

**PERANCANGAN KEBIJAKAN PERAWATAN MESIN AIR TURBO
COMPRESSOR (ATC) DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE* (RCM) II DI PT. POLYCHEM INDONESIA TBK,
MERAK**

SKRIPSI

TEKNIK INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SEPTIAWAN PAMBUDI PRATAMA

NIM. 125060701111002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“PERANCANGAN KEBIJAKAN PERAWATAN MESIN AIR TURBO COMPRESSOR (ATC) DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) II DI PT. POLYCHEM INDONESIA, MERAK”** dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai proses untuk memperoleh gelar sarjana Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Selama penyusunan tugas akhir ini, banyak kesulitan dan rintangan yang dihadapi oleh penulis namun berkat dukungan serta bantuan dari semua pihak, tugas akhir ini akhirnya dapat diselesaikan. Oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala atas anugrah-Nya dan Nabi Muhammad SAW atas semua tauladannya.
2. Orang tua tercinta, Bapak Mustolah dan Ibu Sukirah yang telah merawat, mendidik, membimbing menyayangi baik secara rohani maupun jasmani, serat selalu mendukung baik moril dan materiil.
3. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri dan Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri yang telah memberikan kebijakan, masukan, arahan serta ilmu kepada penulis.
4. Bapak Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D dan Ibu Dwi Hadi Sulistyarini ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang dengan sabar meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Ibu Lely Riawaty ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan terhadap kegiatan akademik maupun kegiatan non-akademik
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan teknik Industri yang telah dengan ikhlas memberikan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
7. PT. Polychem Indonesia Tbk yang telah mengijinkan penulis sebagai studi kasus untuk skripsi.

8. Teman-teman saya yaitu Dika, Akbar, Bayu, Dipo, Hendro, Rizky, Saiful, Teddy, Faisal, Fakhri, Lutfi, Rhendy, Sindu, Hanif, dan Iwan yang banyak memberikan dukungan dan pengalaman susah maupun senang.
9. Rekan saya Panca, Fa'i, Aji, Ade, Rina, Dyah, Idha, Vivi, dan Mu'tifah serta adik-adik anggota PLAT R MALANG yang senantiasa memberikan dukungan dan hiburan dalam penyelesaian skripsi.
10. Seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Industri angkatan 2012 kebanggaan saya, STEEL yang telah membantu dan memberi motivasi dalam menyelesaikan skripsi.
11. Mbak Us yang membantu dalam pengerjaan format dan perlengkapan pembuatan skripsi.
12. Sahabat dan seluruh pihak yang belum disebutkan oleh penulis atas keterlibatan sukarela dan mendukung sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi materi, bahasa ataupun cara penyajiannya. Untuk itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi semakin baiknya tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan memberikan inspirasi bagi yang mengembangkannya.

Malang, Mei 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN.....	xiii
SUMMARY	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	6
1.3 Rumusan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Batasan Penelitian	7
1.7 Asumsi Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Penelitian Terdahulu.....	9
2.2 Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>).....	10
2.3 Tujuan Perawatan	12
2.4 <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) II.....	13
2.4.1 <i>System Function</i> dan <i>Function Failure</i>	16
2.4.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	16
2.4.3 <i>Failure Consequence</i>	19
2.4.4 <i>Proactive Task and Initial Interval</i>	19
2.4.5 <i>Default action</i>	20
2.5 Keandalan.....	20
2.5.1 Fungsi Keandalan	20
2.5.2 Laju Kerusakan.....	21
2.6 Penentuan Jenis Distribusi.....	22
2.6.1 Distribusi Eksponensial	22
2.6.2 Distribusi Weibull.....	23
2.6.3 Distribusi Normal.....	23
2.6.4 Distribusi Lognormal	23
2.7 <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF)	24
2.8 <i>Mean Time to Repair</i> (MTTR)	24
2.9 Model Matematis Perawatan	24
2.10 <i>Availability Rate</i>	25
2.11 <i>Reliability Block Diagram</i>	25
2.12 Pengendalian Persediaan Dengan Metode Q	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Metode Penelitian.....	27

3.2 Metode Pengumpulan Data	27
3.3 Tempat Dan Waktu Penelitian	28
3.4 Prosedur Penelitian.....	28
3.5 Diagram Alir Penelitian	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 33

4.1 Gambaran Umum Objek Penelitian	33
4.1.1 Profil Perusahaan	33
4.1.2 Kebijakan Mutu	34
4.1.3 Lokasi Perusahaan	35
4.1.4 Struktur Organisasi	35
4.1.5 Tujuan dan Fungsi Instansi	36
4.1.6 Sistem Kerja	36
4.1.7 <i>Air Separation Unit Plant II</i>	37
4.1.7.1 Definisi <i>Air Separation Unit Plant II</i>	37
4.1.7.2 Deskripsi <i>Air Separation Unit Plant II</i>	39
4.1.7.3 Proses Produksi <i>Air Separation Unit Plant II</i>	46
4.1.8 Deskripsi Objek yang di Amati.....	48
4.2 Pengumpulan Data	50
4.2.1 Pengumpulan Data Primer	50
4.2.2 Pengumpulan Data Sekunder.....	51
4.3 Pengolahan Data.....	52
4.3.1 <i>Functional Block Diagram</i>	52
4.3.2 Identifikasi <i>System Function</i> dan <i>Functional Failure</i>	54
4.3.3 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	55
4.3.3.1 Perhitungan Nilai <i>Severity</i>	56
4.3.3.2 Perhitungan Nilai <i>Occurance</i>	56
4.3.3.3 Perhitungan Nilai <i>Detetction</i>	57
4.3.3.4 Perhitungan Nilai <i>RPN</i>	58
4.3.4 Penentuan Distribusi, Nilai <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i> , dan <i>Mean Time to Repair (MTTR)</i>	61
4.3.4.1 Penentuan Distribusi <i>Time To Failure (TTF)</i> Komponen Kritis Mesin ATC	62
4.3.4.2 Perhitungan <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i> untuk <i>Time to Failure (TTF)</i> Komponen Kritis Mesin ATC	65
4.3.4.3 Penentuan Distribusi <i>Time To Repair (TTR)</i> Komponen Kritis Mesin ATC	67
4.3.4.4 Perhitungan <i>Mean Time to Repair (MTTR)</i> untuk <i>Time to Repair (TTR)</i> Komponen Kritis Mesin ATC	69
4.3.5 Perhitungan Total Biaya Perawatan.....	70
4.3.6 Perhitungan Keandalan Dari Komponen Kritis Mesin ATC	75
4.3.7 Perhitungan Keandalan Mesin ATC	76
4.3.8 Penentuan <i>Availability Rate</i>	81
4.3.9 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet</i>	82
4.3.10 Penentuan Jumlah Persediaan Optimal Komponen Kritis	86
4.4 Analisis dan Pembahasan.....	90
4.4.1 Analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	90
4.4.2 Analisis Penentuan Distribusi Data <i>TTF</i> dan <i>TTR</i> Komponen Kritis Mesin ATC	92
4.4.3 Analisis Perhitungan <i>Mean Time to Failure (MTTF)</i> untuk <i>Time to Failure</i>	

(TTF) Komponen Kritis Mesin ATC	93
4.4.4 Analisis Perhitungan <i>Mean Time to Repair</i> (MTTr) untuk <i>Time to Repair</i> (TTR) Komponen Kritis Mesin ATC	93
4.4.5 Analisis Perhitungan Total Biaya Perawatan dan Interval Perawatan Optimal..	94
4.4.6 Analisis <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) II	95
4.4.7 Analisis Penentuan Persediaan Optimal Komponen Kritis Mesin ATC	97

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	99
5.2 Saran.....	100

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1	<i>Downtime</i> Mesin Air Turbo Compressor (ATC) Periode Oktober 2015 – September 2016	4
Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu	10
Tabel 2.2	<i>RCM II Decision Worksheet</i>	14
Tabel 2.3	<i>Failure Consequences</i>	15
Tabel 2.4	<i>Proactive Task and Default Action</i>	15
Tabel 2.5	<i>Rating Severity</i>	17
Tabel 2.6	<i>Rating Occurance</i>	17
Tabel 2.7	<i>Rating Detection</i>	18
Tabel 2.8	<i>Functional Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	18
Tabel 4.1	Prosentase Komponen Udara Air Separation Unit	38
Tabel 4.2	<i>Downtime</i> Komponen Mesin ATC	51
Tabel 4.3	<i>System Function</i> dan <i>Functional Failure</i> Komponen Kritis Mesin ATC	54
Tabel 4.4	<i>Failure Mode</i> dan <i>Failure Effect</i> Komponen Kritis Mesin ATC	55
Tabel 4.5	Nilai <i>Severity</i> Mesin ATC	56
Tabel 4.6	Nilai <i>Occurence</i> Mesin ATC	56
Tabel 4.7	Nilai <i>Detection</i> Mesin ATC	57
Tabel 4.8	Perhitungan Nilai RPN Komponen Kritis Mesin ATC	58
Tabel 4.9	<i>RCM II Information Worksheet</i>	60
Tabel 4.10	Data TTF Komponen Kritis Mesin ATC	62
Tabel 4.11	Data TTR Komponen Kritis Mesin ATC	62
Tabel 4.12	Uji Distribusi Data TTF Komponen Kritis Mesin ATC	65
Tabel 4.13	MTTF Komponen Kritis Pada Mesin ATC	66
Tabel 4.14	Uji Distribusi Data TTR Komponen Kritis Mesin ATC	68
Tabel 4.15	MTTR Komponen Kritis Pada Mesin ATC	69
Tabel 4.16	Biaya Tenaga Kerja Perawatan	70
Tabel 4.17	Harga Komponen Mesin ATC	71
Tabel 4.18	Hasil Perhitungan Biaya Perbaikan <i>Failure</i> Komponen Kritis Mesin ATC	72
Tabel 4.19	Interval Perawatan Optimal	73
Tabel 4.20	Perhitungan Interval Waktu Perawatan dan Total Biaya Perawatan	74
Tabel 4.21	Perbandingan Keandalan Komponen Kritis Mesin ATC	75
Tabel 4.28	Perbandingan Distribusi Perhitungan Manual dengan <i>Software</i>	72
Tabel 4.22	Rekap Perhitungan <i>Availability Rate</i> Komponen <i>Low Speed Pinion Bearing</i> ..	82
Tabel 4.23	<i>RCM II Desicion Wokrsheet</i>	84
Tabel 4.24	Rekapitulasi Nilai Q* dan ROP	90
Tabel 4.25	Perbandingan Total Biaya Perawatan dan Keandalan	94

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	<i>Air Turbo Compressor</i>	3
Gambar 2.1	Metode Q	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	Struktur Organisasi PT. Polychem Indonesia Tbk.....	35
Gambar 4.2	<i>Air Separation Unit Plant II</i>	37
Gambar 4.3	Diagram Proses <i>Air Separation Unit</i>	40
Gambar 4.4	Komponen <i>Air Turbo Compressor (ATC)</i>	49
Gambar 4.5	<i>Downtime</i> Komponen Mesin ATC	52
Gambar 4.6	<i>Functional Block Diagram</i> Mesin ATC	53
Gambar 4.7	<i>Input Data</i> Komponen Pada <i>Worksheet</i> Minitab 16.....	62
Gambar 4.8	Pengolahan Data Komponen Menggunakan Minitab 16	63
Gambar 4.9	<i>Dialog Box</i> <i>Distribution ID Plot</i> pada <i>Software</i> Minitab 16.....	63
Gambar 4.10	Pengujian Distribusi Data TTF Komponen <i>Low Speed Pinion Bearing</i>	64
Gambar 4.11	Penentuan Parameter TTF Komponen <i>Low Speed Pinion Bearing</i>	65
Gambar 4.12	Pengujian Distribusi Data TTR Komponen <i>Low Speed Pinion Bearing</i>	67
Gambar 4.13	Penentuan Parameter TTR Komponen <i>Low Speed Pinion Bearing</i>	68
Gambar 4.14	Keandalan Komponen Pendukung <i>Shaft Stage 1 & 2</i> Berdasarkan R(MTTF).....	76
Gambar 4.15	Keandalan Komponen Pendukung <i>Shaft Stage 1 & 2</i> Berdasarkan R(TM)	76
Gambar 4.16	Keandalan Komponen Pendukung <i>Shaft Stage 3</i> Berdasarkan R(MTTF)..	77
Gambar 4.17	Keandalan Komponen Pendukung <i>Shaft Stage 3</i> Berdasarkan R(TM)	77
Gambar 4.18	Keandalan <i>Block Compressor</i> Berdasarkan R(MTTF).....	77
Gambar 4.19	Keandalan <i>Block Compressor</i> Berdasarkan R(TM)	78
Gambar 4.20	Keandalan Komponen Pendukung <i>Shaft Gear</i> Berdasarkan R(MTTF)	79
Gambar 4.21	Keandalan Komponen Pendukung <i>Shaft Gear</i> Berdasarkan R(TM).....	79
Gambar 4.22	Keandalan <i>Block Transmisi</i> Berdasarkan R(MTTF)	79
Gambar 4.23	Keandalan <i>Block Transmisi</i> Berdasarkan R(TM)	80
Gambar 4.24	Keandalan <i>Block ATC</i> Berdasarkan R(MTTF)	80
Gambar 4.25	Keandalan <i>Block ATC</i> Berdasarkan R(TM).....	80
Gambar 4.26	Keandalan Sistem Berdasarkan R(TM).....	81

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data <i>Time To Failure</i> dan <i>Time To Repair</i> Komponen Kritis Mesin ATC	103
Lampiran 2.	Penentuan Distribusi <i>Time To Failure</i> (TTF) Komponen Kritis Mesin ATC.....	106
Lampiran 3.	Perhitungan <i>Mean Time to Failure</i> (MTTF) untuk <i>Time to Failure</i> (TTF) Komponen Kritis Mesin ATC	113
Lampiran 4.	Penentuan Distribusi <i>Time To Repair</i> (TTR) Komponen Kritis Mesin ATC.....	115
Lampiran 5.	Perhitungan <i>Mean Time to Repair</i> (MTTR) untuk <i>Time to Repair</i> (TTR) Komponen Kritis Mesin ATC	122
Lampiran 6.	Perhitungan <i>Failure Cost</i> dan <i>Preventive Cost</i> Komponen Kritis Mesin ATC.....	124
Lampiran 7.	Perhitungan Interval Perawatan Optimal Komponen Kritis Mesin ATC .	126
Lampiran 8.	Perhitungan Total Biaya Perawatan Optimal Komponen Kritis Mesin ATC.....	128
Lampiran 9.	Perhitungan Keandalan Interval Perawatan Optimal Komponen Kritis Mesin ATC.....	131
Lampiran 10.	Rekap Perhitungan <i>Availability Rate</i> Komponen Kritis Mesin ATC	134



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



RINGKASAN

Septiawan Pambudi Pratama, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Maret 2017, *Perancangan Kebijakan Perawatan Mesin Air Turbo Compressor (ATC) Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II* (Studi Kasus PT. Polychem Indonesia Tbk., Merak), Dosen Pembimbing: Oyong Novareza dan Dwi Hadi Sulistyarini.

Mesin *Air Turbo Compressor (ATC)* merupakan salah satu mesin yang beroperasi pada *Air Separation Unit Plant II* PT. Polychem Indonesia Tbk. Sampai saat ini, mesin ATC masih mengalami *downtime* dengan rata-rata *downtime* sebesar 16,5% tiap bulan sehingga mempengaruhi nilai keandalan mesin. *Downtime* mesin ATC terjadi akibat jarang dilakukan perawatan pada komponen mesin ATC. PT. Polychem Indonesia Tbk menggunakan jenis perawatan *corrective* yakni hanya melakukan perawatan terhadap komponen yang mengalami kerusakan.

Mesin ATC memerlukan perbaikan perawatan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* untuk meminimalisir kerusakan mesin saat proses produksi berlangsung. Metode ini juga dapat menentukan prioritas penanganan komponen, penentuan waktu interval perawatan mesin dengan tepat, menurunkan biaya perawatan, meningkatkan nilai keandalan komponen maupun mesin itu sendiri serta penentuan jenis perawatan mesin dengan tepat. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* digunakan untuk mengidentifikasi dan memprediksi potensi kegagalan yang mungkin terjadi pada tiap komponen mesin. Penentuan jenis distribusi dan parameter distribusi terpilih membantu untuk mendapatkan nilai *Mean Time to Failure (MTTF)* dan *Mean Time to Repair (MTTR)* dari data kerusakan komponen mesin. Perhitungan total biaya didapatkan dari akumulasi biaya tenaga kerja, biaya kerugian produksi, biaya penggantian komponen, serta lama waktu yang dibutuhkan dalam perbaikan setiap komponen sehingga menghasilkan total biaya terendah dalam perawatan mesin dan juga mendapatkan waktu perawatan interval (TM) yang tepat untuk memudahkan teknisi melakukan perawatan mesin. Perhitungan keandalan mesin dilakukan dengan membandingkan antara nilai keandalan mesin berdasarkan waktu MTTF dengan waktu TM mesin yang bertujuan untuk mengetahui peningkatan nilai keandalan setelah dilakukan penelitian ini. Jenis perawatan yang tepat didapatkan dari RCM II *decision worksheet* dengan masing-masing komponen memiliki perlakuan perawatan yang berbeda. Perhitungan persediaan komponen mesin dapat ditentukan dengan menggunakan metode Q berdasarkan interval waktu perawatan (TM) yang dihasilkan.

Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa terdapat 8 komponen kritis mesin serta waktu interval perawatan (TM) dan biaya perawatan optimalnya yaitu *low speed pinion bearing* tiap 644,37 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 5.738/jam, *oil seal stage 1* tiap 796,93 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 3.489/jam, *gas seal stage 1* tiap 1140,09 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 3.591/jam, *impeller stage 1* tiap 1251,35 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 5.330/jam, *high speed pinion bearing* tiap 732,26 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 5.585/jam, *gas seal stage 3* tiap 1300,48 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 2.808/jam, *oil seal stage 3* tiap 1377,49 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 2.226/jam, dan *thrust bearing* tiap 759,99 jam dengan biaya perawatan sebesar Rp 5.979/jam. Persediaan minimum komponen yaitu 7 unit *journal bearing (low speed dan high speed pinion)*, 4 unit *oil seal*, 4 unit *gas seal*, 2 unit *impeller stage 1*, dan 2 unit *thrust bearing*.

Kata kunci: RCM II, Maintenance, TTF, TTR, Failure Mode and Effect Analysis.



Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

Septiawan Pambudi Pratama, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, March 2017, *Design of Maintenance Policy Air Turbo Compressor (ATC) Machine Using Reliability Centered Maintenance (RCM) II Method* (Case Studies PT. Polychem Indonesia Tbk., Merak), Supervisors: Oyong Novareza and Dwi Hadi Sulistyarini.

Air Turbo Compressor (ATC) machine is the one all of machines that operate on the Air Separation Unit at PT. Polychem Indonesia Tbk. Till recently, ATC machine still downtime with average value 16,5% that affects on machines reliability value. ATC machine downtime occurs due to uncommon maintain on components of the machine. PT. Polychem Indonesia Tbk use corrective maintenance that just doing maintain for components that have been damage.

ATC machines need maintain method using Reliability Centered Maintenance (RCM) II to minimize damage to the machine when the production process takes place. This method can also sepcify a priority handling of components, timing maintainance intervals correctly, cheapest maintenance costs, increase the value of component realibility nor the machine itself as well as the determination of the type of maintain the machine correctly. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is used to identify and predict potetntial failures that may occur at each of the components machine. Determination of the types of the parameters of the selected distribution and ditribusi help to get the value of Mean Time to Failure (MTTF) and Mean Time to Repair (MTTR) of data damage machine components. Total cost calculation derived from the accumulated labor costs, cost of production losses, cost of replacing the components, as well as the length of time required in the repair of any component so that it produces the cheapest total cost in the maintain of machine and also get the proper interval time maintainance (TM) to facilitate the technicians doing maintenace. Machines reliability calculation do by comparing the reliability value based on MTTF and TM to find out improvement the reliability value. The right kind maintain obtained from RCM II decision worksheet with each component has different kind maintains. Inventory calculation machine components is determined using Q method of based on time interval time maintainance (TM) generated.

Results of this research obtained that there are 8 critical components of the machine as well as the interval time maintainance (TM) and its optimal cost as follow, low speed pinion bearing each 644,37 hours with maintenance costs Rp 5.738/hour, oil seal stage 1 each 796,93 hours with maintenance costs Rp 3.489/hour, gas seal stage 1 each 1140,09 hours with maintenance costs Rp 3.591/hour, impeller stage 1 each 1251,35 hours with maintenance costs Rp 5.330/hour, high speed pinion bearing each 732,26 hours with maintenance costs Rp 5.585/hour, gas seal stage 3 each 1300,48 hours with maintenance costs Rp 2.808/hour, oil seal stage 3 each 1377,49 hours with maintenance costs Rp 2.226/hour, dan thrust bearing each 759,99 hours with maintenance costs Rp 5.979/hour. Minimum inventory component that is 7 units of journal bearing (low speed and high speed pinion), 4 units of oil seal, 4 units of the gas seal, 2 units of impeller stage 1, and 2 units of thrust bearing.

Keywords: RCM II, Maintenance, TTF, TTR, Failure Mode and Effect Analysis

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB I PENDAHULUAN

Dalam melaksanakan suatu penelitian diperlukan hal-hal penting yang digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaannya. Pada bab ini akan menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan manfaat yang diperoleh dari pelaksanaan penelitian.

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan semakin meningkatnya persaingan dalam bidang industri manufaktur, maka perusahaan harus melakukan perbaikan secara berkala baik pada mesin produksi maupun sistem operasional didalamnya untuk mendukung kelancaran proses produksi. Meningkatkan kinerja perusahaan merupakan faktor penting dari suatu perusahaan, pada prakteknya sering kali usaha perbaikan yang dilakukan hanya pemborosan, karena tidak menyentuh akar permasalahan yang sesungguhnya. Hal ini terjadi karena perusahaan tidak mendapatkan secara jelas permasalahan yang terjadi dan faktor-faktor yang menyebabkannya. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah sistem manajemen perawatan dan produksi di dalam perusahaan.

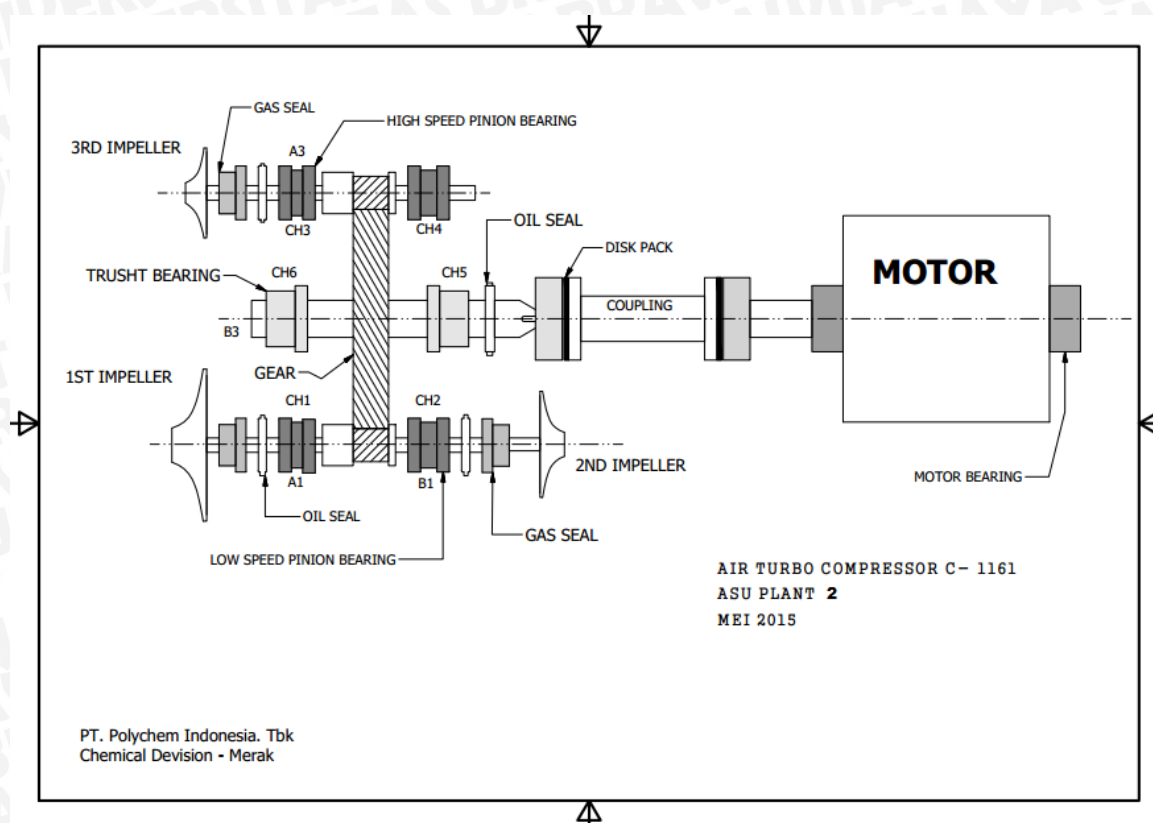
Dalam usaha untuk menggunakan fasilitas produksi agar kontinuitas produksi dapat terjamin, maka direncanakan kegiatan perawatan yang dapat menunjang keandalan suatu mesin. Keandalan mesin dan fasilitas produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi serta produk yang dihasilkan. Keandalan ini dapat membantu memperkirakan peluang suatu komponen mesin dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Keandalan dari suatu mesin dapat diwujudkan melalui perawatan mesin optimal. Jika perusahaan melakukan perawatan mesin pada saat sebelum terjadinya kerusakan atau disebut dengan pemeliharaan pencegahan maka biaya yang dihasilkan akan lebih kecil dari penerapan perawatan sebelumnya. Hal ini dikarenakan pemeliharaan pencegahan hanya memerlukan waktu yang sedikit jika dibanding dengan perawatan ketika kerusakan sudah terjadi.

Perawatan merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas pabrik dan mengadakan perbaikan atau pergantian yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan (Assauri, 2004). Keandalan mesin dan fasilitas produksi merupakan salah

satu aspek yang dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi serta produk yang dihasilkan sehingga peralatan dan mesin produksi perlu dijaga dan ditingkatkan keandalannya guna mendukung kelancaran proses produksi. Produksi dan operasi merupakan suatu kegiatan yang mentransformasikan masukan (*input*) menjadi hasil keluaran (*output*) tercakup semua kegiatan yang menghasilkan barang dan jasa serta kegiatan lain yang mendukung atau menunjang usaha untuk menghasilkan produk tersebut (Assauri, 2004).

PT. Polychem Indonesia Tbk. merupakan perusahaan manufaktur satu-satunya di Indonesia yang memproduksi *Ethylene Glycol*, *Ethylene Oxide* dan *Ethoxylate*. Bahan baku yang digunakan pabrik ini adalah *Ethylene* dan Oksigen. *Ethylene* dibeli dalam *fase liquid* dan digunakan dalam *fase gas* dengan menggunakan vaporizer, sedangkan oksigen diperoleh dengan cara destilasi udara. Hampir 99,05% udara terdiri dari oksigen dan nitrogen. Komposisi ini hampir sama di setiap tempat di dunia.

Setelah dilakukan observasi dan wawancara kepada perusahaan didapatkan informasi bahwa sistem produksi yang digunakan adalah *continuous production* dengan *flow process*. Diketahui bahwa salah satu unit proses yang berada pada perusahaan ini, yaitu pada *Air Separation Unit* di *Plant II* sering mengalami *downtime* terutama pada mesin *Air Turbo Compressor* (ATC). Hal ini disebabkan oleh proses produksi yang berjalan secara kontinu yang menyebabkan pemakaian mesin secara terus-menerus dan mengakibatkan menurunnya kemampuan mesin atau keandalan mesin dalam kegiatan produksi. Sehingga harus dilakukan prosedur *Engine Overhaul* terhadap mesin ATC. Prosedur tersebut memakan waktu yang cukup lama. *Engine Overhaul* merupakan suatu prosedur teroganisir yang dilakukan untuk mengembalikan performa *engine* ke nilai spesifikasi standar pabrik dan memberikan usia kedua dengan merekondisi komponen yang aus atau rusak mengacu pada pemakaian ulang komponen menurut standar pabrik (Krismanto, 2008). Komponen yang terdapat pada mesin ATC dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Air Turbo Compressor (ATC)
Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk

Mesin Air Turbo Compressor (ATC) merupakan mesin yang digunakan untuk meningkatkan suhu udara agar mendekati titik kritisnya dengan cara menaikkan tekanan udara tersebut. Kompresor ini merupakan jenis kompresor sentrifugal yang memiliki tiga stage dan didukung oleh dua buah *intercooler*. Masing – masing *stage* memiliki beberapa komponen antara lain *seals*, *impeller*, dan *bearing* yang dihubungkan oleh *shaft*. Komponen-komponen tersebut digerakkan oleh *bull gear* dan *coupling* yang mengubah daya dari *motor*.

Downtime dari Air Separation Unit yang disebabkan oleh mesin ATC terjadi akibat perawatan mesin yang tidak terjadwal, *oil consumption* yang tidak tepat, meningkatnya *engine noise* dan *engine vibration* saat mesin dijalankan. Hal tersebut dapat mengakibatkan mesin berhenti dalam jangka waktu yang cukup lama dan mengharuskan penghentian mesin ATC untuk dilakukan perbaikan atau perawatan. Hal ini yang mengakibatkan seringnya *downtime* pada mesin ATC.

Beberapa hal yang ditimbulkan akibat mesin ATC *plant II* yang tidak berfungsi yaitu :

1. Menumpuknya kapasitas produksi pada *Plant I* imbas dari perbaikan mesin ATC di Air Separation Unit *Plant II*.

2. Penambahan jam kerja pekerja diluar jadwal yang telah ditentukan sehingga mengakibatkan meningkatnya biaya tenaga kerja.
3. Proses produksi yang terhambat saat terjadi perbaikan mesin karena *Air Separation Unit Plant II* tidak dapat melakukan operasi sebagaimana mestinya.

Data rata-rata *downtime* mesin *Air Turbo Compressor* (ATC) periode Oktober 2015 – September 2016 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1

Downtime Mesin *Air Turbo Compressor* (ATC) Periode Oktober 2015 – September 2016

Periode	Avaliable Time (Jam)	Downtime Air Turbo Compressor (Jam)	Persentase Downtime (%)
Oktober 2015	416	63,44	15,25%
November 2015	416	64,75	16,86%
Desember 2015	416	71,52	17,19%
Januari 2016	416	56,18	13,50%
Februari 2016	384	75,91	18,25%
Maret 2016	416	75,47	18,14%
April 2016	416	74,29	17,86%
Mei 2016	416	72,83	17,51%
Juni 2016	416	75,28	18,10%
Juli 2016	416	54,15	13,02%
Agustus 2016	416	56,64	13,62%
September 2016	416	60,54	14,55%

Sumber: PT. Polychem Indonesia Tbk (2016)

Frekuensi *downtime* yang tinggi seperti pada Tabel 1.1 tidak hanya disebabkan tingkat utilitas mesin yang tinggi. Faktor keandalan mesin yang mulai berkurang dan sistem perawatan yang kurang optimal juga dapat berpengaruh pada hal tersebut. Sedangkan sistem perawatan yang dilakukan pada mesin ATC selama ini menggunakan sistem *corrective maintenance*. Sistem perawatan saat ini juga kurang memperhatikan faktor keandalan (*reliability*) dari mesin produksi sehingga ketika terjadi kerusakan, pihak perusahaan hanya mengganti komponen yang rusak tanpa memperhatikan keandalan komponen pengganti. Faktor kebersihan mesin juga mempengaruhi kinerja mesin ATC dan ketahanan komponen kritis didalamnya. Selain itu, sistem perawatan saat ini juga berimbas pada pihak *warehouse* yang kesulitan menentukan ketersediaan suku sadang mesin ATC. Sehingga perbaikan mesin ATC hanya bersifat sementara karena tidak tersedianya suku cadang dan perbaikan tersebut hanya bertujuan untuk mempertahankan kelancaran proses produksi. Hal ini akan mengakibatkan mesin sering berhenti dan menyebabkan terjadinya *downtime*. Masalah tersebut tentunya akan menimbulkan kerugian bagi pihak perusahaan

PT. Polychem Indonesia Tbk. dalam segi waktu dan biaya yang dikarenakan terhambatnya proses produksi pada *Air Separation Unit Plant II*. Sehingga diperlukan perencanaan waktu biaya yang optimal pada aktivitas perawatan mesin ATC untuk meminimalisir kerugian tersebut.

Berdasarkan gambaran permasalahan diatas, peneliti menggunakan metode penyelesaian *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk melakukan perencanaan *maintenance* mesin ATC pada *Air Separation Unit Plant II* di PT. Polychem Indonesia Tbk. yang paling berpotensi mengalami *downtime* tinggi saat proses produksi berlangsung. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah pendekatan yang efektif untuk pengembangan program *Preventive Maintenance* dalam meminimalkan kegagalan peralatan dan menyediakan *plan* di industri dengan alat-alat yang efektif dan kapasitas optimal untuk memenuhi permintaan pelanggan. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan landasan dasar untuk perawatan fisik dan suatu teknik yang dipakai untuk mengembangkan perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) yang terjadwal (Ben-Daya, 2000). Hal ini didasarkan pada prinsip bahwa keandalan dari peralatan dan struktur dari kinerja yang akan dicapai merupakan fungsi dari perancangan dan kualitas pembentukan perawatan pencegahan yang efektif untuk menjamin terlaksananya desain keandalan dari peralatan (Moubray, 1997).

Reliability Centered Maintenance II (RCM II) merupakan serangkaian proses untuk menentukan apa yang harus dilakukan dalam rangka memastikan bahwa aset-aset fisik dapat berjalan dengan baik dalam menjalankan fungsi yang dikehendaki oleh perusahaan dengan menambahkan *safety* dan *environmental consequences*. Keuntungan metode RCM adalah meminimasi peluang kegagalan mesin secara mendadak, memfokuskan kegiatan perawatan pada komponen-komponen kritis, dan meningkatkan keandalan komponen. Selain itu dampak penerapan RCM yaitu terjadi peningkatan keandalan dan penurunan total biaya perawatan untuk semua komponen-komponen kritis. Dalam hal ini interval perawatan untuk seluruh komponen kritis dapat dijadikan kebijakan perawatan yang optimal. Untuk analisis tersebut dibutuhkan data berupa lamanya *downtime* mesin atau komponen, interval waktu antar kegagalan komponen, waktu perbaikan komponen, dan biaya perawatan komponen yang mengalami kerusakan.

Dengan menggunakan metode tersebut, diharapkan akan mampu menghasilkan sebuah interval perawatan untuk mesin ATC, penentuan biaya optimal, serta jenis perawatan yang efektif pada mesin ATC di PT. Polychem Indonesia Tbk. Dengan demikian PT. Polychem

Indonesia Tbk. dapat dengan mudah melakukan perawatan terhadap mesin ATC agar tidak mengalami kerusakan pada saat produksi berlangsung.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat diidentifikasi permasalahan yang terjadi pada PT. Polychem Indonesia Tbk. sebagai berikut.

1. Sistem perawatan saat ini kurang memperhatikan keandalan dari komponen mesin sehingga mengakibatkan kerusakan pada komponen yang berpengaruh pada kegagalan sistem mesin ATC.
2. Tidak terjadwalnya perawatan mesin yang berimbas pada pihak *warehouse* yang kesulitan menentukan ketersediaan suku cadang mesin ATC, sehingga perawatan mesin hanya bersifat sementara untuk mempertahankan kelancaran proses produksi.
3. Belum menemukan perencanaan biaya optimal untuk melakukan aktivitas perawatan mesin ATC.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dapat dilakukan berdasarkan identifikasi masalah yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut ini rumusan masalah yang terjadi pada PT. Polychem Indonesia Tbk.

