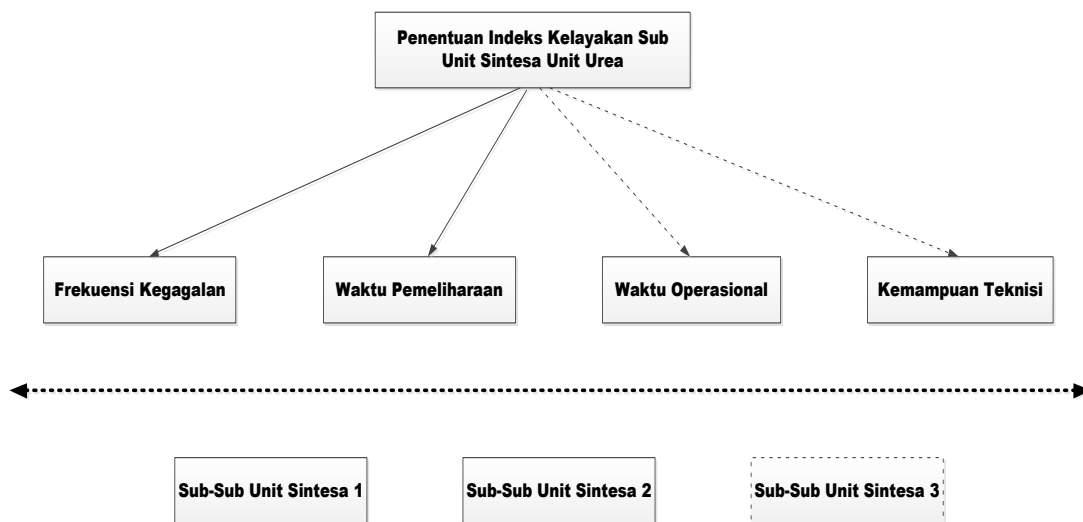
5.1 Penentuan Indeks Kelayakan

Penyusunan hirarki keputusan diperlukan untuk mendefinisikan masalah, sehingga menjadi lebih jelas dan rinci. Struktur hirarki dari sistem ini adalah:

- Level 1
Tujuan: Penentuan Indeks Kelayakan Sub Unit Sintesa Unit Urea
- Level 2
Kriteria:
 1. Frekuensi Kegagalan
 2. Waktu Pemeliharaan

3. Waktu Operasional
 4. Kemampuan Teknisi
- Level 3
 - Sub kriteria:
 1. Sub-sub unit sintesa 1
 2. Sub-sub unit sintesa 2
 3. Sub-sub unit sintesa 3

Level 2 dan level 3 adalah aspek-aspek yang mempengaruhi penentuan indeks kelayakan Sub Unit Sintesa Unit Urea. Susunan hirarki keputusan tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.1 berikut:



Gambar 5.1 Struktur Hirarki Indeks Kelayakan Peralatan

Kriteria-kriteria yang berada pada struktur hirarki tersebut diatas berdasarkan hasil dari wawancara dengan para ahli di Departemen Pemeliharaan I Unit Urea di PT. X. Wawancara tersebut bertujuan untuk menentukan kriteria-kriteria apa saja yang dapat mempengaruhi nilai keandalan sistem, dengan mempertimbangkan unsur biaya menurut para ahli. Pengambil keputusan terdiri dari karyawan-karyawan yang kompeten dan menguasai masalah operasional serta masalah pemeliharaan pencegahan di Unit Urea. Pengambil keputusan dalam

penelitian ini berjumlah lima orang, yang terdiri dari Kepala Bagian Produksi, Kepala Bagian Pemeliharaan, Kepala Bagian Perencanaan dan Pengendalian, Wakil Kepala Bagian Pemeliharaan serta Kepala Bagian Pemeliharaan Seksi *Turn Around* dan *Reliability*. Hasil *Input* kuisisioner seluruh responden untuk kriteria dan sub kriteria dapat dilihat pada Lampiran 2. Hasil kuisisioner dari tiap responden tersebut digunakan untuk melakukan perbandingan berpasangan kriteria dengan menggunakan perangkat lunak *Expert Choice* dan ditunjukkan pada Tabel 5.1

Nilai yang berwarna hitam mempunyai arti bahwa kriteria yang berada di bagian baris mempunyai tingkat yang lebih tinggi daripada kriteria yang berada di bagian kolom. Nilai yang berwarna merah mempunyai arti bahwa kriteria yang berada di bagian kolom mempunyai tingkat yang lebih tinggi daripada 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		1,25	3,52	2,49
Waktu Pemeliharaan			1,05	1,22
Waktu Operasional				1,25
Kemampuan Teknisi				

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Expert Choice*

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

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

Sub Kriteria	Sintesa 1	Sintesa 2	Sintesa 3
Sintesa 1		1,09	1,25
Sintesa 2			1,25
Sintesa 3			

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Expert Choice*

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

Sub Kriteria	Sintesa 1	Sintesa 2	Sintesa 3
Sintesa 1		1,43	1,43
Sintesa 2			1,55
Sintesa 3			

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Expert Choice*

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

Sub Kriteria	Sintesa 1	Sintesa 2	Sintesa 3
Sintesa 1		1,11	1,0
Sintesa 2			1,55
Sintesa 3			

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Expert Choice*

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

Sub Kriteria	Sintesa 1	Sintesa 2	Sintesa 3
Sintesa 1		1,32	1,11
Sintesa 2			3,13
Sintesa 3			

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Expert Choice*

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak *Expert Choice* didapatkan indeks kriteria Sub Unit Sintesa dengan nilai *Overall Inconcistency Ratio* sebesar 0,05. Indeks kriteria Sub Unit Sintesa ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Indeks Kriteria

Kriteria	Indeks
Frekuensi Kegagalan	0,131
Waktu Pemeliharaan	0,236
Waktu Operasional	0,346
Kemampuan Teknisi	0,288

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Expert Choice*

Dari perhitungan juga didapatkan indeks sub kriteria di Sub Unit Sintesa dengan nilai *Overall Inconsistency Ratio* sebesar 0,05. Indeks sub kriteria peralatan di Sub Unit Sintesa ditunjukkan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Indeks Sub Kriteria

Sub Kriteria	Bobot Frekuensi Kegagalan (0,131)	Bobot Waktu Pemeliharaan (0,236)	Bobot Waktu Operasional (0,346)	Bobot Kemampuan Teknisi (0,288)
Sintesa 1	0,299	0,257	0,342	0,304
Sintesa 2	0,318	0,318	0,276	0,241
Sintesa 3	0,384	0,426	0,382	0,455

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Expert Choice* dan *Microsoft Excel*

Indeks kelayakan sub kriteria dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Indeks Kelayakan Sub Kriteria Sintesa 1} = (\text{Bobot Frekuensi Kegagalan} \times \text{Nilai Sub Kriteria Sintesa 1}) + (\text{Bobot Waktu Pemeliharaan} \times \text{Nilai Sub Kriteria Sintesa 1}) + (\text{Bobot Waktu Operasional} \times \text{Nilai Sub Kriteria Sintesa 1}) + (\text{Bobot Kemampuan Teknisi} \times \text{Nilai Sub Kriteria Sintesa 1}) \quad (5,2)$$

Indeks kelayakan untuk sub kriteria yang lain ditunjukkan pada Tabel 5.8. Grafik indeks kelayakan ditunjukkan pada Gambar 5.2.

Tabel 5.8 Indeks Kelayakan Peralatan

Sub-Sub Unit	Indeks Kelayakan
Sintesa 1	0,306
Sintesa 2	0,282
Sintesa 3	0,411

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Expert Choice*



Gambar 5.2 Grafik Indeks Kelayakan Sub Unit Sintesa Unit Urea (*Expert Choice*, 2015)

5.2 Optimasi Keandalan Sub Unit Sintesa

Keandalan sistem dapat ditingkatkan dengan melakukan pemeliharaan pencegahan terhadap sistem agar tanda-tanda terjadinya kerusakan dapat diketahui sedini mungkin. Pemeliharaan pencegahan ini harus dilakukan berdasarkan interval waktu yang optimal dengan mempertimbangkan peningkatan tambahan biaya yang diakibatkan oleh frekuensi pemeliharaan pencegahan yang tinggi.

Keandalan aktual ($R_{i,min}$) ditetapkan berdasarkan waktu operasi $t = 8760$ jam, dan digunakan penghitungan peningkatan keandalan yang optimal ($R_{i,opt}$). Waktu operasi $t = 8760$ jam ditetapkan berdasarkan jumlah jam kerja peralatan yang direncanakan dalam waktu 1 tahun (data Rencana Target Produksi). Nilai $R_{i,min}$ tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Keandalan Aktual ($t = 8760$ jam)

Sub-Sub Unit	$R_{i,min}$
Sintesa 1	0,747
Sintesa 2	0,439
Sintesa 3	0,651

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

Untuk mengoptimalkan keandalan masing-masing sub-sub unit peralatan Sub Unit Sintesa digunakan perangkat lunak *WinQSB* dengan target keandalan (R_G) adalah 0,7, 0,8, dan 0,9. Target tersebut merupakan salah satu kriteria yang ditetapkan oleh manajemen yang pelaksanaannya membutuhkan upaya secara bertahap.