1. Apa sajakah komponen kritis mesin yang mempengaruhi kegagalan sistem kerja mesin ATC?
2. Bagaimana interval perawatan dan jumlah persediaan suku cadang yang optimal untuk mendukung perawatan mesin ATC?
3. Bagaimana perencanaan biaya perawatan berdasarkan interval perawatan yang sesuai pada mesin ATC?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui komponen kritis mesin yang berpengaruh pada kegagalan sistem mesin ATC.
2. Menentukan interval perawatan yang efektif dan persediaan suku cadang optimal untuk mesin ATC.
3. Mengetahui perencanaan biaya perawatan berdasarkan interval perawatan yang sesuai pada mesin ATC.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. PT. Polychem Indonesia Tbk. dapat mengetahui komponen kritis mesin yang berpengaruh pada kinerja mesin ATC pada *Air Separation Unit Plant II*.
2. PT. Polychem Indonesia Tbk. dapat melakukan perawatan mesin ATC pada *Air Separation Unit Plant II* dengan jadwal yang konsisten.
3. PT. Polychem Indonesia Tbk. dapat mengetahui perencanaan biaya perawatan berdasarkan interval perawatan yang sesuai pada mesin ATC pada *Air Separation Unit Plant II*.

1.6 Batasan Penelitian

Untuk memfokuskan permasalahan yang dibahas tentang penelitian ini dan memudahkan dalam mencapai tujuan penelitian, maka diperlukan beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Data yang digunakan diperoleh dari PT. Polychem Indonesia Tbk. pada periode Oktober 2015 – September 2016.
2. Penjadwalan perawatan dilakukan untuk komponen mesin *Air Turbo Compressor* (ATC).
3. Kegiatan perawatan yang berupa cara perbaikan, pembongkaran, penggantian, dan pemasangan peralatan, yaitu dalam hal ini *Overhaul*, tidak dibahas dalam penelitian ini.

1.7 Asumsi Penelitian

Pada penelitian ini diasumsikan bahwa kondisi mesin dan kebijakan perusahaan tidak mengalami perubahan selama penelitian berlangsung.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi landasan teori yang dapat menambah wawasan dan dijadikan referensi dalam melakukan penelitian. Tinjauan pustaka ini nantinya akan digunakan sebagai kerangka berpikir dan penentuan langkah-langkah pemecahan masalah.

2.1 Penelitian Terdahulu

Sebelum penelitian ini dilakukan, telah terdapat beberapa penelitian yang cukup relevan dengan penelitian ini. Beberapa penelitian pendahulu tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bangun, 2012. Dalam penelitian yang berjudul “Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II Pada Mesin Blowing OM di PT. Industri Sandang Nusantara Unit Patal Lawang”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengusulkan sistem perawatan mesin menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance*. Metode RCM diharapkan dapat menetapkan jadwal perawatan dan mengetahui tindakan perawatan yang harus dilakukan pada setiap komponen mesin.
2. Fitriani, 2015. Dalam penelitian yang berjudul “Perencanaan Perawatan pada Lini Rim Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II di PT. Autokorindo Pratama”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan dan akibat yang ditimbulkan, serta menentukan kebijakan perawatan yang efektif.
3. Jatmika, 2015. Dalam penelitian yang berjudul “Analisis Manajemen Perawatan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II Pada Mesin Goss *Urbanite* di PT. Temprina Media Grafika”. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis komponen kritis penyebab kegagalan dan menentukan kebijakan perawatan berdasarkan rancangan biaya.
4. Valentine, 2015. Dalam penelitian yang berjudul “Perencanaan Perawatan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II Pada Mesin Sablon Auto Stop Cylinder I di PT. Printec Perkasa 2”. Tujuan dari penelitian ini

adalah untuk menentukan kegiatan perawatan yang tepat melalui RCM II *decision diagram*.

Berikut ini merupakan penjelasan secara ringkas dari masing-masing penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada keseluruhan penelitian sebelumnya, metode *Reliability Centered Maintenance* digunakan untuk menentukan kegiatan interval perawatan yang sesuai.

Untuk lebih jelasnya perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1
Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Metode	Obyek Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Bangun (2012)	FMEA, LTA, Total Minimum Downtime	PT. Industri Sandang Nusantara Unit Patal Lawang	Menetapkan jadwal perawatan dan mengetahui tindakan perawatan yang harus dilakukan pada setiap komponen mesin.
2.	Fitriana (2015)	FBD, FMEA, RCM II Decision Worksheet	PT. Autokorindo Pratama	Mengidentifikasi penyebab kegagalan dan akibat yang ditimbulkan, serta menentukan kebijakan perawatan yang efektif.
3.	Jatmika (2015)	FBD, FMEA, RCM II Decision Worksheet	PT. Temprina Media Grafika	Menganalisis komponen kritis penyebab kegagalan dan menentukan kebijakan perawatan berdasarkan rancangan biaya.
4.	Valentine (2015)	FBD, FMEA, RCM II Decision Worksheet	PT. Printec Perkasa 2	Menentukan kegiatan perawatan yang tepat melalui RCM II <i>decision diagram</i>
5.	Penelitian ini	FBD, FMEA, RCM II Decision Worksheet	PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak	Meminimalisir <i>downtime</i> mesin, menentukan interval waktu perawatan yang efektif sesuai sistem kerja unit proses, dan menentukan persediaan suku cadang mesin

2.2 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Menurut Assauri (1999), pemeliharaan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penggantian yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Menurut M.S Sehwarat dan J.S Narang, (2001) *Maintenance* adalah sebuah pekerjaan yang dilakukan secara berurutan untuk menjaga atau memperbaiki fasilitas yang ada sehingga sesuai dengan standart (sesuai dengan standart fungsional dan kualitas).

Pemeliharaan (*maintenance*) dibedakan menjadi tiga yaitu *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, dan *predictive maintenance*. Penjelasannya adalah sebagai berikut :

1. *Preventive maintenance*

Menurut Assauri (2004), *preventive maintenance* adalah kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan fasilitas atau mesin produksi mengalami kerusakan waktu melakukan kegiatan produksi. *Preventive maintenance* dibedakan menjadi dua yaitu *routine periodic* dan *periodic maintenance*. *Routine periodic* adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan secara rutin. *Periodic maintenance* adalah kegiatan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan dalam jangka waktu tertentu.

2. *Corrective maintenance*

Menurut Assauri (1999), *corrective maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas mengalami kerusakan ataupun gangguan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Dalam hal ini kegiatan *corrective maintenance* bersifat perbaikan yaitu menunggu sampai kerusakan terjadi terlebih dahulu, kemudian baru diperbaiki agar dapat beroperasi kembali. Dalam hal ini, kegiatan *corrective maintenance* sering disebut dengan kegiatan reparasi atau perbaikan. Tindakan perawatan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang sama. Tindakan *corrective maintenance* ini memerlukan biaya perawatan yang lebih murah daripada tindakan *preventive maintenance* apabila kerusakan terjadi pada saat mesin atau fasilitas tidak melakukan proses produksi. Tetapi bila kerusakan terjadi selama proses produksi berlangsung maka biaya perawatan akan mengalami peningkatan yang disebabkan karena terhentinya proses produksi. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa tindakan *corrective maintenance* memusatkan permasalahan setelah permasalahan itu terjadi, bukan menganalisa masalah untuk mencegah agar tidak terjadi.

3. *Predictive maintenance*

Menurut Mobley (2002), *predictive maintenance* merupakan suatu kegiatan perawatan yang dilakukan dengan memeriksa dan memelihara pada saat perawatan sudah benar-benar memerlukan pemulihan ketingkat semula. Hal ini dilakukan dengan cara melakukan *monitoring* kondisi operasi peralatan berdasarkan data dan informasi. *Monitoring* yang dilakukan antara lain pengukuran suara, analisis getaran, analisis aliran dan komposisi gas. *Predictive maintenance* bertujuan untuk meningkatkan

produktivitas, kualitas serta keseluruhan efektivitas dari suatu sistem manufaktur. Sebenarnya *predictive maintenance* adalah *preventive maintenance* yang didasarkan oleh kondisi sesungguhnya dari mesin. *Predictive maintenance* dapat dikatakan juga sebagai *condition based maintenance* atau *machinery condition monitoring* yang artinya penentuan kondisi suatu mesin dengan cara memeriksa mesin secara rutin sehingga dapat menjamin keandalan mesin dan keselamatan kerja.

2.3 Tujuan Perawatan

Menurut Daryus A. (2008), tujuan pemeliharaan yang utama dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang kegunaan aset.
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang digunakan untuk proses produksi dan mendapatkan laba maksimum yang mungkin.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Sedangkan menurut Patrick (2001), tujuan pemeliharaan adalah:

1. Mempertahankan kemampuan alat atau fasilitas produksi untuk memenuhi kebutuhan target serta rencana produksi.
2. Mengurangi pemakaian dan penyimpanan berlebih dan menjaga modal yang diinvestasikan perusahaan selama jangka waktu yang telah ditentukan sesuai dengan kebijakan perusahaan.
3. Menjaga agar kualitas produk berada pada tingkat yang diharapkan untuk memenuhi apa yang dibutuhkan produk tersebut dan menjaga agar kegiatan produksi tidak mengalami kegagalan.
4. Memperhatikan dan menghindari kegiatan operasi mesin dan peralatan yang dapat membahayakan kegiatan kerja.
5. Mencapai tingkat biaya semimumimum mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* yang efektif dan efisien secara keseluruhan.
6. Mengadakan kerjasama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, untuk mencapai tingkat keuntungan sebaik mungkin dan total biaya serendah mungkin.

2.4 Reliability Centered Maintenance (RCM) II

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah metode pemeliharaan untuk menentukan langkah-langkah yang harus diambil untuk menjamin peralatan kerja sesuai dengan fungsinya. Menurut Moubray (1997), *reliability centered maintenance* merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan tindakan yang harus dilakukan dalam menjamin suatu aset fisik agar berjalan dengan dan baik sesuai dengan yang di inginkan oleh perusahaan. Metode RCM ini meliputi pembuatan kegagalan fungsi yang kemudian akan dicari mode kerusakannya. Dengan demikian, penyebab kerusakan juga akan ditentukan sehingga dapat dianalisa pengaruh kerusakan terhadap peralatan kerja.

Penelitian tentang RCM pada dasarnya akan menjawab 7 pertanyaan utama tentang aset atau peralatan yang diteliti (Moubray, 1997). Ketujuh pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari peralatan dalam konteks operasional pada saat ini (*system function*)?
2. Bagaimana peralatan tersebut gagal dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
3. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure mode*)?
4. Apa yang terjadi saat terjadi kegagalan (*failure effect*)?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut berpengaruh (*failure consequence*)?
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi kegagalan tersebut (*proactive task and task interval*)?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil ditemukan (*default action*)?

Ketujuh pertanyaan diatas nantinya akan dituangkan dalam bentuk *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *RCM II Decision Diagram* (Tabel 2.2) yang tergabung dalam *RCM II Decision Worksheet*.

Tabel 2.2
RCM II Decision Worksheet

RCM II DECISION WORKSHEET			SYSTEM							System N*			Facilitator	Date	Sheet N*
			SUB-SYSTEM							Sub-system N*			Auditor:	Date	of
Information reference			Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed task	Initial interval	Can be done by
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Sumber: John Moubray (1997)

RCM II *Decision Worksheet* ini digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode*. RCM II *Decision Worksheet* terdiri dari 5 bagian utama, yaitu:

1. *Information Reference*

Information reference merupakan informasi yang diperoleh dari FMEA/RCM II *decision worksheet*, yaitu dengan memasukkan informasi mengenai *function*, *failure function*, *failure mode* dari peralatan/komponen. Berikut ini penjelasan mengenai *information reference*.

- Kolom F (*Function*) adalah fungsi dari komponen atau item yang diharapkan oleh user tetap berada dalam level kemampuan dari item tersebut sejak awal dibuat.
- Kolom FF (*Function Failure*) adalah kegagalan dari suatu item untuk melaksanakan *system function* yang diharapkan.
- Kolom FM (*Function Mode*) adalah jenis kerusakan yang terjadi pada komponen sehingga menyebabkan komponen gagal beroperasi.

2. *Failure Consequence*

Pemetaan *failure consequences* dimulai dengan menjawab pertanyaan pada pojok kiri atas RCM II *Decision Diagram*. Misalnya untuk *information reference* 1-A-1, “apakah operator mengetahui jenis kegagalan dalam kondisi normal?”, jawabannya adalah “ya”, maka pada kolom H dalam RCM *Decision Worksheet* ditulis Y dan dilanjutkan ke pertanyaan berikutnya sesuai aturan dari RCM *decision diagram*, sehingga akan didapatkan jenis tindakan perawatan yang sesuai dengan penyebab terjadinya kegagalan. Pada tabel 2.3 berikut ini berisi penjelasan mengenai *failure consequences* yang terdapat pada RCM II *Decision Diagram*.

Tabel 2.3
Failure Consequences

<i>Failure Consequences</i>	Keterangan	
	Yes	No
Kolom H (<i>Hidden Failure</i>)	<i>Failure mode</i> diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	<i>Failure mode</i> tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada keselamatan kerja operator	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada keselamatan kerja operator
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada keselamatan/kelestarian lingkungan
Kolom O (<i>Operational</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada output produksi	<i>Failure mode</i> tidak berdampak pada output produksi

Sumber: Moubray (1997)

3. *Proactive Task and Default Action*

Penjelasan tentang komponen-komponen *proactive task and default action* yang terdapat pada RCM II *Decision Diagram* ditunjukkan oleh Tabel 2.4. Apabila aktivitas *proactive task and default action* tidak dapat mengatasi atau mengantisipasi kegagalan yang terjadi maka aktivitas perawatan digolongkan ke dalam *no scheduled maintenance* dimana tindakan *redesign* terhadap peralatan perlu dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya kegagalan.

Tabel 2.4
Proactive Task and Default Action

Proactive Task	Persyaratan Kondisi
Kolom H1/S1/O1/N1	• Apakah <i>potential failure</i> (PF interval) dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal? • Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan
Kolom H2/S2/O2/N2	• Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan • Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut, jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan • Memperbaiki dengan subsistem yang tahan terhadap kegagalan
Kolom H3/S3/O3/N3	• Dapat diidentifikasi umur dimana <i>item</i> tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan • Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan
Kolom H4 <i>scheduled failure finding task</i>	<i>Hidden Failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis
Kolom H5 <i>Redesign</i>	<i>Hidden Failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan <i>design</i> pada mesin
Kolom S4 <i>Combination Task</i>	<i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan

Sumber: Moubray (1997)

4. *Propose Task*

Apabila *proactive task* telah dipilih, maka deskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom *proposed task*.

5. *Initial Interval*

Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum.

6. *Can be done*

Kolom terakhir dalam RCM *worksheet* ini digunakan untuk mencatat siapa yang bisa melakukan tindakan perawatan tersebut.

2.4.1 System Function dan Function Failure

System function bertujuan untuk membuat suatu informasi yang dapat menyediakan atau mendefinisikan fungsi sistem. Analisa yang dilakukan berdasarkan fungsi dan bukan mengenai peralatan yang ada pada sistem tersebut. Sedangkan untuk *functional failure* menunjukkan bagaimana sistem mengalami kegagalan melaksanakan *system function* yang diharapkan untuk sebuah peralatan (mesin).

2.4.2 Failure Mode and Effect Analysis

Menurut Moubray (1997), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin menyebabkan setiap kegagalan fungsi dan memastikan pengaruh kegagalan yang berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan. *Failure Mode* bertujuan untuk menemukan akar permasalahan dari kegagalan yang timbul. *Failure Effect* menjelaskan dampak yang ditimbulkan apabila *failure mode* tersebut telah terjadi. Tujuan dari FMEA adalah memprediksi potensi kegagalan yang dapat terjadi dari produk maupun proses serta mengevaluasi pengaruh kegagalan pada fungsi dalam sistem yang ada. Tiga variabel utama dalam FMEA :

1. *Severity*, yakni rating yang mengacu pada besarnya dampak dari suatu *potential failure mode*. Berikut *rating severity* oleh *Cayman Business Systems* dijelaskan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5
Rating Severity

Efek	Penjelasan	<i>Non Productive Time</i>	Rank
Sangat Berbahaya	Dapat membahayakan pegawai dan sistem itu sendiri tanpa ada peringatan	>6x24 jam	10
Berbahaya	Dapat membahayakan pegawai sendiri dengan ada peringatan terlebih dahulu	>24 jam-6x24 jam	9
Sangat Tinggi	Kegagalan mengganggu sistem kerja secara total	>24 jam-5x24 jam	8
Tinggi	Kegagalan mempengaruhi 50% kerja Sistem	>24 jam-4x24 jam	7
Sedang	Kegagalan mempengaruhi 25% kerja Sistem	>24 jam-3x24 jam	6
Rendah	Kegagalan mempengaruhi 10% kerja Sistem	>24 jam-2x24 jam	5
Sangat Rendah	Kegagalan mempengaruhi kerja sistem	>12 jam-14 jam	4
Ringan	Kegagalan member efek minor pada Sistem	>12 jam-14 jam	3
Sangat Ringan	Kegagalan member efek yang dapat Diabaikan	>12 jam-14 jam	2
Tidak ada Akibat	Kegagalan tidak memberikan efek	≤3 jam	1

Sumber: *Cayman Business Systems, Failure Mode and Effect Analysis* (2002)

2. *Occurrence*, yakni rating yang mengacu pada berapa banyak frekuensi *potential failure* yang terjadi. Berikut *rating occurrence* oleh *Cayman Business Systems* dijelaskan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6
Rating Occurrence

Probabilitas Kegagalan	Probabilitas terjadinya kegagalan per tahun	Possible Failure Rate	Rank
Hampir selalu	>500	≥ 1 dalam 2	10
Sangat Tinggi	366-500	1 dalam 3	9
Tinggi	300-365	1 dalam 8	8
Agak Tinggi	250-300	1 dalam 20	7
Medium	150-249	1 dalam 80	6
Rendah	50-149	1 dalam 400	5
Sedikit	10-49	1 dalam 2000	4
Sangat Sedikit	5-9	1 dalam 15000	3
Sangat Sedikit Sekali	1-4	1 dalam 150000	2
Hampir tidak pernah	<1	1 dalam 1500000	1

Sumber: *Cayman Business Systems, Failure Mode and Effect Analysis* (2002)

3. *Detection*, yakni rating yang mengacu pada kemungkinan metode deteksi yang sekarang mampu mendeteksi *potential failure mode* sebelum produk tersebut dirilis untuk di produksi, di desain hingga di proses. Berikut *rating detection* oleh *Cayman Business Systems* dijelaskan pada Tabel 2.7

Tabel 2.7
Rating Detection

Deteksi	Kemungkinan Deteksi Oleh Kontrol	Rank
Tidak Terdeteksi	Tidak mampu mendeteksi penyebab kegagalan	10
Sangat Sedikit kemungkinan	Sangat kecil kemungkinan untuk pengecekan bisa mendeteksi kegagalan	9
Sedikit Kemungkinan	Kecil kemungkinan untuk pengecekan bisa mendeteksi kegagalan	8
Sangat Rendah	Pengecekan mempunyai peluang yang rendah untuk mendeteksi kegagalan	7
Rendah	Pengecekan kemungkinan mendeteksi kegagalan	6
Cukup	Pengecekan kemungkinan akan mendeteksi kegagalan	5
Cukup Tinggi	Pengecekan kemungkinan besar akan mendeteksi Kegagalan	4
Tinggi	Pengecekan mempunyai peluang besar mendeteksi kegagalan	3
Sangat Tinggi	Pengecekan hampir pasti dapat mendeteksi Kegagalan	2
Hampir pasti	Pengecekan pasti dapat mendeteksi kegagalan	1

Sumber: *Cayman Business Systems, Failure Mode and Effect Analysis* (2002)

Pada setiap komponennya, setiap bentuk kegagalan dan efek yang ditimbulkan pada sebuah sistem akan dituliskan pada form FMEA yang telah dibuat. Berikut ini merupakan Form FMEA yang digunakan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8
Functional Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA WORKSHEET			SYSTEM :	Facilitator:	
			SUB-SYSTEM :	Auditor:	
No.	Komponen	Function	Functional Failure (loss of function)	Failure Mode (cause of failure)	Failure Effect (what happen when it failure)

Sumber: Moubray (1997)

Langkah- langkah melakukan FMEA adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi proses atau produk.
2. Identifikasi potensi mode kegagalan (*failure mode*) selama proses.
3. Identifikasi akibat kegagalan (*failure effect*) dan penyebabnya dari masalah tersebut.
4. Tentukan nilai *severity* tiap resiko.
5. Tentukan nilai *occurence* tiap resiko.
6. Tentukan nilai *detection* tiap resiko.
7. Hitung nilai RPN untuk menentukan prioritas tindakan yang harus diambil.

RPN diperoleh dengan mengalikan *rating severity*, *occurence*, dan *detection*. Menurut Ford Motor Company (1992), RPN digunakan untuk menganalisis *ranking* kelemahan proses untuk mempertimbangkan tindakan yang mungkin untuk mengurangi kekritisian dan membuat proses lebih baik. Berikut ini merupakan rumus perhitungan RPN:

$$RPN = severity \times occurrence \times detection \quad (2-1)$$

Selanjutnya penentuan risiko kritis. Suatu risiko dikategorikan sebagai risiko kritis jika memiliki nilai RPN di atas nilai kritis (Yumaida, 2011):

$$RPN = \frac{\text{Total RPN}}{\text{Jumlah Risiko}} \quad (2-2)$$

8. Mengambil tindakan untuk mengurangi atau menghilangkan risiko kritis.

2.4.3 Failure Consequence

Failure Consequence adalah konsekuensi kegagalan fungsi suatu item dalam produksi atau operasional. Menurut Moubray (1997), dalam *Reliability Centered Maintenance* konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam empat bagian yaitu :

1. *Hidden Failure Consequence*, dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung.
2. *Safety and Environmental Consequence*. *Safety consequence* terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja, sedangkan

environmental consequence terjadi apabila kegagalan fungsi suatu item berdampak pada kelestarian lingkungan.

3. *Operational Consequence*, kegagalan dikatakan mempunyai konsekuensi operasional ketika berakibat pada sistem produksi atau operasional.
4. *Non Operational Consequence*, kegagalan tidak berdampak pada keselamatan atau produksi tetapi hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.4.4 Proactive Task and Initial Interval

Proactive Task adalah suatu tindakan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan, untuk menghindarkan item dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan. Kegagalan ini dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*. Menurut Moubay (1997), dalam RCM kegiatan *proactive* dibagi menjadi dua sesuai dengan penggolongan *predictive* atau *preventive maintenance*, yaitu:

1. Untuk *predictive maintenance*, aktivitas yang digunakan yaitu *scheduled and on condition task*, yaitu kegiatan pemeriksaan terhadap *potential failure* sehingga dapat diambil tindakan untuk mencegah terjadinya *functional failure*.
2. Untuk *preventive maintenance* dibagi menjadi dua yaitu:
 - a. *Scheduled restoration task*, yaitu kegiatan pemulihan kemampuan item pada saat atau sebelum umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi saat itu.
 - b. *Scheduled discard task*, yaitu tindakan mengganti item pada saat batas umur yang ditetapkan, tanpa memperhatikan kondisi item pada saat itu.

Initial interval merupakan jarak perawatan yang optimal, terhadap *proposed task* yang ditentukan. *Proposed task* adalah tindakan pencegahan sebagai tindakan nyata untuk menerjemahkan hasil dari *proactive task* dan *default action*. *Can be done* diisi tentang siapa yang diberikan tanggung jawab dalam melaksanakan *proposed task* tersebut.

2.4.5 Default Action

Default action adalah tindakan yang dilakukan ketika *predictive task* yang efektif tidak dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan. *Default action* meliputi:

1. *Failure finding*, meliputi tindakan pemeriksaan, apakah komponen masih dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. *Failure finding* hanya diaplikasikan pada *hidden failure* atau kegagalan yang tidak dapat dibuktikan secara langsung.

2. *Redesign*, meliputi cara membuat perubahan untuk membangun kembali kemampuan suatu sistem. Hal ini mencakup memodifikasi terhadap peralatan dan juga perubahan prosedur.
3. *No scheduled maintenance*, meliputi kegagalan yang nyata dan tidak mempengaruhi *safety* atau *environment*.

2.5 Keandalan

Keandalan (*reliability*) adalah probabilitas suatu komponen atau sistem sukses melakukan fungsi yang diinginkan dalam suatu periode waktu tertentu sesuai dengan kondisi pengoperasian yang telah ditentukan (Ebeling, 1997).

2.5.1 Fungsi Keandalan

Keandalan dapat dirumuskan sebagai integral dari distribusi probabilitas suksesnya operasi suatu komponen atau sistem, sejak waktu mulai beroperasi (*switch on*) sampai dengan terjadinya kegagalan (*failure*) pertama. Probabilitas ini diinterpretasikan dengan indeks keandalan yang merupakan fungsi waktu dengan kisaran 0 hingga 1. Variabel utama dalam fungsi keandalan adalah waktu terjadinya kerusakan (*time to failure*) bersifat random. Fungsi tersebut dirumuskan sebagai berikut :

$$R(t) = P \{T \geq t\} \quad (2-2)$$

(Ebeling, 1997)

Dimana $R(t) \geq 0$, $R(0) = 1$, dan $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$ untuk nilai dari t , $R(t)$ adalah probabilitas dari *time to failure* adalah lebih besar atau sama dengan t .

Jika dirumuskan

$$F(t) = 1 - R(t) = P\{T < t\} \quad (2-3)$$

(Ebeling, 1997)

Dimana :

$$F(0) = 0 \text{ dan } \lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$$

Dimana: $F(t)$ merupakan probabilitas peralatan dapat beroperasi hingga waktu (t). kita mengacu pada $R(t)$ adalah fungsi *reliability* dan $F(t)$ adalah *cummulative distribution failure* dari distribusi dengan rumusan :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (2-4)$$

(Ebeling, 1997)

Dengan :

$$f(t) \geq 0 \text{ dan } \int_0^{\infty} f(t)dt = 1$$

maka didapat *cummulative distribution failure* untuk $f(t)$

$$F(t) = \int_0^1 f(t)dt \quad (2-5)$$

(Ebeling,1997)

$$R(t) = \int_x^0 f(t)dt \quad (2-6)$$

(Ebeling,1997)

2.5.2 Laju Kerusakan

Laju kerusakan dapat didefinisikan sebagai probabilitas banyaknya komponen yang mengalami kerusakan tiap satuan waktu, jika komponen sejenis dalam jumlah banyak dioperasikan secara bersamaan. Apabila laju kerusakan $\lambda(t)$ dirumuskan secara matematis adalah sebagai berikut.

$$P\{t \leq T \leq t + \Delta t\} = R(t) - R(t + \Delta t)$$

$$\begin{aligned} P\{t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t\} &= \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \\ &= \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} \end{aligned}$$

Kemungkinan kondisi dari kegagalan perunit dalam waktu (tingkat kegagalan)

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{-[R(t + \Delta t) - R(t)]}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{-dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \end{aligned} \quad (2-7)$$

(Ebeling,1997)

$$\text{Maka : } \lambda(t) = \frac{-dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)}$$

$$\text{Atau } \lambda(t)dt = \frac{-dR(t)}{R(t)}$$

$$\text{Integral } \int_0^1 \lambda(t)dt = \int_1^{R(t)} \frac{-dR(t)}{R(t)}$$

Dimana $R(0) = 1$, dari rumusan diatas dapat dihubungkan bahwa antar laju kerusakan terhadap tingkat keandalan sebagai berikut.

$$-\int_0^1 \lambda(t) dt = \ln R(t) \text{ sehingga } R(t) = \exp\left[-\int_0^1 \lambda(t) dt\right] \quad (2-8)$$

(Ebeling, 1997)

2.6 Penentuan Jenis Distribusi

Distribusi kegagalan dan probabilitas kegagalan harus diketahui untuk menentukan periode akan terjadinya kegagalan. Distribusi kegagalan diperlukan dalam perhitungan MTTF dan MTTR. Distribusi yang digunakan terdiri dari Distribusi Weibull, Eksponensial, Normal dan Lognormal.

2.6.1 Distribusi Eksponensial

Untuk suatu eksperimen probabilitas yang menghasilkan bentuk distribusi yang mempunyai variasi ukuran kemencengan yang cukup signifikan, distribusi eksponensial adalah salah satu alternatif model yang banyak digunakan. Distribusi eksponensial memiliki parameter λ , yang menunjukkan nilai rata-rata kerusakan terjadi.

Mean Time To Failure dari Distribusi Eksponensial:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2-9)$$

Fungsi keandalan Distribusi Eksponensial:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2-10)$$

(Ebeling, 1997)

2.6.2 Distribusi Weibull

Distribusi ini banyak digunakan untuk memodelkan *time to failure* pada sistem fisika yang menunjukkan performansi maupun kemampuan yang berkurang dengan berjalannya waktu. Distribusi weibull memiliki parameter β sebagai parameter skala dan θ sebagai parameter bentuk.

Mean Time To Failure dari Distribusi Weibull:

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-11)$$

Mean Time To Repair dari Distribusi Weibull:

$$MTTR = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2-12)$$

Dimana $\Gamma(x)$ adalah fungsi Gamma.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{x-1} e^{-y} dy \quad (2-13)$$

Fungsi keandalan distribusi Weibull:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2-14)$$

(Ebeling, 1997)

2.6.3 Distribusi Normal

Distribusi normal merupakan distribusi paling penting dalam aplikasi statistik. Terutama sekali digunakan untuk menggambarkan pengaruh suatu kerandaman yang diakibatkan oleh beberapa variasi random yang tidak saling bergantung (independen).

Mean Time To Failure dari Distribusi Normal:

$$MTTF = \mu \quad (2-15)$$

Fungsi keandalan Distribusi Normal:

$$R(t) = \int_t^\infty \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(t'-\mu)^2}{\sigma^2}\right] dt' \quad (2-16)$$

(Ebeling, 1997)

2.6.4 Distribusi Lognormal

Distribusi ini merupakan distribusi yang cocok untuk menggambarkan distribusi kerusakan dengan situasi yang bervariasi. Distribusi lognormal memiliki parameter bentuk (*s*) dan parameter lokasi (*t_{med}*).

Mean Time To Failure dari Distribusi Lognormal:

$$MTTF = t_{med} e^{\left(\frac{s^2}{2}\right)} \quad (2-17)$$

Fungsi keandalan distribusi Lognormal:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad (2-18)$$

(Rausand, 2004)

2.7 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah nilai rata-rata atau waktu ekspektasi (*expected value*) yang menunjukkan perkiraan item masih berfungsi atau gagal selama periode penggunaan item tersebut. MTTF diperoleh dengan rumus sebagai berikut. (Ebeling, 1997)

$$Mean Time To Failure = E(t) = \int_0^\infty t f(t) dt \quad (2-19)$$

2.8 Mean Time To Repair (MTTR)

Mean Time to Repair (MTTR) merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memulihkan dari sebuah kegagalan suatu komponen atau sistem. Menurut Ebeling (1997), MTTR diperoleh dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Mean Time to Repair} = \int_0^{\infty} t h(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t)) dt \quad (2-20)$$

2.9 Model Matematis Perawatan

Penggunaan model matematis digunakan untuk membantu penelitian ini dalam mengkalkulasi usia pakai peralatan serta penentuan waktu optimal peralatan. Total biaya perawatan merupakan penjumlahan kumulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} TC &= C_f F_f + C_m F_m \\ &= C_f \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + C_m \left[\frac{1}{TM} \right] \\ &= \frac{1}{TM} \left[C_f \int_0^{TM} \lambda(t) dt + C_m \right] \end{aligned} \quad (2-21)$$

Untuk mendapatkan TC dengan nilai paling minimum maka $\frac{dT_c}{dT_m} = 0$, kemudian akan diperoleh:

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta-1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (2-22)$$

$$C_f = C_r + MTTR(C_o + C_w) \quad (2-23)$$

$$C_o = \text{kecepatan produksi Kg/jam} \times \text{harga produk/kg} \quad (2-24)$$

(Zahirah, 2015:5)

Keterangan:

C_f = biaya perbaikan atau penggantian karena rusaknya komponen untuk setiap siklus

C_m = biaya yang dikeluarkan untuk perawatan persiklus

TM = interval waktu perawatan optimal (*preventive maintenance*) dalam jam.

F_f = frekuensi kegagalan

F_m = frekuensi perawatan

TC = total biaya perawatan

C_r = biaya penggantian kerusakan komponen

C_o = biaya kerugian /jam

C_w = biaya tenaga kerja *corrective maintenance*/jam

2.10 Availability Rate

Availability rate merupakan rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin. *Loading time* merupakan waktu mesin bekerja sesuai yang direncanakan. *Downtime* mesin adalah waktu proses mesin yang hilang dikarenakan adanya gangguan pada mesin/peralatan yang mengakibatkan tidak ada *output* yang dihasilkan karena kegagalan mesin, kerusakan alat, *unplanned maintenance*, dan tidak tersedianya bahan baku. *Operation time* merupakan waktu bersih mesin bekerja (tanpa *downtime*). Menurut Stephens (2004), nilai *availability* dihitung dengan rumus :

$$\text{Operation time} = \text{Loading time} - \text{downtime} \quad (2-25)$$

$$\text{Availability rate} = \frac{\text{Operation time}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (2-26)$$

2.11 Reliability Block Diagram

Menurut Ebeling (1997), *Reliability Block Diagram* (RBD) adalah metode untuk melakukan analisis keandalan dan ketersediaan pada sistem besar dan kompleks dengan menggunakan diagram blok sistem. Untuk mengetahui nilai keandalan pada suatu mesin, maka terlebih dahulu mengetahui nilai keandalan dari tiap komponen pada mesin tersebut. Ada dua jenis konfigurasi diagram blok yang digunakan yaitu:

1. Konfigurasi Seri

Sistem dapat dimodelkan dengan susunan seri jika komponen yang ada didalam sistem bekerja atau berfungsi seluruhnya agar sistem tersebut dapat berjalan. Dengan kata lain, jika ada satu komponen yang tidak bekerja, maka sistem tersebut akan gagal menjalankan fungsinya. Perhitungan keandalan sistem konfigurasi seri adalah sebagai berikut.

$$R_{\text{sistem}} = R_1(t) \times R_2(t) \dots R_n(t) \quad (2-27)$$

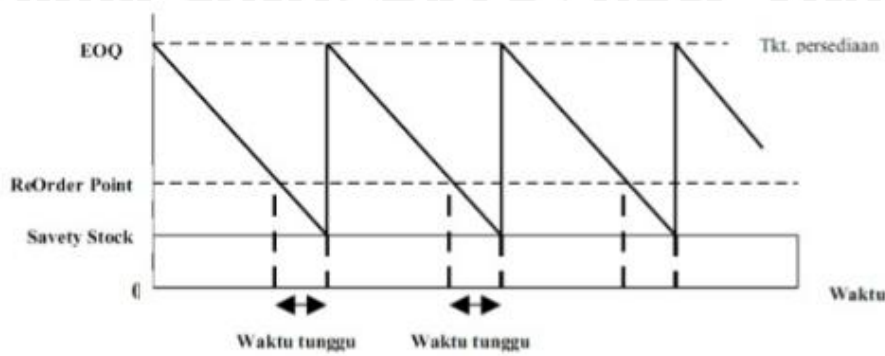
2. Konfigurasi Paralel

Suatu sistem dimodelkan dengan susunan paralel jika terdapat salah satu komponen tidak bekerja, maka sistem tersebut masih dapat berjalan. Perhitungan keandalan sistem konfigurasi seri adalah sebagai berikut.

$$R_{\text{sistem}} = 1 - ((1 - R_1(t)) \times (1 - R_2(t)) \dots (1 - R_n(t))) \quad (2-28)$$

2.12 Pengendalian Persediaan Dengan Metode Q

Menurut Nasution dan Prasetyawan (2008), kebijaksanaan jumlah pemesanan tetap (Metode Q) dalam menentukan persediaannya dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Metode Q

Sumber : Nasution dan Prasetyawan (2008)

Setiap status persediaan selalu dimonitor setiap terjadi transaksi. Pemasanan yang dilakukan selalu dalam keadaan tetap dan dilakukan pemesanan ketika telah mencapai pada titik R (titik pemesanan kembali). Karena jumlah setiap pemesanan tetap, maka waktu antar pemesanan akan bervariasi tergantung dari sifat acak permintaannya.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah analisis teoritis mengenai suatu cara atau metode. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai metodologi dalam melakukan penelitian yang dimana tahapannya dimulai dengan idenktifikasi masalah, studi pustaka dan lapangan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis hasil dan pembahasan, dan penarikan kesimpulan saran. Hal ini dilakukan agar penelitian bisa lebih terstruktur

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Menurut Sugiyono (2012), penelitian kuantitatif deskriptif adalah suatu metode penelitian yang memaparkan apa yang terjadi di lapangan. Data-data yang didapatkan dari lapangan kemudian dianalisis dan diklasifikasikan yang kemudian dibuat kesimpulan. Penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan data agar dapat mewakili daerah yang luas. Dalam hal ini peneliti melakukan pengumpulan dan pengolahan data yang terkait dengan pemeliharaan pada mesin ATC di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak dengan harapan dapat memberikan pemecahan masalah yang muncul.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Dalam pelaksanaan penelitian ini digunakan dua metode dalam pengumpulan data. Adapun metode pengumpulan data yang digunakan adalah penelitian lapangan. Metode ini digunakan dalam pengumpulan data, dimana peneliti secara langsung terjun pada proyek penelitian, sedangkan cara lain yang dipakai dalam penelitian lapangan ini adalah sebagai berikut:

1. *Interview*, yaitu suatu metode yang digunakan dalam mendapatkan data dengan jalan mengajukan pertanyaan secara langsung pada saat perusahaan mengadakan suatu kegiatan.
2. *Observasi*, yaitu suatu metode dalam memperoleh data, dengan mengadakan pengamatan langsung terhadap keadaan yang sebenarnya dalam perusahaan.
3. *Brainstorming*, yaitu suatu bentuk diskusi dalam rangka menghimpun gagasan, pendapat, informasi, pengetahuan, pengalaman, dari semua peserta.