Persamaan 2.29 dan 2.30 digunakan untuk menghitung optimasi keandalan sub-sub unit pada Sub Unit Sintesa. Parameter-parameter yang digunakan dalam 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-parameter yang digunakan dalam fungsi batasan adalah target keandalan (R_G), keandalan aktual ($R_{i,min}$), keandalan maksimal ($R_{i,maks}$) dan keandalan yang dialokasikan (R_i). Berikut adalah contoh perhitungan yang

dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *WinQSB* bila target keandalan adalah (R_G) sebesar 0,7.

Fungsi Obyektif:

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^3 c_i(R_i) = e^{[(1-f_i) \times \left(\frac{R_1 - R_{i,\min}}{R_{i,\max} - R_1}\right)]}$$

$$\text{Min } C = e^{[(1-0,306) \times \left(\frac{R_1 - 0,747}{1 - R_1}\right)]} + e^{[(1-0,282) \times \left(\frac{R_2 - 0,439}{1 - R_2}\right)]} + e^{[(1-0,411) \times \left(\frac{R_3 - 0,651}{1 - R_3}\right)]}$$

Fungsi Batasan:

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

$$0,747 \leq R_1 \leq 1$$

$$0,439 \leq R_2 \leq 1$$

$$0,651 \leq R_3 \leq 1$$

Hasil optimasi keandalan dengan fungsi batasan R_G sebesar 0,7 ditunjukkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Keandalan Optimal dengan Keandalan Sub-Sub Unit, $R_G = 0,7$

Sub-Sub Unit	Variabel	Keandalan Optimal ($R_{i,\text{opt}}$)
Sintesa 1	R_1	0,9258
Sintesa 2	R_2	0,8455
Sintesa 3	R_3	0,8964

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *WinQSB*

Dengan cara yang sama, dapat dilakukan perhitungan optimasi keandalan dengan fungsi batasan $R_G = 0,8$ dan $R_G = 0,9$. Rincian perhitungan optimasi untuk fungsi batasan $R_G = 0,7$, $R_G = 0,8$ dan $R_G = 0,9$ dapat dilihat pada Lampiran 3. Rekapitulasi alokasi keandalan sub-sub unit peralatan di Sub Unit Sintesa Unit Urea ditunjukkan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Alokasi Keandalan Sub Unit Sintesa

Keandalan Sistem (R_G)	Alokasi Keandalan		
	Sintesa 1 (R_1)	Sintesa 2 (R_2)	Sintesa 3 (R_3)
0,7	0,9258	0,8455	0,8964
0,8	0,9611	0,8999	0,9357
0,9	0,9789	0,9565	0,9668

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *WinQSB*

Dari Tabel 5.11 diketahui bahwa untuk jam kerja peralatan yang sama, terdapat perbedaan keandalan untuk masing-masing sub-sub unit di Sub Unit Sintesa Unit Urea. Sub-sub unit dengan tingkat keandalan yang rendah merupakan kelemahan yang dapat mengganggu pencapaian keandalan Sub Unit Sintesa Unit Urea. Oleh karena itu, sub-sub unit yang keandalannya rendah dapat ditingkatkan dengan mengalokasikan interval waktu pemeliharaan pencegahan yang optimal.

5.3 Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Sub Unit Sintesa

Keandalan peralatan dapat ditingkatkan dengan melakukan pemeliharaan pencegahan, agar kegagalan peralatan dapat diketahui sedini mungkin. Kegiatan pemeliharaan pencegahan sendiri harus dilaksanakan berdasarkan interval waktu yang optimal dengan mempertimbangkan peningkatan biaya akibat meningkatnya frekuensi pemeliharaan pencegahan. Manajemen perusahaan menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan berdasarkan keandalan sistem yang hendak dicapai, yaitu keandalan (R_G) sebesar 0,7, 0,8 dan 0,9.

Langkah pertama dalam menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan adalah mengkonversi alokasi keandalan sub-sub unit menjadi alokasi keandalan sub-sub-sub unit. Proses pengkonversian tersebut dilakukan melalui interpolasi terhadap keandalan yang optimal dari sub-sub unit (R_i), yang telah didapat pada perhitungan dan ditunjukkan pada Tabel 5.11. Pengkonversian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Hasil rekapitulasi alokasi keandalan sub-sub-sub unit peralatan di Sub Unit Sintesa Unit Urea ditunjukkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Alokasi Keandalan Sub-Sub-Sub Unit di Sub Unit Sintesa

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Alokasi Keandalan		
		0,7	0,8	0,9
Sintesa 1	<i>Ammonia Reservoir</i>	1	1	1
	Pompa 1	0,983	0,991	0,995
	Pompa 2	0,946	0,972	0,985
	Pemanas Amoniak	0,991	0,996	0,998
Sintesa 2	Turbin	0,942	0,963	0,984
	Kompresor CO ₂	0,963	0,976	0,989
	<i>Stripper</i>	0,961	0,975	0,989
	Karbamat Kondensat 2	0,975	0,984	0,993
	Karbamat Kondensat 1	0,956	0,971	0,988
Sintesa 3	<i>Reaktor</i>	0,973	0,983	0,991
	<i>Scrubber</i>	0,969	0,981	0,990
	<i>High Pressure</i> Dekomposer	0,944	0,965	0,982

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

Penentuan interval waktu pemeliharaan pencegahan ditentukan dengan menggunakan perangkat lunak *Weibull++6* untuk $t = 8760$ jam dan keandalan optimal (R_i) yang telah didapatkan pada perhitungan (Tabel 5.12). Hasil perhitungan interval waktu pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Sintesa yang optimal ditunjukkan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan yang Optimal

Sub-Sub Unit	Sub-Sub-Sub Unit	Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan dalam Jam (Hari)		
		RG = 0,7	RG = 0,8	RG = 0,9
Sintesa 1	Pompa 1	4233,6 (176,4)	2891,3 (120,5)	2016,9 (84)
	Pompa 2	2598,8 (108,3)	1391,4 (58)	774,3 (32,3)
	Pemanas Amoniak	4557,6 (189,9)	3248,4 (135,4)	2358,1 (98,3)
Sintesa 2	Turbin	2479,2 (103,3)	1620,1 (67,5)	722,2 (30,1)
	Kompresor CO ₂	3819,6 (159,2)	2875,8 (119,8)	1674 (69,7)
	<i>Stripper</i>	3285,2 (136,9)	2349,6 (97,9)	1240,4 (51,7)
	Karbamat Kondensat 2	2928,4 (122)	2104,4 (87,7)	1119,1 (46,6)
	Karbamat Kondensat 1	2129 (88,7)	1416,5 (59)	652,1 (27,2)
Sintesa 3	<i>Reaktor</i>	2929 (122)	2031 (84,6)	1225,7 (51,1)
	<i>Scrubber</i>	4310,2 (179,6)	3102,7 (129,3)	1972,2 (82,2)
	<i>High Pressure</i> Dekomposer	2639 (110)	1718 (71,6)	953,4 (39,7)

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Weibull++6* dan *Microsoft Excel*

Tabel 5.13 menunjukkan interval waktu pemeliharaan pencegahan optimal yang terpanjang dimiliki oleh sub-sub-sub unit Pemanas Amoniak selama 4557,6 jam atau 189,9 hari pada saat target keandalan 0,7. Interval waktu pemeliharaan pencegahan terpendek dimiliki oleh sub-sub-sub unit Karbamat Kondensat 1 selama 652,1 jam atau 27,2 hari pada saat target keandalan 0,9.

5.4 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan

Laju biaya pemeliharaan pencegahan yang dihitung adalah laju biaya pemeliharaan pencegahan sebelum optimasi dan laju biaya pemeliharaan pencegahan setelah optimasi. Laju biaya pemeliharaan pencegahan pada penelitian ini, adalah laju biaya pemeliharaan pencegahan pada saat keandalan sistem sudah mencapai target yang ditentukan, yaitu sebesar 0,7, 0,8, dan 0,9. Optimasi laju biaya pemeliharaan pencegahan dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.33.

5.4.1 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan Sub-Sub-Sub Unit Pompa 1 Sebelum Optimasi

Berdasarkan laju kegagalan sub-sub-sub unit Pompa 1, maka model pemeliharaan dapat digolongkan sebagai pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Sehubungan dengan kegiatan pemeliharaan pencegahan tersebut, laju biaya pemeliharaan pencegahan per unit waktu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.33, yaitu:

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

$$= \frac{(3.855 \times 0,439) + (1.244.677,786 \times (1 - 0,439))}{(41470,04 \times 0,439) + \int_0^t t f(t) dt}$$

Parameter fungsi *Weibull* 2 sub-sub-sub unit Pompa 1 adalah $\beta = 1,704$, dan $\eta = 46485$. Fungsi padat peluang sebelum optimasi ($t = \text{MTBF} = 41470,04$) adalah:

$$f(41470,04) = \frac{1,704}{46485} \left(\frac{41470,04}{46485} \right)^{1,704-1} \exp \left[- \left(\frac{41470,04}{46485} \right)^{1,704} \right]$$

Dari penghitungan diperoleh laju biaya sebesar Rp. 961,5/jam.