3.3 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak yang beralamat di Jl. Bojonegara, Desa Mangunreja, Kecamatan Pulo Ampel, Kabupaten Serang, Banten. Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2016 – April 2017.

3.4 Prosedur Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian sebagai berikut :

1. Studi Lapangan

Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan pengamatan pada keadaan perusahaan PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak, terutama pada bagian produksi. Pengamatan ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran dari kondisi sebenarnya dari obyek yang akan diteliti. Hal ini nantinya akan bermanfaat bagi peneliti karena dapat memberikan gambaran yang jelas tentang obyek penelitian. Dari hasil studi lapangan ini peneliti dapat mengetahui permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut.

2. Studi Pustaka

Studi Pustaka berasal dari buku, jurnal, serta studi terhadap penelitian terdahulu dengan topik yang berkaitan dengan metode yang digunakan serta teori yang mendukung lingkup maintenance yang dalam penelitian ini meliputi *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II, *Mean Time To Failure* (MTTF), *Mean Time to Repair* (MTTR), *Availability Rate* dan penentuan penentuan persediaan.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap dimana setelah mendapatkan input dari studi lapangan. Tahap ini merupakan tahapan awal dalam usaha memahami suatu permasalahan yang terjadi sehingga dapat menemukan solusi yang terbaik bagi permasalahan tersebut.

4. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan setelah memahami permasalahan yang terjadi kemudian merumuskannya sesuai dengan kenyataan yang terjadi pada lapangan.

5. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dilakukan sebelumnya sebelumnya. Tujuan penelitian perlu ditetapkan agar penulisan skripsi dapat dilakukan dengan sistematis dan tidak menyimpang dari permasalahan yang

dibahas. Tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya dapat digunakan sebagai parameter keberhasilan penelitian ini.

6. Pengumpulan data

Pada proses ini, data atau informasi yang dikumpulkan harus sesuai dengan persoalan yang akan diteliti. Data ini nantinya akan menjadi input pada pengolahan data. Metode pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan observasi dan wawancara. Dalam penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data sekunder dan data primer

a. Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari arsip dan dokumen yang berhubungan dengan proses produksi perusahaan, diantaranya sebagai berikut:

1. Proses Produksi di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
2. Data fungsi mesin di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
3. Data waktu antar kerusakan mesin di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
4. Data frekuensi kerusakan dan *downtime* mesin di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
5. Data biaya kerusakan mesin di PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak.
6. Data biaya simpan, waktu tunggu, dan biaya pemesanan suku cadang komponen mesin ATC.

b. Data Primer

Data Primer didapatkan melalui beberapa proses yaitu sebagai berikut:

1. Data Kegagalan
2. Data Penyebab Kegagalan
3. Data Efek Kegagalan

7. Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, maka langkah selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan metode yang sesuai dengan permasalahan yang diteliti. Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap pengolahan data ini adalah:

a. Penentuan *Functional Block Diagram* (FBD)

Dengan menggunakan data komponen mesin kritis beserta fungsi komponen tersebut. *Functional Block Diagram* (FBD) digunakan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari mesin kritis tersebut.

b. Penentuan *System Function* dan *Function Failure*

System Function adalah fungsi utama dari mesin yang diharapkan oleh *user*. *System Function* ini tidak menjelaskan fungsi tiap komponen melainkan fungsi dari komponen mesin kritis yang diamati.

c. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Selanjutnya data olahan *System Function and Function Failure* serta data penyebab dan efek kegagalan digunakan untuk menentukan *Failure Mode and Effect Analysis*. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* digunakan untuk menganalisis terjadinya suatu kegagalan.

d. *Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet*

Selanjutnya menganalisis dengan memasukkan semua *failure mode* ke dalam RCM II *decision worksheet* untuk mengetahui konsekuensi dari kegagalan yang terjadi dan jenis perawatan yang sesuai dengan penyebab kegagalan (*proactive task and default action*) yang dituangkan dalam RCM II *decision worksheet*. RCM II *decision worksheet* memiliki komponen sebagai berikut, yaitu:

1) *Failure Consequence*

Failure Consequence bertujuan untuk menganalisa dampak yang ditimbulkan oleh *function failure* yang terjadi pada komponen kritis.

2) *Proactive Task and Default Action*

Proactive Task merupakan langkah yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Sedangkan *default action* adalah tindakan yang dapat dilaksanakan apabila *proactive task* tidak dapat mencegah terjadinya *failure mode*.

3) *Proposed Task*

Proposed Task memberikan penjelasan mengenai tindakan pencegahan yang diambil untuk mencegah terjadinya *failure mode*. Tindakan ini usulan nyata dari *proactive task and default action*.

4) *Initial Interval*

Initial Interval adalah jarak waktu perawatan efektif terhadap *proactive task and default action* yang telah ditentukan sebelumnya.

5) *Can be done*

Can be done merupakan pihak yang akan melaksanakan atau yang akan bertanggung jawab terhadap tindakan perawatan yang telah ditentukan pada RCM II *decision worksheet*.

e. Penentuan distribusi data *Time To Failure (TTF)* dan *Time To Repair (TTR)*.

f. Pengujian kesesuaian distribusi data kerusakan.

- g. Penentuan parameter yang sesuai dengan distribusi.
- h. Penentuan jadwal perawatan mesin yang dilakukan dengan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR).
- i. Perhitungan total biaya perawatan optimal.
- j. Perhitungan keandalan komponen mesin ATC.
- k. Perhitungan persediaan komponen mesin ATC.

8. Analisis dan Pembahasan

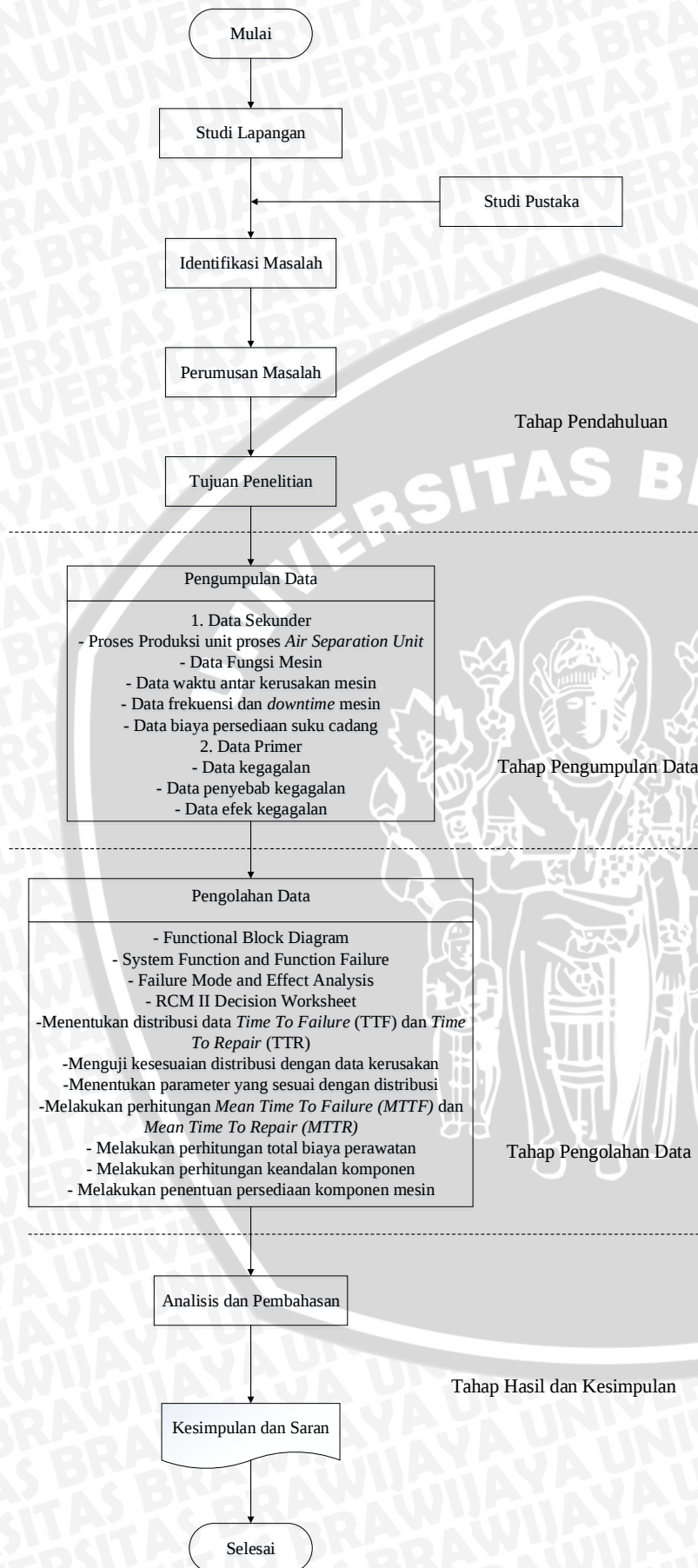
Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap hasil dari perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) yang menghasilkan interval perawatan dan menganalisis total biaya perawatan yang optimal serta penentuan suku cadang komponen.

9. Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran merupakan tahap terakhir dari penelitian. Kesimpulan berisi hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Saran berisi tentang saran yang diberikan penulis bagi perusahaan maupun penelitian yang akan datang yang berkaitan dengan perawatan mesin.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 3.1. penelitian tahap awal meliputi studi lapangan dan studi pustaka guna melakukan identifikasi masalah dan diakhiri pada tahap analisis serta pembahasan berdasarkan hasil pengolahan dan penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengolahan dan analisis data serta rekomendasi perbaikan pada lini produksi yang diteliti.

4.1 Gambaran Umum Obyek Penelitian

Gambaran umum perusahaan akan menjelaskan sejarah perusahaan, lokasi perusahaan, maupun visi dan misi perusahaan.

4.1.1 Profil Perusahaan

Pembangunan pabrik *Ethylene Oxide/Ethylene Glycol* ini atas usaha bersama antara dua grup yakni grup Gajah Tunggal dan grup Yasinta sebagai usaha untuk memenuhi kebutuhan akan bahan baku industri tekstil yang dimiliki sebelumnya serta untuk memenuhi pasaran dalam negeri. Pabrik yang berstatus PMDN (Penanaman Modal Dalam Negeri) telah mengalami empat kali perubahan nama yaitu PT. Yasa Ganesha Putra, PT. Prima Ethylendo, PT. GT. Petrochem Tbk dan yang terakhir yang digunakan hingga saat ini adalah PT. Polychem Indonesia Tbk.

Pembangunan PT. Polychem Indonesia Tbk dimulai pada bulan Desember 1988 dan secara keseluruhan pembangunan selesai pada bulan Januari 1992. Kemudian dilanjutkan dengan tahap *commissioning* serta persiapan *start-up*. *Start-up* pertama kali dimulai pada tanggal 10 Januari 1993 kemudian pabrik ini diresmikan secara simbolis oleh Presiden Soeharto pada tanggal 18 Januari 1993. Dalam perkembangannya PT. Polychem Indonesia Tbk. mengalami perluasan dengan pembangunan *plant* II yang memproduksi *Ethylene oxide* dan *Ethylene Glycol*, dilanjutkan dengan pembangunan *plant* III dengan produk *Ethoxylate* yang bahan dasar dari *Ethylene oxide plant* II. Dengan lisensi yang dibeli dari Sintefic Design Co. Amerika Serikat, PT. Polychem Indonesia Tbk. Mampu memproduksi 80.000 MPTY untuk *plant* I, 120.000 MPTY untuk *plant* II.

4.1.2 Kebijakan Mutu

PT. Polychem Indonesia Tbk merupakan satu-satunya perusahaan di Indonesia yang memproduksi *Ethylene Glycol*, *Ethylene Oxide* dan *Ethoxylate*. Dengan lisensi yang dibeli dari Sintefic Design Co. Amerika Serikat, PT. Polychem Indonesia Tbk mampu memproduksi 80.000 MTPY untuk plant I, 120.000 MTPY untuk plant II dan 25.000 sampai 30.000 MTPY untuk plant III. Adapun visi dan misi dari PT. Polychem Indonesia Tbk. adalah sebagai berikut:

Visi : Sebagai kepemimpinan dan mitra regional paling dapat dipercaya di dalam divisi kimia dan relasi terhadap industri.

Misi : Selalu maksimal terhadap daya saing dan efisiensi kerja, kemampuan reaksi pertanggung jawaban secara optimal dan konsisten dalam pertumbuhan kinerja.

Proses utama berlangsung di unit proses pada *plant I* dan *plant II* dimana didukung dari beberapa unit penunjang yaitu:

1. Unit Pemisahan Udara (*Air Separation Unit*) yang memisahkan udara bebas menjadi oksigen dan nitrogen yang digunakan untuk keperluan proses.
2. Unit Utilitas yang menyediakan kebutuhan air *demin*, air pendingin, *air instrument*, *steam*, umpan *ethylene* dan pengolahan limbah yang dihasilkan dari proses.
3. Unit Terminal *Ethylene* digunakan hanya untuk menyimpan bahan baku *ethylene* agar kondisinya terjaga.

Bahan baku yang digunakan pabrik ini adalah *Ethylene* dan Oksigen. *Ethylene* dibeli dalam fase *liquid* dan digunakan dalam fase gas dengan menggunakan *vaporizer*, sedangkan oksigen diperoleh dengan cara destilasi udara. Hampir 99,05% udara terdiri dari oksigen dan nitrogen. Komposisi ini hampir sama di setiap tempat di dunia. Udara juga memiliki kandungan uap air (*moisture*).

Pembuatan *Ethylene Glycol* dilakukan dalam dua tahap reaksi yaitu pembuatan *Ethylene oxide* dari bahan baku *Ethylene* murni dan oksigen dengan bantuan katalisator perak (Ag_2O) dalam reaktor *fixed-bed multitube*, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan *Ethylene Glycol* dari *Ethylene oxide* ditambah air dengan perbandingan 1:10. *Ethylene oxide* diperoleh sebagai hasil reaksi oksidasi katalitik antara *Ethylene* dengan oksigen pada temperature tinggi. *Ethylene oxide* ini diperoleh dari gas-gas keluaran reaktor yang diserap dengan air (*water scrubbing*) dan dipisahkan kembali dengan *stripping steam*. Air dengan tekanan rendah digunakan untuk menyerap *Ethylene oxide* sehingga terpisah dari gas-gas yang tidak terkondensasi. *Ethylene oxide* di plant II di

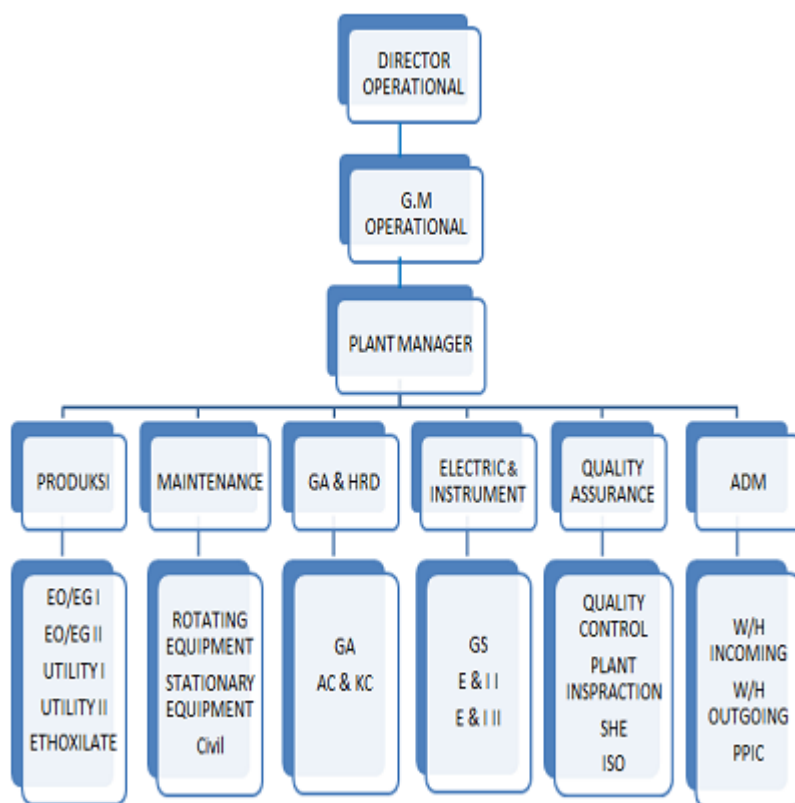
ambil sebagai produk dan umpan pada proses *Ethoxylate* yang kemudian bercampur dengan bahan baku lainnya (*Fatty alcohol*, katalis, nitrogen, dll).

4.1.3 Lokasi Perusahaan

PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak didirikan disebuah lokasi yang beralamat di Jl. Bojonegara, Desa Mangunreja, Kecamatan Pulo Ampel, Kabupaten Serang, Banten. Lokasi tersebut merupakan kawasan industri Banten dan berada di pesisir pantai. Hal ini sangat menguntungkan karena lokasi tersebut memudahkan akses impor bahan baku. Dimana impor bahan baku utama di impor melalui transportasi laut. Lokasi tersebut juga berdekatan dengan akses tol Jakarta-Merak sehingga memudahkan distribusi pengiriman produk.

4.1.4 Struktur Organisasi

Struktur organisasi PT. Polychem Indonesia Tbk. Plant Merak dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.1 Struktur Organisasi PT. Polychem Indonesia Tbk
Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk

4.1.5 Tujuan dan Fungsi Instansi

Tujuan dan fungsi dari PT. Polychem Indonesia Tbk. sebagai salah satu pelopor perusahaan produk kimia adalah sebagai berikut:

1. Untuk memproduksi berbagai jenis bahan kimia (*Ethylene Glycol*, *Ethylene Oxide* dan *Ethoxylate*), yang dibutuhkan oleh konsumen sebagai bahan baku untuk membuat cat, kain dan benang yang berkualitas dan mudah dalam pekerjaannya serta tidak membutuhkan waktu yang lama.
2. Untuk ikut berperan aktif dalam pembangunan nasional, khususnya dalam rangka kebutuhan manusia yang lebih baik.
3. PT. Polychem Indonesia Tbk selalu memperhatikan produk di dalam perusahaan karena sangat penting bagi terhubung terciptanya industri yang besar-besaran.
4. Tantangan global yang sangat kompetitif tidak meninggalkan ruangan apapun untuk perusahaan dengan mutu yang cukup, oleh karena itu kita bekerja keras untuk menyediakan solusi yang terbaik kepada pelanggan kita, pertemuan kepuasan dan kebutuhan mereka yang akan mengantarkan kita ke persekutuan manfaat timbal balik dan melanjutkan pengejaran tender untuk menjadi yang terkemuka.

4.1.6 Sistem Kerja

PT. Polychem Indonesia Tbk memiliki kurang lebih 1000 pekerja pada tahun 2013, pegawai yang baru saja diterima harus mengalami masa percobaan (*training*) selama tiga bulan. Berdasarkan statusnya, para pekerja dibedakan atas staf dan non staf. Yang termasuk golongan staf adalah pegawai yang memiliki jenjang pendidikan D3 ke atas. Penempatan pekerja di setiap departemen didasarkan pada tingkat pendidikan dan pengalaman kerja yang dimiliki pekerja tersebut.

PT. Polychem Indonesia Tbk beroperasi selama dua puluh empat jam penuh, sehingga pelaksanaan kerja di department dilakukan secara *daily* dan secara bergiliran (*shift*). Jadwal *shift* ditulis dalam tabel kerja sehingga setiap pekerja terlibat dapat mengetahui saat-saat kerja. Secara *daily* para karyawan masuk pukul 08.00–17.00 WIB, sedangkan pembagian jadwal *shift* dalam satu hari yaitu *shift* I (pukul 23.00 – 07.00 WIB), *shift* II (pukul 07.00–15.00 WIB), *shift* III (pukul 15.00–23.00 WIB).

Seluruh pekerja yang bekerja secara aktif secara *shift* dibagi dalam empat kelompok, yaitu kelompok A, kelompok B, kelompok C, kelompok D. Dalam satu hari terdapat tiga kelompok yang bekerja bergiliran dalam *shift* dan satu kelompok yang mendapat jatah libur. Setiap kelompok bekerja selama dua atau tiga hari berturut-turut

dalam satu jadwal *shift* dan dua atau tiga hari berikutnya bekerja dalam jadwal *shift* selanjutnya. Setelah menyelesaikan pekerjaan pada *shift*, tiga kelompok tersebut libur bekerja selama dua atau tiga hari, selanjutnya mereka bekerja pada *shift* I.

Tingkat upah yang diberlakukan pada tingkat pendidikan dan pengalaman kerja pekerja dimana semuanya sudah sesuai dengan UMR. Pekerja yang bekerja melebihi jam kerja normal mendapat uang lembur..

4.1.7 Air Separation Unit Plant II

Air Separation merupakan proses pemisahan komponen udara dengan memanfaatkan perbedaan titik beku dari komponen-komponen tersebut. *Air Separation Unit (ASU)* merupakan suatu unit yang dipakai untuk memisahkan udara menjadi komponen-komponennya.

4.1.7.1 Definisi Air Separation Unit Plant II

Bahan baku utama yang digunakan di PT. Polychem Indonesia terdiri dari *ethylene*, oksigen dan air, sedangkan bahan baku pendukung antara lain terdiri dari Nitrogen, *Instrument Air (IA)*, *Plant Air (PA)*, dan *steam*). Oksigen dan Nitrogen didapat dengan cara pemisahan dari komponen yang ada di udara, di mana proses ini dikenal dengan nama *Air Separation Unit (Unit Pemisahan Udara)*. *Air Separation Unit Plant II* seperti pada gambar 4.3



Gambar 4.2 Air Separation Unit Plant II
Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk

Selain itu, udara juga memiliki kandungan uap air (*moisture*). Jumlah kandungan uap air dari udara berbeda-beda. Adapun komponen yang terdapat dari udara seperti tabel 4.1.

Tabel 4.1
Prosentase Komponen Udara *Air Separation Unit*

Komponen Udara	Prosentase
N ₂	78,90%
Ar	0,93%
He	0,00046%
Kr	0,00011%
O ₂	20,95%
CO ₂	0,03%
Ne	0,0016%
Xe	0,000008%

Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk

Hampir 99,05% udara terdiri dari oksigen dan nitrogen. Komposisi ini hampir sama di setiap tempat di dunia. Selain komponen diatas, udara juga memiliki kandungan uap air (*moisture*). Jumlah kandungan uap air dari udara berbeda-beda di setiap tempat tergantung dari temperatur di setiap tempatnya. Kandungan dari uap air dan gas-gas lain akan dipisahkan dari proses ini. Adapun tahapan untuk mendapatkan oksigen dan nitrogen pada proses *Air Separation Unit* terdiri dari:

1. Kompresi udara

Udara yang telah dihilangkan debu atau kotoran oleh *filter*, kemudian dikompresi untuk mendapatkan tekanan udara proses yang diharapkan. Udara dikompresi lebih lanjut oleh *booster compressor* yang digerakan oleh turbin.

2. Penghilangan uap air dan karbondioksida

Uap air dan karbon dioksida harus dihilangkan karena pada proses pemisahan ini dapat menyumbat peralatan proses. Seperti diketahui bahwa proses pemisahan ini beroperasi pada temperatur di bawah -100⁰C sedangkan titik beku dari komponen ini jauh di atas temperatur tersebut sehingga apabila tidak dipisahkan dapat membentuk es kering yang akan mengakibatkan turunnya kapasitas dari produksi, bahkan dapat mengakibatkan kolom *cool box* meledak. Uap air dan karbondioksida dipisahkan dengan menggunakan *molecular sieve*.

3. Pendinginan udara hingga mendekati suhu pencairannya

Udara dari hasil penyerapan dengan *molecular sieve* didinginkan oleh *main heat exchanger* dengan media pendingin aliran produk *rectifier* untuk mendapatkan udara dengan suhu mendekati pencairannya.

4. Pendinginan

Kebutuhan pendinginan diperlukan akibat kehilangan panas dalam alirannya. Hal ini dilakukan melalui *throttle expansion valve* dan dengan mengekspansikan sebagian udara dalam *expansion turbine*.

5. Pencairan

Pencairan dilakukan oleh kondensor. Untuk mendapatkan suhu yang sangat rendah dilakukan dengan mencairkan nitrogen gas untuk digunakan sebagai *refluks* di *pressure column* dan menguapkan oksigen cair agar diperoleh kemurnian yang tinggi.

6. Pemisahan Udara

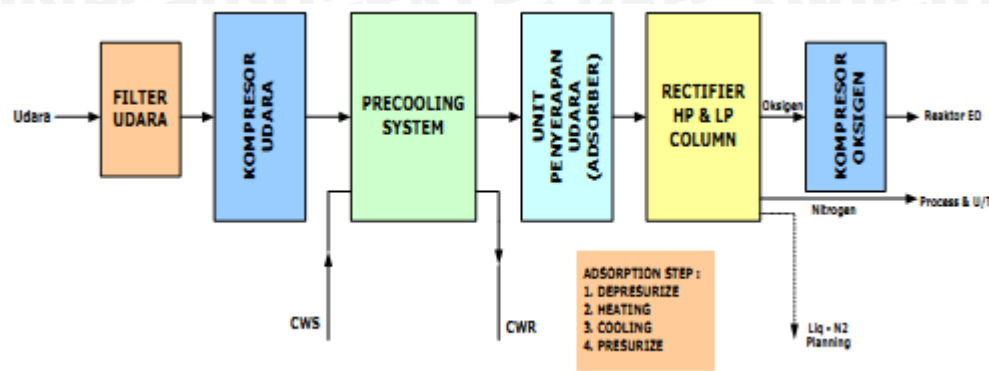
Pemisahan udara disini berdasarkan perbedaan titik didih dan tekanan uap masing-masing komponen yang terdapat di udara. Di *Air Separation Unit*, pemisahan komponen dalam udara dilakukan dalam dua tahap. Pertama udara dipisahkan di *pressure column*, komponen nitrogen yang mempunyai titik didih paling rendah (tekanan uap nitrogen lebih besar dibandingkan komponen lainnya) akan menguap terlebih dahulu menjadi produk GAN (gas nitrogen), oksigen akan berada di *low pressure column* sebagai oksigen cair. Cairan ini dipisahkan di *low pressure column* yang akhirnya diperoleh produk gas oksigen dengan kemurnian tinggi.

7. Penghilangan *impurities* berbahaya

Akibat dari penguapan yang terus menerus dari cairan oksigen di dasar *low pressure column* oleh perpindahan panas dari *reboiler* mengakibatkan penumpukan dari hidrokarbon (terutama *acetylene*). Akumulasi ini dapat dicegah dengan cara pengambilan secara kontinyu (*purging* ke atmosfer), dalam hal ini dilakukan setiap dua jam sekali.

4.1.7.2 Deskripsi *Air Separation Unit Plant II*

Air Separation Unit (ASU) merupakan suatu unit yang dipakai untuk memisahkan udara menjadi komponen-komponennya. Supaya udara dapat dipisahkan, maka harus melewati beberapa tahap proses. Berikut adalah deskripsi proses yang terjadi di *Air Separation Unit Plant II*.



Gambar 4.3 Diagram Proses Air Separation Unit
Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk

1. Air Filter (Suction Compressor) S-1146 dan S-1147

Penyaringan udara sebelum diumpankan ke *air turbo compressor* yaitu dengan menggunakan *pocket filter* yang terdiri dari 2 stage yaitu *cassette filter* (S-1146) dan *insert filter* (S-1147). *Cassette filter* digunakan untuk menyaring debu atau partikel-partikel halus yang terbawa oleh aliran udara. *Insert filter* digunakan untuk menyaring kembali partikel halus yang lolos dari *cassette filter*.

2. Air Turbo Compressor C-1161

Setelah melewati air filter, udara yang dihisap kompresor terlebih dahulu melewati *strainer (cone type)* yang dipergunakan untuk menahan partikel halus yang masih bisa melewati air filter. *Air turbo compressor* C-1161 merupakan alat yang digunakan untuk menaikkan tekanan dari udara hingga mendapatkan suhu yang mendekati titik kritisnya. Jenis kompresor yang digunakan yaitu kompresor sentrifugal dengan menggunakan 3 stage, yang dilengkapi dengan 2 buah *intercooler*. *Intercooler* adalah pendingin yang digunakan untuk mendinginkan udara *outlet* kompresor dengan media pendingin air.

Kondisi desain aliran discharge udara dari Air Turbo Compressor C-1161:

- | | | |
|---------------|------------------------------|-------------------------|
| 1. Laju alir | : 36.000 Nm ³ /hr | |
| 2. Fase | : vapour | |
| 3. Temperatur | : 116 °C | |
| 4. Tekanan | : 6,2 kg/cm ² | |
| 5. Komponen | : N ₂ = 78,09% | O ₂ = 20,95% |
| | Ar = 0,93% | CO ₂ = 0,03% |
| | He = 0,00046% | Ne = 0,0016% |
| | Kr = 0,00011% | Xe = 0,000008% |

3. *Spray Cooler E-2416*

Setelah melewati *stage* kompresor, udara kemudian didinginkan di *spray cooler* yaitu dengan menggunakan *chilled water* dan *cooling water*. Tujuan pendinginan yaitu untuk mendapatkan temperatur yang rendah sehingga proses penyerapan di *adsorber* dapat berlangsung dengan sempurna. *Spray cooler* merupakan silinder tegak yang dilengkapi dengan *sprayer* dan *tray*. Udara dari Air Turbo Compressor C-1161 diumpankan ke bagian bawah *vessel* dan mengalir ke atas, kontak dengan air yang disemprotkan dari *Cooling Water System* melalui *Water Cooling Pump P-2466 A/B* dengan kondisi desain:

1. Laju Alir : 50 m³/hr
2. Fase : *liquid*
3. Temperatur : 33 °C
4. Tekanan : 7,64 kg/cm²

Kemudian berkontak dengan partikel air, untuk kedua kalinya dari *Evaporator Cooler E-2417* melalui *Chilled Water Pump P-2467 A/B* dengan kondisi desain:

1. Laju Alir : 20 m³/hr
2. Fase : *liquid*
3. Temperatur : 15 °C
4. Tekanan : 7,64 kg/cm²

Hasilnya berupa udara dingin yang keluar dari bagian atas *Spray Cooler E-2416* untuk diumpankan ke *Molecular Sieve Adsorber A-2626 A/B* dengan kondisi desain:

1. Laju Alir : 36000 Nm³/hr
2. Fase : *vapour*
3. Temperatur : 17 °C
4. Tekanan : 7,13 kg/cm²

4. *Evaporator Cooler E-2417*

Evaporator Cooler adalah *vessel* tegak yang dilengkapi dengan *nozzle* udara dan *tray*. Digunakan untuk mendapatkan air dingin sebagai media pendinginan lebih lanjut di *spray cooler*.

Kondisi normal air dari *Cooling Water System* dengan kondisi desain:

1. Laju alir : 22,6 m³/hr
2. Fase : *liquid*
3. Temperatur : 33°C

4. Tekanan : 7,64 kg/cm²

Kemudian ditambah dari *Chilled Water Cooler* E-3422 yang disemprotkan dari puncak vessel mengalir ke bawah dan kontak dengan nitrogen *impure* yang merupakan produk *Low Pressure Coloumn* T-3212 yang telah digunakan sebagai media pendingin di *Sub Cooler* E-3316 dan *Main Heat Exchanger* E-3116 A/B dengan kondisi desain:

1. Laju alir : 19978 Nm³/hr

2. Fase : liquid

3. Temperatur : 18,3°C

4. Tekanan : 1,22 kg/cm²

5. Komponen : N₂ = 95,68% O₂ = 3,16% Ar = 1,16%

Nitrogen *impure* kemudian keluar ke atmosfer dengan membawa sebagian air (air terevaporasi) melalui *nozzle* udara, sedangkan *chilled water* turun ke bawah membentuk level di bagian bawah vessel, untuk selanjutnya digunakan sebagai pendingin di *spray cooler*.

5. *Molecular Sieve Adsorber* A-2626 A/B

Berbentuk vessel yang berisi *adsorbent* tipe *molecular sieve*. Digunakan untuk menyerap air, karbondioksida, dan termasuk hidrokarbon ringan yang masih ada dalam aliran udara. Udara diumpankan dari *bottom adsorber* dan keluar melalui puncak menara, untuk selanjutnya diumpankan ke *Booster Compressor* C-3461 dan *Main Heat Exchanger* E-3116 A/B. *Molecular sieve adsorber* terdiri dari 2 vessel (A-2626 A/B) dimana hanya salah satu vessel yang digunakan untuk operasi sedangkan vessel yang lain untuk regenerasi. Adapun proses regenerasi terdiri dari:

a. *Depressurizer*

Merupakan proses penghilangan tekanan yang ada di vessel setelah melakukan servis.

b. *Heating*

Merupakan proses pemanasan dengan menggunakan nitrogen panas sehingga CO₂ dan uap air yang menempel pada *molecular sieve* dapat dihilangkan. Nitrogen panas didapat dari pemanasan dengan menggunakan *steam heater*.

c. *Cooling*

Proses pendinginan dengan menggunakan nitrogen *impure* agar temperatur di *adsorber* menjadi dingin kembali sehingga dapat digunakan kembali untuk operasi.

d. *Pressurizer*

Menaikan tekanan *vessel* sesuai dengan tekanan pada saat *service* dengan menggunakan aliran udara kering keluaran dari *vessel* yang sedang beroperasi.

6. *Booster Compressor C-346/Expansion Turbine X-3171*

Booster Compressor adalah komponen yang digerakan oleh tenaga mekanis yang dihasilkan oleh *expansion turbine*. Digunakan untuk menaikan tekanan sebagian aliran udara *outlet molecular sieve Adsorber A/B* dengan kondisi desain aliran inlet:

1. Fase : *vapour*
2. Laju Aliran : $3450 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
3. Temperatur : 23°C
4. Tekanan : $6,93 \text{ kg/cm}^2$

Dengan aliran outletnya menjadi:

1. Tekanan : $10,6 \text{ kg/cm}^2$
2. Temperatur : 77°C

Setelah dikompresi udara keluaran *Booster Compressor C-3461* kemudian didinginkan di *after cooler* yang merupakan *multitube heat exchanger* dengan media pendingin menggunakan *cooling water E-3421* dan juga dengan menggunakan *chilled water cooler E-3422* yang di dapat dari produk *evaporator cooler* untuk selanjutnya didinginkan kembali di *main heat exchanger*. Aliran keluar *main exchanger* kemudian diumpankan ke *expansion turbine*. Disini udara mencapai titik kritis untuk selanjutnya diumpankan ke *low pressure coloumn*.