5.4.2 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan Sub-Sub-Sub Unit yang Lain

Dengan cara yang sama maka didapatkan laju biaya (C(t)) per jam untuk setiap sub-sub-sub unit yang lain, untuk sebelum dan setelah optimasi, dan ditunjukkan pada Tabel 5.14. Rincian perhitungan optimasi untuk sub-sub-sub unit lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 5.14 Laju Biaya (C(t)) per Jam untuk Setiap Sub-Sub-Sub Unit

No	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya [(C(t)) per jam]			
		Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
			0,7	0,8	0,9
1	Pompa 1	961,5	590,9	513,9	401,6
2	Pompa 2	11.470,3	7.469,0	7.369,4	7.121,8
3	Pemanas Amoniak	526,8	320,1	291,4	269,8
4	Turbin	6.900,4	4.493,3	4.382,1	4.124,2
5	Kompresor CO ₂	1.324,8	822,1	727,0	530,6
6	Stripper	6.192,7	3.915,9	3.637,0	3.394,0
7	Karbamat Kondensat 2	2.172,0	1.372,2	1.280,0	1.146,0
8	Karbamat Kondensat 1	11.842,2	7.675,5	7.515,6	7.312,4
9	Reaktor	2.715,0	1.716,8	1.616,6	1.390,5
10	Scrubber	3.094,6	1.932,4	1.739,3	1.251,2
11	High Pressure Dekomposer	5.178,8	3.335,0	3.209,5	2.995,3
Total		52.379,0	33.643,2	32.281,8	29.937,4

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

5.4.3 Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus

Komponen-komponen biaya yang dihitung adalah laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus, dan penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus. Berdasarkan persamaan 2.33, nilai laju biaya sebelum optimasi diperoleh dari biaya pemeliharaan pencegahan (C_p dan C_f) dibagi rata-rata waktu antar kegagalan atau *MTBF* masing-masing sub-sub-sub unit peralatan. Nilai laju biaya setelah optimasi adalah hasil pengolahan data dengan perangkat lunak *Microsoft Excel* sesuai dengan target keandalan (R_G). Nilai laju biaya

adalah biaya pemeliharaan pencegahan (C_p dan C_f) dibagi waktu interval waktu pemeliharaan pencegahan optimal sesuai dengan Tabel 5.14.

Laju biaya ini dihitung dalam satu siklus pemeliharaan pencegahan, yaitu saat selesai dilakukannya pemeliharaan pencegahan sampai saat pemeliharaan pencegahan berikutnya dari sub-sub-sub unit. Interval waktu pemeliharaan pencegahan dan jumlah pemeliharaan pencegahan per tahun sebelum dan setelah optimasi dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan dan Jumlah Pemeliharaan Pencegahan per Tahun

No	Sub-sub-sub Unit	Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan (jam)				Jumlah Pemeliharaan Pencegahan per Tahun			
		Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi			Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
			0,7	0,8	0,9		0,7	0,8	0,9
1	Pompa 1	41470,04	4233,6	2891,3	2016,9	0	2	3	4
2	Pompa 2	39376,8	2598,8	1391,4	774,3	0	3	6	11
3	Pemanas Amoniak	48754,5	4557,6	3248,4	2358,1	0	2	3	4
4	Turbin	36306,6	2479,2	1620,1	722,2	0	4	5	12
5	Kompresor CO ₂	28155,3	3819,6	2875,8	1674,0	0	2	3	5
6	Stripper	34987,1	3285,2	2349,6	1240,4	0	3	4	7
7	Karbamat Kondensat 2	43097,4	2928,4	2104,4	1119,1	0	3	4	8
8	Karbamat Kondensat 1	35704,8	2129,0	1416,5	652,1	0	4	6	13
9	Reaktor	41473,5	2929,0	2031,0	1225,7	0	3	4	7
10	Scrubber	41475,9	4310,2	3102,7	1972,2	0	2	3	4
11	High Pressure Dekomposer	31021,1	2639,0	1718,0	953,4	0	3	5	9
Total						0	31	46	84

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

Pada saat keandalan Sub Unit Sintesa setelah optimasi ditargetkan sebesar 0,9, interval waktu pemeliharaan pencegahan peralatan yang terpanjang dimiliki oleh sub-sub-sub unit Pemanas Amoniak selama 2358,1 jam atau 98,3 hari. Interval waktu pemeliharaan pencegahan peralatan terpendek dimiliki oleh sub-sub-sub unit Karbamat Kondensat 1 selama 652,1 jam atau 27,2 hari.

Laju biaya pemeliharaan pencegahan dan penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus pada saat interval waktu pemeliharaan

pengecegan sebelum dioptimasi dan setelah dioptimasi ditunjukkan oleh Tabel 5.16 dan Tabel 5.17.

Tabel 5.16 Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus

No	Sub-Sub-Sub Unit	R (%) Sebelum Optimasi	Laju Biaya per Siklus			
			Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi		
				0,7	0,8	0,9
1	Pompa 1	43,9	Rp. 7.070.524	Rp. 2.501.639	Rp. 1.485.864	Rp. 809.976
2	Pompa 2	37,5	Rp. 31.809.156	Rp. 19.410.613	Rp. 10.253.502	Rp. 4.514.214
3	Pemanas Amoniak	45,2	Rp. 4.457.931	Rp. 1.458.899	Rp. 946.592	Rp. 636.221
4	Turbin	37,5	Rp. 23.107.295	Rp. 11.139.634	Rp. 7.099.293	Rp. 2.978.668
5	Kompresor CO ₂	42,8	Rp. 9.060.076	Rp. 3.140.118	Rp. 2.090.700	Rp. 888.217
6	Stripper	40,7	Rp. 21.344.245	Rp. 12.864.473	Rp. 8.545.439	Rp. 4.209.853
7	Karbamat Kondensat 2	40,8	Rp. 11.360.424	Rp. 4.018.318	Rp. 2.693.581	Rp. 1.282.453
8	Karbamat Kondensat 1	38	Rp. 32.212.187	Rp. 16.341.232	Rp. 10.646.099	Rp. 4.768.573
9	Reaktor	40,7	Rp. 13.952.177	Rp. 5.028.477	Rp. 3.283.306	Rp. 1.704.334
10	Scrubber	42,1	Rp. 17.338.386	Rp. 8.329.055	Rp. 5.396.469	Rp. 2.467.565
11	High Pressure Dekomposer	38,7	Rp. 19.666.569	Rp. 8.800.918	Rp. 5.513.990	Rp. 2.855.652
Total			Rp.191.378.968	Rp. 93.033.376	Rp. 57.954.833	Rp. 28.115.726

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

Tabel 5.17 Penurunan Laju Biaya Pemeliharaan Pencegahan per Siklus

NO	Sub-Sub-Sub Unit	Penurunan Laju Biaya per Siklus		
		0,7	0,8	0,9
1	Pompa 1	Rp. 4.568.885	Rp. 5.584.660	Rp. 6.260.548
2	Pompa 2	Rp. 12.398.543	Rp. 21.555.655	Rp. 27.294.942
3	Pemanas Amoniak	Rp. 2.999.032	Rp. 3.511.339	Rp. 3.821.709
4	Turbin	Rp. 11.967.661	Rp. 16.008.002	Rp. 20.128.627
5	Kompresor CO ₂	Rp. 5.919.958	Rp. 6.969.376	Rp. 8.171.858
6	Stripper	Rp. 8.479.772	Rp. 12.798.806	Rp. 17.134.392
7	Karbamat Kondensat 2	Rp. 7.342.106	Rp. 8.666.843	Rp. 10.077.971
8	Karbamat Kondensat 1	Rp. 15.870.955	Rp. 21.566.088	Rp. 27.443.613
9	Reaktor	Rp. 8.923.700	Rp. 10.668.871	Rp. 12.247.843
10	Scrubber	Rp. 9.009.332	Rp. 11.941.918	Rp. 14.870.822
11	High Pressure Dekomposer	Rp. 10.865.651	Rp. 14.152.579	Rp. 16.810.917
Total		Rp. 98.345.593	Rp. 133.424.135	Rp. 163.263.243

Sumber: Hasil pengolahan data dengan *Microsoft Excel*

Untuk keseluruhan sistem, biaya pemeliharaan pencegahan per siklus dari sub-sub-sub unit peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya keandalan. Besarnya laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus dan penurunan laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus berdasarkan target keandalan (R_G) adalah:

- Untuk $R_G = 0,7$, laju biaya adalah sebesar Rp. 93.033.376,00 per siklus dan penurunan laju biaya adalah sebesar Rp. 98.345.593,00 per siklus.
- Untuk $R_G = 0,8$, laju biaya adalah sebesar Rp. 57.954.833,00 per siklus dan penurunan laju biaya adalah sebesar Rp. 133.424.135,00 per siklus.
- Untuk $R_G = 0,9$, laju biaya adalah sebesar Rp. 28.115.726,00 per siklus dan penurunan laju biaya adalah sebesar Rp. 163.263.243,00 per siklus.

5.5 Pembahasan

Keandalan sistem berbanding terbalik dengan laju biaya pemeliharaan pencegahan. Semakin tinggi keandalan sistem maka semakin rendah laju biaya pemeliharaan pencegahan yang harus ditanggung oleh perusahaan. Hal tersebut sangat menguntungkan bagi perusahaan karena dengan tingginya nilai keandalan maka waktu operasi juga akan tinggi, sehingga target produksi akan tercapai. Tabel 5.16 menunjukkan bahwa laju biaya total pemeliharaan pencegahan per siklus terendah dimiliki pada saat target keandalan sistem sebesar 0,9. Jika perusahaan dapat mengusahakan keandalan sistem sebesar 0,9, maka laju biaya total pemeliharaan pencegahan yang harus ditanggung oleh perusahaan adalah sebesar Rp. 28.115.726,00/siklus. Laju biaya total pemeliharaan pencegahan per siklus tersebut lebih murah dibandingkan dengan laju biaya total pemeliharaan pencegahan per siklus keandalan sistem pada saat ini.

Metode alokasi dan optimasi keandalan merupakan salah satu metode untuk menerapkan manajemen pemeliharaan pencegahan dengan pendekatan analisis keandalan. Penerapan metode tersebut membutuhkan dukungan dari pihak internal perusahaan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut terkait dengan perencanaan manajemen pemeliharaan di PT. X.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan optimasi, analisis dan pembahasan yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada saat target keandalan sistem sebesar 0,9:
 - a. Interval waktu pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit terpanjang dimiliki oleh sub-sub-sub unit Pemanas Amoniak sebesar 2358,1 jam (98,3 hari).
 - b. Interval waktu pemeliharaan pencegahan sub-sub-sub unit terpendek dimiliki oleh sub-sub-sub unit Karbamat Kondensat 1 sebesar 652,1 jam (27,2 hari).
2. Laju biaya total pemeliharaan pencegahan per siklus untuk Sub Unit Sintesa pada saat target keandalan sistem sebesar 0,9, adalah Rp. 28.115.726,00.
3. Laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus sub-sub-sub unit pada saat target keandalan sistem sebesar 0,9 adalah:
 - a. Laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus tertinggi, yaitu sebesar Rp. 4.768.573,00 dimiliki oleh sub-sub-sub unit Karbamat Kondensat 1.
 - b. Laju biaya pemeliharaan pencegahan per siklus terendah, yaitu sebesar Rp. 636.221,00 dimiliki oleh sub-sub-sub unit Pemanas Amoniak.
4. Penurunan laju biaya total pemeliharaan pencegahan per siklus pada saat target keandalan sistem sebesar 0,9, adalah Rp. 163.263.243,00.

6.2 Saran

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

1. Pelaksanaan pemeliharaan pencegahan pada Sub Unit Sintesa Unit Urea dilakukan tidak melebihi interval waktu yang telah ditetapkan, sehingga efek dari kerusakan yang timbul dapat dikurangi atau bahkan diminimalkan.
2. Untuk penyusunan program pemeliharaan pencegahan di masa yang akan datang, perusahaan dapat mempertimbangkan cara pencatatan kegagalan sampai pada komponen setiap peralatan.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan interval waktu pemeliharaan pencegahan sub unit lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (1999), *Using Statistics to Schedule Maintenance*, Engineered Software, Inc.
- 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.
- Ebeling, C. E. (1997), *Reliability and Maintainability Engineering*, International Edition, McGraw-Hill, New York.
- Jardine, A.K.S. (1973), *Maintenance Excellence*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Lewis, E. E. (1998), *Introduction to Reliability Engineering*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Malaiya, Y. K. (2005), *Reliability Allocation*, Colorado State University, Fort Collins.
- Mettas, A. (2000), "Reliability Allocation and Optimization for Complex System," *2000 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Institut of Electrical and Electronics Engineers, Los Angeles.
- Saaty, T. L. (1988), *Decision Making For Leaders; The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*, RWS Publication, Pittsburgh.
- Suhandoko, E., (2011), *Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan Dengan Meminimalkan Laju Biaya Berdasarkan Alokasi Dan Optimasi Keandalan Pada Peralatan Seksi (Studi Kasus: PT ISM Bogasari Flour Mills Surabaya)*, Tesis yang Tidak di Publikasikan Magister Manajemen Teknologi ITS Surabaya.
- Ushakov, I. A., and Horrison, R. A., (1994), *Handbook of Reliability Engineering*, John Wiley, Inc., New York.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 1

Analisis Keandalan

1. Sub-Sub Unit Sintesa 1

1.1 Waktu Antar Kegagalan (*TBF*) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Tabel A.1.1.1 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit Pompa 1

POMPA 1 (GA 103)		
NO	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	<i>TBF</i> (Jam)
1	67200	
2	63593,63	3606,4
3	52625,72	10967,92
4	51596,82	21944,75
5	50567,92	1028,9
6	35377,62	15190,3

Tabel A.1.1.2 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit Pompa 2

POMPA 2 (GA 101)		
NO	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	<i>TBF</i> (Jam)
1	67200	
2	65784,41667	1415,583333
3	65106,7	677,7166667
4	63845,33333	1261,366667
5	61640,5	2204,833333
6	60992,83333	647,6666667
7	60267,13333	725,7
8	57401,63333	2865,5
9	56751,21667	650,4166667
10	53826,8	2924,416667
11	41382,128	12444,672
12	31295,128	10087
13	30996,978	298,15
14	23069,978	7927
15	20171,56133	2898,416667
16	19516,56133	655
17	16681,228	2835,333333
18	16200,84467	480,3833333
19	15487,76133	713,0833333
20	13487,928	1999,833333
21	10643,928	2844
22	8539,044667	2104,883333
23	7802,211333	736,8333333
24	4246,294667	3555,916667
25	3634,161333	612,1333333
26	2909,661333	724,5
27	2406,501333	503,16

Tabel A.1.1.3 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit Pemanas Amoniak

PEMANAS AMONIAK (EA 103)		
NO	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	<i>TBF</i> (Jam)
1	67200	
2	60684,16667	6515,833333
3	51934,95	8749,216667
4	31454,2	20480,75
5	30425,3	1028,9
6	21673,05	8752,25
7	20241,13333	1431,916667
8	19550,71667	690,4166667
9	15228,63333	4322,083333
10	9504,633333	5724
11	7399,75	2104,883333
12	6662,916667	736,8333333
13	3107	3555,916667
14	1662,5	1444,5
15	1159,34	503,16

Tabel A.1.1.4 Parameter Distribusi *TBF* Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	β	η	ρ
Pompa 1	<i>Weibull 2</i>	1,704	46485	0,975
Pompa 2	<i>Weibull 2</i>	1,055	40079	0,942
Pemanas Amoniak	<i>Weibull 2</i>	1,913	54955	0,913

1.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Sesuai dengan hasil estimasi parameter oleh perangkat lunak *Weibull++6*, maka fungsi padat peluang komponen penyusun sub-sub unit sintesa 1 dapat ditentukan berdasarkan Tabel A.1.2 berikut ini:

Tabel A.1.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi padat Peluang (<i>pdf</i>)
Pompa 1	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,704}{46485} \left(\frac{t}{46485}\right)^{1,704-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{46485}\right)^{1,704} \right]$
Pompa 2	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,0552}{40079} \left(\frac{t}{40079}\right)^{1,055-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{40079}\right)^{1,055} \right]$
Pemanas Amoniak	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,913}{54955} \left(\frac{t}{54955}\right)^{1,913-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{54955}\right)^{1,913} \right]$

1.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-sub Unit Sintesa 1

Fungsi keandalan dari komponen penyusun sub-sub unit sintesa 1 dapat dilihat pada Tabel A.1.3 berikut:

Tabel A.1.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Keandalan ($R(t)$)
Pompa 1	Weibull 2	$=e^{-\left(\frac{t}{46485}\right)^{1,704}}$
Pompa 2	Weibull 2	$=e^{-\left(\frac{t}{40079}\right)^{1,055}}$
Pemanas Amoniak	Weibull 2	$=e^{-\left(\frac{t}{54955}\right)^{1,913}}$

1.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Laju kegagalan dari komponen penyusun sub-sub unit sintesa 1 dapat dilihat pada Tabel A.1.4 berikut:

Tabel A.1.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Laju Kegagalan (λ)
Pompa 1	Weibull 2	$\frac{1,704}{46485} \left(\frac{t}{46485}\right)^{1,704-1}$
Pompa 2	Weibull 2	$\frac{1,055}{40079} \left(\frac{t}{40079}\right)^{1,055-1}$
Pemanas Amoniak	Weibull 2	$\frac{1,913}{54955} \left(\frac{t}{54955}\right)^{1,913-1}$

1.5 Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Waktu rata-rata antar kegagalan (MTBF) dan keandalan saat MTBF pada komponen penyusun sub-sub unit sintesa 1 dapat dilihat pada Tabel A.1.5 berikut:

Tabel A.1.5 *MTBF* dan Keandalan Saat *MTBF* Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 1