7. *Main Heat Exchanger (MHE)*

Main Heat Exchanger adalah *plat heat exchanger* yang digunakan untuk mendinginkan aliran:

- a. Udara yang diumpankan ke *High Pressure Coloumn T-3211* dari *Adsorber A-2626 A/B* hingga mendekati suhu pencairannya.
- b. Udara yang diumpankan ke *Low Pressure Coloumn T-3212* yang sebelumnya telah dikompresi oleh *Booster Compressor C-3461* dan didinginkan oleh *Aftercooler E-3421* serta *Chilled Water Cooler E-3422*. Aliran ini akan mengalir masuk ke MHE dan akan keluar dari bagian tengah MHE untuk menggerakkan *expansion turbine*.
- c. Media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan udara adalah aliran produk yang terdiri dari:

1) Produk yang berupa GOX (gas oksigen) dengan kondisi desain:

- i. Fasa : vapour
- ii. Laju aliran : $6607 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
- iii. Temperatur : -178°C
- iv. Tekanan : $0,57 \text{ kg/cm}^2$
- v. Komponen : $\text{O}_2 = 99,8\%$ $\text{N}_2 = 0\%$ $\text{Ar} = 0,2\%$

2) Produk yang berupa GAN (gas nitrogen) dengan kondisi desain:

- i. Fasa : vapour
- ii. Laju aliran : $1500 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
- iii. Temperatur : -176°C
- iv. Tekanan : $6,62 \text{ kg/cm}^2$
- v. Komponen : $\text{N}_2 = 99,997\%$ $\text{O}_2 = 10 \text{ ppm}$ $\text{Ar} = 2 \text{ ppm}$

3) Produk dari bagian atas *Low Pressure Coloumn* yang berupa gas nitrogen *impure* dengan kondisi desain:

- i. Fasa : vapour
- ii. Laju aliran : $27578 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
- iii. Temperatur : -192°C
- iv. Tekanan : $1,46 \text{ kg/cm}^2$
- v. Komponen : $\text{N}_2 = 95,68\%$ $\text{O}_2 = 3,16\%$ $\text{Ar} = 1,16\%$

8. *High Pressure Colomn T-3211*

Umpan dari *main heat exchanger* masuk pada bagian bawah *high pressure coloumn* dengan kondisi desain:

- 1. Fasa : vapour
- 2. Laju aliran : $32300 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
- 3. Temperatur : $-167,8^\circ\text{C}$
- 4. Tekanan : $6,85 \text{ kg/cm}^2$
- 5. Komponen : $\text{N}_2 = 78,118\%$ $\text{O}_2 = 20,95\%$ $\text{Ar} = 0,932\%$

Pada bagian bawah kolom ini akan terbentuk *liquid* udara yang kaya akan oksigen sedangkan nitrogen akan menguap ke atas membentuk produk gas nitrogen (GAN). Udara *liquid* yang kaya oksigen kemudian diumpankan ke *subcooler* dan dimanfaatkan untuk mendinginkan nitrogen *impure* di *subcooler*, selanjutnya *liquid* yang kaya oksigen ini digunakan sebagai *refluks* di *low pressure colomn*. Sebagian kecil produk gas nitrogen diumpankan ke *reboiler* kondenser, gas nitrogen dikondensasi sehingga

didapatkan produk nitrogen cair yang digunakan sebagai *refluks* pada *high pressure column*.

Kondisi desain produk *O₂ rich liquid* dari dasar *high pressure column*:

1. Fasa : *liquid*
2. Laju aliran : 16623 Nm³/hr
3. Temperatur : -171 °C
4. Tekanan : 6,78 kg/cm²
5. Komponen : N₂ = 59,62% O₂ = 39% Ar = 1,38%

Kondisi desain dari produk gas nitrogen *impure* (GAN) yang keluar dari bagian atas *high pressure column*:

1. Fasa : *vapour*
2. Laju aliran : 1500 Nm³/hr
3. Temperatur : -176 °C
4. Tekanan : 6,62 kg/cm²
5. Komponen : N₂ = 99,997% O₂ = 10 ppm Ar = 2 ppm

Sedangkan *middle* produk dari *high pressure column* yang berupa *liquid* nitrogen, digunakan sebagai *refluks* di *low pressure column* yang sebelumnya didinginkan di *subcooler* terlebih dahulu.

9. Low Pressure Column T-3212

Udara yang keluar dari *expansion turbine* diumpankan ke bagian tengah *low pressure column*, dimana nitrogen langsung menjadi gas sebagai produk nitrogen *impure* pada *high pressure column*. Nitrogen *impure* ini akan didinginkan terlebih dahulu di *subcooler* sebelum digunakan untuk proses regenerasi *adsorber* dan pendinginan di *chilled water*. Kondisi desain gas nitrogen *impure*:

1. Fasa : *vapour*
2. Laju aliran : 27578 Nm³/hr
3. Temperatur : -192 °C
4. Tekanan : 1,46 kg/cm²
5. Komponen : N₂ = 95,68% O₂ = 3,16% Ar = 1,16%

Sedangkan di bagian dasar *low pressure column* terdapat *reboiler kondensor* yang berfungsi sebagai *reboiler* bagi *low pressure column* untuk menguapkan oksigen cair. Gas oksigen yang terbentuk dialirkan sebagai produk gas O₂ yang selanjutnya akan masuk ke *Oxygen Compressor* terlebih dahulu sebelum dikirim ke proses, agar

memenuhi syarat tekanan yang dibutuhkan oleh proses. Kondisi desain gas O₂ dari *low pressure column*:

1. Fasa : vapour
2. Laju aliran : 6607 Nm³/hr
3. Temperatur : -178 °C
4. Tekanan : 1,70 kg/cm²
5. Komponen : O₂= 99,8% N₂ = 0% Ar = 0,2%

Pada periode tertentu, sebagian O₂ cair dari dasar *low pressure column* diambil untuk diuapkan terlebih dahulu di *Total Vaporizer J-3951* sebelum dibuang ke atmosfer oleh *Silencer N-3952*. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari akumulasi komponen hidrokarbon, terutama *acetylene*. Untuk komponen argon dan helium diambil dari cairan GAN yang keluar dari *reboiler condenser* secara kontinyu.

10. Oksigen Kompresor C-1561

Oksigen Kompresor adalah *reciprocating compressor 3 stage* yang digunakan untuk menaikkan tekanan GOX dari *low pressure column* hingga tekanan operasi yang diperlukan di EO/EG proses. Aliran discharge masing-masing stage diserap panas hasil kompresinya dengan *intercooler* yang menggunakan media pendingin dari CWS.

4.1.7.3 Proses Produksi Air Separation Unit Plant II

PT. Polychem Indonesia Tbk dalam proses produksinya terdiri dari empat buah unit utama yaitu unit proses, unit utilitas dan unit pemisahan udara.

1. Unit Proses EO/EG

Unit proses EO/EG didukung oleh serangkaian peralatan yang terdiri dari:

- a. Area 100: reaksi pembentukan *Ethylene oxide* dan scrubbing
- b. Area 200: pemisahan CO₂
- c. Area 300: pelucutan *Ethylene oxide* dan *reabsorpsi*
- d. Area 400: pengambilan *ethylene oxide purification*
- e. Area 500: reaksi pembentukan *glycol*, *evaporal glycol*
- f. Area 600 : *drying* dan *pemurnian glycol*
- g. Area 700 : pemisahan fraksi berat *glycol*
- h. Area 800 : penyimpanan produk, fasilitas pengisian drum (MEG, DEG dan TEG), pengisian MEG ke kapal
- i. Area 900 : *deaerator*

2. Proses Etoksilat
 - a. Area 1400: tangki penyimpanan *Ethylene oxide*
 - b. Area 2100: reaksi pembentukan *Ethoxylate*
3. Unit Utilitas
 - a. Area 820: *air instrument*
 - b. Area 830: air pemadam kebakaran
 - c. Area 840: menara pendingin api
 - d. Area 850: demineralisasi air
 - e. Area 860: *boiler*
 - f. Area 8700: pengolahan limbah
 - g. Area 1000: terminal *Ethylene*
4. Unit Pemisahan udara
 - a. Area 1100: kompresi udara
 - b. Area 1500: kompresi O₂
 - c. Area 2000: pemurnian udara
 - d. Area 3200: rektifikasi

5. Unit *Coal Boiler*

Merupakan unit yang tergolong baru di PT. Polychem Indonesia Tbk. Unit ini didirikan dalam rangka program diverifikasi energi untuk pengendalian *operation cost* PT. Polychem Indonesia Tbk, EO/EG Plant Merak. Dengan cara penggantian unit *boiler* berbahan MFO menjadi *boiler* berbahan baku batu bara dengan kapasitas yang sama dengan unit *boiler* sebelumnya yaitu sebesar 75 ton / jam. *Coal fire boiler* dibuat oleh Shandong Machinery Group Corporation Qingdao, China dan mulai dioperasikan pada bulan Desember 2006. Dalam pengoperasiannya akan berdampak terhadap kualitas udara disekitar. Untuk itu hal tersebut sudah diantisipasi dengan pengendalian secara teknis agar tidak mencemari udara pada *coal boiler* dimulai dari pengiriman batu bara:

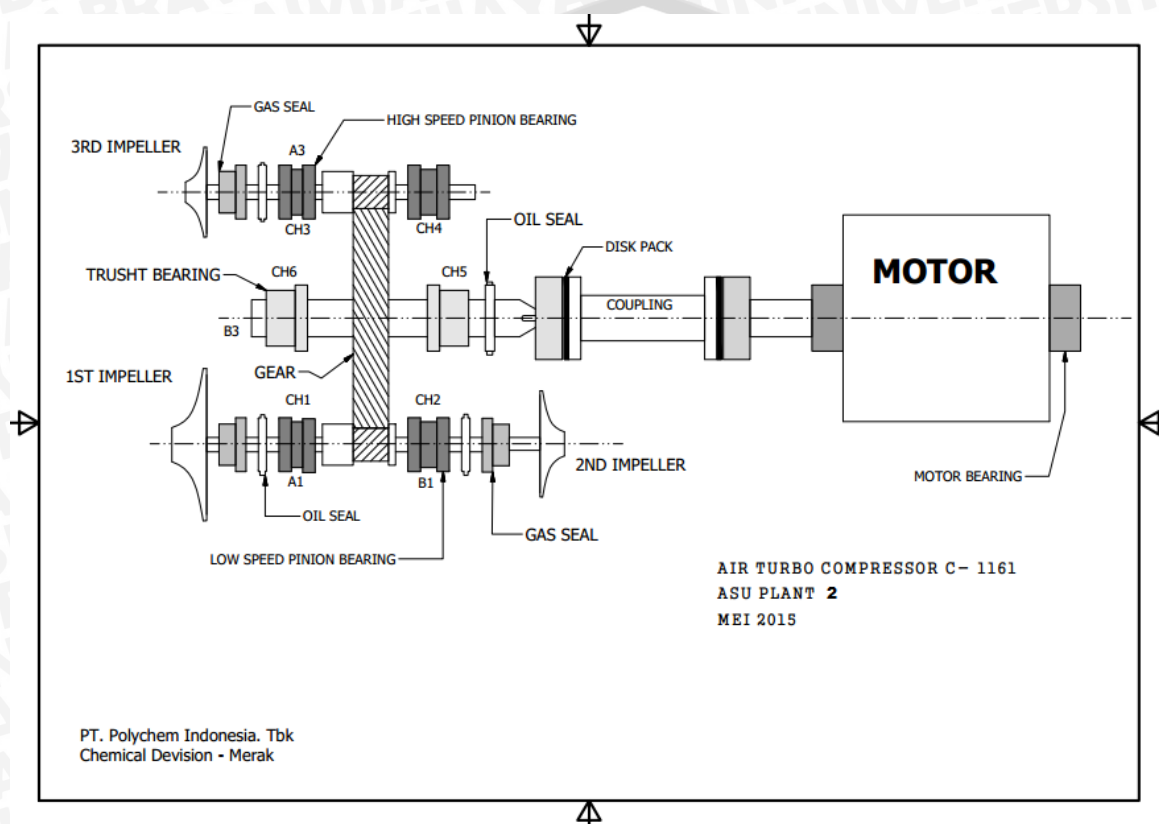
- 1) Penanganan batu bara agar tidak menimbulkan pencemaran maka *supplier* harus memenuhi persyaratan pengangkutan:
 - a. Bak harus ditutup oleh *cover sheet* agar batu bara tidak tumpah/ menimbulkan debu selama perjalanan.
 - b. Batu bara yang diangkut juga mempunyai kandungan air tertentu agar sewaktu *unloading* maupun dalam perjalanan tidak menimbulkan debu.

- c. Batu bara juga harus mempunyai ukuran butiran yang telah ditetapkan sesuai batas aman ($\pm 5\text{mm}$).
 - d. Batu bara juga disimpan di tempat penyimpanan yang dibatasi dinding yang beratap.
- 2) Tahap operasi dari *stock pile* diangkat oleh *leader* dan dituang ke *coal feeder* yang nantinya akan dimasukkan ke *storage hopper* untuk siap dibakar.
 - 3) Tahap proses setelah batu bara dibakar pada dapur pembakaran, sistem juga dilengkapi *ash* dan *slag removing system* yang dilengkapi dengan *wate inlet* untuk pengendalian debu.
 - 4) Adapun asap hasil pembakaran sebelum dibuang ke udara, dari *coal fire boiler* masuk terlebih dahulu ke *economizer* untuk pemanfaatan panas. Kemudian dari *economizer* uap panas masuk ke *pre-heater* yang dilengkapi dengan FD fan 2 buah. Hal ini sebagai pendingin dan baru kemudian masuk ke *Electro statistic precipitator* yang berfungsi sebagai penangkap asap batu bara sebelum asap dibuang melalui *chimney*. *Chimney* adalah cerobong asap setinggi 45 meter.
 - 5) Proses Pemantauan
 - a. Kualitas udara atau asap dari *chimney* juga akan dilakukan monitoring, *chimney* dilengkapi dengan tangga dan 2 titik sampel *point* pada ketinggian yang telah ditentukan berdasarkan peraturan yang ada.
 - b. Pemantauan akan dilakukan 2 kali dalam satu bulan, pemantauan umumnya dilakukan untuk tujuan tertentu, untuk memeriksa terhadap proses berikut atau untuk mengevaluasi kondisi atau kemajuan menuju tujuan hasil tindakan dari beberapa jenis antara lain tindakan untuk mempertahankan proses yang sedang berjalan.
 - c. Tahap setelah proses pemantauan, tahap operasi dari *stock pile* diangkat oleh *leader* dan dituang ke *coal feeder* yang nantinya akan dimasukkan ke *storage hopper*, sistem juga dilengkapi *ash* dan *slag removing system* yang dilengkapi dengan *wate inlet* untuk pengendalian debu.

4.1.8 Deskripsi Objek yang di Amati

Air Turbo Compressor merupakan alat yang digunakan untuk menaikkan tekanan dari udara yang telah melewati mesin filter hingga mendapatkan suhu yang mendekati titik kritisnya (374°C) sebelum diproses dalam *precooling system*. Kompresor ini memiliki 3 *stage* yang didukung oleh dua buah *intercooler*, *stage* pertama mendapatkan

pressure 1,5 kg/cm²G kemudian masuk ke *stage* yang kedua mendapatkan pressure 2,3 kg/cm²G dan yang terakhir stage ketiga mendapatkan pressure sekitar 5,8 kg/cm²G. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghasilkan udara dengan temperatur yang sesuai untuk diproses pada mesin berikutnya. Berikut merupakan penjelasan dari komponen mesin Air Turbo Compressor



Gambar 4.4 Komponen Air Turbo Compressor
Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk

1. Motor

Fungsi dari motor adalah menyuplai energi utama pada sistem mesin ATC. Motor akan berhenti secara perlahan dan berada pada keadaan stasioner bila suhu di aliran sistem ATC sangat tinggi yang mengindikasikan proses penyerapan tidak sempurna, tekanan di dalam terlalu tinggi yang mengindikasikan terjadinya kebocoran di dalam sistem yang ada, serta vibrasi yang tinggi. Stasioner merupakan keadaan dimana mesin tetap menyala dan berputar namun tidak diberikan beban kerja.

2. Kopling

Fungsi kopling adalah untuk menghubungkan dua poros, dimana yang satu adalah poros penggerak dan yang lainnya adalah poros yang digerakkan. Kopling juga

berperan saat mesin berhenti bekerja ketika terjadi kelainan dalam sistem sehingga mesin berhenti secara perlahan.

3. *Bull gear*

Bull gear yang mentransmisikan putaran dari sumber gerak. Dalam hal ini mentransmisikan dari *motor* ke *shaft*.

4. *Shaft*

Shaft berfungsi menjadi poros untuk menggerakkan *impeller*.

5. *Bearing*

Bearing adalah bagian internal kompresor yang berfungsi untuk mendukung beban radial (*journal bearing*) dan aksial (*trusht bearing*) yang berputar dengan tujuan memperkecil gesekan dan mencegah kerusakan pada komponen lainnya. Seluruh *bearing* pada mesin ATC merupakan jenis *sleeve bearing* dan terbuat dari *babbit*. Untuk *journal bearing* terdiri dari *low speed pinion bearing* dan *high pinion bearing* dimana keduanya memiliki spesifikasi yang sama.

6. *Impeller*

Impeller adalah komponen kompresor yang berputar dan berfungsi untuk mentransfer energi dari motor menuju fluida yang diproses. *Impeller* pada tiap stage memiliki spesifikasi yang berbeda.

7. *Seal*

Pada masing-masing *stage* terdapat *oil* dan *gas seal* yang berfungsi untuk mencegah kebocoran pelumas dan gas. *Seal* ada tiap *stage* memiliki spesifikasi yang sama dan merupakan material jenis aluminium.

4.2 Pengumpulan Data

Dalam tahap pengumpulan data akan dikumpulkan data pendukung yang menjadi *input* dalam melakukan pengolahan data. Data yang dikumpulkan terdiri atas dua macam data, yaitu data primer dan data sekunder.

4.2.1 Pengumpulan Data Primer

Data primer didapatkan dari PT. Polychem Indonesia Tbk melalui proses wawancara dengan bagian *maintenance*. Data primer yang diambil adalah data komponen mesin kritis, data identifikasi efek dan penyebab kegagalan dari mesin yang sedang diamati, ranking FMEA untuk setiap kegagalan yang diperoleh dengan cara melakukan *brainstorming* pada kepala divisi *maintenance* dan sub divisi *maintenance*.

4.2.2 Pengumpulan Data Sekunder

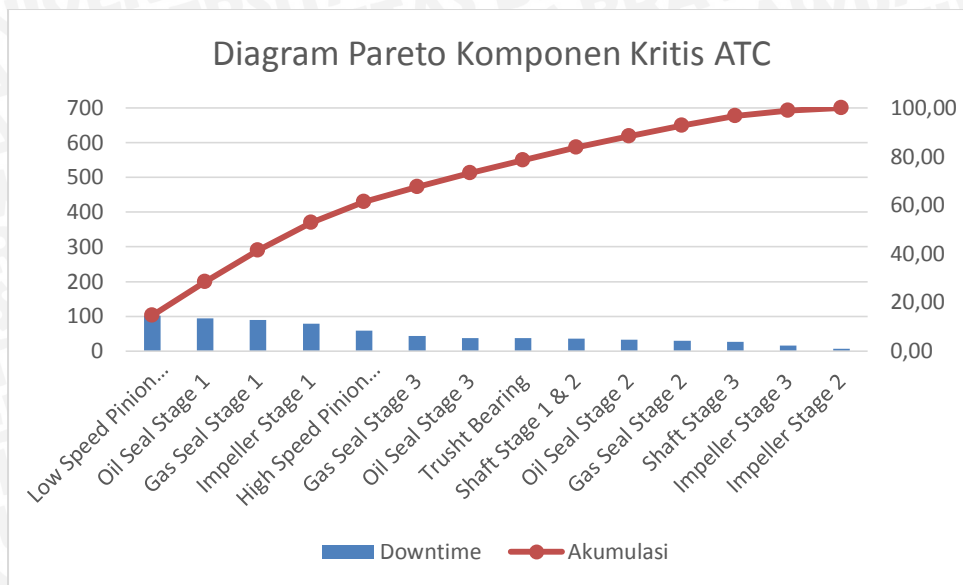
Data sekunder didapatkan dari arsip yang berhubungan dengan proses pemeliharaan mesin pada perusahaan yang berupa data historis selama periode tertentu. Data yang dikumpulkan meliputi data frekuensi dan *downtime* mesin, data *Time To Failure* (TTF) serta data *Time To Repair* (TTR). Berikut ini data sekunder berupa *downtime* mesin ATC selama Oktober 2015 – September 2016 yang diperoleh dari PT. Polychem Indonesia Tbk.

Tabel 4.2
Downtime Komponen Mesin ATC

No	Komponen	Frekuensi	Downtime (jam)
1	Impeller		
	Impeller Stage 1	7	78
	Impeller Stage 2	1	7
	Impeller Stage 3	1	16
2	Oil Seal		
	Oil Seal Stage 1	10	94
	Oil Seal Stage 2	2	32
	Oil Seal Stage 3	5	38
3	Gas Seal		
	Gas Seal Stage 1	8	89
	Gas Seal Stage 2	2	30
	Gas Seal Stage 3	7	43
4	Bearing		
	High Speed Pinion Bearing	7	58
	Low Speed Pinion Bearing	12	101
	Trusht Bearing	5	37
5	Shaft		
	Shaft Stage 1 & 2	1	11
	Shaft Stage 3	1	26

Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk

Dari data frekuensi dan *downtime* mesin ATC pada tabel 4.2, dapat ditentukan komponen kritis dari mesin ATC dengan menggunakan diagram pareto. Gambar 4.5 dibawah ini menunjukkan diagram pareto dari frekuensi dan *downtime* mesin ATC.



Gambar 4.5 Downtime Komponen Mesin ATC

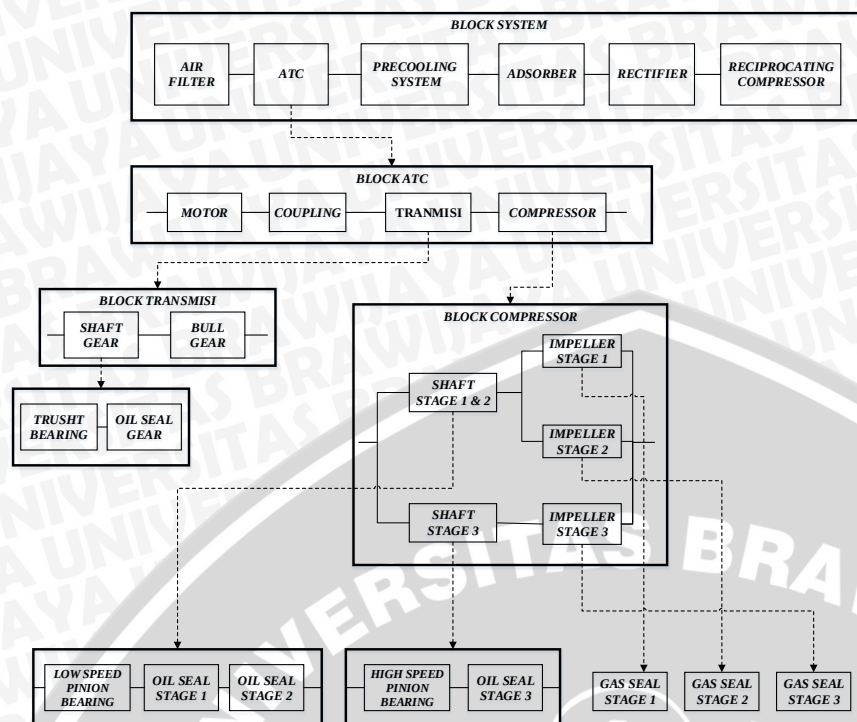
Sesuai dengan konsep diagram pareto (pembagian 80:20) dapat disimpulkan bahwa *oil seal stage 1* dan *stage 3*, *gas seal stage 1* dan *stage 3*, *impeller stage 1*, serta semua jenis *bearing* memiliki total akumulasi 79,80% dari total seluruh *downtime* pada mesin ATC. Komponen tersebut merupakan faktor yang paling berpengaruh dari keseluruhan komponen mesin ATC dan akan digunakan sebagai objek amatan pada penelitian ini.

4.3 Pengolahan Data

Setelah data terkumpul, data diolah dalam bentuk *Functional Block Diagram*. Dengan tujuan mengidentifikasi *system failure and function failure*. Kemudian menyusun *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Pengujian distribusi waktu antar kerusakan (Tf), menghitung interval perawatan efektif, dan menyusun RCM II *Deciosion Worksheet*.

4.3.1 Functional Block Diagram (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) dibuat untuk mendeskripsikan sistem kerja dari komponen mesin kritis. Gambar 4.6 merupakan ilustrasi dari *Functional Block Diagram* (FBD) Mesin ATC. *Functional Block Diagram* ATC dibagi menjadi beberapa *block*, yaitu *block* sistem, *block* ATC, *block* transmisi, *block* kompresor, serta *block* komponen pendukung lainnya. Berikut ini merupakan gambar dan penjelasan dari masing-masing *block*.



Gambar 4.6 Functional Block Diagram Mesin ATC

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa sistem terbagi menjadi tujuh *block* yang masing-masing terdapat komponen mesin yang memiliki fungsi tertentu.

1. *Block System*

Block ini merupakan sistem utama dari *Air Separation Unit* yang berfungsi untuk memisahkan udara menjadi komponen-komponennya. Terdapat enam mesin yang harus dilewati agar udara dapat dipisahkan pada proses ini. Mesin tersebut adalah *Air Filter*, *ATC*, *Precooling System*, *Adsorber*, *Rectifier*, *Reciprocating Compressor*.

2. *Block ATC*

Dalam *block* ini terdapat *motor* sumber energi utama dalam sistem mesin ATC. Kemudian energi tersebut diubah menjadi energi mekanik yang akan memutar transmisi. Kedua komponen tersebut dihubungkan oleh kopling untuk mengatur kerja kompresor.

3. *Block Compressor*

Pada *block* ini terdapat berbagai macam komponen yaitu *shaft* dan *impeller*. *Shaft* berfungsi menjadi poros untuk menggerakkan komponen *impeller*. Pada *stage 1* dan *2*, hanya terdapat satu *shaft* yang menjadi poros bagi komponen yang berada pada *stage* tersebut dan satu *shaft* lainnya menjadi poros bagi komponen pada *stage 3*. Masing-masing *shaft* tersebut dilengkapi bearing dan *oil seal*. Pada *shaft stage 1* dan *2* terdapat *low speed pinion bearing*, *oil seal stage 1* dan *oil seal stage 2*. Pada *shaft*

stage 3 terdapat *high speed pinion bearing* dan *oil seal stage 3*. Komponen lainnya yaitu *Impeller* berfungsi untuk menghasilkan tekanan dan energi. Spesifikasi *impeller* yang berbeda pada masing-masing *stage* sehingga energi yang dihasilkan pada tiap *stage* berbeda pula. Tiap *impeller* dilengkapi oleh *gas seal* yang berfungsi untuk mencegah terjadinya kebocoran fluida.

4. Block Transmisi

Terdapat *shaft gear* yang berfungsi sebagai poros putar bagi *bull gear*. Dimana *shaft gear* dilengkapi *thrust bearing* sebagai bantalan dan *oil seal gear*.

4.3.2 Identifikasi System Function dan Functional Failure

Identifikasi *system function* dan *functional failure* dilakukan agar mengetahui fungsi dan jenis kegagalan yang dialami oleh komponen mesin yang diteliti. Pada tabel 4.3 dibawah ini merupakan *system function* dan *functional failure* dari komponen kritis mesin ATC.

Tabel 4.3

System Function dan Functional Failure Komponen Kritis Mesin ATC

No	Komponen	Function	Function Failure
1	Low Speed Pinion Bearing	Berfungsi untuk menahan getaran <i>pinion gear</i> pada <i>shaft stage 1</i> dan 2	Aus
2	Oil Seal Stage 1	Mencegah terjadi kebocoran sistem <i>oil</i> pada <i>stage 1</i>	Seal bocor
3	Gas Seal Stage 1	Berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses proses tidak masuk kedalam sistem <i>oil</i> pada <i>stage 1</i>	Muncul kerak pada <i>sealface</i>
4	Impeller Stage 1	Berfungsi untuk meningkatkan tekanan pada fluida yang diproses pada <i>stage 1</i>	Sudu <i>impeller</i> rusak
5	High Speed Pinion Bearing	Berfungsi untuk menahan getaran <i>pinion gear</i> pada <i>shaft stage 3</i>	Pitting corrosion
6	Gas Seal Stage 3	Berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses proses tidak masuk kedalam sistem <i>oil</i> pada <i>stage 3</i>	Overheating
7	Oil Seal Stage 3	Mencegah terjadi kebocoran sistem <i>oil</i> pada <i>stage 3</i>	Pengendapan pada <i>seal</i>
8	Thrust Bearing	Berfungsi untuk menahan gaya aksial pada <i>shaft bull gear</i>	Fretting corrosion

Tabel 4.3 menunjukkan fungsi (*function*) serta kegagalan fungsi (*function failure*) dari komponen dengan downtime tertinggi pada mesin ATC. Komponen dengan downtime tertinggi yang pertama adalah *low speed pinion bearing* yang berfungsi untuk menahan getaran *pinion gear* pada *shaft stage 1* dan 2. Kegagalan fungsi yang terjadi adalah *low speed pinion bearing* gagal menahan getaran *pinion gear* pada *shaft stage 1* dan 2 karena aus. Komponen kedua yaitu *oil seal stage 1* yang berfungsi mencegah terjadi kebocoran sistem *oil* pada *stage 1*. Kegagalan fungsi yang terjadi adalah *seal*

mengalami kebocoran. Komponen ketiga adalah *gas seal stage 1* yang berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses proses tidak masuk kedalam sistem *oil* pada *stage 1*. Kegagalan fungsi pada komponen ini adalah *sealface* muncul kerak. Komponen lain yang memiliki *downtime* tinggi dan terdapat pada *stage 1* adalah *impeller* yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan pada fluida yang diproses pada *stage 1* dan kegagalan fungsi yang terjadi yaitu terjadi kerusakan pada sudu-sudunya.

Untuk komponen bearing lainnya yaitu *high speed pinion bearing* dan *thrust bearing* memiliki fungsi yang mirip yaitu menahan gaya dan getaran yang dibebankan, perbedaannya terdapat pada letak kedua komponen tersebut di mesin ATC. Kegagalan fungsi yang terjadi yaitu terjadi korosi, dalam hal ini *pitting* dan *fretting*. Sedangkan dua komponen berikutnya yaitu *gas* dan *oil seal* pada *stage 3* yang memiliki fungsi yang serupa dengan *seal* pada *stage 1* dan kegagalan fungsi masing – masing komponen tersebut yaitu *overheating* dan pengendapan.

4.3.3 Failure Mode and Effect Anaysis (FMEA)

Penyusunan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk menganalisis terjadinya suatu kegagalan tertinggi pada tiap komponen kritis mesin ATC. Hal ini dilakukan agar dapat menentukan strategi perawatan yang tepat dan dapat menyelesaikan permasalahan PT. Polychem Indonesia Tbk. Berikut ini merupakan tabel *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk komponen kritis mesin ATC.

Tabel 4.4

Failure Mode dan Failure Effect Komponen Kritis Mesin ATC

No	Komponen	Function Failure	Failure Mode	Failure Effect
1	<i>L.S Pinion Bearing</i>	Aus	Pembersihan dan pelumasan yang jarang dilakukan	Menyebabkan keausan dini dan vibrasi tinggi
2	<i>Oil Seal Stage 1</i>	<i>Seal</i> bocor	Pemasangan yang tidak tepat (longgar) dan kurangnya pengecekan	Meyebabkan <i>seal</i> menjadi rusak dan terjadi kebocoran pada sistem
3	<i>Gas Seal Stage 1</i>	Muncul kerak pada <i>sealface</i>	Suhu dan tekanan sistem yang tinggi serta fluida proses yang kotor dan terkontaminasi	Menyebabkan vibrasi yang cukup tinggi pada sistem
4	<i>Impeller Stage 1</i>	Sudu <i>impeller</i> rusak	Ketidakseimbangan putaran pada <i>impeller</i> karena kurangnya pengecekan	Merusak pelindungnya (<i>housing</i>) dan terjadi vibrasi tinggi serta <i>pressure</i> yang dihasilkan tidak sesuai
5	<i>H.S Pinion Bearing</i>	<i>Pitting corrosion</i>	Pelumasan yang jarang dilakukan dan sistem yang bekerja terus menerus	Menyebabkan umur pemakaian <i>bearing</i> berkurang dan cepat aus akibat timbul korosi
6	<i>Gas Seal Stage 3</i>	<i>Overheating</i>	Aliran fluida pada <i>stage 3</i> memiliki temperatur yang cukup tinggi dan gesekan pada <i>shaft</i>	Menyebabkan <i>seal</i> aus dan berwarna kemerahan sehingga kerapatan berkurang
7	<i>Oil Seal Stage 3</i>	Pengendapan pada <i>seal</i>	Pembersihan yang jarang dilakukan dan kotoran yang menumpuk pada <i>seal</i>	Menyumbat sistem <i>oil</i> dan mengurangi sistem pelumasan pada <i>bearing</i>
8	<i>Trusht Bearing</i>	<i>Fretting corrosion</i>	Gesekan dengan <i>shaft</i> dalam waktu yang lama dan mengalami keausan	Meyebabkan terjadinya kelonggaran pada kedudukan bearing

4.3.3.1 Perhitungan Nilai Severity

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisa resiko yaitu menghitung seberapa besar dampak kejadian mempengaruhi *output* proses. Nilai *severity* diperoleh melalui hasil diskusi dengan bagian *maintenance* PT. Polychem Indonesia Tbk. kriteria faktor *severity* pada PT. Polychem Indonesia Tbk telah dijelaskan pada tabel 2.5. Berikut ini merupakan nilai *severity* pada mesin ATC yang terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5
Nilai Severity Mesin ATC

No	Komponen	Estimasi Waktu Perbaikan	Severity
1	Low Speed Pinion Bearing	Lama perbaikan $\pm$ 395 menit	4
2	Oil Seal Stage 1	Lama perbaikan $\pm$ 380 menit	4
3	Gas Seal Stage 1	Lama perbaikan $\pm$ 360 menit	4
4	Impeller Stage 1	Lama perbaikan $\pm$ 420 menit	4
5	High Speed Pinion Bearing	Lama perbaikan $\pm$ 350 menit	4
6	Gas Seal Stage 3	Lama perbaikan $\pm$ 325 menit	4
7	Oil Seal Stage 3	Lama perbaikan $\pm$ 360 menit	4
8	Trusht Bearing	Lama perbaikan $\pm$ 365 menit	4

Dari tabel 4.5 dapat dilihat bahwa dampak yang ditimbulkan dari *potential failure* komponen kritis mesin ATC memiliki nilai yang sama besar yaitu 4. Nilai tersebut didapatkan karena jika terjadi suatu kerusakan komponen maka akan mempengaruhi kinerja dari sistem. Hal ini disebabkan sistem ATC yang memiliki struktur komponen yang kompleks atau saling terhubung. Sedangkan komponen yang mengalami kegagalan ataupun kerusakan membutuhkan waktu perbaikan dengan rentang interval antara 325 – 420 menit. Dari penjelasan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa *rating severity* komponen mesin ATC memiliki nilai 4.

4.3.3.2 Perhitungan Nilai Occurence

Nilai *occurence* merupakan rating yang mengacu pada berapa banyak frekuensi *potential failure* yang terjadi. Nilai *occurence* diperoleh melalui hasil diskusi dengan bagian *maintenance* PT. Polychem Indonesia Tbk. Nilai *occurence* pada komponen kritis mesin ATC yang dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6
Nilai Occurence Mesin ATC

No	Komponen	Frekuensi Failure	Occurence
1	Low Speed Pinion Bearing	12 kali / tahun	4
2	Oil Seal Stage 1	10 kali / tahun	4
3	Gas Seal Stage 1	8 kali / tahun	3
4	Impeller Stage 1	7 kali / tahun	3
5	High Speed Pinion Bearing	7 kali / tahun	3
6	Gas Seal Stage 3	7 kali / tahun	3
7	Oil Seal Stage 3	5 kali / tahun	3
8	Trusht Bearing	5 kali / tahun	3

Dari tabel 4.6 dapat disimpulkan bahwa untuk frekuensi *failure* yang terjadi pada komponen *low speed pinion bearing* dan *oil seal stage 1* yaitu 12 kali dan 10 kali per tahun sehingga kedua komponen memiliki nilai rating *occurence* yang sama besar yaitu 4. *Rank 4* memiliki arti probabilitas kegagalan yang dialami oleh komponen termasuk pada taraf sedikit dengan probabilitas terjadinya kegagalan per tahunnya adalah 10-49 kali per tahun. Sedangkan untuk komponen lainnya memiliki nilai rating *occurence* yang sama yaitu 3 yang memiliki arti probabilitas kegagalan yang dialami termasuk pada taraf sangat sedikit.

4.3.3.3 Perhitungan Nilai *Detection*

Nilai *detection* adalah mengacu pada kemungkinan metode deteksi yang sekarang dapat mendeteksi *potential failure mode* sebelum produk tersebut dirilis untuk di produksi, didesain hingga untuk proses. Nilai *detection* diperoleh melalui hasil diskusi dengan bagian maintenance PT. Polychem Indonesia Tbk. Nilai *detection* pada komponen mesin ATC dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7
Nilai *Detection* Mesin ATC

No	Komponen	Detection	Rank
1	<i>Low Speed Pinion Bearing</i>	Pengecekan yang dilakukan pihak <i>maintenance</i> , kecil kemungkinan dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	8
2	<i>Oil Seal Stage 1</i>	Pengecekan yang dilakukan pihak <i>maintenance</i> , kemungkinan besar dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	4
3	<i>Gas Seal Stage 1</i>	Pengecekan yang dilakukan pihak <i>maintenance</i> , kemungkinan besar dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	4
4	<i>Impeller Stage 1</i>	Pengecekan yang dilakukan pihak <i>maintenance</i> , kemungkinan besar dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	4
5	<i>High Speed Pinion Bearing</i>	Pengecekan yang dilakukan pihak <i>maintenance</i> , kecil kemungkinan dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	8
6	<i>Gas Seal Stage 3</i>	Pengecekan yang dilakukan pihak <i>maintenance</i> , kemungkinan besar dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	4
7	<i>Oil Seal Stage 3</i>	Pengecekan yang dilakukan pihak <i>maintenance</i> , kemungkinan besar dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	4
8	<i>Trusht Bearing</i>	Pengecekan yang dilakukan pihak <i>maintenance</i> , kecil kemungkinan dapat mendeteksi terjadinya kegagalan	8

Dari tabel 4.7 dapat disimpulkan bahwa untuk jenis kerusakan *bearing* memiliki nilai *detection* yang tertinggi, dengan nilai *detection* sebesar 8. *Rank 8* memiliki arti bahwa deteksi hanya memiliki sedikit kemungkinan dan kemungkinan deteksi oleh kontrol hanya kecil untuk melakukan pengecekan terhadap kegagalan. Hal ini

dikarenakan jenis kerusakan yang dialami oleh *bearing* atas dasar kesalahan dari sumber daya manusia sendiri yang jarang melakukan pengecekan untuk melakukan pelumasan ulang agar meminimalisir kegagalan. Komponen *bearing* juga memiliki umur tertentu sesuai dengan jenisnya. Sedangkan untuk komponen lain, jika dilakukan pengecekan maka kemungkinan kegagalan dapat terdeteksi cukup besar.

4.3.3.4 Perhitungan Nilai RPN

Setelah mendapatkan nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* dari jenis kerusakan yang terjadi pada komponen kritis mesin ATC maka kemudian akan dilakukan perhitungan mengenai nilai *Risk Priority Number* (RPN). Perhitungan RPN ini diperoleh dengan cara mengkalikan *rating severity*, *occurrence* dan *detection*. Perhitungan RPN digunakan untuk melakukan analisis *ranking* kelemahan proses untuk mempertimbangkan tindakan yang mungkin untuk mengurangi kekritisan dan membuat proses lebih baik. Perhitungan nilai RPN untuk komponen mesin ATC dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8
Perhitungan Nilai RPN Komponen Kritis Mesin ATC

No	Komponen	Failure Mode	Failure Effect	S	O	D	RPN
1	Low Speed Pinion Bearing	Pembersihan dan pelumasan yang jarang dilakukan	Menyebabkan keausan dini dan vibrasi tinggi	4	4	8	128
2	Oil Seal Stage 1	Pemasangan yang tidak tepat (longgar) dan kurangnya pengecekan	Meyebabkan seal menjadi rusak dan terjadi kebocoran pada sistem	4	4	4	64
3	Gas Seal Stage 1	Suhu dan tekanan sistem yang tinggi serta fluida proses yang kotor dan terkontaminasi	Menyebabkan vibrasi yang cukup tinggi pada sistem	4	3	4	48
4	Impeller Stage 1	Ketidakeimbangan putaran pada impeller karena kurangnya pengecekan	Merusak pelindungnya (<i>housing</i>) dan terjadi vibrasi tinggi serta <i>pressure</i> yang dihasilkan tidak sesuai	4	3	4	48
5	High Speed Pinion Bearing	Pelumasan yang jarang dilakukan dan sistem yang bekerja terus menerus	Menyebabkan umur pemakaian <i>bearing</i> berkurang dan cepat aus akibat timbul korosi	4	3	8	96
6	Gas Seal Stage 3	Aliran fluida pada stage 3 memiliki temperatur yang cukup tinggi dan gesekan pada <i>shaft</i>	Menyebabkan seal aus dan berwarna kemerahan sehingga kerapatan berkurang	4	3	4	48
7	Oil Seal Stage 3	Pembersihan yang jarang dilakukan dan kotoran yang menumpuk pada seal	Menyumbat sistem <i>oil</i> dan mengurangi sistem pelumasan pada <i>bearing</i>	4	3	4	48
8	Trusht Bearing	Gesekan dengan <i>shaft</i> dalam waktu yang lama dan mengalami keausan	Meyebabkan terjadinya kelonggaran pada kedudukan bearing	4	3	8	96

Berdasarkan tabel 4.8 maka dapat disimpulkan bahwa nilai RPN yang tertinggi adalah untuk jenis kerusakan pada komponen *low speed pinion bearing* yang memiliki

nilai RPN sebesar 128. Hal ini dapat menjadi patokan bahwa komponen tersebut yang paling membutuhkan prioritas untuk dilakukannya perbaikan dibanding dengan komponen lain. Untuk komponen *high speed pinion* dan *thrust bearing* memiliki nilai RPN yang sama yaitu sebesar 96. Komponen *oil seal stage 1* memiliki nilai RPN sebesar 64 sedangkan empat komponen lainnya yaitu *gas seal stage 1*, *impeller stage 1*, *oil seal stage 2*, dan *gas seal stage 2* memiliki nilai RPN yang sama yaitu sebesar 48. Dari analisa FMEA dan perhitungan nilai RPN sebelumnya maka diperoleh informasi yang dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.



Tabel 4.9
RCM II Information Worksheet

RCM II Information Worksheet			SISTEM : Air Separation Unit	Facilitator:					
			SUB-SYSTEM : ATC	Auditor:					
No	Komponen	Function	Functional Failure (loss of function)	Failure Mode(cause of failure)	Failure Effect (what happen when it failure)	S	O	D	RPN
1	Low Speed Pinion Bearing	Berfungsi untuk menahan getaran <i>pinion gear</i> pada <i>shaft stage 1</i> dan 2	Aus	Pembersihan dan pelumasan yang jarang dilakukan	Menyebabkan keausan dini dan vibrasi tinggi	4	4	8	128
2	Oil Seal Stage 1	Mencegah terjadi kebocoran sistem <i>oil</i> pada <i>stage 1</i>	Seal bocor	Pemasangan yang tidak tepat (longgar) dan kurangnya pengecekan	Meyebabkan <i>seal</i> menjadi rusak dan terjadi kebocoran pada sistem	4	4	4	64
3	Gas Seal Stage 1	Berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses proses tidak masuk kedalam sistem <i>oil</i> pada <i>stage 1</i>	Muncul kerak pada <i>sealface</i>	Suhu dan tekanan sistem yang tinggi serta fluida proses yang kotor dan terkontaminasi	Menyebabkan vibrasi yang cukup tinggi pada sistem	4	3	4	48
4	Impeller Stage 1	Berfungsi untuk meningkatkan tekanan pada fluida yang diproses pada <i>stage 1</i>	Sudu <i>impeller</i> rusak	Ketidakeimbangan putaran pada <i>impeller</i> karena kurangnya pengecekan	Merusak pelindungnya (<i>housing</i>) dan terjadi vibrasi tinggi serta <i>pressure</i> yang dihasilkan tidak sesuai	4	3	4	48
5	High Speed Pinion Bearing	Berfungsi untuk menahan getaran <i>pinion gear</i> pada <i>shaft stage 3</i>	<i>Pitting corrosion</i>	Pelumasan yang jarang dilakukan dan sistem yang bekerja terus menerus	Menyebabkan umur pemakaian <i>bearing</i> berkurang dan cepat aus akibat timbul korosi	4	3	8	96
6	Gas Seal Stage 3	Berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses proses tidak masuk kedalam sistem <i>oil</i> pada <i>stage 3</i>	<i>Overheating</i>	Aliran fluida pada <i>stage 3</i> memiliki temperatur yang cukup tinggi dan gesekan pada <i>shaft</i>	Menyebabkan seal aus dan berwarna kemerahan sehingga kerapatan berkurang	4	3	4	48
7	Oil Seal Stage 3	Mencegah terjadi kebocoran sistem <i>oil</i> pada <i>stage 3</i>	Pengendapan pada <i>seal</i>	Pembersihan yang jarang dilakukan dan kotoran yang menumpuk pada <i>seal</i>	Menyumbat sistem <i>oil</i> dan mengurangi sistem pelumasan pada <i>bearing</i>	4	3	4	48
8	Trusht Bearing	Berfungsi untuk menahan gaya aksial pada <i>shaft bull gear</i>	<i>Fretting corrosion</i>	Gesekan dengan <i>shaft</i> dalam waktu yang lama dan mengalami keausan	Meyebabkan terjadinya kelonggaran pada kedudukan bearing	4	3	8	96

4.3.4 Penentuan Distribusi, Nilai *Mean Time to Failure* (MTTF), dan *Mean Time to Repair* (MTTR)

Perhitungan yang selanjutnya dilaksanakan adalah identifikasi pola distribusi data *time to failure* (TTF) dan data *time to repair* (TTR). Langkah pertama yang dilakukan dalam menentukan distribusi ini adalah dengan menduga suatu distribusi data waktu kerusakan berdasarkan karakteristik dari macam-macam jenis distribusi kerusakan yang sesuai dengan penerapan dalam suatu aplikasi. Data-data kerusakan tersebut akan mengikuti pola salah satu dari empat jenis distribusi, yaitu distribusi *weibull*, eksponensial, normal, dan lognormal. Keempat distribusi tersebut adalah distribusi yang paling sering digunakan untuk menggambarkan pola atau model kerusakan atau fase keausan mesin dan komponen. Setelah pendugaan jenis distribusi TTF dan TTR, langkah kedua adalah melakukan pengolahan distribusi yang terpilih untuk memperoleh nilai MTTF dan MTTR dari masing-masing komponen.

Data *time to failure* komponen kritis mesin ATC disebabkan oleh berbagai macam hal. Pada umumnya, mesin ATC berhenti bekerja (mati) dikarenakan temperatur, vibrasi, maupun *pressure* yang terjadi pada sistem mengalami kelainan. Kelainan tersebut disebabkan karena adanya komponen mesin ATC yang mengalami kegagalan. Sehingga pihak *maintenance* harus melakukan pembongkaran mesin untuk melihat komponen apa yang mengalami kegagalan. Jika dilihat dari *functional block diagram* pada sub bab 4.3.1, komponen mesin ATC memiliki sistem yang cukup kompleks. Tidak dapat dipungkiri pula bahwa kegagalan salah satu komponen dapat memicu kegagalan pada komponen lainnya. Sering kali perbaikan yang dilakukan tidak hanya terfokus pada komponen yang mengalami kegagalan. Perbaikan pada komponen kritis ATC tidak melulu dilakukan penggantian komponen karena terbatasnya ketersediaan komponen kecuali jika komponen tersebut sudah tidak dalam keadaan standar, khususnya komponen *bearing*. Perbaikan yang dilakukan adalah pengecekan ulang, pembersihan, pelumasan, maupun memulihkan kembali pada keadaan standarnya (*alignment and allowance*). Ketika melakukan perbaikan komponen kritis ATC, biasanya mekanik juga melakukan pengecekan pada komponen *shaft*. Sehingga membutuhkan waktu lebih untuk melakukan perbaikan dan perawatan. Data TTF dan TTR komponen mesin ATC periode Oktober 2015 – September 2016 dapat dilihat pada tabel 4.10 dan tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.10
Data TTF Komponen Kritis Mesin ATC

Low Speed Pinion Bearing (jam)	Oil Seal Stage 1 (jam)	Gas Seal Stage 1 (jam)	Impeller Stage 1 (jam)	High Speed Pinion Bearing (jam)	Gas Seal Stage 3 (jam)	Oil Seal Stage 3 (jam)	Trusht Bearing (jam)
464	1022	545	1050	414	1406	1038	880
913	520	1014	2076	829	749	2094	502
487	1008	2102	1304	941	1091	1344	747
846	1037	1308	2057	1028	2056	1837	1191
781	809	1059	789	985	1073		
987	1103	641	1086	963	2096		
635	857	1408					
1044	1306						
792	1005						
608							
941							

Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk.

Tabel 4.11
Data TTR Komponen Kritis Mesin ATC

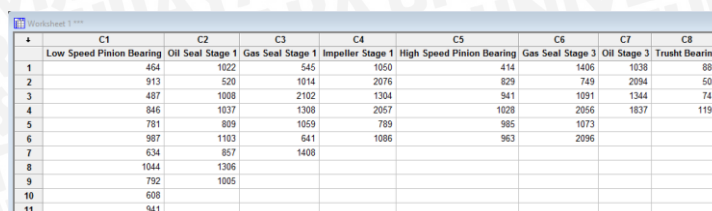
Low Speed Pinion Bearing (jam)	Oil Seal Stage 1 (jam)	Gas Seal Stage 1 (jam)	Impeller Stage 1 (jam)	High Speed Pinion Bearing (jam)	Gas Seal Stage 3 (jam)	Oil Seal Stage 3 (jam)	Trusht Bearing (jam)
7,3	8,2	7,2	7,9	7,8	7,6	7,3	6,6
6,3	7,4	7,5	6,6	8,4	8,6	7,7	6,4
7,4	6,9	6,5	8,4	6,9	7,8	6,2	5,2
7,2	7,2	9,1	7,4	7,7	8,3	6,6	7,6
6,5	7,5	9,5	6,3	7,9	8,5	7,9	7,1
7,4	6,9	8,0	8,2	7,6	7,9		
7,0	8,3	8,9	8,7	8,1	6,8		
7,1	8,1	8,2					
7,5	7,3						
6,1	6,1						
7,3							
6,3							

Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk.

4.3.4.1 Penentuan Distribusi *Time To Failure* (TTF) Komponen Kritis Mesin ATC

Uji distribusi waktu antar kerusakan (TTF) dari tiap komponen dengan downtime tertinggi yang menjadi objek penelitian dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16. Berikut merupakan langkah-langkah yang menunjukkan tahapan pengujian distribusi pada *low speed pinion bearing* dengan menggunakan *software* Minitab 16.

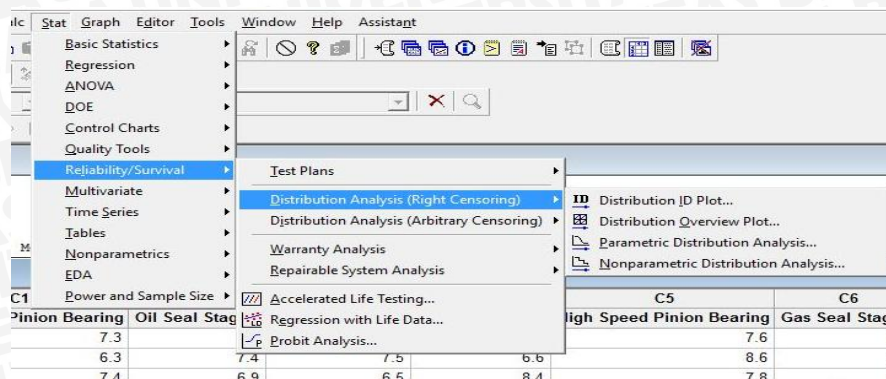
- Input data TTF komponen pada *worksheet software* Minitab 16.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	Low Speed Pinion Bearing	Oil Seal Stage 1	Gas Seal Stage 1	Impeller Stage 1	High Speed Pinion Bearing	Gas Seal Stage 3	Oil Stage 3	Trusht Bearing
1	464	1022	545	1050	414	1406	1038	880
2	913	520	1014	2076	829	749	2094	502
3	487	1008	2102	1304	941	1091	1344	747
4	846	1037	1308	2057	1028	2056	1837	1191
5	781	809	1059	789	985	1073		
6	987	1103	641	1086	963	2096		
7	635	857	1408					
8	1044	1306						
9	792	1005						
10	608							
11	941							

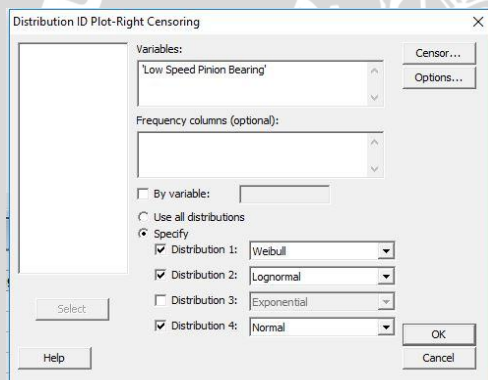
Gambar 4.7 Input Data Komponen Pada *Worksheet* Minitab 16

- b. Mengolah data dengan cara klik *Stat – Reliability/Survival – Distribution Analysis (Right Correcting) – Distribution ID Plot*.



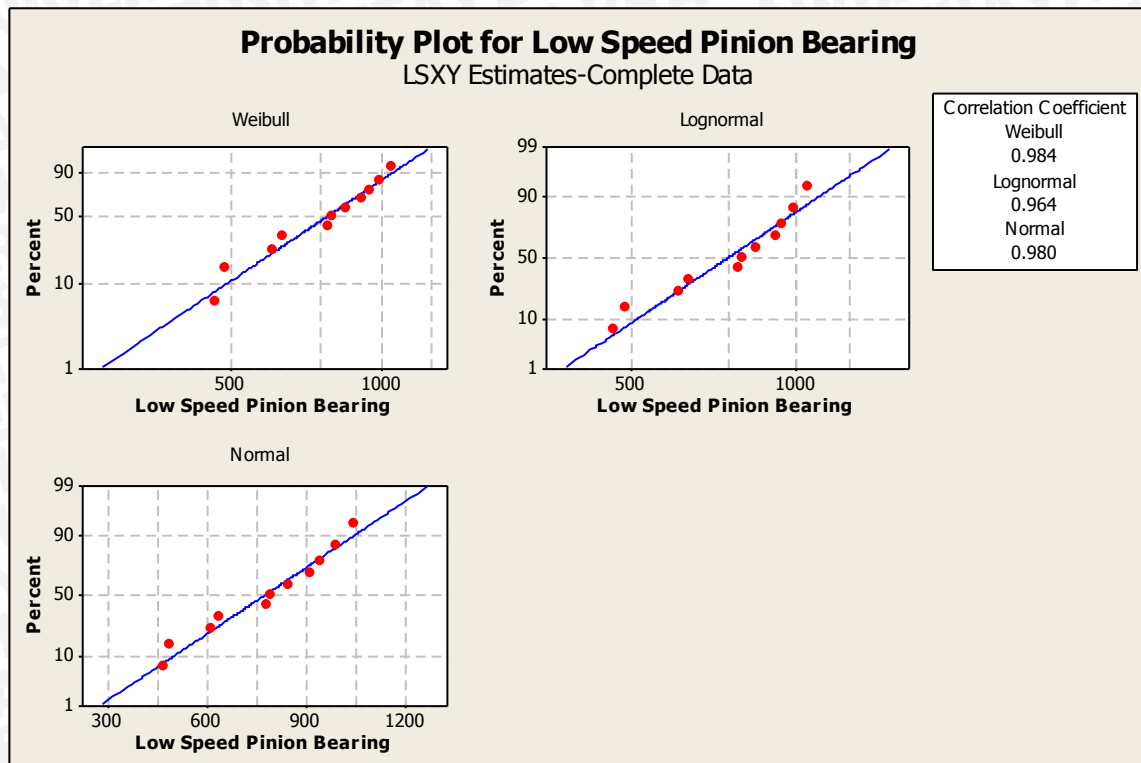
Gambar 4.8 Pengolahan Data Komponen Menggunakan Minitab 16

- c. Langkah berikutnya yaitu *Select Data* yang telah dimasukkan ke dalam kolom *Variables*. Setelah itu klik *Specify* dan pilih distribusi normal, *lognormal* dan *weibull*, kemudian klik *OK*.



Gambar 4.9 Dialog Box Distribution ID Plot pada Software Minitab 16

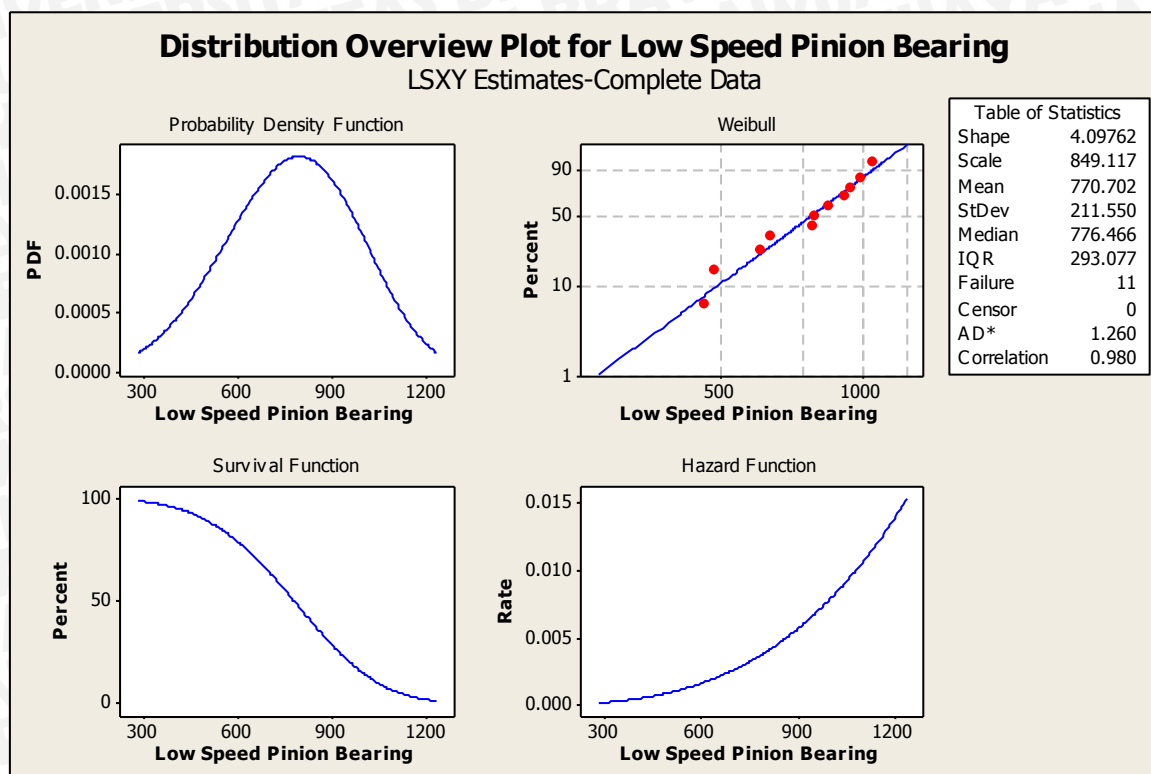
Dari langkah – langkah diatas, maka didapatkan output pengujian distribusi pada data TTF komponen *low speed pinion bearing* yang dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini.



Gambar 4.10 Pengujian Distribusi Data TTF Komponen *Low Speed Pinion Bearing*

Berdasarkan pengujian distribusi data dengan menggunakan *software* Minitab 16 menghasilkan nilai *correlative coefficient* pada distribusi weibull sebesar 0,984, distribusi lognormal sebesar 0,964, dan distribusi normal sebesar 0,980. Dari ke empat jenis distribusi yang muncul pada perhitungan menggunakan *software* Minitab 16 dipilih nilai *correlative coefficient* terbesar, yaitu distribusi weibull dengan nilai sebesar 0,984. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data kerusakan pada *low speed pinion bearing* memiliki jenis distribusi weibull.

Setelah jenis distribusi didapatkan, maka tahapan yang selanjutnya dilaksanakan adalah penentuan parameter pada *low speed pinion bearing* yang memiliki jenis distribusi weibull. Penentuan parameter dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16 pula. Berikut adalah gambar 4.11 yang menunjukkan hasil penentuan parameter dengan menggunakan *software* Minitab 16.



Gambar 4.11 Penentuan Parameter TTF Komponen Low Speed Pinion Bearing

Berdasarkan penentuan parameter TTF pada *low speed pinion bearing* dengan menggunakan *software* Minitab 16 didapatkan parameter (*shape*) dengan nilai sebesar 4,09762 dan parameter skala (*scale*) didapatkan nilai sebesar 849,117. Setelah diketahui parameter pada tiap komponen maka dapat digunakan sebagai dasar perhitungan MTTF tiap komponen. Berikut adalah tabel 4.12 yang menunjukkan jenis distribusi serta penentuan parameter tiap komponen kritis mesin ATC. Untuk pengujian distribusi dan penentuan parameter data TTF selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

Tabel 4.12

Uji Distribusi Data TTF Komponen Kritis Mesin ATC

Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter	
		β (Shape)	θ (Scale)
Low Speed Pinion Bearing	Weibull	4,09762	849,12
Oil Seal Stage 1	Weibull	4,46466	1052,68
Gas Seal Stage 1	Weibull	2,38098	1305,63
Impeller Stage 1	Weibull	2,87392	1556,98
High Speed Pinion Bearing	Weibull	3,50445	951,57
Gas Seal Stage 3	Weibull	2,72127	1587,72
Oil Seal Stage 3	Weibull	3,22434	1765,11
Trusht Bearing	Weibull	2,80779	938,42

4.3.4.2 Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) untuk Time to Failure (TTF)

Komponen Kritis Mesin ATC

Setelah dilakukan penentuan distribusi data dan penentuan parameter dengan bantuan software Minitab 16. Tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan Mean Time to Failure (MTTF). Oleh karena data *time to failure* (TTF) pada *low speed pinion bearing* yang terdapat pada mesin ATC berdistribusi lognormal, maka untuk perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) *low speed pinion bearing* dilakukan dengan menggunakan rumus (2-11). Berikut ini adalah perhitungan MTTF untuk *low speed pinion bearing*.

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 849,12 \Gamma \left(1 + \frac{1}{4,09762} \right)$$

$$= 779,64 \text{ jam}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus (2-11) maka didapatkan nilai MTTF *low speed pinion bearing* sebesar 779,64 jam. Perhitungan yang sama juga dilakukan pada komponen lainnya. Berikut ini merupakan tabel 4.13 yang menunjukkan nilai MTTF komponen dengan downtime tertinggi pada mesin ATC. Sedangkan untuk perhitungan MTTF selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

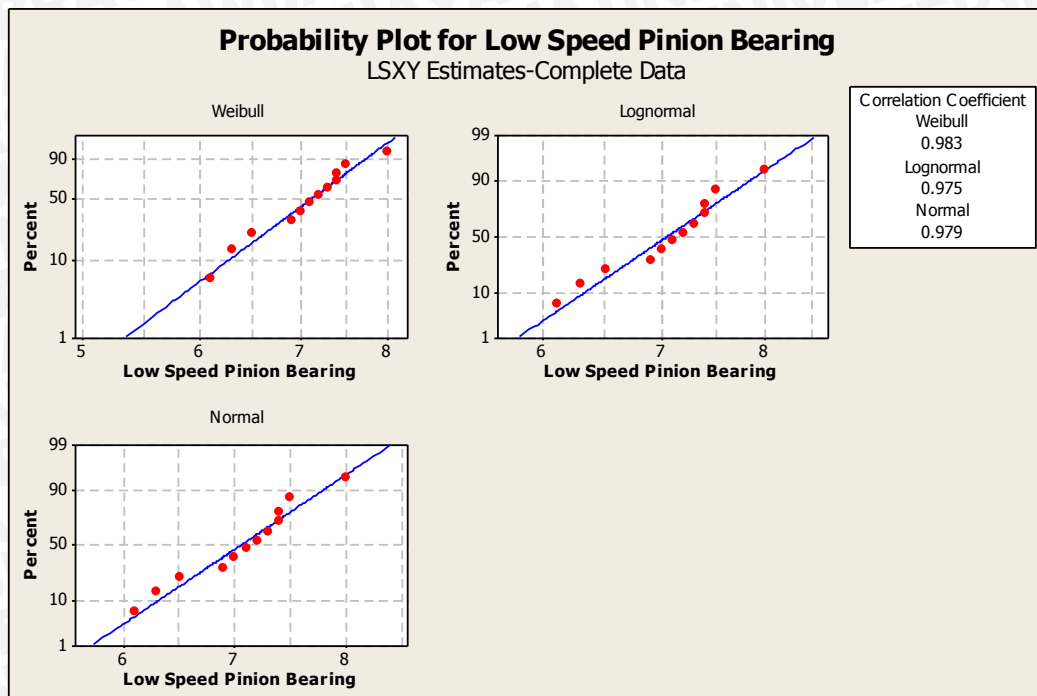
Tabel 4.13
MTTF Komponen Kritis Pada Mesin ATC

Komponen	MTTF (Jam)
Low Speed Pinion Bearing	779,64
Oil Seal Stage 1	966,54
Gas Seal Stage 1	1158,44
Impeller Stage 1	1397,34
High Speed Pinion Bearing	873,70
Gas Seal Stage 3	1408,72
Oil Seal Stage 3	1584,14
Trusht Bearing	832,62

Seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.3.4, *time to failure* komponen kritis mesin ATC disebabkan oleh berbagai macam hal yaitu dikarenakan temperatur, vibrasi, maupun *pressure* yang terjadi pada sistem mengalami kelainan yang dapat mengakibatkan mesin berhenti atau mati sehingga harus dilakukan pengecekan, perbaikan, dan perawatan. Jika dilihat dari *functional block diagram* pada sub bab 4.3.1, komponen mesin ATC memiliki sistem yang cukup kompleks. Tidak dapat dipungkiri pula bahwa kegagalan salah satu komponen dapat memicu kegagalan pada komponen lainnya.

4.3.4.3 Penentuan Distribusi *Time To Repair* (TTR) Komponen Kritis Mesin ATC

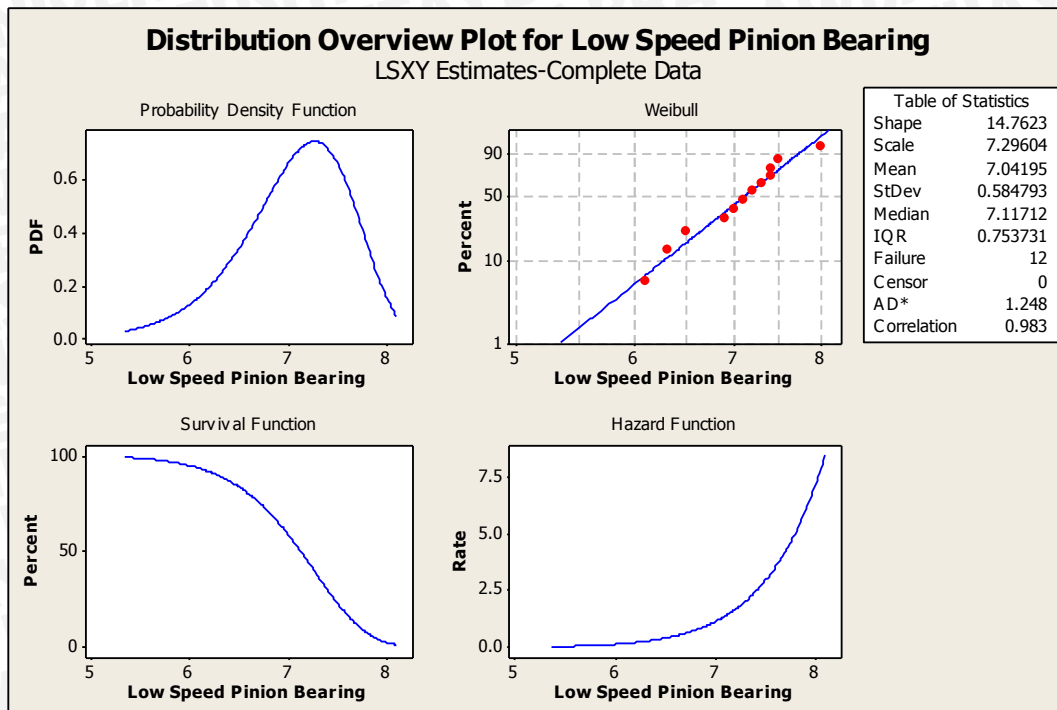
Uji distribusi waktu antar kerusakan (TTR) dari tiap komponen kritis yang menjadi objek penelitian dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16. Berikut ini merupakan adalah gambar 4.12 yang menunjukkan tahapan pengujian distribusi pada *low speed pinion bearing* dengan menggunakan *software* Minitab 16.



Gambar 4.12 Pengujian Distribusi Data TTR Komponen *Low Speed Pinion Bearing*

Berdasarkan pengujian distribusi data dengan menggunakan *software* Minitab 17 menghasilkan nilai *correlative coefficient* pada distribusi weibull sebesar 0,983, distribusi lognormal sebesar 0,975, dan distribusi normal sebesar 0,979. Dari ke empat jenis distribusi yang muncul pada perhitungan menggunakan *software* Minitab 16 dipilih nilai *correlative coefficient* terbesar, yaitu distribusi weibull dengan nilai sebesar 0,983. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data TTR pada *low speed pinion bearing* memiliki jenis distribusi weibull.

Setelah jenis distribusi didapatkan, maka tahapan yang selanjutnya dilaksanakan adalah penentuan parameter pada data TTR *low speed pinion bearing* yang memiliki jenis distribusi weibull. Penentuan parameter dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 16 pula. Berikut adalah gambar 4.13 yang menunjukkan hasil penentuan parameter dengan menggunakan *software* Minitab 16.



Gambar 4.13 Penentuan Parameter TTR Komponen Low Speed Pinion Bearing

Berdasarkan penentuan parameter TTR pada *low speed pinion bearing* dengan menggunakan *software* Minitab 16 didapatkan parameter bentuk (*shape*) dengan nilai sebesar 14,7623. Pada parameter skala (*scale*) didapatkan nilai sebesar 7,29604. Setelah diketahui parameter pada tiap komponen maka dapat digunakan sebagai dasar perhitungan MTTR tiap komponen. Berikut adalah tabel 4.14 yang menunjukkan jenis distribusi serta penentuan parameter tiap komponen kritis pada mesin ATC. Untuk pengujian distribusi dan penentuan parameter data TTR selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 4**.

Tabel 4.14
Uji Distribusi Data TTR Komponen Kritis Mesin ATC

Nama Komponen	Jenis Distribusi	Parameter	
		β (Shape)	θ (Scale)
Low Speed Pinion Bearing	Weibull	14,7623	7,2960
Oil Seal Stage 1	Weibull	12,1175	7,6857
Gas Seal Stage 1	Weibull	8,5411	8,5543
Impeller Stage 1	Weibull	8,9148	8,0395
High Speed Pinion Bearing	Weibull	17,9831	7,9813
Gas Seal Stage 3	Weibull	13,5933	8,2080
Oil Seal Stage 3	Weibull	10,2514	7,4588
Trusht Bearing	Weibull	7,3599	6,9779

4.3.4.4 Perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk *Time to Repair* (TTR) Komponen Kritis Mesin ATC

Setelah dilakukan penentuan distribusi dan penentuan parameter data TTR dengan bantuan *software* Minitab 16. Tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR). Oleh karena data *time to repair* (TTR) pada *low speed pinion bearing* yang terdapat pada mesin ATC berdistribusi Weibull, maka untuk perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR) *low speed pinion bearing* dilakukan dengan menggunakan rumus (2-12). Berikut ini adalah perhitungan MTTR untuk *low speed pinion bearing*.

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 7,2960 \Gamma \left(1 + \frac{1}{14,7623} \right) \\ = 6,9411 \text{ jam}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus (2-12) maka didapatkan nilai MTTR adalah 6,9411 jam Perhitungan yang sama juga dilakukan pada komponen lainnya. Berikut ini merupakan tabel 4.15 yang menunjukkan nilai MTTR komponen kritis pada mesin ATC. Perhitungan MTTR selengkapnya dapat dilihat pada **Lampiran 5**.