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	<i>MTBF</i>	R (<i>MTBF</i>)
Pompa 1	Weibull 2	$= 46485\Gamma\left(\frac{1}{1,704} + 1\right)$ =41470,04	0,4389972
Pompa 2	Weibull 2	$= 40079\Gamma\left(\frac{1}{1,055} + 1\right)$ =39376,8	0,3746752
Pemanas Amoniak	Weibull 2	$= 54955\Gamma\left(\frac{1}{1,913} + 1\right)$ =48754,5	0,451453

2. Sub-Sub Unit Sintesa 2

2.1 Waktu Antar Kegagalan (*TBF*) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Tabel A.2.1.1 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit Turbin

TURBIN (GT 101)		
NO	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	<i>TBF</i> (Jam)
1	67200	
2	65106,28	2093,717
3	65806,78	1393,217
4	62904,68	2201,6
5	60701,78	5105
6	61466,18	1438,5
7	54938,45	5763,333
8	60047,78	1418,4
9	33769,12	21169,33
10	53509,78	6538
11	32377,4	1391,717
12	50674,45	2835,333
13	28889,57	3487,833
14	47830,45	2844
15	22357,07	6532,5
16	45863,29	1967,16

Tabel A.2.1.2 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit CO₂ Compressor

KOMPRESOR CO₂ (GB 101)		
NO	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	66479,25	720,75
3	65872,31667	606,9333333
4	65194,6	677,7166667
5	64496,65	697,95
6	63974,9	521,75
7	63475,6	499,3
8	62089,13333	1386,466667
9	61405,3	683,8333333
10	57795,8	3609,5
11	55613,3	2182,5
12	54956,05	657,25
13	54236,13333	719,9166667
14	52806,91667	1429,216667
15	46956,58067	5850,336
16	42566,79733	4389,783333
17	39702,44533	2864,352
18	36033,94933	3668,496
19	31778,94933	4255
20	31422,04933	356,9
21	23495,04933	7927
22	20614,466	2880,583333
23	17035,13267	3579,333333
24	16554,74933	480,3833333
25	13810,916	2743,833333
26	10966,916	2844
27	8862,032667	2104,883333
28	8125,199333	736,8333333
29	4642,566	3482,633333
30	3198,066	1444,5
31	2694,906	503,16

Tabel A.2.1.3 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit Stripper

STRIPPER (DA 101)					
NO	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)	NO	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200		19	31617,49533	2071
2	65106,28333	2093,716667	20	31260,59533	356,9
3	63801,01667	1305,266667	21	27611,262	3649,333333
4	63295,13333	505,8833333	22	24772,87867	2838,383333
5	61906,73333	1388,4	23	21977,62867	2795,25
6	57577,23333	4329,5	24	19841,912	2135,716667
7	56875,45	701,7833333	25	17006,57867	2835,333333
8	55438,86667	1436,583333	26	16432,27867	574,3
9	52520,26667	2918,6	27	13688,44533	2743,833333
10	50320,43333	2199,833333	28	10844,44533	2844
11	49693,1	627,3333333	29	8739,562	2104,883333
12	48998,6	694,5	30	8002,728667	736,8333333
13	44583,944	4414,656	31	4446,812	3555,916667
14	42403,322	2180,622	32	3002,312	1444,5
15	41661,65533	741,6666667	33	2499,152	503,16
16	40247,98333	1413,672			
17	39543,65533	704,328			
18	33688,49533	5855,16			

Tabel A.2.1.4 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit Karbamat Kondensat 2

KARBAMAT KONDENSAT 2 (EA 102)		
NO	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	<i>TBF</i> (Jam)
1	67200	
2	63070,11667	4129,883333
3	57252,61667	5817,5
4	55097,53333	2155,083333
5	52899,48333	2198,05
6	52188,88333	710,6
7	22973,38333	29215,5
8	19381,71667	3591,666667
9	12221,88333	7159,833333
10	9377,883333	2844
11	7273	2104,883333
12	6536,166667	736,8333333
13	2980,25	3555,916667
14	1535,75	1444,5
15	1032,59	503,16

Tabel A.2.1.5 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit Karbamat Kondensat 1

KARBAMAT KONDENSAT 1 (EA 101)		
NO	Jam Operasi Mesin saat <i>Breakdown</i>	<i>TBF</i> (Jam)
1	67200	
2	63579,63333	3620,366667
3	61466,76667	2112,866667
4	56361,76667	5105
5	41726,63333	14635,13333
6	30528,9	11197,73333
7	23315,01667	7213,883333
8	15468,71667	7846,3
9	12724,88333	2743,833333
10	7600,333333	5124,55

Tabel A.2.1.6 Parameter Distribusi *TBF* Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	β	η	ρ
Turbin	<i>Weibull 2</i>	1,045	36950	0,973
Kompresor CO ₂	<i>Weibull 2</i>	1,553	31312	0,982
<i>Stripper</i>	<i>Weibull 2</i>	1,316	37975	0,986
Karbamat Kondensat 2	<i>Weibull 2</i>	1,327	46851	0,922
Karbamat Kondensat 1	<i>Weibull 2</i>	1,085	36833	0,967

2.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Sesuai dengan hasil estimasi parameter *weibull 2*, maka fungsi padat peluang komponen penyusun sub-sub unit sintesa 2 dapat ditentukan berdasarkan Tabel A.2.2 berikut ini:

Tabel A.2.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi padat Peluang (<i>pdf</i>)
Turbin	Weibull 2	$\frac{1,045}{36950} \left(\frac{t}{36950}\right)^{1,045-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{36950}\right)^{1,045} \right]$
Kompresor CO ₂	Weibull 2	$\frac{1,553}{31312} \left(\frac{t}{31312}\right)^{1,553-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{31312}\right)^{1,553} \right]$
Stripper	Weibull 2	$\frac{1,316}{37975} \left(\frac{t}{37975}\right)^{1,316-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{37975}\right)^{1,316} \right]$
Karbamat Kondensat 2	Weibull 2	$\frac{1,327}{46851} \left(\frac{t}{46851}\right)^{1,327-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{46851}\right)^{1,327} \right]$
Karbamat Kondensat 1	Weibull 2	$\frac{1,085}{36833} \left(\frac{t}{36833}\right)^{1,085-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{36833}\right)^{1,085} \right]$

2.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Fungsi keandalan dari komponen penyusun sub-sub unit sintesa 2 dapat dilihat pada Tabel A.2.3 berikut:

Tabel A.2.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Keandalan (<i>R(t)</i>)
Turbin	Weibull 2	$=e^{-\left(\frac{t}{36950}\right)^{1,045}}$
Kompresor CO ₂	Weibull 2	$=e^{-\left(\frac{t}{31312}\right)^{1,553}}$
Stripper	Weibull 2	$=e^{-\left(\frac{t}{37975}\right)^{1,316}}$
Karbamat Kondensat 2	Weibull 2	$=e^{-\left(\frac{t}{46851}\right)^{1,327}}$
Karbamat Kondensat 1	Weibull 2	$=e^{-\left(\frac{t}{36833}\right)^{1,085}}$

2.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Laju kegagalan dari komponen penyusun sub-sub unit sintesa 2 dapat dilihat pada Tabel A.2.4 berikut:

Tabel A.2.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Laju Kegagalan (λ)
Turbin	Weibull 2	$\frac{1,045}{36950} \left(\frac{t}{36950} \right)^{1,045-1}$
Kompresor CO ₂	Weibull 2	$\frac{1,553}{31312} \left(\frac{t}{31312} \right)^{1,553-1}$
Stripper	Weibull 2	$\frac{1,316}{37975} \left(\frac{t}{37975} \right)^{1,316-1}$
Karbamat Kondensat 2	Weibull 2	$\frac{1,327}{46851} \left(\frac{t}{46851} \right)^{1,327-1}$
Karbamat Kondensat 1	Weibull 2	$\frac{1,085}{36833} \left(\frac{t}{36833} \right)^{1,085-1}$

2.5 Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Rata-rata waktu antar kegagalan (MTBF) dan keandalan pada saat MTBF pada komponen penyusun sub-sub unit sintesa 2 dapat dilihat pada Tabel A.2.5 berikut:

Tabel A.2.5 MTBF dan Keandalan Saat MTBF Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 2

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	MTBF	R (MTBF)
Turbin	Weibull 2	$= 36950 \Gamma\left(\frac{1}{1,045} + 1\right)$ $= 36306,59$	0,374632
Kompresor CO ₂	Weibull 2	$= 31312 \Gamma\left(\frac{1}{1,553} + 1\right)$ $= 28155,31$	0,428343
Stripper	Weibull 2	$= 37975 \Gamma\left(\frac{1}{1,316} + 1\right)$ $= 34987,1$	0,407484
Karbamat Kondensat 2	Weibull 2	$= 46851 \Gamma\left(\frac{1}{1,327} + 1\right)$ $= 43097,4$	0,4085662
Karbamat Kondensat 1	Weibull 2	$= 36833 \Gamma\left(\frac{1}{1,085} + 1\right)$ $= 35704,8$	0,3802943