Tabel 4.15
MTTR Komponen Kritis Pada Mesin ATC

Komponen	MTTR (Jam)
<i>Low Speed Pinion Bearing</i>	6,9411
<i>Oil Seal Stage 1</i>	7,3118
<i>Gas Seal Stage 1</i>	8,1381
<i>Impeller Stage 1</i>	7,6483
<i>High Speed Pinion Bearing</i>	7,5930
<i>Gas Seal Stage 3</i>	7,8087
<i>Oil Seal Stage 3</i>	7,0959
<i>Trusht Bearing</i>	6.6384

Seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.8 bahwa *mean time to repair* merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk memulihkan dari sebuah kegagalan suatu komponen atau mesin. Sedangkan perbaikan yang dilakukan pada komponen kritis mesin ATC adalah pengecekan ulang, pembersihan, pelumasan, maupun memulihkan kembali pada keadaan standarnya (*alignment and allowance*). Hal tersebut dilakukan apabila tidak adanya ketersediaan komponen ataupun umur/kondisi komponen masih memungkinkan untuk tetap digunakan. Ketika melakukan perbaikan ataupun komponen kritis ATC, biasanya mekanik juga melakukan pengecekan pada komponen *shaft*. Beberapa kegagalan komponen yang sulit terdeteksi secara langsung dan kegiatan

pengecekan *shaft* mengakibatkan perbaikan dan perawatan membutuhkan waktu yang lama.

4.3.5 Perhitungan Total Biaya Perawatan

Setelah dilakukan pengujian distribusi waktu antar kerusakan (*time to failure*) dan waktu antar perbaikan (*time to repair*), langkah selanjutnya adalah penentuan total biaya perawatan optimum. Sebelum melakukan perhitungan total biaya perawatan optimum, terlebih dahulu adalah menentukan biaya tenaga kerja, biaya kerugian produksi, dan biaya perbaikan komponen. Berikut merupakan perhitungan biaya tenaga kerja, biaya kerugian produksi, dan biaya perbaikan komponen.

1. Biaya Tenaga kerja

Biaya tenaga kerja adalah biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk membayar pekerja yang melakukan tindakan *maintenance* selama terjadi kerusakan pada mesin ATC. Tenaga kerja tersebut berjumlah 6 orang tenaga teknis. Dimana jumlah jam kerja karyawan selama 1 hari adalah 8 jam. Perhitungan tenaga kerja dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16
Biaya Tenaga Kerja Perawatan

No.	Tenaga Kerja Perawatan	Biaya Per Hari	Jumlah Gaji/ jam	Jumlah Tenaga Kerja
1.	Teknisi	260.000	32.500	6 orang
Jumlah		1.560.000	195.000	6 orang

Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk.

Untuk biaya teknisi per hari dibutuhkan biaya sebesar Rp 260.000/orang. Sedangkan dibutuhkan enam orang teknisi untuk melakukan perawatan mesin ini. Sehingga biaya yang dikeluarkan untuk tenaga kerja per hari oleh perusahaan yaitu Rp 1.560.000. Jika dikonversikan menjadi per jam maka diperoleh biaya total untuk tenaga kerja yang dikeluarkan perusahaan yaitu sejumlah Rp195.000,00 per jam dengan asumsi bahwa tenaga kerja tersebut *available* untuk melakukan kegiatan perawatan/perbaikan.

2. Biaya Kerugian Produksi

Biaya kerugian produksi adalah biaya yang muncul apabila terjadi downtime. Hal tersebut menyebabkan perusahaan mengalami kerugian (*loss production*) karena mesin tidak dapat berproduksi. Berikut ini akan dijelaskan perihal yang terjadi akibat

downtime mesin ATC yang berpengaruh pada produksi listrik PT. Polychem Indonesia Tbk.

Kapasitas Daya Listrik yang dapat disuplai oleh 1 unit ATC adalah sebesar 7.157 kWh. Jika Harga Pokok Produksi (HPP) listrik per kWh Rp 996,21 sedangkan output mesin ATC yaitu 7500 Nm³/hours maka biaya kerugian produksi perjam adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Kerugian Produksi} &= \frac{\text{Kapasitas Daya Listrik} \times \text{HPP}}{\text{Output}} \\
 &= \frac{7.157 \text{ kWh} \times \text{Rp } 996,21}{7500 \text{ Nm}^3/\text{hours}} \\
 &= \text{Rp } 950,64 \\
 &\approx \text{Rp } 951/\text{hours}
 \end{aligned}$$

3. Biaya Pergantian Komponen

Biaya ini timbul akibat adanya kerusakan komponen yang membutuhkan penggantian komponen pada mesin ATC. Sebelumnya pada sub bab 4.1.8 di atas sudah dijelaskan bahwa komponen *oil seal* dan *gas seal* pada mesin ATC ini memiliki spesifikasi yang sama di masing-masing *stage*. Begitu pula dengan komponen *low speed pinion bearing* dan *high speed pinion bearing* sehingga komponen tersebut memiliki harga yang sama. Harga komponen dapat dilihat pada tabel 4.17 berikut ini.

Tabel 4.17
Harga Komponen Mesin ATC

No.	Nama Komponen	Harga Komponen
1.	<i>Journal Bearing</i>	Rp 1.435.000,00
2.	<i>Oil Seal</i>	Rp 725.000,00
3.	<i>Gas Seal</i>	Rp 780.000,00
4.	<i>Impeller stage 1</i>	Rp. 2.850.000,00
5.	<i>Thrust Bearing</i>	Rp 1.625.000,00

Sumber : PT. Polychem Indonesia Tbk.

4. Biaya perbaikan *failure* (Cf) dan biaya perbaikan *preventive* (Cp)

Waktu perbaikan *corrective* adalah waktu yang diperoleh dari hasil perhitungan *Mean Time to Repair* (MTTR). Waktu perbaikan *preventive* pada mesin ATC memiliki probabilitas yang sama dengan waktu perbaikan *corrective*. Hal ini dikarenakan tindakan penggantian komponen mesin ATC juga harus dilakukan pembongkaran mesin terlebih dahulu seperti saat perbaikan *corrective* ($T_f = \text{MTTR} = T_p$). Sehingga biaya perbaikan *failure* dan *preventive* memiliki nilai yang sama ($C_f = C_p$). Berikut contoh perhitungan *failure cost* (Cf) pada komponen *low speed pinion bearing* adalah sebagai berikut.

$C_f =$

$$((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \text{Harga Komponen}$$

$$= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 6,9411) + \text{Rp } 1.435.000,00$$

$$= \text{Rp } 2.795.107$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan *failure cost* (C_f) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.18 berikut ini. Perhitungan komponen lainnya dapat dilihat pada **Lampiran 6**.

Tabel 4.18

Hasil Perhitungan Biaya Perbaikan *Failure* Komponen Kritis Mesin ATC

Komponen	Biaya Tenaga Kerja per jam	Biaya Kerugian Produksi per jam	MTTR (jam)	Harga Komponen	C_f
<i>Low Speed Pinion Bearing</i>	Rp 195.000	Rp 951	6,9411	Rp 1.435.000	Rp 2.795.107
<i>Oil Seal Stage 1</i>	Rp 195.000	Rp 951	7,3118	Rp 725.000	Rp 2.157.754
<i>Gas Seal Stage 1</i>	Rp 195.000	Rp 951	8,1381	Rp 780.000	Rp 2.374.677
<i>Impeller Stage 1</i>	Rp 195.000	Rp 951	7,6484	Rp 2.850.000	Rp 4.348.709
<i>High Speed Pinion Bearing</i>	Rp 195.000	Rp 951	7,5930	Rp 1.435.000	Rp 2.922.859
<i>Gas Seal Stage 3</i>	Rp 195.000	Rp 951	7,8087	Rp 780.000	Rp 2.310.120
<i>Oil Stage 3</i>	Rp 195.000	Rp 951	7,0959	Rp 725.000	Rp 2.115.456
<i>Trusht Bearing</i>	Rp 195.000	Rp 951	6,6384	Rp 1.625.000	Rp 2.925.807

Setelah *failure cost* (C_f) atau *preventive cost* (C_p) masing-masing komponen dengan *downtime* tertinggi pada didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung interval perawatan yang optimal dengan menggunakan persamaan (2-22).

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_f(\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

Contoh Perhitungan TM *low speed pinion bearing* :

$$TM = 849,12 \left[\frac{2.795.107}{2.795.107(4,09762 - 1)} \right]^{\frac{1}{4,09762}}$$

$$= 849,12 (0,7589) = 644,37 \text{ jam}$$

Interval waktu perawatan pada masing-masing komponen kritis mesin ATC dapat dilihat pada tabel 4.19 berikut ini.

Tabel 4.19
Interval Perawatan Optimal

Komponen	C _p	β	θ	TM (jam)
Low Speed Pinion Bearing	Rp 2.795.107	4,09762	849,12	644,37
Oil Seal Stage 1	Rp 2.157.754	4,46466	1052,68	796,93
Gas Seal Stage 1	Rp 2.374.677	2,38098	1305,63	1140,09
Impeller Stage 1	Rp 4.348.709	2,87392	1556,98	1251,35
High Speed Pinion Bearing	Rp 2.922.859	3,50445	951,57	732,26
Gas Seal Stage 3	Rp 2.310.120	2,72127	1587,72	1300,49
Oil Stage 3	Rp 2.115.456	3,22434	1765,11	1377,49
Trusht Bearing	Rp 2.925.807	2,80779	938,42	759,99

Dari tabel 4.19 didapatkan informasi bahwa interval waktu perawatan paling tinggi adalah komponen *oil seal stage 3* dengan nilai sebesar 1377,49 jam. Sedangkan waktu interval perawatan paling rendah yaitu pada komponen *low speed pinion bearing* dengan nilai 644,37 jam. Untuk perhitungan interval perawatan komponen lainnya dapat dilihat selengkapnya pada **Lampiran 7**. Waktu interval perawatan yang didapatkan akan digunakan sebagai jangka waktu atau penjadwalan untuk dilakukan kegiatan pemeliharaan dan perawatan rutin mesin.

5. Total Biaya Perawatan

Kemudian yang dilakukan adalah melakukan perhitungan total biaya perawatan berdasarkan interval waktu perawatan untuk komponen kritis mesin ATC. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan total biaya perawatan sebelum dan sesudah menggunakan interval perawatan. Rekapitulasi hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.20.

Dari rumus (2-21) didapatkan :

$$\begin{aligned}
 TC &= C_f F_f + C_m F_m \\
 &= C_f \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + C_m \left[\frac{1}{TM} \right], \text{ maka} \\
 &= \frac{C_f}{\theta \beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_m}{TM}
 \end{aligned}$$

Jika $C_m = C_p$ = Biaya yang dikeluarkan untuk perawatan per siklus, maka didapatkan :

$$= \frac{C_f}{\theta \beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_p}{TM}, \text{ atau}$$

$$= \frac{C_p}{TM} + \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1}$$

Untuk perhitungan TC_{MTTF} , nilai TM diganti dengan nilai $MTTF$.

a. Sebelum menggunakan interval perawatan

$$TC_{MTTF} = \frac{C_p}{MTTF} + \frac{C_f}{\theta^\beta} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC_{MTTF} = \frac{2.795.107}{779,64} + \frac{2.795.107}{1789,10^{5,07308}} 779,64^{5,07308-1}$$

$$TC_{MTTF} = \text{Rp } 6.112/\text{jam}$$

b. Sesudah menggunakan interval perawatan

$$TC_{TM} = \frac{C_p}{TM} + \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1}$$

$$TC_{TM} = \frac{2.795.107}{644,37} + \frac{2.795.107}{1789,10^{5,07308}} 644,37^{5,07308-1}$$

$$TC_{TM} = \text{Rp } 5.738/\text{jam}$$

Tabel 4.20

Perhitungan Interval Waktu Perawatan dan Total Biaya Perawatan

Komponen	MTTF (jam)	TM (jam)	TC MTTF (per jam)	TC TM (per jam)
Low Speed Pinion Bearing	779,64	644,37	Rp 6.112	Rp 5.738
Oil Seal Stage 1	966,54	796,93	Rp 3.757	Rp 3.489
Gas Seal Stage 1	1158,44	1140,09	Rp 3.592	Rp 3.591
Impeller Stage 1	1397,34	1251,35	Rp 5.393	Rp 5.330
High Speed Pinion Bearing	873,70	732,26	Rp 5.826	Rp 5.585
Gas Seal Stage 3	1408,72	1300,49	Rp 2.824	Rp 2.808
Oil Seal Stage 3	1584,14	1377,49	Rp 2.278	Rp 2.226
Trusht Bearing	832,62	759,99	Rp 6.025	Rp 5.979

Dari tabel 4.20 dapat dilihat perbandingan biaya sebelum dan sesudah dilakukan interval perawatan dari komponen mesin ATC. Nilai $TC_{MTTF} < TC_{TM}$ dikarenakan *preventive maintenance* yang dijadwalkan sebagai interval perawatan (TM) lebih sering dilakukan dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan *preventive* sama dengan waktu perbaikan *corrective* ($T_f = MTTR = T_p$). Komponen yang memiliki total biaya perawatan tertinggi yaitu komponen *thrusht bearing* sebesar Rp 5.979/jam. Komponen yang memiliki total biaya perawatan terendah yaitu *oil stage 3* sebesar Rp 2.226/jam. Untuk perhitungan total biaya perawatan komponen lainnya dapat dilihat selengkapnya pada **Lampiran 8**.

4.3.6 Perhitungan Keandalan Dari Komponen Kritis Mesin ATC

Setelah dilakukan perhitungan mengenai interval waktu perawatan, maka kemudian akan dilakukan perhitungan mengenai keandalan dari komponen kritis mesin ATC berdasarkan perhitungan interval waktu perawatan dan berdasarkan nilai dari *Mean Time to Failure* (MTTF). Perhitungan nilai keandalan ini berfungsi untuk menentukan interval waktu perawatan yang terbaik untuk komponen mesin ATC. Menurut persamaan (2-13), berikut ini merupakan contoh perhitungan keandalan untuk komponen *low speed pinion bearing* sebelum menggunakan interval perawatan. ($e = 2,178$)

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

$$R(\text{MTTF}) = e^{-\left(\frac{779,64}{849,12}\right)^{4,09762}}$$

$$R(\text{MTTF}) = 0,578$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan keandalan untuk komponen *low speed pinion bearing* setelah menggunakan interval perawatan.

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

$$R(\text{TM}) = e^{-\left(\frac{644,37}{849,12}\right)^{4,09762}}$$

$$R(\text{TM}) = 0,778$$

Pada tabel 4.21 berikut ini merupakan perbandingan hasil perhitungan keandalan untuk komponen kritis mesin ATC sebelum menggunakan interval perawatan dan setelah menggunakan interval perawatan.

Tabel 4.21

Perbandingan Keandalan Komponen Kritis Mesin ATC

Komponen	R (MTTF)	R(MTTF) %	R (TM)	R(TM) %	Peningkatan (%)
Low Speed Pinion Bearing	0,578	57,8%	0,778	77,8%	20%
Oil Seal Stage 1	0,588	58,8%	0,799	79,9%	21,1%
Gas Seal Stage 1	0,557	55,7%	0,669	66,9%	11,2%
Impeller Stage 1	0,565	56,5%	0,660	66%	9,5%
High Pinion Bearing	0,562	56,2%	0,733	73,3%	17,1%
Gas Seal Stage 3	0,570	57%	0,636	63,6%	6,6%
Oil Stage 3	0,577	57,7%	0,705	70,5%	12,8%
Trusht Bearing	0,573	57,3%	0,650	65%	7,7%

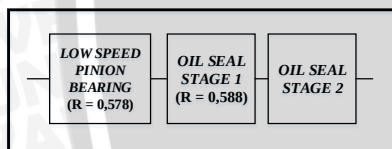
Dari tabel 4.21 didapatkan informasi nilai keandalan dari masing masing komponen terdapat perbedaan pada saat keandalan mesin yang sebelum menggunakan interval perawatan dengan mesin yang setelah menggunakan interval perawatan. Terjadi peningkatan keandalan terhadap komponen kritis mesin ATC setelah menggunakan interval perawatan. Untuk perhitungan keandalan komponen lainnya dapat dilihat selengkapnya pada **Lampiran 9**.

4.3.7 Perhitungan Keandalan Mesin ATC

Dalam menentukan keandalan mesin saat ini terlebih dahulu kita harus mengetahui hubungan tiap komponen yang berada pada mesin ATC yang telah dibagi menjadi *block* tertentu sehingga kita dapat mengetahui keandalan mesin dari keandalan tiap *block* yang ada pada tiap mesin. Adapun perhitungan keandalan tiap block pada mesin ini adalah sebagai berikut:

1. Komponen pendukung *shaft stage 1 & 2*

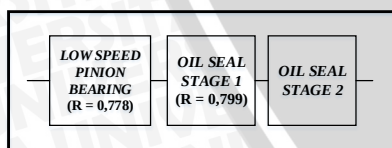
Keandalan dari komponen pendukung *shaft stage 1 & 2* sebelum diterapkan Interval perawatan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.14 Keandalan Komponen Pendukung *Shaft Stage 1 & 2* Berdasarkan R(MTTF)

$$R_{\text{Shaft Stage 1 \& 2}} = R_{\text{LS pinion bearing}} \times R_{\text{oil seal 1}} \times R_{\text{oil seal 2}} = 0,578 \times 0,588 \times 1 = 0,334$$

Keandalan dari komponen pendukung *shaft stage 1 & 2* setelah diterapkan Interval perawatan adalah sebagai berikut:

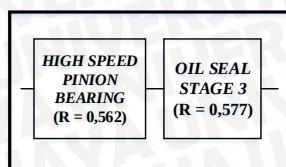


Gambar 4.15 Keandalan Komponen Pendukung *Shaft Stage 1 & 2* Berdasarkan R(TM)

$$R_{\text{Shaft Stage 1 \& 2}} = R_{\text{LS pinion bearing}} \times R_{\text{oil seal 1}} \times R_{\text{oil seal 2}} = 0,778 \times 0,799 \times 1 = 0,622$$

2. Komponen pendukung *shaft stage 3*

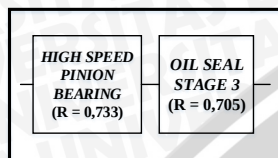
Keandalan dari Komponen pendukung *shaft stage 3* sebelum diterapkan Interval adalah sebagai berikut:



Gambar 4.16 Keandalan Komponen Pendukung Shaft Stage 3 Berdasarkan R(MTTF)

$$R_{\text{Shaft Stage 3}} = R_{\text{H.S pinion bearing}} \times R_{\text{oil seal 3}} = 0,562 \times 0,577 = 0,324$$

Keandalan dari Komponen pendukung shaft stage 3 setelah diterapkan Interval adalah sebagai berikut:



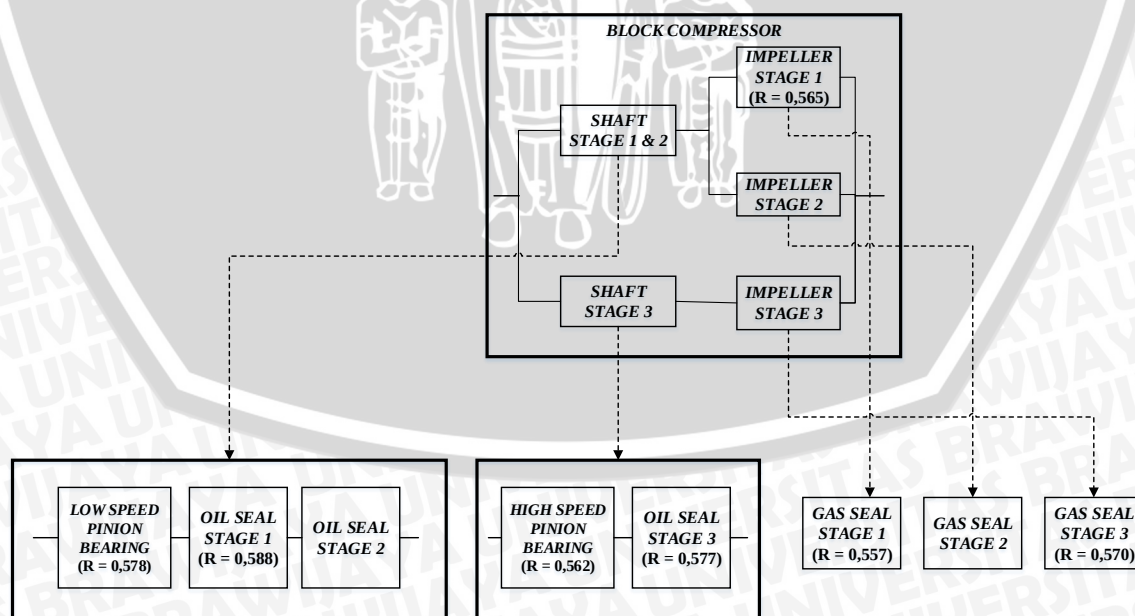
Gambar 4.17 Keandalan Komponen Pendukung Shaft Stage 3 Berdasarkan R(TM)

$$R_{\text{Shaft Stage 3}} = R_{\text{H.S pinion bearing}} \times R_{\text{oil seal 3}} = 0,733 \times 0,705 = 0,517$$

3. Block Compressor

Komponen pada block ini memiliki komponen pendukung lainnya yang terdapat pada level dibawahnya seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.1.3. Masing-masing shaft memiliki bearing sebagai bantalan. Sedangkan impeller memiliki seal sebagai komponen pendukungnya. Namun pada impeller stage 2 maupun komponen pendukungnya tidak terjadi kerusakan. Dibawah ini merupakan perhitungan keandalan block compressor. Perhitungan dipecah menjadi tiga bagian agar lebih memudahkan perhitungan.

a. Sebelum diterapkan interval perawatan



Gambar 4.18 Keandalan Block Compressor Berdasarkan R(MTTF)

Pada Stage 1 dan 2:

$$R_{stage\ 1\ \&\ 2} = (R_{shaft\ stage\ 1\ \&\ 2}) \times (1 - ((R_{impeller1} \times R_{gas\ seal\ 1}) \times R_{impeller2}))$$

$$R_{stage\ 1\ \&\ 2} = (0,334) \times (1 - (1 - (0,565 \times 0,557) \times (1 - 1)))$$

$$R_{stage\ 1\ \&\ 2} = 0,334 \times 1$$

$$R_{stage\ 1\ \&\ 2} = 0,334$$

Pada Stage 3:

$$R_{stage\ 3} = (R_{shaft\ stage\ 3}) \times (R_{impeller3} \times R_{gas\ seal\ 3})$$

$$R_{stage\ 3} = (0,324) \times (1 \times 0,570)$$

$$R_{stage\ 3} = 0,185$$

Keandalan *block compressor*:

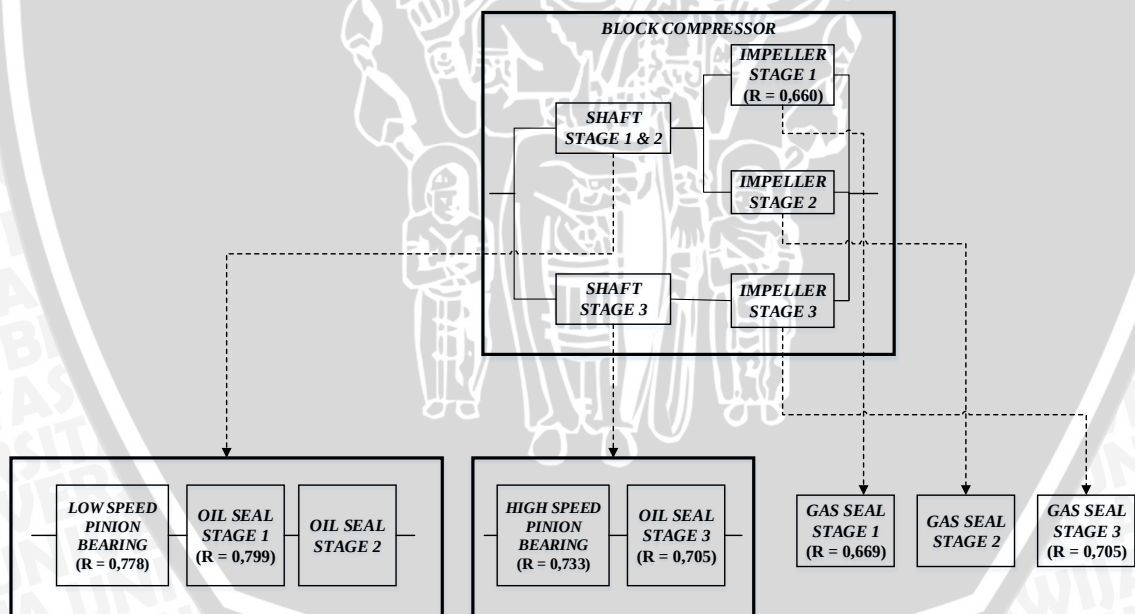
$$R_{compressor} = 1 - ((1 - R_{stage\ 1\ \&\ 2}) \times (1 - R_{stage\ 3}))$$

$$R_{compressor} = 1 - ((1 - 0,334) \times (1 - 0,185))$$

$$R_{compressor} = 1 - (0,666 \times 0,815)$$

$$R_{compressor} = 0,457$$

b. Sesudah diterapkan interval perawatan



Gambar 4.19 Keandalan *Block Compressor* Berdasarkan R(TM)

Pada Stage 1 dan 2:

$$R_{stage\ 1\ \&\ 2}$$

$$= (R_{shaft\ stage\ 1\ \&\ 2}) \times (1 - ((1 - (R_{impeller1} \times R_{gas\ seal\ 1})) \times R_{impeller2}))$$

$$R_{stage\ 1\ \&\ 2} = (0,622) \times (1 - ((1 - (0,660 \times 0,669) \times (1 - 1)))$$

$$R_{stage\ 1\&\ 2} = 0,622 \times 1$$

$$R_{stage\ 1\&\ 2} = 0,622$$

Pada Stage 3:

$$R_{stage\ 3} = (R_{shaft\ stage\ 3}) \times (R_{impeller\ 3} \times R_{gas\ seal\ 3})$$

$$R_{stage\ 3} = (0,517) \times (1 \times 0,636)$$

$$R_{stage\ 3} = 0,329$$

Keandalan *block compressor*:

$$R_{compressor} = 1 - ((1 - R_{stage\ 1\&\ 2}) \times (1 - R_{stage\ 3}))$$

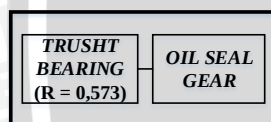
$$R_{compressor} = 1 - ((1 - 0,622) \times (1 - 0,329))$$

$$R_{compressor} = 1 - (0,378 \times 0,671)$$

$$R_{compressor} = 0,746$$

4. Komponen pendukung *shaft gear*

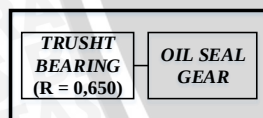
Keandalan dari *block shaft gear* sebelum diterapkan interval perawatan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.20 Keandalan Komponen Pendukung *Shaft Gear* Berdasarkan R(MTTF)

$$R_{shaft\ gear} = R_{thrust} \times R_{oil\ seal\ gear} = 0,573 \times 1 = 0,573$$

Keandalan dari *block shaft gear* setelah diterapkan interval perawatan adalah sebagai berikut:



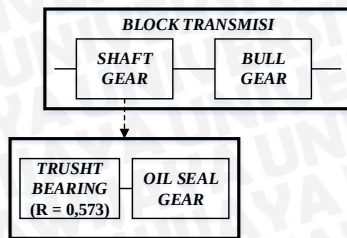
Gambar 4.21 Keandalan Komponen Pendukung *Shaft Gear* Berdasarkan R(TM)

$$R_{shaft\ gear} = R_{thrust} \times R_{oil\ seal\ gear} = 0,650 \times 1 = 0,650$$

5. *Block Transmisi*

Pada komponen *shaft gear* dilengkapi *thrusht bearing* sebagai bantalan sehingga keandalan dari *block transmisi* adalah sebagai berikut:

a. Sebelum diterapkan interval perawatan

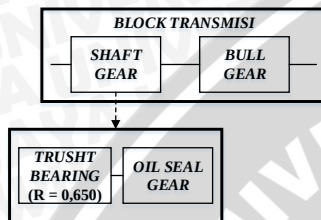


Gambar 4.22 Keandalan Block Transmisi Berdasarkan R(MTTF)

$$R_{transmisi} = R_{shaft\ gear} \times R_{bull\ gear}$$

$$R_{transmisi} = 0,573 \times 1 = 0,573$$

b. Setelah diterapkan interval perawatan



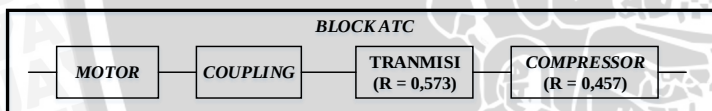
Gambar 4.23 Block Transmisi Berdasarkan R(TM)

$$R_{transmisi} = R_{shaft\ gear} \times R_{bull\ gear}$$

$$R_{transmisi} = 0,650 \times 1 = 0,650$$

6. Block ATC

Keandalan dari block ATC setelah diterapkan interval perawatan adalah sebagai berikut:

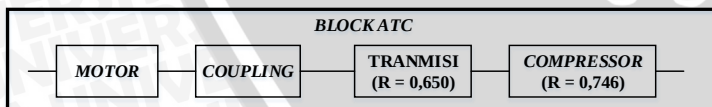


Gambar 4.24 Keandalan Block ATC Berdasarkan R(MTTF)

$$R_{ATC} = R_{motor} \times R_{coupling} \times R_{transmisi} \times R_{compressor}$$

$$R_{ATC} = 1 \times 1 \times 0,573 \times 0,457 = 0,262$$

Keandalan dari block ATC setelah diterapkan interval perawatan adalah sebagai berikut:



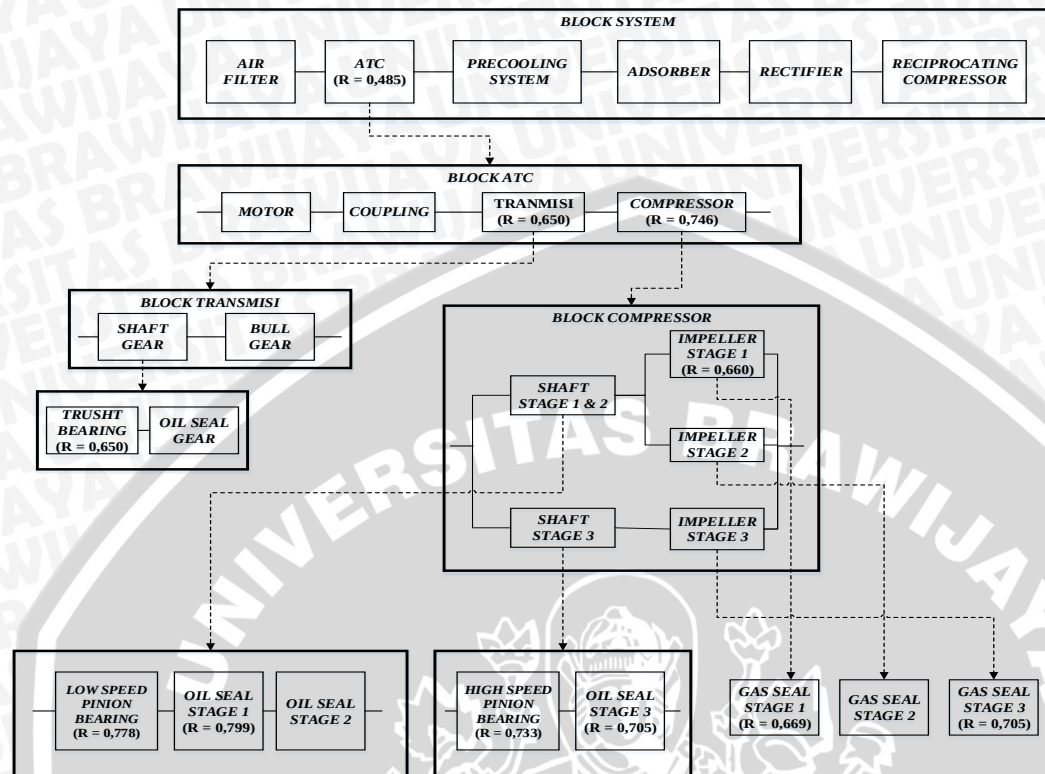
Gambar 4.25 Keandalan Block ATC Berdasarkan R(TM)

$$R_{ATC} = R_{motor} \times R_{coupling} \times R_{transmisi} \times R_{compressor}$$

$$R_{ATC} = 1 \times 1 \times 0,650 \times 0,746 = 0,485$$

Berdasarkan perhitungan diatas keandalan mesin ATC sebelum diterapkan interval perawatan yaitu sebesar 0,262 atau 26,2%. Sedangkan keandalan mesin ATC setelah diterapkan interval perawatan yaitu sebesar 0,485 atau 48,5%. Sehingga terjadi kenaikan

sebesar 22,3%. Gambar 4.25 dibawah ini menunjukkan gambaran keandalan sistem setelah dilakukan interval perawatan.



Gambar 4.26 Keandalan Sistem Berdasarkan R(TM)

4.3.8 Perhitungan Availability Rate

Pada tahapan ini akan dihitung *Availability Rate* sebelum dilakukan perencanaan interval perawatan optimal dan setelah dilakukan interval perawatan optimal. Dengan melakukan perhitungan ini perusahaan akan mengetahui peningkatan *availability* setelah dilakukan interval perawatan optimal. Data yang dibutuhkan untuk menghitung dengan menggunakan persamaan berikut *availability rate* antara lain data jam kerja dan data *downtime* mesin. Sedangkan untuk menghitung *Availability Rate* diselesaikan dengan rumus dibawah ini.

$$\text{Operation time} = \text{Loading time} - \text{downtime}$$

$$\text{Availability rate} = \frac{\text{Operation time}}{\text{Loading time}} \times 100\%$$

Contoh perhitungan dan perbandingan *Availability Rate* komponen *low speed pinion bearing* saat masih diterapkan *corrective maintenance* dan setelah diterapkan *preventive maintenance* dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4.22

Rekap Perhitungan *Availability Rate* Komponen *Low Speed Pinion Bearing*

Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	7,3	16,70	69,58%	1	24	6,9	17,1	71,25%
2	24	6,3	17,70	73,75%	2	24	6,9	17,1	71,25%
3	24	7,4	16,60	69,17%	3	24	6,9	17,1	71,25%
4	24	7,2	16,80	70,00%	4	24	6,9	17,1	71,25%
5	24	6,5	17,50	72,92%	5	24	6,9	17,1	71,25%
6	24	7,4	16,60	69,17%	6	24	6,9	17,1	71,25%
7	24	7,0	17,00	70,83%	7	24	6,9	17,1	71,25%
8	24	7,1	16,90	70,42%	8	24	6,9	17,1	71,25%
9	24	7,5	16,50	68,75%	9	24	6,9	17,1	71,25%
10	24	6,1	17,90	74,58%	10	24	6,9	17,1	71,25%
11	24	7,3	16,70	69,58%	11	24	6,9	17,1	71,25%
12	24	6,3	17,70	73,75%	12	24	6,9	17,1	71,25%
TOTAL					TOTAL				
LT	288				LT	288			
DT		83,40			DT		83		
OP			204,60		OP			205	
AR				71,04%	AR				71,25%

Pada tabel 4.22 dijelaskan mengenai rekap tabel perhitungan *availability rate* pada komponen dengan *downtime* tertinggi yaitu komponen *low speed pinion bearing* pada saat sebelum dan setelah dilaksanakan waktu interval perawatan optimal. Setelah dilakukan perhitungan maka total *availability rate* saat terjadi kerusakan sebelum dilakukan interval perawatan adalah 71,04%, dan total *availability rate* saat terjadi kerusakan setelah dilakukan interval perawatan adalah 71,25%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan *availability rate* sebesar 0,21% dibandingkan dengan *availability rate* yang pada saat sebelum menggunakan penerapan waktu interval perawatan optimal. Peningkatan *availability rate* yang tidak terlalu signifikan dikarenakan waktu *downtime* saat kegiatan *corrective maintenance* dan *preventive maintenance* memiliki probabilitas rata-rata waktu yang hampir sama. Untuk rekap perhitungan *availability rate* komponen lainnya dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran 10.