3. Sub-Sub Unit Sintesa 3

3.1 Waktu Antar Kegagalan (*TBF*) dan Parameter Distribusi Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Tabel A.3.1.1 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit *Reaktor*

REAKTOR (DC 101)		
NO	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	65184,73333	2015,266667
3	61517,2	3667,533333
4	56442,95	5074,25
5	55004,45	1438,5
6	33855,458	21148,992
7	32403,962	1451,496
8	31672,682	731,28
9	30643,782	1028,9
10	27070,61533	3573,166667
11	23439,11533	3631,5
12	20591,19867	2847,916667
13	19199,482	1391,716667
14	16364,14867	2835,333333
15	15883,76533	480,3833333
16	13139,932	2743,833333
17	10295,932	2844
18	2299,432	7996,5
19	1796,272	503,16

Tabel A.3.1.2 Data *TBF* Sub-Sub-Sub Unit *Scrubber*

SCRUBBER (DA 102)		
NO	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	63778,63333	3421,366667
3	57241,13333	6537,5
4	56590,71667	650,4166667
5	55152,21667	1438,5
6	49388,88333	5763,333333
7	38497,53933	10891,344
8	36305,04333	2192,496
9	31904,29333	4400,75
10	31321,29333	583
11	27052,54333	4268,75
12	22797,54333	4255
13	15623,24333	7174,3
14	14910,16	713,0833333
15	9930,16	4980
16	7825,276667	2104,883333
17	7088,443333	736,8333333
18	3532,526667	3555,916667
19	2088,026667	1444,5
20	1584,866667	503,16

Tabel A.3.1.3 Data TBF Sub-Sub-Sub Unit *High Pressure* Dekomposer

HIGH PRESSURE DEKOMPOSER (DA 201)		
NO	Jam Operasi Mesin saat Breakdown	TBF (Jam)
1	67200	
2	65107,03333	2092,966667
3	63784,13333	1322,9
4	57246,63333	6537,5
5	54381,38333	2865,25
6	53661,46667	719,9166667
7	34662,53867	18998,928
8	32467,04267	2195,496
9	31735,76267	731,28
10	30706,86267	1028,9
11	27133,696	3573,166667
12	23502,196	3631,5
13	16322,86267	7179,333333
14	15748,56267	574,3

Tabel A.3.1.4 Parameter Distribusi *TBF* Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	β	η	ρ
<i>Reaktor</i>	<i>Weibull 2</i>	1,317	45018	0,968
<i>Scrubber</i>	<i>Weibull 2</i>	1,469	45824	0,971
<i>High Pressure</i> Dekomposer	<i>Weibull 2</i>	1,137	32485	0,963

3.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Sesuai dengan hasil estimasi parameter *weibull 2*, maka fungsi padat peluang komponen penyusun sub-sub unit sintesa 3 dapat ditentukan berdasarkan Tabel A.3.2 berikut ini:

Tabel A.3.2 Fungsi Padat Peluang (*pdf*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Fungsi padat Peluang (<i>pdf</i>)
<i>Reaktor</i>	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,317}{45018} \left(\frac{t}{45018}\right)^{1,317-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{45018}\right)^{1,317} \right]$
<i>Scrubber</i>	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,469}{45824} \left(\frac{t}{45824}\right)^{1,469-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{45824}\right)^{1,469} \right]$
<i>High Pressure</i> Dekomposer	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,137}{32485} \left(\frac{t}{32485}\right)^{1,137-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{32485}\right)^{1,137} \right]$

3.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Fungsi keandalan dari komponen penyusun sub-sub unit sintesa 3 dapat dilihat pada Tabel A.3.3 berikut:

Tabel A.3.3 Keandalan (*Reliability*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Keandalan ($R(t)$)
<i>Reaktor</i>	<i>Weibull 2</i>	$=e^{-\left(\frac{t}{45018}\right)^{1,317}}$
<i>Scrubber</i>	<i>Weibull 2</i>	$=e^{-\left(\frac{t}{45824}\right)^{1,469}}$
<i>High Pressure Dekomposer</i>	<i>Weibull 2</i>	$=e^{-\left(\frac{t}{32485}\right)^{1,137}}$

3.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Laju kegagalan dari komponen penyusun sub-sub unit sintesa 3 dapat dilihat pada Tabel A.3.4 berikut:

Tabel A.3.4 Laju Kegagalan (λ) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	Laju Kegagalan (λ)
<i>Reaktor</i>	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,317}{45018} \left(\frac{t}{45018}\right)^{1,317-1}$
<i>Scrubber</i>	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,469}{45824} \left(\frac{t}{45824}\right)^{1,469-1}$
<i>High Pressure Dekomposer</i>	<i>Weibull 2</i>	$\frac{1,137}{32485} \left(\frac{t}{32485}\right)^{1,137-1}$

3.5 Mean Time Between Failure (*MTBF*) Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Tabel A.3.6 *MTBF* dan Keandalan Saat *MTBF* Komponen Penyusun Sub-Sub Unit Sintesa 3

Sub-Sub-Sub Unit	Distribusi	<i>MTBF</i>	R (<i>MTBF</i>)
<i>Reaktor</i>	<i>Weibull 2</i>	$= 45018\Gamma\left(\frac{1}{1,317} + 1\right)$ $=41473,5$	0,4075248
<i>Scrubber</i>	<i>Weibull 2</i>	$= 45824\Gamma\left(\frac{1}{1,469} + 1\right)$ $=41475,9$	0,4215784
<i>High Pressure Dekomposer</i>	<i>Weibull 2</i>	$= 32485\Gamma\left(\frac{1}{1,137} + 1\right)$ $=31021,1$	0,3871566

LAMPIRAN 2

B. Penentuan Indeks Kelayakan Peralatan

1. Pendahuluan

Yth. Bapak Responden,

Perkenalkan nama saya Yulia Rizki Nurmalia sebagai mahasiswa Magister Management Teknologi ITS yang sedang melakukan penelitian tentang **”Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Pencegahan serta Laju Biayanya Berdasarkan Alokasi dan Optimasi Keandalan pada Peralatan Sub Unit Sintesa Unit Urea di PT.X”** . Saya mengharapkan kesediaan dan bantuan Bapak untuk mengisi kuisisioner yang berkenaan dengan tingkat kepentingan sub-sub unit peralatan di sub unit sintesa unit urea. Adapun penyebaran kuisisioner ini bersifat murni penelitian dan digunakan hanya pada penelitian ini.

2. Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria

Compare the relative importance

FREKUENSI KEGAGALAN

versus

WAKTU PEMELIHARAAN

with respect to: Goal: **INDEKS KELAYAKAN PERALATAN**

1	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU PEMELIHARAA
2	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
3	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
4	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
5	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
6	WAKTU OPERASIONAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI

<

▶
>

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.2.1 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 1

Compare the relative importance

FREKUENSI KEGAGALAN

versus

WAKTU PEMELIHARAAN

with respect to: Goal: INDEKS KELAYAKAN PERALATAN

1	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU PEMELIHARAA
2	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
3	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
4	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
5	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
6	WAKTU OPERASIONAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.2.2 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 2

Compare the relative importance

FREKUENSI KEGAGALAN

versus

WAKTU PEMELIHARAAN

with respect to: Goal: INDEKS KELAYAKAN PERALATAN

1	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU PEMELIHARAA
2	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
3	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
4	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
5	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
6	WAKTU OPERASIONAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.2.3 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 3

Compare the relative importance

FREKUENSI KEGAGALAN

versus

WAKTU PEMELIHARAAN

with respect to: Goal: INDEKS KELAYAKAN PERALATAN

1	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU PEMELIHARAA
2	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
3	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
4	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
5	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
6	WAKTU OPERASIONAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.2.4 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 4

Compare the relative importance

FREKUENSI KEGAGALAN

versus

WAKTU PEMELIHARAAN

with respect to: Goal: INDEKS KELAYAKAN PERALATAN

1	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU PEMELIHARAA
2	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
3	FREKUENSI KEGAGALA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
4	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	WAKTU OPERASIONAL
5	WAKTU PEMELIHARAA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI
6	WAKTU OPERASIONAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	KEMAMPUAN TEKNISI

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.2.5 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Kriteria Partisipan 5

3. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 1

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: FREKUENSI KEGAGALAN (L: ,092)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal
3 = Moderate
5 = Strong
7 = Very Strong
9 = Extreme

Gambar B.3.1 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU PEMELIHARAAN (L: ,148)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal
3 = Moderate
5 = Strong
7 = Very Strong
9 = Extreme

Gambar B.3.2 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU OPERASIONAL (L: ,244)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal
3 = Moderate
5 = Strong
7 = Very Strong
9 = Extreme

Gambar B.3.3 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: KEMAMPUAN TEKNISI (L: ,516)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal
3 = Moderate
5 = Strong
7 = Very Strong
9 = Extreme

Gambar B.3.4 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

4. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 2

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: FREKUENSI KEGAGALAN (L: ,091)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.4.1 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU PEMELIHARAAN (L: ,115)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.4.2 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU OPERASIONAL (L: ,645)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal
3 = Moderate
5 = Strong
7 = Very Strong
9 = Extreme

Gambar B.4.3 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: KEMAMPUAN TEKNISI (L: ,149)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal
3 = Moderate
5 = Strong
7 = Very Strong
9 = Extreme

Gambar B.4.4 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

5. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 3

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: FREKUENSI KEGAGALAN (L: ,192)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.5.1 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU PEMELIHARAAN (L: ,424)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.5.2 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU OPERASIONAL (L: ,192)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.5.3 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: KEMAMPUAN TEKNISI (L: ,192)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.5.4 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

6. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 4

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: FREKUENSI KEGAGALAN (L: ,096)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.6.1 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU PEMELIHARAAN (L: ,468)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.6.2 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU OPERASIONAL (L: ,276)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.6.3 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: KEMAMPUAN TEKNISI (L: ,160)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.6.4 Hasil Input Kuisisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

7. Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Partisipan 5

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: FREKUENSI KEGAGALAN (L: ,158)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.7.1 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Frekuensi Kegagalan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU PEMELIHARAAN (L: ,096)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal

3 = Moderate

5 = Strong

7 = Very Strong

9 = Extreme

Gambar B.7.2 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Pemeliharaan

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

with respect to: WAKTU OPERASIONAL (L: ,329)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

1 = Equal
3 = Moderate
5 = Strong
7 = Very Strong
9 = Extreme

Gambar B.7.3 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Waktu Operasional

Compare the relative importance

SINTESA 1

versus

SINTESA 2

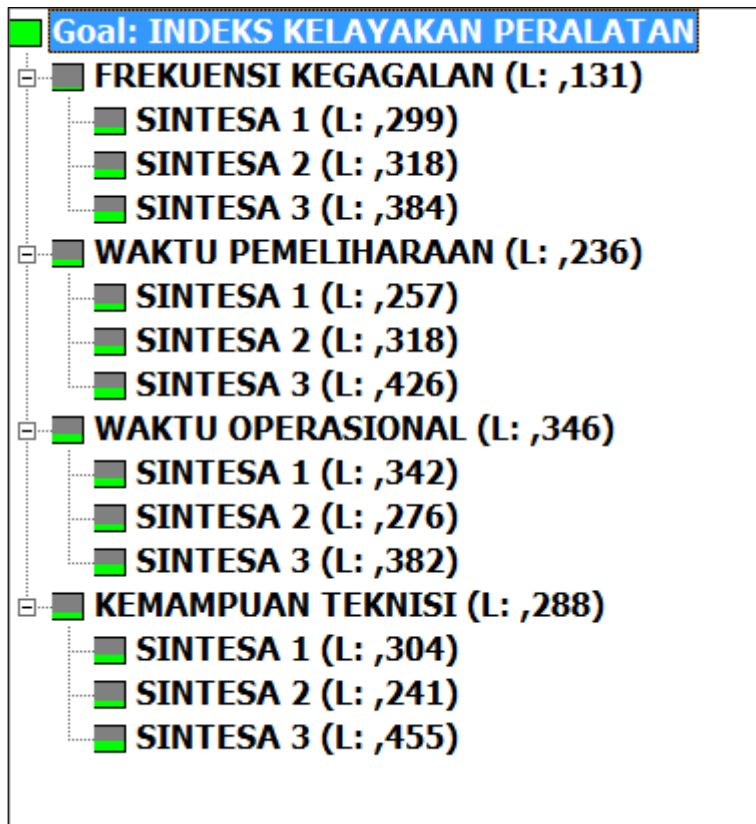
with respect to: KEMAMPUAN TEKNISI (L: ,417)

1	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 2
2	SINTESA 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3
3	SINTESA 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SINTESA 3

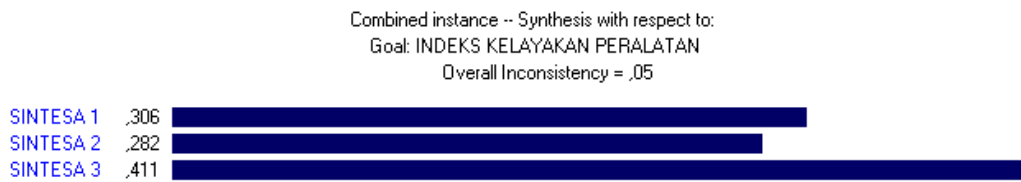
1 = Equal
3 = Moderate
5 = Strong
7 = Very Strong
9 = Extreme

Gambar B.7.4 Hasil Input Kuisioner Perbandingan Berpasangan antar Sub Kriteria dengan Kriteria Kemampuan Teknisi

8. Hasil Sintesis Pembobotan Seluruh Responden



Gambar B.7.5 Bobot Nilai Kriteria dan Sub Kriteria



Gambar B.7.6 Bobot Nilai Sub-Sub Unit Peralatan

LAMPIRAN 3

C. Nonlinear Programming

1. Input Data untuk Target Keandalan Peralatan 70%

keandalan	
Minimize	$\text{EXP}(0.694 \cdot \frac{X1-0.747}{1-X1}) + \text{EXP}(0.718 \cdot \frac{X2-0.439}{1-X2}) + \text{EXP}(0.589 \cdot \frac{X3-0.651}{1-X3})$
	OBJ / Constraint / Variable Bound
Minimize	$\text{EXP}(0.694 \cdot \frac{X1-0.747}{1-X1}) + \text{EXP}(0.718 \cdot \frac{X2-0.439}{1-X2}) + \text{EXP}(0.589 \cdot \frac{X3-0.651}{1-X3})$
C1	$X1 \cdot X2 \cdot X3 \geq 0.7$
X1	$\geq 0.747, \leq 1$
X2	$\geq 0.439, \leq 1$
X3	$\geq 0.651, \leq 1$

Gambar C.1 Input Data untuk Target Keandalan 70%

Tabel C.1 Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 70%

Solution Summary for keandalan Optimal		
06-29-2015	Decision Variable	Solution Value
1	X1	0,9258
2	X2	0,8455
3	X3	0,8964
Minimized	Objective Function	6,6816

2. Input Data untuk Target Keandalan Peralatan 80%

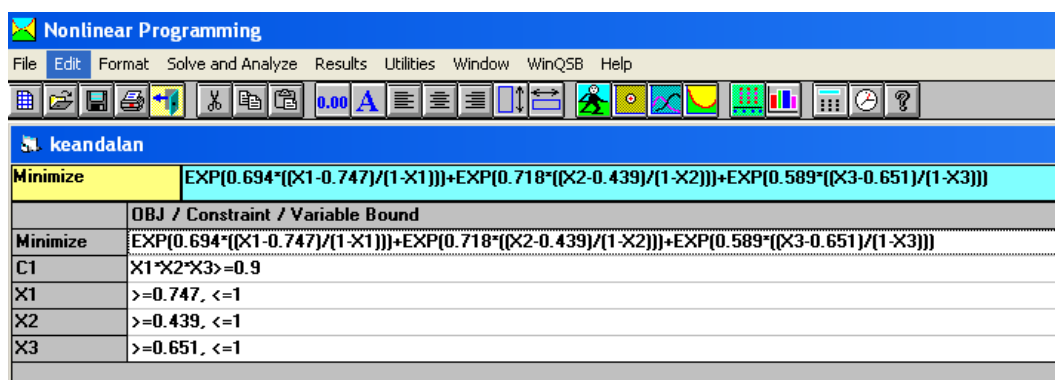
keandalan	
Minimize	$\text{EXP}(0.694 \cdot \frac{X1-0.747}{1-X1}) + \text{EXP}(0.718 \cdot \frac{X2-0.439}{1-X2}) + \text{EXP}(0.589 \cdot \frac{X3-0.651}{1-X3})$
	OBJ / Constraint / Variable Bound
Minimize	$\text{EXP}(0.694 \cdot \frac{X1-0.747}{1-X1}) + \text{EXP}(0.718 \cdot \frac{X2-0.439}{1-X2}) + \text{EXP}(0.589 \cdot \frac{X3-0.651}{1-X3})$
C1	$X1 \cdot X2 \cdot X3 \geq 0.8$
X1	$\geq 0.747, \leq 1$
X2	$\geq 0.439, \leq 1$
X3	$\geq 0.651, \leq 1$

Gambar C.2 Input Data untuk Target Keandalan 80%

Tabel C.2 Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 80%

Solution Summary for Keandalan optimal		
06-29-2015	Decision variable	Solution value
1	X1	0,9611
2	X2	0,8999
3	X3	0,9357
Minimized	Objective Function	7,9922

3. Input Data untuk Target Keandalan Peralatan 90%



Gambar C.3 Input Data untuk Target Keandalan 90%

Tabel C.2 Hasil Alokasi dan Optimasi Keandalan untuk Target Keandalan 90%

Solution Summary for Keandalan optimal		
06-29-2015	Decision variable	Solution value
1	X1	0,9789
2	X2	0,9565
3	X3	0,9668
Minimized	Objective Function	9,3574

LAMPIRAN 4

D. Laju Biaya

1. Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Sintesa Sebelum Optimasi

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

No	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (C_T), Rp./Jam
1	Pompa 1	$C_T = \left[\frac{(3.855 \times 0,439) + (1.244.677,786 \times (1 - 0,439))}{(41470,04 \times 0,439) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
2	Pompa 2	$C_T = \left[\frac{(9.942 \times 0,375) + (3.210.206,366 \times (1 - 0,375))}{(39376,8 \times 0,375) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
3	Pemanas Amoniak	$C_T = \left[\frac{(3.870 \times 0,452) + (1.249.528,706 \times (1 - 0,452))}{(48754,5 \times 0,452) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
4	Turbin	$C_T = \left[\frac{(5.365 \times 0,375) + (1.732.168,826 \times (1 - 0,375))}{(36306,6 \times 0,375) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
5	CO ₂ Compressor	$C_T = \left[\frac{(2.319 \times 0,428) + (748.700,686 \times (1 - 0,428))}{(28155,3 \times 0,428) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
6	Stripper	$C_T = \left[\frac{(9.092 \times 0,407) + (2.935.560,525 \times (1 - 0,407))}{(34987,1 \times 0,407) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
7	Karbamat Kondensat 2	$C_T = \left[\frac{(4.342 \times 0,408) + (1.401.915,909 \times (1 - 0,408))}{(43097,4 \times 0,408) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
8	Karbamat Kondensat 1	$C_T = \left[\frac{(10.224 \times 0,38) + (3.300.971,025 \times (1 - 0,38))}{(35704,8 \times 0,38) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
9	Reaktor	$C_T = \left[\frac{(5.050 \times 0,407) + (1.630.626,423 \times (1 - 0,407))}{(41473,5 \times 0,407) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
10	Scrubber	$C_T = \left[\frac{(7.450 \times 0,421) + (2.405.495,241 \times (1 - 0,421))}{(41475,9 \times 0,421) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
11	High Pressure Dekomposer	$C_T = \left[\frac{(4.370 \times 0,387) + (1.410.828,102 \times (1 - 0,387))}{(31021,1 \times 0,387) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$

2. Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Sintesa Saat $R_G = 0,7$

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

No	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (C_T), Rp./Jam
1	Pompa 1	$C_T = \left[\frac{(3.855 \times 0,983) + (1.244.677,786 \times (1 - 0,983))}{(4233,6 \times 0,983) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
2	Pompa 2	$C_T = \left[\frac{(9.942 \times 0,946) + (3.210.206,366 \times (1 - 0,946))}{(2598,8 \times 0,946) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
3	Pemanas Amoniak	$C_T = \left[\frac{(3.870 \times 0,991) + (1.249.528,706 \times (1 - 0,991))}{(4557,6 \times 0,991) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
4	Turbin	$C_T = \left[\frac{(5.365 \times 0,942) + (1.732.168,826 \times (1 - 0,942))}{(2479,2 \times 0,942) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
5	CO ₂ Compressor	$C_T = \left[\frac{(2.319 \times 0,963) + (748.700,686 \times (1 - 0,963))}{(3819,6 \times 0,963) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
6	Stripper	$C_T = \left[\frac{(9.092 \times 0,961) + (2.935.560,525 \times (1 - 0,961))}{(3285,2 \times 0,961) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
7	Karbamat Kondensat 2	$C_T = \left[\frac{(4.342 \times 0,975) + (1.401.915,909 \times (1 - 0,975))}{(2928,4 \times 0,975) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
8	Karbamat Kondensat 1	$C_T = \left[\frac{(10.224 \times 0,956) + (3.300.971,025 \times (1 - 0,956))}{(2129,0 \times 0,956) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
9	Reaktor	$C_T = \left[\frac{(5.050 \times 0,973) + (1.630.626,423 \times (1 - 0,973))}{(2929,0 \times 0,973) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
10	Scrubber	$C_T = \left[\frac{(7.450 \times 0,969) + (2.405.495,241 \times (1 - 0,969))}{(4310,2 \times 0,969) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
11	High Pressure Dekomposer	$C_T = \left[\frac{(4.370 \times 0,944) + (1.410.828,102 \times (1 - 0,944))}{(2639,0 \times 0,944) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$

3. Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Sintesa Saat $R_G = 0,8$

Tabel D.3 Laju Biaya Sub-Sub-Sub Unit Saat $R_G = 0,8$

No	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (C_T), Rp./Jam
1	Pompa 1	$C_T = \left[\frac{(3.855 \times 0,991) + (1.244.677,786 \times (1 - 0,991))}{(2891,3 \times 0,991) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
2	Pompa 2	$C_T = \left[\frac{(9.942 \times 0,972) + (3.210.206,366 \times (1 - 0,972))}{(1391,4 \times 0,972) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
3	Pemanas Amoniak	$C_T = \left[\frac{(3.870 \times 0,996) + (1.249.528,706 \times (1 - 0,996))}{(3248,4 \times 0,996) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
4	Turbin	$C_T = \left[\frac{(5.365 \times 0,963) + (1.732.168,826 \times (1 - 0,963))}{(1620,1 \times 0,963) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
5	CO ₂ Compressor	$C_T = \left[\frac{(2.319 \times 0,976) + (748.700,686 \times (1 - 0,976))}{(2875,8 \times 0,976) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
6	Stripper	$C_T = \left[\frac{(9.092 \times 0,975) + (2.935.560,525 \times (1 - 0,975))}{(2349,6 \times 0,975) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
7	Karbamat Kondensat 2	$C_T = \left[\frac{(4.342 \times 0,984) + (1.401.915,909 \times (1 - 0,984))}{(2104,4 \times 0,984) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
8	Karbamat Kondensat 1	$C_T = \left[\frac{(10.224 \times 0,971) + (3.300.971,025 \times (1 - 0,971))}{(1416,5 \times 0,971) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
9	Reaktor	$C_T = \left[\frac{(5.050 \times 0,983) + (1.630.626,423 \times (1 - 0,983))}{(2031,0 \times 0,983) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
10	Scrubber	$C_T = \left[\frac{(7.450 \times 0,981) + (2.405.495,241 \times (1 - 0,981))}{(3102,7 \times 0,981) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
11	High Pressure Dekomposer	$C_T = \left[\frac{(4.370 \times 0,965) + (1.410.828,102 \times (1 - 0,965))}{(1718,0 \times 0,965) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$

4. Laju Biaya Komponen Penyusun Sub Unit Sintesa Saat $R_G = 0,9$

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

No	Sub-Sub-Sub Unit	Laju Biaya Total (C_T), Rp./Jam
1	Pompa 1	$C_T = \left[\frac{(3.855 \times 0,995) + (1.244.677,786 \times (1 - 0,995))}{(2016,9 \times 0,995) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
2	Pompa 2	$C_T = \left[\frac{(9.942 \times 0,985) + (3.210.206,366 \times (1 - 0,985))}{(774,3 \times 0,985) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
3	Pemanas Amoniak	$C_T = \left[\frac{(3.870 \times 0,998) + (1.249.528,706 \times (1 - 0,998))}{(2358,1 \times 0,998) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
4	Turbin	$C_T = \left[\frac{(5.365 \times 0,984) + (1.732.168,826 \times (1 - 0,984))}{(722,2 \times 0,984) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
5	CO ₂ Compressor	$C_T = \left[\frac{(2.319 \times 0,989) + (748.700,686 \times (1 - 0,989))}{(1674,0 \times 0,989) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
6	Stripper	$C_T = \left[\frac{(9.092 \times 0,989) + (2.935.560,525 \times (1 - 0,989))}{(1240,4 \times 0,989) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
7	Karbamat Kondensat 2	$C_T = \left[\frac{(4.342 \times 0,993) + (1.401.915,909 \times (1 - 0,993))}{(1119,1 \times 0,993) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
8	Karbamat Kondensat 1	$C_T = \left[\frac{(10.224 \times 0,988) + (3.300.971,025 \times (1 - 0,988))}{(652,1 \times 0,988) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
9	Reaktor	$C_T = \left[\frac{(5.050 \times 0,991) + (1.630.626,423 \times (1 - 0,991))}{(1225,7 \times 0,991) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
10	Scrubber	$C_T = \left[\frac{(7.450 \times 0,990) + (2.405.495,241 \times (1 - 0,990))}{(1972,2 \times 0,990) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$
11	High Pressure Dekomposer	$C_T = \left[\frac{(4.370 \times 0,982) + (1.410.828,102 \times (1 - 0,982))}{(953,4 \times 0,982) + \int_0^t tf(t)dt} \right]$

BIOGRAFI PENULIS



Yulia Rizki Nurmala lahir di Bondowoso pada tanggal 30 Juli 1991. Penulis tumbuh besar di pulau Kalimantan, akan tetapi penulis bercita-cita untuk menempuh pendidikan S1 di pulau Jawa. Oleh karena itu penulis memutuskan untuk hijrah ke pulau jawa pada tahun 2009. Penulis menempuh pendidikan S1 Teknik Mesin di Institut Teknologi Nasional Malang pada tahun 2009. Setelah lulus S1, penulis melanjutkan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Program Studi Magister Manajemen Teknologi Bidang Keahlian Manajemen Industri pada tahun 2013. Melalui penelitian ini, maka penulis telah menyelesaikan studi di Magister Manajemen Teknologi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.