4.3.9 Reliability Centered Maintenance (RCM) II Decision Worksheet

Setelah mengetahui kegagalan fungsi komponen mesin ATC kemudian masuk ke dalam tahapan RCM II *Decision Worksheet*. RCM II *decision worksheet* digunakan untuk

mencari jenis kegiatan *maintenance* yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap kegagalan yang terjadi. Pada tabel 4.23 akan dijelaskan mengenai RCM II *decision worksheet*. RCM II *Decision Worksheet* berisi beberapa kolom seperti *information reference*, *consequence evaluation*, *default action*, *proposed task*, *initial interval*, dan *can be done*. Penyusunan RCM II *Decision Worksheet* pada kolom *information reference* disusun berdasarkan hasil dari RCM II *Information Worksheet*. Pada kolom *consequence evaluation* penyusunan mengenai *hidden failure*, *safety*, *enviromtent* dan *operational* dilakukan berdasarkan hasil diskusi dengan pihak PT. Polychem Indonesia Tbk. Pemilihan *proposed task* dilakukan sesuai dengan pertimbangan kondisi dan jenis kegagalan yang terjadi pada mesin ATC di PT. Polychem Indonesia Tbk. Pada kolom *initial interval* berisi perhitungan mengenai interval waktu perawatan yang telah dihitung sebelumnya dengan mempertimbangkan *failure cost* dan *preventive cost*. Pada kolom terakhir *can be done by*, menjelaskan tentang pihak yang akan melakukan kegiatan perawatan/perbaikan terhadap komponen mesin yang telah mengalami kegagalan.



Tabel 4.23

RCM II Desicion Wokrsheet

RCM II DECISION WORKSHEET					SYSTEM : Air Separation Unit											Date:	Sheet No:
					SUB-SYSTEM : Air Turbo Compressor												Of
Information reference					Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed task	Initial interval	Can be done by
									S1	S2	S3						
									O1	O2	O3						
No	Equipment	F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	Low Speed Pinion Bearing	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	644,37	Stationary Equipment
2	Oil Seal Stage 1	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	796,93	Rotating Equipment
3	Gas Seal Stage 1	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	1140,09	Rotating Equipment
4	Impeller Stage !	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	1251,35	Stationary Equipment
5	High Speed Pinion Bearing	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	732,26	Stationary Equipment
6	Gas Seal Stage 3	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	1300,49	Rotating Equipment
7	Oil Seal Stage 3	1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	1377,49	Rotating Equipment
8	Trusht Bearing	1	A	1	N	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	Scheduled discard task.	759,99	Stationary Equipment

Pada baris pertama kolom F tertulis 1, ini berarti fungsi dari *low speed pinion bearing* adalah untuk menahan getaran *pinion gear* pada *shaft stage* 1 dan 2. Selanjutnya pada baris pertama kolom FF tertulis A, ini berarti *function failure* yang dialami oleh *fuction* 1 yaitu *bearing* mengalami keausan. Apabila *fuction* 1 mengalami kegagalan fungsi (*function failure*) lainnya maka akan ditulis B pada baris kedua kolom FF, dengan terlebih dahulu memberikan uraian jenis kegagalan tersebut pada kolom *function failure*. Pada baris pertama kolom FM tertulis angka 1 yang berarti *function* 1 dengan *function failure* A disebabkan oleh *failure mode* 1 yaitu jarang dilakukan pembersihan dan pelumasan. Apabila *function* 1 dengan *fuction failure* 1 disebabkan oleh *failure mode* lainnya, maka kolom FM pada baris kedua akan diberi angka 2 dengan terlebih dahulu memberikan uraian tentang *failure mode* tersebut pada kolom *failure mode*, yang artinya F1 dengan FF1 disebabkan oleh FM2. Tetapi dalam penelitian ini setiap fungsi (*fuction*) memiliki masing-masing 1 *fuction failure* dan 1 *failure mode*. Sementara untuk kolom *proactive task* hanya kolom H3/S3/O3/N3 yang diisi huruf “Y” atau YES. Hal ini memiliki arti bahwa kondisi umur komponen maupun item tersebut dapat diidentifikasi dan menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan serta mayoritas dari item dapat bertahan pada umur tersebut. Sementara pada kolom *proposed task* diisi dengan “*scheduled discard task*” yang artinya dilakukan penggantian item atau komponen sesuai dengan batas umur yang ditetapkan. Berikut merupakan penjelasan kolom *proposed task* - *Scheduled discard task* pada komponen mesin ATC

1. Untuk *Low & High Speed Pinion*, serta *Trusht Bearing* yaitu pembersihan dan pelumasan rutin, dan pengecekan kembali pemasangan *bearing*.
2. Untuk *oil seal stage* 1 dan 3 yaitu melakukan pembersihan dan pengecekan rutin komponen sesuai interval perawatan yang ditentukan
3. Untuk *gas seal stage* 1 dan 3 yaitu melakukan pengecekan kondisi komponen serta suhu dan vibrasi yang dihasilkan.
4. Untuk *impeller stage* 1 yaitu memonitori kesesuaian tekanan dan vibrasi, pengecekan *balancing*, dan pembersihan.

Penggantian komponen dilakukan jika komponen telah mendekati batas umur pemakaian ataupun kondisi komponen yang sudah tidak pada kondisi standarnya.

4.3.10 Penentuan Jumlah Persediaan Optimal Komponen Kritis

Perhitungan persediaan optimal ini hanya dilakukan komponen kritis mesin ATC untuk menyeimbangkan ketersediaan suku cadang komponen pada *warehouse* dengan interval waktu perawatan yang telah ditetapkan. Dimana dalam perhitungan ini akan menentukan pemesanan optimal dan titik pemesanan kembali (ROP). Untuk nilai TM pada komponen yang memiliki spesifikasi sama maka digunakan nilai TM yang lebih kecil yang mempresentasikan bahwa interval perawatan komponen tersebut lebih dulu dilakukan. Metode perhitungan persediaan dibawah ini menggunakan metode probabilistik dengan metode Q. Perhitungan kebutuhan komponen dibawah ini menggunakan asumsi bahwa tiap interval perawatan (TM) dilakukan penggantian komponen. Sedangkan persediaan *stock* minimum ditentukan menggunakan batas *reorder point* (ROP).

Adapun perhitungan persediaan optimal komponen tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penentuan persediaan optimal *journal bearing*

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan perhitungan persediaan optimal komponen:

- a. Penentuan permintaan tiap tahun dengan cara sebagai berikut:

$$TM = 644,37 \text{ jam} = \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 644,37 \text{ jam} = 26,85 \text{ hari} \approx 27 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Permintaan tiap tahun (D)} &= \frac{360}{TM} \times \text{kebutuhan komponen} \\ &= \frac{360}{27} \times 4 = 53,3 \approx 54 \text{ unit} \end{aligned}$$

- b. Penetapan biaya pemesanan (C) = Rp 100.000, biaya ini merupakan ongkos pemesanan komponen
- c. Penentuan biaya simpan (H), merupakan biaya yang dikeluarkan untuk investasi dalam menyimpan persediaan. Dimana biaya ini merupakan biaya resiko yang dikeluarkan oleh perusahaan, dimana ditetapkan sebesar 5% per tahun dari harga komponen.

$$H = 5\% \times \text{Rp}1.435.000 = \text{Rp } 71.750/\text{bulan}$$

- d. *Lead Time* = 14 hari
- e. Perhitungan nilai Q^* dan ROP

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times C \times D}{H}} = \sqrt{\frac{2 \times 100.000 \times 54}{71.750}} = 12,27 \approx 13 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus optimal} &= \frac{Q^*}{D} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \frac{13}{54} \times 12 \text{ bulan} = 2,8 \text{ bulan} \approx 3 \text{ bulan} \end{aligned}$$

$$ROP = \frac{D}{360} \times L + SS = \frac{54}{360} \times 14 + 4 = 6,1 \approx 7 \text{ unit}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa hasil lot pemesanan optimal sebesar 13 unit per sekali pesan dengan waktu siklus optimal 3 bulan dan pemesanan kembali dilakukan ketika jumlah suku item di *warehouse* tersisa 7 unit.

2. Penentuan persediaan optimal *oil seal*

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan perhitungan persediaan optimal komponen:

- Penentuan permintaan tiap tahun dengan cara sebagai berikut:

$$TM = 796,93 \text{ jam} = \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 796,93 \text{ jam} = 32,08 \text{ hari} \approx 33 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Permintaan tiap tahun (D)} &= \frac{360}{TM} \times \text{kebutuhan komponen} \\ &= \frac{360}{33} \times 2 = 21,82 \approx 22 \text{ unit} \end{aligned}$$

- Penetapan biaya pemesanan (C) = Rp 100.000, biaya ini merupakan ongkos pemesanan komponen

- Penentuan biaya simpan (H), merupakan biaya yang dikeluarkan untuk investasi dalam menyimpan persediaan. Dimana biaya ini merupakan biaya resiko yang dikeluarkan oleh perusahaan, dimana ditetapkan sebesar 5% dari harga komponen.

$$H = 5\% \times \text{Rp } 725.000 = \text{Rp } 36.250$$

- Lead Time* = 7 hari

- Perhitungan nilai Q^* dan ROP

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times C \times D}{H}} = \sqrt{\frac{2 \times 100.000 \times 22}{36.250}} = 11,02 \approx 12 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus optimal} &= \frac{Q^*}{D} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \frac{12}{22} \times 12 \text{ bulan} = 6,54 \text{ bulan} \approx 6,5 \text{ bulan} \end{aligned}$$

$$ROP = \frac{D}{360} \times L + SS = \frac{22}{360} \times 7 + 3 = 3,43 \approx 4 \text{ unit}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa hasil lot pemesanan optimal sebesar 12 unit per sekali pesan dengan waktu siklus optimal 6,5 bulan dan pemesanan kembali dilakukan ketika jumlah suku item di *warehouse* tersisa 4 unit.

3. Penentuan persediaan optimal *gas seal*

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan perhitungan persediaan optimal komponen:

- Penentuan permintaan tiap tahun dengan cara sebagai berikut:

$$TM = 1140,09 \text{ jam} = \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 1140,09 \text{ jam} = 47,5 \text{ hari} \approx 48 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Permintaan tiap tahun (D)} &= \frac{360}{TM} \times \text{kebutuhan komponen} \\ &= \frac{360}{48} \times 2 = 15 \text{ unit} \end{aligned}$$

- b. Penetapan biaya pemesanan (C) = Rp 100.000, biaya ini merupakan ongkos pemesanan komponen
- c. Penentuan biaya simpan (H), merupakan biaya yang dikeluarkan untuk investasi dalam menyimpan persediaan. Dimana biaya ini merupakan biaya resiko yang dikeluarkan oleh perusahaan, dimana ditetapkan sebesar 5% dari harga komponen.
 $H = 5\% \times \text{Rp } 780.000 = \text{Rp } 39.000$
- d. *Lead Time* = 7 hari
- e. Perhitungan nilai Q^* dan ROP

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times C \times D}{H}} = \sqrt{\frac{2 \times 100.000 \times 15}{39.000}} = 8,77 \approx 9 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus optimal} &= \frac{Q^*}{D} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \frac{9}{15} \times 12 \text{ bulan} = 7,2 \text{ bulan} \approx 7 \text{ bulan} \end{aligned}$$

$$ROP = \frac{D}{360} \times L + SS = \frac{15}{360} \times 7 + 3 = 3,29 \approx 4 \text{ unit}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa hasil lot pemesanan optimal sebesar 9 unit per sekali pesan dengan waktu siklus optimal 7 bulan dan pemesanan kembali dilakukan ketika jumlah suku item di *warehouse* tersisa 4 unit.

4. Penentuan persediaan optimal *impeller stage 1*

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan perhitungan persediaan optimal komponen:

- a. Penentuan permintaan tiap tahun dengan cara sebagai berikut:

$$TM = 1251,35 \text{ jam} = \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 1251,35 \text{ jam} = 52,14 \text{ hari} \approx 53 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Permintaan tiap tahun (D)} &= \frac{360}{TM} \times \text{kebutuhan komponen} \\ &= \frac{360}{53} \times 1 = 6,76 \approx 7 \text{ unit} \end{aligned}$$

- b. Penetapan biaya pemesanan (C) = Rp 150.000, biaya ini merupakan ongkos pemesanan komponen

- c. Penentuan biaya simpan (H), merupakan biaya yang dikeluarkan untuk investasi dalam menyimpan persediaan. Dimana biaya ini merupakan biaya resiko yang dikeluarkan oleh perusahaan, dimana ditetapkan sebesar 5% dari harga komponen.

$$H = 5\% \times \text{Rp } 2.850.000 = \text{Rp } 142.500$$

- d. *Lead Time* = 21 hari

- e. Perhitungan nilai Q^* dan ROP

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times C \times D}{H}} = \sqrt{\frac{2 \times 150.000 \times 7}{142.500}} = 3,84 \approx 4 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus optimal} &= \frac{Q^*}{D} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \frac{4}{7} \times 12 \text{ bulan} = 6,8 \text{ bulan} \approx 7 \text{ bulan} \end{aligned}$$

$$ROP = \frac{D}{360} \times L + SS = \frac{7}{360} \times 21 + 1 = 1,41 \approx 2 \text{ unit}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa hasil lot pemesanan optimal sebesar 4 unit per sekali pesan dengan waktu siklus optimal 7 bulan dan pemesanan kembali dilakukan ketika jumlah suku item di *warehouse* tersisa 2 unit.

5. Penentuan persediaan optimal *trusht bearing*

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan perhitungan persediaan optimal komponen:

- a. Penentuan permintaan tiap tahun dengan cara sebagai berikut:

$$TM = 759,99 \text{ jam} = \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 759,99 \text{ jam} = 31,67 \text{ hari} \approx 32 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Permintaan tiap tahun (D)} &= \frac{360}{TM} \times \text{kebutuhan komponen} \\ &= \frac{360}{32} \times 2 = 22,5 \approx 23 \text{ unit} \end{aligned}$$

- b. Penetapan biaya pemesanan (C) = Rp 100.000, biaya ini merupakan ongkos pemesanan komponen

- c. Penentuan biaya simpan (H), merupakan biaya yang dikeluarkan untuk investasi dalam menyimpan persediaan. Dimana biaya ini merupakan biaya resiko yang dikeluarkan oleh perusahaan, dimana ditetapkan sebesar 5% dari harga komponen.

$$H = 5\% \times \text{Rp } 1.625.000 = \text{Rp } 81.250$$

- d. *Lead Time* = 14 hari

- e. Perhitungan nilai Q^* dan ROP

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times C \times D}{H}} = \sqrt{\frac{2 \times 100.000 \times 23}{81.250}} = 7,52 \approx 8 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu siklus optimal} &= \frac{Q^*}{D} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \frac{8}{23} \times 12 \text{ bulan} = 4,17 \text{ bulan} \approx 4 \text{ bulan}\end{aligned}$$

$$ROP = \frac{D}{360} \times L + SS = \frac{23}{360} \times 14 + 1 = 1,89 \approx 2 \text{ unit}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa hasil lot pemesanan optimal sebesar 4 unit per sekali pesan dengan waktu siklus optimal 7 bulan dan pemesanan kembali dilakukan ketika jumlah suku item di *warehouse* tersisa 2 unit.

Tabel 4.24 dibawah ini merupakan tabel rekapitulasi nilai Q^* dan ROP pada komponen kritis mesin ATC.

Tabel 4.24
Rekapitulasi Nilai Q^* dan ROP

No.	Nama Komponen	Q^*	Waktu Siklus	ROP
1.	<i>Journal Bearing</i>	13	3 bulan	7
2.	<i>Oil Seal</i>	12	6,5 bulan	4
3.	<i>Gas Seal</i>	9	7 bulan	4
4.	<i>Impeller stage 1</i>	4	7 bulan	2
5.	<i>Thrust Bearing</i>	8	4 bulan	2

Dari Tabel 4.24 didapatkan informasi pemesanan optimal (Q^*) dan titik pemesanan kembali (ROP) dari komponen kritis mesin ATC sehingga dapat menjadi penyeimbang saat dilakukan interval perawatan. Suku cadang komponen yang selalu tersedia dapat mendukung kegiatan perawatan yang dilakukan pada mesin ATC.

4.4 Analisis dan Pembahasan

4.4.1 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure mode and effect analysis (FMEA) menunjukkan potensi kegagalan proses serta efek yang ditimbulkan dari komponen-komponen kritis pada mesin ATC. Dengan mengetahui hal tersebut, maka dapat diidentifikasi tindakan yang dapat menghilangkan atau mengurangi potensi kegagalan tersebut.

Dari tabel *failure mode and effect analysis* pada Tabel 4.4, *failure mode* yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi pada komponen kritis yang menjadi bahan penelitian ini adalah kegagalan yang disebabkan oleh usia pakai dari komponen (*lifetime condition*). Kegagalan ini disebabkan oleh *failure rate* (kecepatan kerusakan) yang naik. Hal ini dapat dilihat dari nilai parameter bentuk yang memiliki nilai lebih dari 1 ($\beta > 1$)

pada komponen-komponen kritis pada mesin ATC. Laju kerusakan akan semakin meningkat sesuai dengan pertambahan usia dari komponen tersebut.

Komponen pertama adalah *low speed pinion bearing* yang berfungsi untuk menahan getaran *pinion gear* pada *shaft stage* 1 dan 2. Kegagalan fungsi yang terjadi adalah *low speed pinion bearing* gagal menahan getaran *pinion gear* pada *shaft stage* 1 dan 2 karena aus. Hal ini disebabkan kurangnya pelumasan dan bocornya sistem *oil*. Sehingga komponen *bearing* bekerja dalam kondisi level *oil* dibawah standar. Nilai RPN dari komponen ini sebesar 128 atau yang terbesar diantara komponen lainnya. Komponen kedua yaitu *oil seal stage* 1 yang berfungsi mencegah terjadi kebocoran sistem *oil* pada *stage* 1. Kegagalan fungsi yang terjadi adalah *seal* mengalami kebocoran yang disebabkan pemasangan yang longgar. Nilai RPN dari komponen *oil seal stage* 1 sebesar 64. Komponen ketiga adalah *gas seal stage* 1 yang berfungsi untuk menjaga agar fluida yang diproses tidak masuk kedalam sistem *oil* pada *stage* 1. Kegagalan fungsi pada komponen ini adalah muncul kerak pada *sealface* yang disebabkan suhu dan tekanan yang tinggi didalam sistem serta fluida proses yang kotor dan terkontaminasi sehingga mengendap pada *seal*. Hal tersebut dapat menyebabkan vibrasi yang cukup tinggi pada sistem. Nilai RPN dari komponen *gas seal stage* 1 sebesar 48.

Komponen lain yang memiliki *downtime* cukup tinggi dan terdapat pada *stage* 1 adalah *impeller* yang berfungsi meningkatkan tekanan pada fluida yang diproses pada *stage* 1 dan kegagalan fungsi yang terjadi yaitu terjadi kerusakan pada sudu-sudunya yang mengakibatkan vibrasi yang tinggi dan tekanan yang dihasilkan proses tidak sesuai. Hal itu disebabkan karena *unbalancing* pada *impeller* yang kemudian dapat merusak pelindungnya (*housing*). Nilai RPN dari komponen *impeller stage* 1 sebesar 48.

Untuk komponen bearing lainnya yaitu *high speed pinion bearing* dan *thrust bearing* memiliki fungsi yang mirip yaitu menahan gaya dan gesekan yang dibebankan, perbedaannya terdapat pada letak kedua komponen tersebut di mesin ATC. Kegagalan fungsi yang terjadi yaitu terjadi korosi, dalam hal ini jenis korosi *pitting* dan *fretting*. Korosi *pitting* disebabkan karena kurangnya pelumasan dan pengecekan, sedangkan korosi *fretting* disebabkan karena gesekan dengan *shaft* dalam waktu yang lama serta mengalami keausan. Nilai RPN dari kedua komponen ini sama, yaitu sebesar 96. Sedangkan dua komponen berikutnya yaitu *gas* dan *oil seal* pada *stage* 3 yang memiliki fungsi yang serupa dengan *seal* pada *stage* 1 dan kegagalan fungsi masing – masing komponen tersebut yaitu *overheating* dan pengendapan. *Overheating* tersebut terjadi karena temperatur yang tinggi pada sistem *stage* 3 dan gesekan yang terjadi dengan *shaft*.

Sedangkan pengendapan pada *oil seal* akibat kurangnya pembersihan yang mengakibatkan kotoran mengendap hingga menjadi zat solid. Nilai RPN dari kedua komponen ini sama pula, yaitu sebesar 48.

4.4.2 Analisis Penentuan Distribusi Data TTF dan TTR Komponen Kritis Mesin ATC

Setelah diketahui komponen kritis pada mesin ATC langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi pola distribusi dari data *time to failure* (TTF) dan data *time to repair* (TTR) komponen dengan downtime tertinggi. Tujuan mengidentifikasi pola distribusi data *time to failure* (TTF) dan data *time to repair* (TTR) adalah agar dapat menentukan parameter yang sesuai dengan jenis distribusi data yang muncul. Langkah awal yang dilakukan dalam menentukan pola suatu distribusi ini adalah dengan menduga pola suatu distribusi data menduga jenis distribusi data TTF dan TTR, maka langkah yang selanjutnya dilakukan adalah dengan melakukan pengujian distribusi data dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 16. Rekapitulasi hasil uji data dari *software* Minitab 16 dapat dilihat pada Tabel 4.12 untuk data TTF komponen kritis mesin ATC dan Tabel 4.14 untuk data TTR komponen kritis mesin ATC.

Data TTF dan TTR masing-masing komponen kritis mesin ATC diduga berdistribusi weibull. Pendugaan jenis distribusi data TTF dan TTR komponen kritis mesin ATC ini berdasarkan karakteristik weibull yang merupakan distribusi yang biasanya digunakan untuk menggambarkan waktu hidup atau umur dari suatu komponen mesin yang berkaitan dengan laju kerusakan. Setelah pendugaan jenis distribusi pada data TTF dan TTR mesin ATC, maka langkah yang dilakukan adalah pengujian distribusi data dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 16 untuk memastikan apakah hasil pendugaan tersebut sesuai atau tidak.

Time to failure komponen kritis mesin ATC disebabkan oleh berbagai macam hal yaitu dikarenakan temperatur, vibrasi, maupun *pressure* yang terjadi pada sistem mengalami kelainan yang dapat mengakibatkan mesin berhenti atau mati sehingga harus dilakukan pengecekan, perbaikan, dan perawatan. Komponen mesin ATC memiliki sistem yang cukup kompleks sehingga tidak dapat dipungkiri pula bahwa kegagalan salah satu komponen dapat memicu kegagalan pada komponen lainnya. Sedangkan *time to repair* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memulihkan dari sebuah kegagalan suatu komponen atau mesin. Sedangkan perbaikan yang dilakukan pada komponen kritis mesin

ATC adalah pengecekan ulang, pembersihan, pelumasan, maupun memulihkan kembali pada keadaan standarnya (*alignment and allowance*). Hal tersebut dilakukan apabila tidak adanya ketersediaan komponen ataupun umur/kondisi komponen masih memungkinkan untuk tetap digunakan. Ketika melakukan perbaikan ataupun komponen kritis ATC, biasanya mekanik juga melakukan pengecekan pada komponen *shaft*. Beberapa kegagalan komponen yang sulit terdeteksi secara langsung dan kegiatan pengecekan *shaft* mengakibatkan perbaikan dan perawatan membutuhkan waktu yang lama.

4.4.3 Analisis Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) untuk Time to Failure (TTF) Komponen Kritis Mesin ATC

Nilai parameter data *time to failure* (TTF) yang muncul pada masing-masing komponen kritis digunakan untuk melakukan perhitungan MTTF berdasarkan jenis distribusi yang terpilih. MTTF menunjukkan rata-rata interval waktu pada saat komponen selesai diperbaiki sampai pada saat komponen tersebut mengalami kerusakan berikutnya. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai MTTF dapat dilihat pada Tabel 4.13. Dalam penelitian ini, *low speed pinion bearing* memiliki nilai MTTF sebesar 779,64 jam, *oil seal stage 1* memiliki nilai MTTF sebesar 966,54 jam, *gas seal stage 1* memiliki nilai MTTF sebesar 1158,44 jam, *impeller stage 1* memiliki nilai MTTF sebesar 1397,34 jam, *High Speed Pinion Bearing* memiliki nilai MTTF sebesar 873,70 jam, *gas seal stage 3* memiliki nilai MTTF sebesar 1408,73 jam, *oil seal stage 3* memiliki nilai MTTF sebesar 1584,13 jam, dan *trusht bearing* memiliki nilai MTTF sebesar 832,63 jam.

4.4.4 Analisis Perhitungan Mean Time to Repair (MTTR) untuk Time to Repair (TTR) Komponen Kritis Mesin ATC

Nilai parameter data *time to repair* (TTR) yang muncul pada masing-masing komponen dengan downtime tertinggi digunakan untuk melakukan perhitungan MTTR berdasarkan jenis distribusi yang terpilih. MTTR menunjukkan rata-rata waktu waktu yang dibutuhkan dalam melakukan perbaikan terhadap komponen yang rusak. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai MTTR dapat dilihat pada Tabel 4.15. Dalam penelitian ini, *low speed pinion bearing* memiliki nilai MTTR sebesar 6,9411 jam, *oil seal stage 1* memiliki nilai MTTR sebesar 7,3118 jam, *gas seal stage 1* memiliki nilai MTTR sebesar 8,1381 jam, *impeller stage 1* memiliki nilai MTTR sebesar 7,6483 jam, *High Speed Pinion Bearing* memiliki nilai MTTR sebesar 7,5930 jam, *gas seal stage 3* memiliki nilai

MTTR sebesar 7,8087 jam, *oil seal stage 3* memiliki nilai MTTR sebesar 7,0959 jam, dan *trusht bearing* memiliki nilai MTTR sebesar 6,6384 jam.

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa nilai MTTR tiap-tiap komponen berbeda-beda hal ini disebabkan karena perbedaan komponen itu sendiri serta perbedaan waktu pergantian tiap komponen. *Trusht bearing* memiliki nilai MTTR terkecil, hal ini dikarenakan waktu yang digunakan untuk memperbaiki *Trusht bearing* memiliki langkah-langkah perawatan yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan komponen lainnya.

4.4.5 Analisis Perhitungan Total Biaya Perawatan dan Interval Perawatan Optimal

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai keandalan dan total biaya perawatan yang akan digunakan untuk menentukan interval perawatan dengan biaya perawatan yang minimal dan akan disarankan untuk PT. Polychem Indonesia Tbk. Dari interval perawatan yang telah dihitung, maka hasilnya akan digunakan untuk mendapatkan total biaya perawatan yang nantinya akan dibandingkan dengan total biaya perawatan *Mean Time to Failure*, dan juga membandingkan keandalan dari komponen kritis mesin ATC tersebut. Berikut ini tabel 4.25 akan dijelaskan mengenai perbandingan keandalan dan total biaya perawatan pada komponen kritis mesin ATC.

Tabel 4.25
Perbandingan Total Biaya Perawatan dan Keandalan

Komponen	MTTF (Jam)	TM (jam)	TC MTTF (per jam)	TC TM (per jam)	R (MTTF)	R (TM)
<i>Low Speed Pinion Bearing</i>	779,64	644,37	Rp 6.112	Rp 5.738	57,8%	77,8%
<i>Oil Seal Stage 1</i>	966,54	796,93	Rp 3.757	Rp 3.489	58,8%	79,9%
<i>Gas Seal Stage 1</i>	1158,44	1140,09	Rp 3.592	Rp 3.591	55,7%	66,9%
<i>Impeller Stage 1</i>	1397,34	1251,35	Rp 5.393	Rp 5.330	56,5%	66%
<i>High Speed Pinion Bearing</i>	873,70	732,26	Rp 5.826	Rp 5.585	56,2%	73,3%
<i>Gas Seal Stage 3</i>	1408,73	1300,48	Rp 2.824	Rp 2.808	57%	63,6%
<i>Oil Seal Stage 3</i>	1584,14	1377,49	Rp 2.278	Rp 2.226	57,7%	70,5%
<i>Trusht Bearing</i>	832,63	759,99	Rp 6.025	Rp 5.979	57,3%	65%

Dari tabel 4.26 dapat disimpulkan bahwa pada komponen *low speed pinion bearing* apabila menggunakan interval perawatan maka akan terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 6.112/jam menjadi Rp. 5.738/jam. Selain itu dengan penggunaan interval perawatan maka nilai keandalan dari komponen mesin *low speed pinion bearing* meningkat dari nilai keandalan awal 57,8% menjadi 77,8%. Begitu pula halnya dengan komponen yang memiliki spesifikasi sama, yaitu *high speed pinion bearing*. Terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 5.826/jam

menjadi Rp. 5.585/jam dan nilai keandalan awal 56,2% menjadi 73,3%. Sedangkan untuk komponen *bearing* lainnya yaitu *trusht bearing* terjadi penurunan biaya perawatan yang awalnya sebesar Rp. 6.025/jam menjadi Rp. 5.979/jam dan nilai keandalan awal 57,3% menjadi 65%.

Untuk komponen pada *stage 1* apabila menggunakan interval perawatan terjadi penurunan biaya dan peningkatan keandalan. Penurunan biaya perawatan komponen *oil seal stage 1* yang awalnya sebesar Rp. 3.757/jam menjadi Rp. 3.489/jam dan nilai keandalan awal 58,8% menjadi 79,9%. Penurunan biaya perawatan komponen *gas seal stage 1* yang awalnya sebesar Rp. 3.592/jam menjadi Rp. 3.591/jam dan nilai keandalan awal 55,7% menjadi 66,9%. Penurunan biaya perawatan komponen *impeller stage 1* yang awalnya sebesar Rp. 5.393/jam menjadi Rp. 5.330/jam dan nilai keandalan awal 56,5% menjadi 66%. Sedangkan penurunan biaya perawatan komponen *gas seal stage 3* yang awalnya sebesar Rp. 2.824/jam menjadi Rp. 2.808/jam dan nilai keandalan awal 57% menjadi 63,6%. Penurunan biaya perawatan komponen *oil seal stage 3* yang awalnya sebesar Rp. 2.278/jam menjadi Rp. 2.226/jam dan nilai keandalan awal 57,7% menjadi 70,5%.

Berdasarkan tabel 4.26 dan analisa sebelumnya, meskipun penurunan biaya tidak terlalu signifikan tetapi keandalan mengalami kenaikan. Perbedaan biaya yang tidak terlalu signifikan dikarenakan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan *corrective* maupun *preventive* memiliki probabilitas waktu yang sama. Akan tetapi, dengan mempertimbangkan keandalan yang meningkat maka dapat diusulkan interval waktu perawatan dan pemeliharaan yang terbaik untuk komponen kritis mesin ATC pada PT. Polychem Indonesia Tbk., yaitu berdasarkan nilai interval waktu perawatan (TM).

4.4.6 Analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II

Pada subbab ini akan menjelaskan tentang proposed task dan interval waktu perawatan yang diusulkan pada *RCM II decision worksheet*. Berikut ini merupakan uraian mengenai *RCM II decision worksheet* (Tabel 4.23). Pada komponen *low speed pinion bearing*, kolom F tertulis 1, ini berarti fungsi dari *bearing* adalah sebagai bantalan bagi *shaft*. Selanjutnya pada baris pertama kolom FF tertulis A, ini berarti *function failure* yang dialami oleh *function 1* yaitu mengalami keausan. Apabila *function 1* mengalami kegagalan fungsi lainnya maka akan ditulis B pada baris kedua kolom FF, dengan terlebih dahulu memberikan uraian jenis kegagalan tersebut pada kolom *function failure*. Pada kolom FM tertulis angka 1 yang berarti *function 1* dengan *function failure A* disebabkan

oleh *failure mode* 1 yaitu pelumasan yang jarang dilakukan. Apabila *function* 1 dengan *function failure* 1 disebabkan oleh *function mode* lainnya, maka kolom FM pada baris kedua akan diberi angka 2, dengan terlebih dulu memberikan uraian tentang *failure mode* tersebut pada kolom *failure mode*. Sehingga F1 dengan FF1 disebabkan oleh FM2, tetapi dalam penelitian ini setiap fungsi komponen memiliki 1 *function failure* dan 1 *function mode*.

Pada *information reference* menghasilkan 1-A-1, pada kolom H di *consequence evaluation* di tulis N, yang berarti *failure mode* tidak diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal. Pada kolom S ditulis N, yang berarti *failure mode* tidak berdampak pada keselamatan operator. Pada kolom E ditulis N, yang berarti *failure mode* tidak berdampak pada keselamatan lingkungan. Dan pada kolom O ditulis Y, yang berarti *failure mode* berdampak pada output produksi. Selanjutnya pada kolom H1/S1/O1/N1 ditulis N, yang berarti dalam interval waktu sebelum dilakukan perawatan pencegahan tidak cukup untuk melakukan tindakan terhadap pencegahan kegagalan. Sehingga *proposed task* yang dipilih adalah *schedule discard task*, yang berarti dilakukan perawatan dan pengecekan komponen sesuai dengan interval waktu 644,37 jam dan dilakukan dengan cara memberikan pelumas, pembersihan, dan pengecekan standar pemasangan oleh *Stationary Equipment* (sub divisi *maintenance*). *Proposed task* yang sama pula dilakukan pada komponen *bearing* lainnya yaitu *high speed pinion bearing* dan *trusht bearing* dengan interval perawatan masing-masing 732,26 dan 759,99 jam. Penggantian komponen dilakukan jika komponen telah mendekati batas umur pemakaian ataupun kondisi komponen yang sudah tidak pada kondisi standarnya. Ketika melakukan perawatan *bearing*, teknisi akan terlebih dahulu melakukan pengecekan dan perawatan pada komponen *shaft*. Hal ini dikarenakan ketiga jenis *bearing* tersebut merupakan tipe *sleeve bearing* yang pada umumnya menimbulkan kontak gesekan yang cukup kasar dengan *shaft*.

Sedangkan *proposed task* yang sama pula dilakukan pada komponen *oil seal stage* 1 dan 3 yaitu melakukan pembersihan rutin dan pengecekan kondisi komponen tersebut oleh *Rotating Equipment* (sub divisi *maintenance*) sesuai interval perawatan masing-masing yaitu 796,93 dan 1377,49 jam. Untuk *gas seal stage* 1 dan 3 yaitu melakukan pengecekan kondisi suhu dan vibrasi sistem serta pembersihan secara rutin oleh *Rotating Equipment* sesuai interval perawatan masing-masing yaitu 1140,09 dan 1300,49 jam. Untuk *impeller stage 1* yaitu memonitori kesesuaian tekanan yang dihasilkan, pembersihan, dan kesesuaian *balancing* oleh *Stationary Equipment* dengan interval

perawatan 1251,35 jam. Penggantian komponen dilakukan jika komponen telah mendekati batas umur pemakaian ataupun kondisi komponen yang sudah tidak pada kondisi standarnya.

4.4.7 Analisis Penentuan Persediaan Optimal Komponen Kritis Mesin ATC

Tabel 4.24 merupakan hasil rekapitulasi perhitungan nilai Q^* dan ROP komponen kritis. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan jumlah yang harus dipesan tiap kali pesan (Q^*) adalah 13 unit untuk *journal bearing* dengan waktu siklus selama 3 bulan, pemesanan 12 unit untuk *oil seal* dengan waktu siklus selama 6,5 bulan, pemesanan 9 unit untuk *gas seal* waktu siklus selama 7 bulan, pemesanan 4 unit untuk *impeller stage 1* waktu siklus selama 7 bulan, dan pemesanan 8 unit untuk *truht bearing* waktu siklus selama 4 bulan. Sedangkan pemesanan kembali akan dilakukan apabila *stock* dari komponen tersebut tersisa 7 unit untuk *journal bearing*, 4 unit untuk *oil seal*, dan 4 unit untuk *gas seal*, 2 unit untuk *impeller stage 1*, dan 2 unit untuk *truht bearing*. Pemesanan kembali dilakukan dengan jumlah yang sama setiap kali pesan. Hal ini akan meminimasi biaya yang dikeluarkan dan mengatasi tidak tersedianya komponen apabila terjadi kerusakan, sehingga dapat memperpendek waktu *downtime* dan mengurangi kerugian yang dikeluarkan oleh perusahaan apabila terjadi kerusakan pada mesin ATC.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan dijelaskan kesimpulan maupun saran sesuai dengan tujuan penelitian dan pembahasan dari bab sebelumnya. Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan penelitian yang telah dirumuskan. Sedangkan saran dituliskan untuk memberi masukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, agar dapat dikembangkan di dalam penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka berikut ini akan dipaparkan kesimpulan dari hasil penelitian.

1. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan diagram pareto dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki *downtime* tertinggi pada mesin ATC adalah *low speed pinion bearing*, *oil seal stage 1*, *gas seal stage 1*, *impeller stage 1*, *high speed pinion bearing*, *gas seal stage 3*, *oil seal stage 3*, serta *truht bearing*.
2. Interval waktu perawatan optimal untuk masing-masing komponen kritis mesin ATC yaitu 644,37 jam untuk komponen *low speed pinion bearing*; 796,93 jam untuk komponen *oil seal stage 1*; 1140,09 jam untuk komponen *gas seal stage 1*; 1251,35 jam untuk komponen *impeller stage 1*; 732,26 jam untuk komponen *high speed pinion bearing*; 1300,48 jam untuk komponen *gas seal stage 3*; 1377,49 jam untuk komponen *oil seal stage 3*, serta 759,99 jam untuk komponen *truht bearing*. Sedangkan *stock* minimum dari komponen tersebut yaitu 7 unit untuk *journal bearing*, 4 unit untuk *oil seal*, dan 4 unit untuk *gas seal*, 2 unit untuk *impeller stage 1*, dan 2 unit untuk *truht bearing*.
3. Berikut ini merupakan biaya perawatan yang direncanakan pada masing-masing komponen kritis pada mesin ATC berdasarkan interval perawatan. Biaya tersebut sebesar Rp 5.738/jam untuk komponen *low speed pinion bearing*, Rp 3.489/jam untuk komponen *oil seal stage 1*, Rp 3.591/jam untuk komponen *gas seal stage 1*, Rp 5.330/jam untuk komponen *impeller stage 1*, Rp 5.585/jam untuk komponen *high speed pinion bearing*. Rp 2.808/jam untuk komponen *gas seal stage 3*. Rp 2.226/jam

untuk komponen *oil seal stage 3*. Serta Rp 5.979/jam untuk komponen *trusht bearing*.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian serupa sebaiknya dilakukan secara menyeluruh, yang melibatkan semua komponen-komponen dengan downtime tertinggi pada proses produksi agar hasil yang diperoleh lebih baik dan lebih kompleks.
2. Mengembangkan penelitian serupa dengan menambahkan *tools* atau parameter lain untuk membantu pendekatan RCM yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Ari, Anatya. 2013. *Deteksi Kerusakan Impeller Pompa Sentrifugal Dengan Analisa Sinyal Getaran*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Assauri, Sofyan. 1999. *Manajemen Produksi dan Operasi*, LPFEUI. Jakarta.
- Assauri, Sofyan. 2004. *Manajemen Produksi dan Operasi, Edisi Revisi 2004*, LPFEUI. Jakarta.
- Baldin, A. E. 1981. *Condition-Based Maintenance Chemical Engineering*.
- Bangun, I. Harnadi. 2012. *Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II Pada Mesin Blowing OM di PT. Industri Sandang Nusantara Unit Patal Lawang*. Malang.
- Ben-Daya, M. 2000. *You May Need RCM to Enhance TPM Implementation*. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 6(2).
- Bloch, H. P. 1998. *Improving Machinery Reability 3rd Edition*. Gulf Publishing Company. Houston : Texas.
- Bloch, H. P. dan Geitner, F.K. 2004. *Machinery Component Maintenance and Repair 3rd Edition*. Gulf Publishing Company. Houston : Texas.
- Bloch, H. P. dan Geitner, F.K. 2012. *Machinery Failure Analysis and Troubleshooting 4rd Edition*. Gulf Publishing Company. Houston : Texas.
- Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motor Corporation. 2001. *Potential Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*. Reference Manual.
- Daryus, A. 2008. *Manajemen Pemeliharaan Mesin*. Universitas Darma Persada. Jakarta.
- Davis, R. Joseph. 2000. *Corrosion: Understanding The Basic*. ASM International. Almere.
- Ebelling, C.E. 1997. *An introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. New York: The Mc.Graw Hill Companier Inc.
- Fitriani, D. Widihandari. 2015. *Perencanaan Perawatan pada Lini Rim Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II di PT. Autokorindo Pratama*. Gresik.
- Jatmika, B. R. Putra. 2015. *Analisis Manajemen Perawatan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II Pada Mesin Goss Urbanite di PT. Temprina Media Grafika*. Malang.
- Krismanto, H. 2008. *Information Book – Overhaul & Pengukuran*. Bandung.
- Kritanto, H. 2014. *Analisa Kegagalan Mechanical Seal Booster Pump dan Bearing Temperature High pada BFP PLTU Paiton Unit 9*. Probolinggo.

- Lewis, E.E. 1987 *Introduction to Reliability Engineering*. New York : John Willey.
- Mobley, R. Keith, 2002. *An Introduction To Predictive Maintenance I*, 2nd Ed. Butterworth-Heinemann. USA.
- Moubray, J. 1997. *Reliability Centered Maintenance II*. New York: Industrial Press Inc.
- Nasution, Arman Hakim & Prasetyawan, Yudha. 2008. *Perencanaan & Pengendalian Produksi*. Surabaya: Graha Ilmu.
- Patrick D. T. 2001. *Practical Reliability Engineering, Fourth Edition*. Jonh Wiley & Sons Ltd. England.
- Priyotomo, G. 2015. *Buku Praktis Korosi dan Logam Untuk Mahasiswa*. P2MM LIPI.
- Rausand M., Hoyland A., 2004. *System Reliability Theory Models, Statistical Methods, and Applications 2nd Ed*. New Jersey: Jonh Wiley & Sons, Inc.
- Rianto, Eko. 2013. *Deskripsi Proses Air Separation Unit (ASU)*. Cilegon : Utility PT. Polychem Indonesia Tbk.
- Sugiyono. 2012. *Memahami Penelitian Kualitatif*. Bandung: ALFABET.
- Stephen P. Matthew. 2004. *Productivity and Reliability Based Maintenance Management*. New Jersey : Pearson education Inc.
- Valentine, V. 2015. *Perencanaan Perawatan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II Pada Mesin Sablon Auto Stop Cylinder I di PT. Printec Perkasa 2*.
- Wulpi, J. Donald. 2013. *Understanding How Components Fail 3rd Edition*. ASM International. Almere.
- Zahirah, A.L., Janti, G., Prasetyawan Y. 2012. *Penentuan Interval Waktu Perawatan Optimum dan Analisis Perbandingan Finansial Komponen Auxiliary*. Jurnal Teknik POMITS Vol 1 No 1.
- Cayman Business Systems. 2002. *Failure Mode and Effect Analysis*. Diakses pada tanggal 28 Maret 2016, dari <http://www.fmeainfocentre.com>.

Lampiran 1

Data Time To Failure dan Time To Repair Komponen Kritis Mesin ATC

1. Low speed pinion bearing

Waktu Perbaikan Komponen				Time to Failure (jam)	Time to Repair (jam)
Mulai		Selesai			
Tanggal	Jam	Tanggal	Jam		
02-Okt-15	07.15	02-Okt-15	14.30		7,3
21-Okt-15	21.40	22-Okt-15	04.00	464	6,3
30-Nov-15	05.00	30-Nov-15	12.25	913	7,4
20-Des-15	19.35	21-Des-15	04.45	487	7,2
25-Jan-16	10.45	25-Jan-16	17.15	846	6,5
26-Feb-16	05.15	26-Feb-16	12.45	781	7,4
07-Apr-16	15.45	07-Apr-16	22.45	987	7
03-Mei-16	09.45	03-Mei-16	16.50	635	7,1
16-Jun-16	04.50	16-Jun-16	12.20	1044	7,5
19-Jul-16	12.20	19-Jul-16	18.25	792	6,1
11-Agu-16	01.40	11-Agu-16	09.00	608	7,3
19-Sep-16	14.00	19-Sep-16	20.20	941	6,3

2. Oil seal stage 1

Waktu Perbaikan Komponen				Time to Failure (jam)	Time to Repair (jam)
Mulai		Selesai			
Tanggal	Jam	Tanggal	Jam		
04-Okt-15	03.25	04-Okt-15	11.40		8,2
16-Nov-15	01.40	16-Nov-15	09.10	1022	7,4
07-Des-15	23.10	08-Des-15	05.25	520	6,9
19-Jan-16	05.25	19-Jan-16	12.40	1008	7,2
02-Mar-16	17.30	03-Mar-16	02.00	1037	7,5
05-Apr-16	18.25	06-Apr-16	01.20	809	6,9
20-Mei-16	22.55	21-Mei-16	07.10	1103	8,3
23-Mei-16	23.50	24-Mei-16	07.45	857	8,1
16-Agu-16	17.15	17-Agu-16	00.35	1306	7,3
27-Sep-16	21.35	28-Sep-16	03.40	1005	6,1

3. Gas seal stage 1

Waktu Perbaikan Komponen				Time to Failure (jam)	Time to Repair (jam)
Mulai		Selesai			
Tanggal	Jam	Tanggal	Jam		
15-Okt-15	08.00	15-Okt-15	15.10		7,2
07-Nov-15	07.55	07-Nov-15	15.25	545	7,5
18-Des-15	21.25	19-Des-15	03.55	1014	6,5
14-Mar-16	17.50	15-Mar-16	02.55	2102	9,1
08-Mei-16	14.55	09-Mei-16	00.25	1308	9,5
22-Jun-16	03.25	22-Jun-16	11.25	1059	8
19-Jul-16	04.15	19-Jul-16	13.10	641	8,9
16-Sep-16	03.40	16-Sep-16	11.55	1408	8,2

4. *Impeller stage 1*

Waktu Perbaikan Komponen				Time to Failure (jam)	Time to Repair (jam)
Mulai		Selesai			
Tanggal	Jam	Tanggal	Jam		
10-Okt-15	23.50	11-Okt-15	07.45		7,9
24-Nov-15	01.45	24-Nov-15	08.35	1050	6,6
19-Feb-16	20.35	20-Feb-16	04.05	2076	8,4
23-Apr-16	11.20	23-Apr-16	18.45	1304	7,4
08-Jul-16	11.35	08-Jul-16	17.55	2057	6,3
10-Agu-16	14.55	10-Agu-16	23.10	789	8,2
25-Sep-16	05.10	25-Sep-16	13.55	1086	8,7

5. *High speed pinion bearing*

Waktu Perbaikan Komponen				Time to Failure (jam)	Time to Repair (jam)
Mulai		Selesai			
Tanggal	Jam	Tanggal	Jam		
04-Nov-15	13.00	04-Nov-15	20.50		7,8
21-Nov-17	21.50	22-Nov-15	06.15	414	8,4
26-Dec-15	18.15	27-Dec-15	01.10	829	6,9
04-Feb-16	06.00	04-Feb-16	13.45	941	7,7
18-Mar-16	04.00	18-Mar-16	11.55	1028	7,9
30-Apr-16	07.10	30-Apr-16	14.45	985	7,6
09-Jun-16	17.45	10-Jun-16	01.50	963	8,1

6. *Gas seal stage 3*

Waktu Perbaikan Komponen				Time to Failure (jam)	Time to Repair (jam)
Mulai		Selesai			
Tanggal	Jam	Tanggal	Jam		
06-Okt-15	04.35	06-Okt-15	12.10		7,6
04-Dec-15	02.35	04-Dec-15	11.10	1406	8,6
04-Jan-16	16.00	04-Jan-16	23.50	749	7,8
20-Feb-16	10.40	20-Feb-16	19.00	1091	8,3
16-Mei-16	10.50	16-Mei-16	19.20	2056	8,5
30-Jun-16	12.10	30-Jun-16	20.05	1073	7,9
26-Sep-16	03.20	26-Sep-16	10.10	2096	6,8

7. *Oil seal stage 3*

Waktu Perbaikan Komponen				Time to Failure (jam)	Time to Repair (jam)
Mulai		Selesai			
Tanggal	Jam	Tanggal	Jam		
20-Jan-16	13.20	20-Jan-16	20.40		7,3
04-Mar-16	02.40	04-Mar-16	10.25	1038	7,7
30-Mei-16	16.25	30-Mei-16	22.40	2094	6,2
25-Jul-16	22.40	26-Jul-16	04.15	1344	6,6
29-Sep-16	16.15	30-Sep-16	00.10	1837	7,9

8. Thrust bearing

Waktu Perbaikan Komponen				Time to Failure (jam)	Time to Repair (jam)
Mulai		Selesai			
Tanggal	Jam	Tanggal	Jam		
15-Feb-16	18.45	16-Feb-16	01.20		6,6
22-Mar-16	15.45	22-Mar-16	22.10	880	6,4
12-Apr-16	19.45	13-Apr-16	01.00	502	5,2
14-Mei-16	04.00	14-Mei-16	11.35	747	7,6
03-Jul-16	02.35	03-Jul-16	09.40	1191	7,1

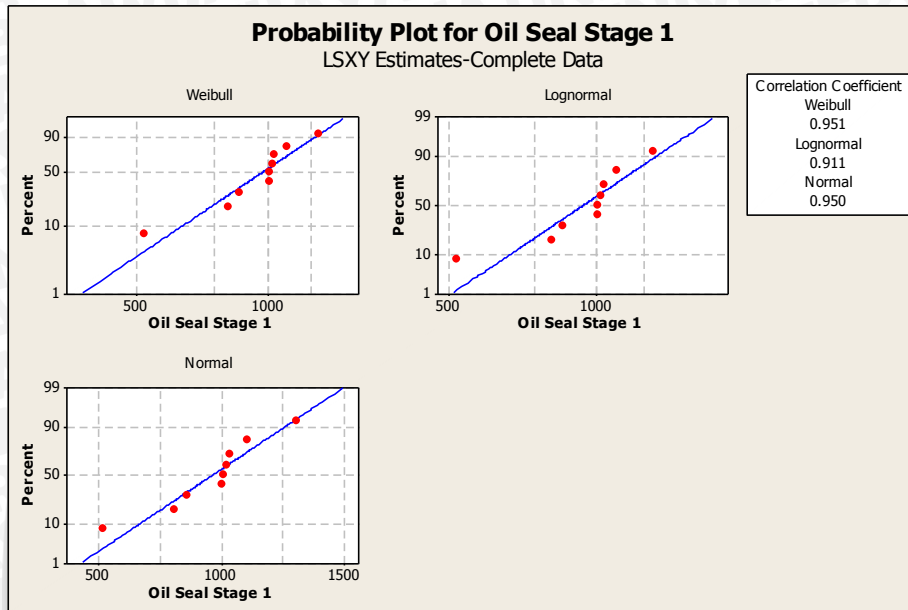


Lampiran 2

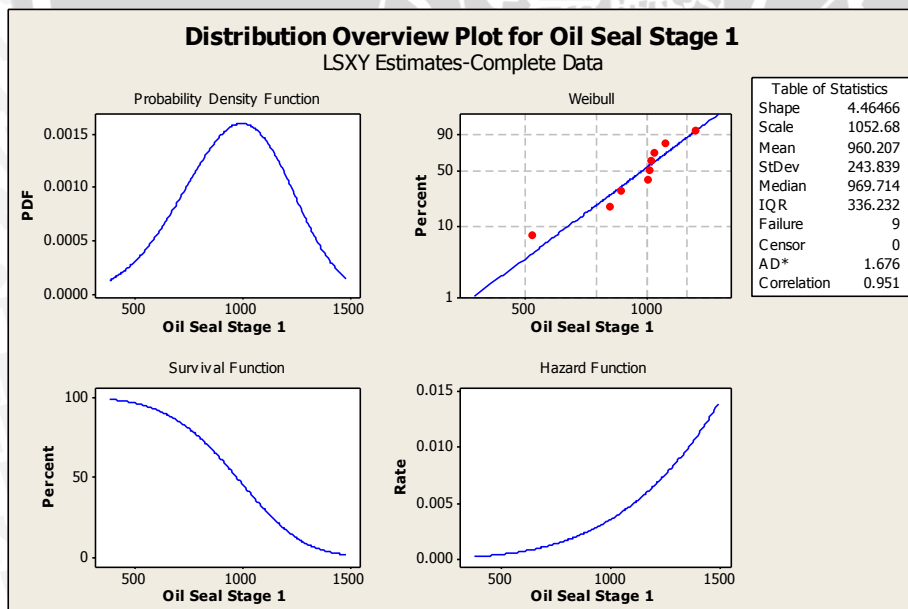
Penentuan Distribusi *Time To Failure* (TTF) Komponen Kritis Mesin ATC

1. *Oil Seal Stage 1*

Output pengujian distribusi pada data TTF komponen *oil seal stage 1*

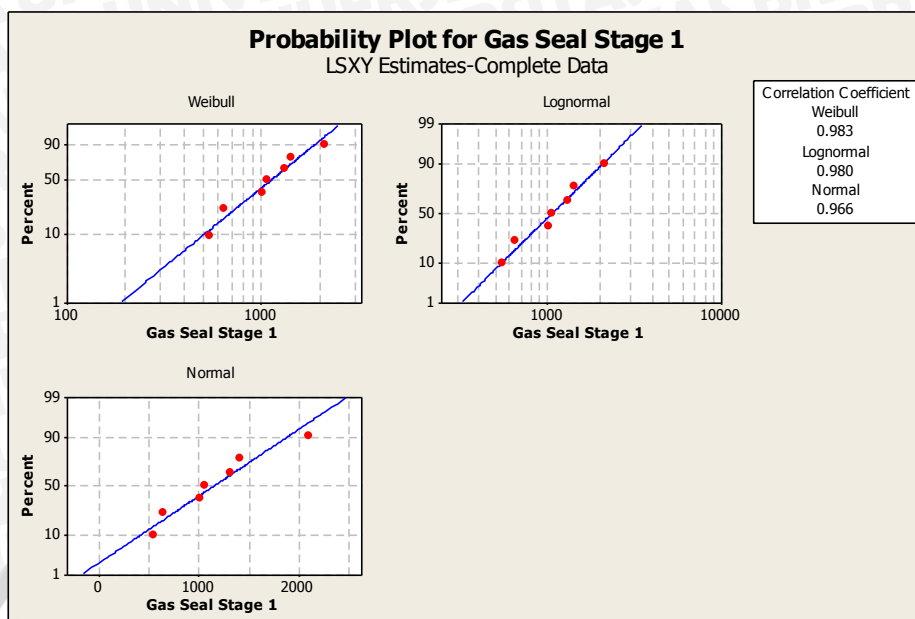


Output parameter pada data TTF komponen *oil seal stage 1*

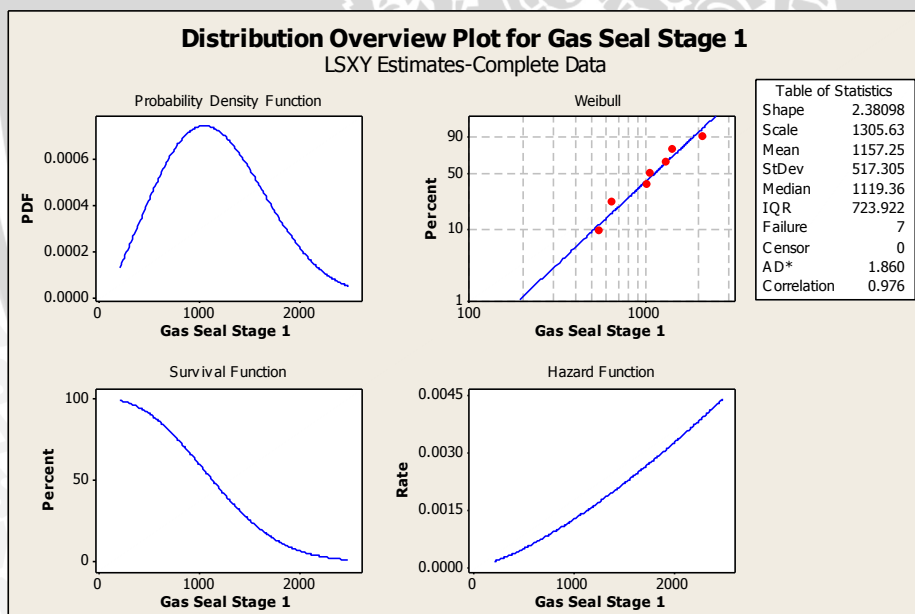


2. Gas Seal Stage 1

Output pengujian distribusi pada data TTF komponen *gas seal stage 1*

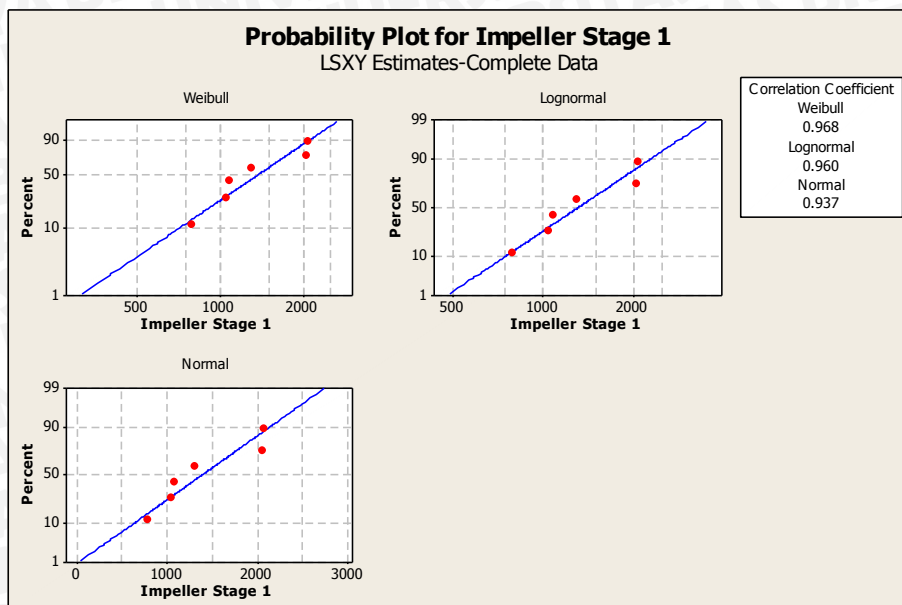


Output parameter pada data TTF komponen *gas seal stage 1*

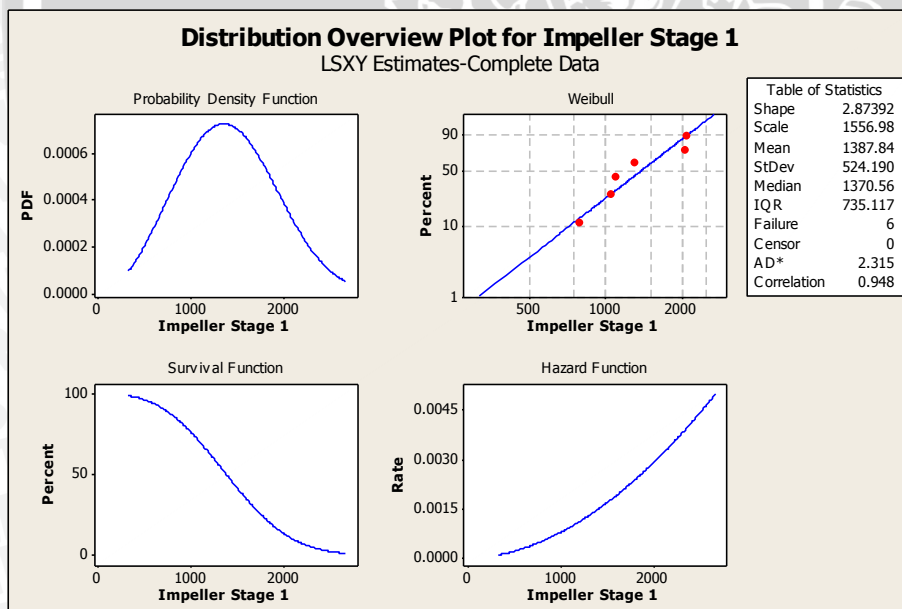


3. Impeller Stage 1

Output pengujian distribusi pada data TTF komponen *impeller stage 1*

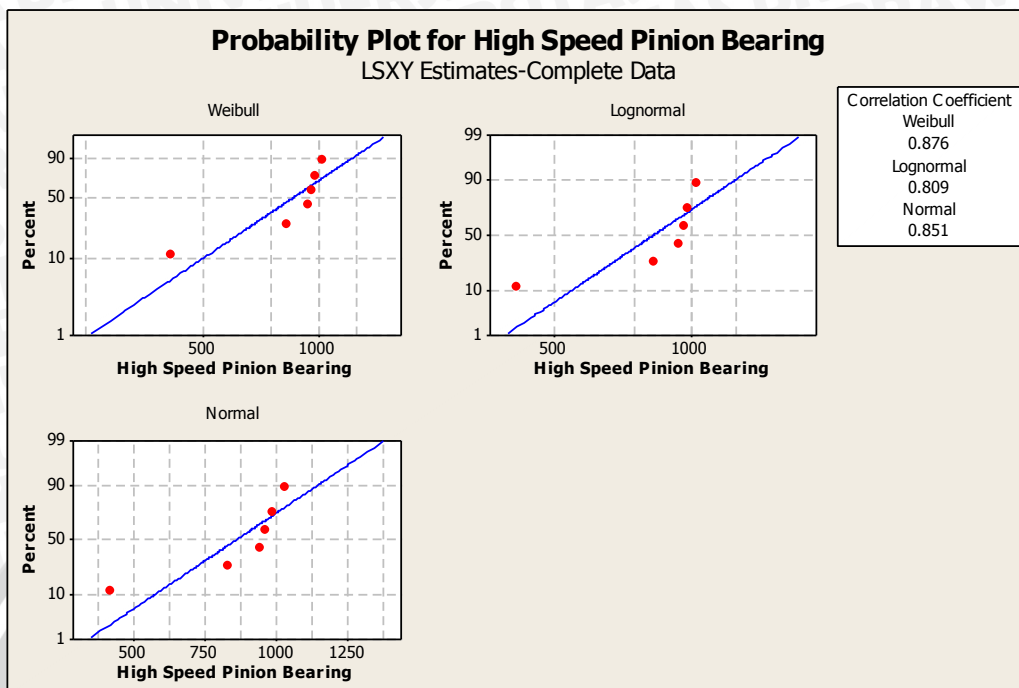


Output parameter pada data TTF komponen *impeller stage 1*

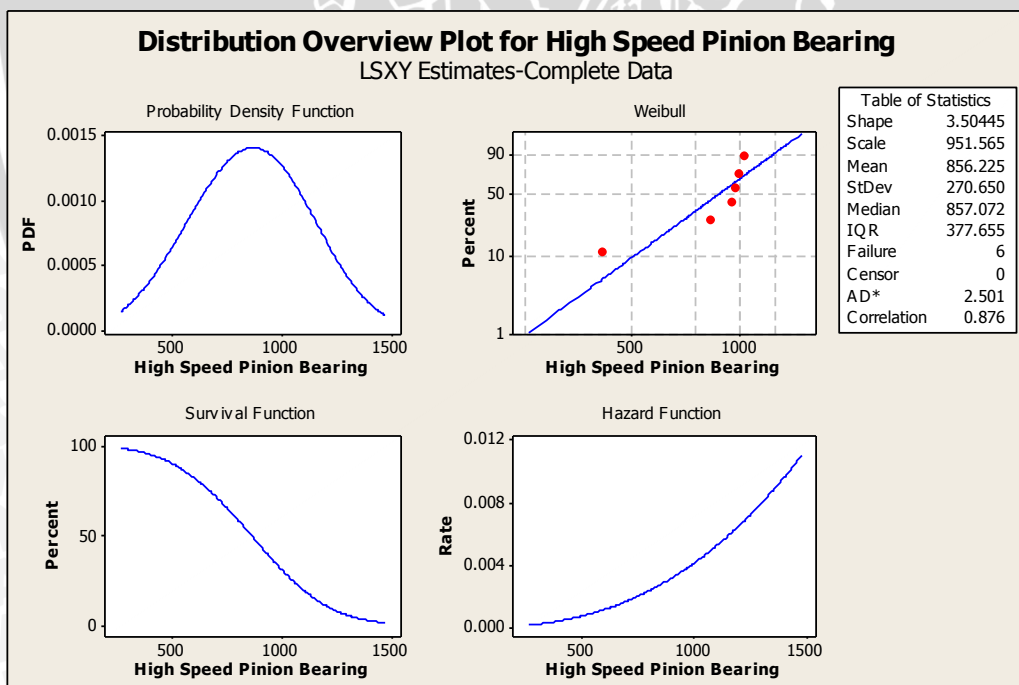


4. High Speed Pinion Bearing

Output pengujian distribusi pada data TTF komponen *high speed pinion bearing*

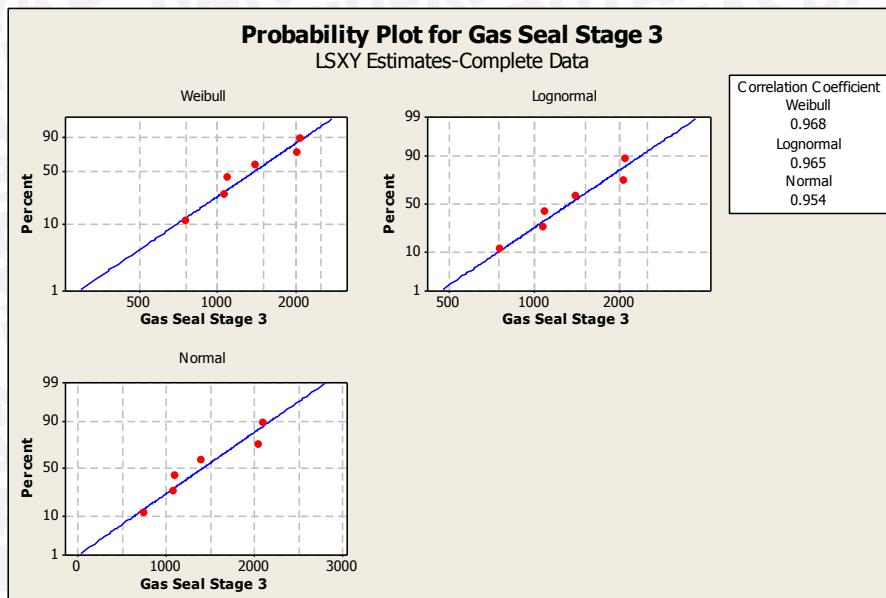


Output parameter pada data TTF komponen *high speed pinion bearing*

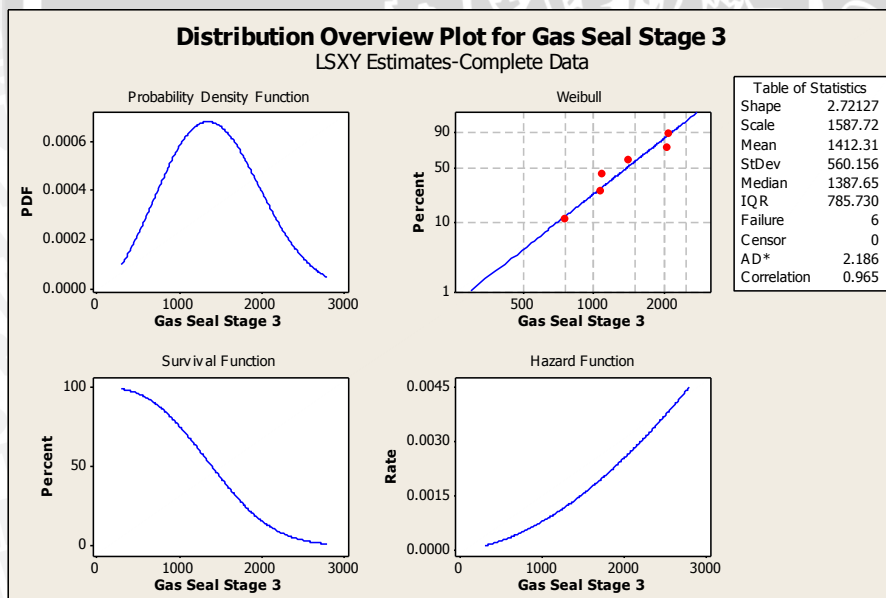


5. Gas Seal Stage 3

Output pengujian distribusi pada data TTF komponen *gas seal stage 3*

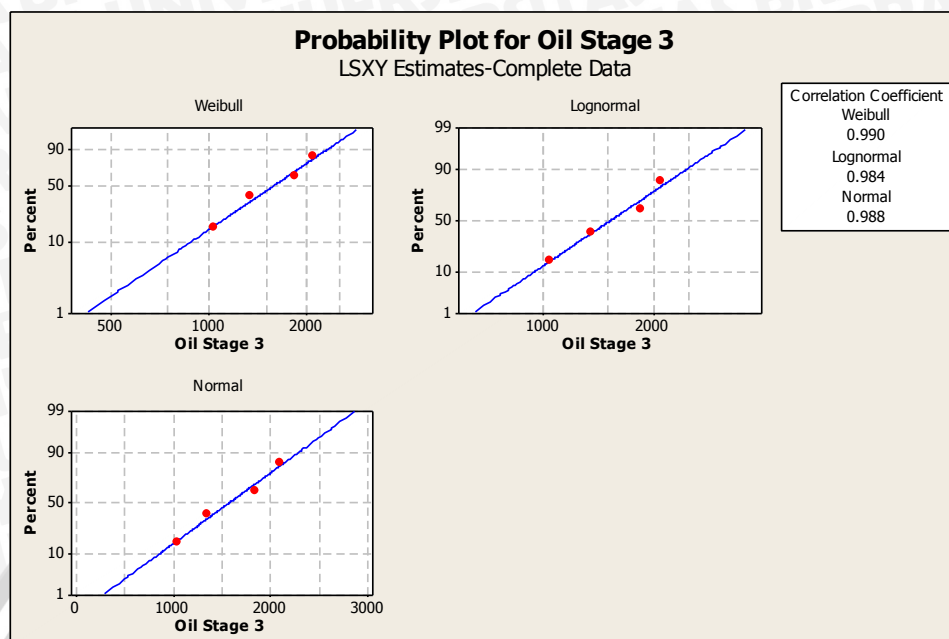


Output parameter pada data TTF komponen *gas seal stage 3*

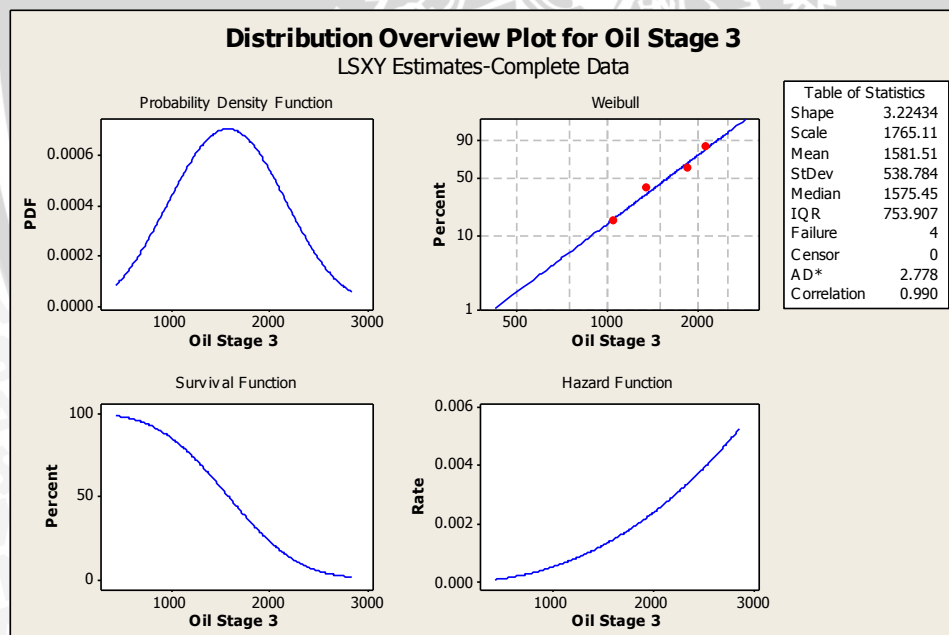


6. Oil Seal Stage 3

Output pengujian distribusi pada data TTF komponen *oil seal stage 3*

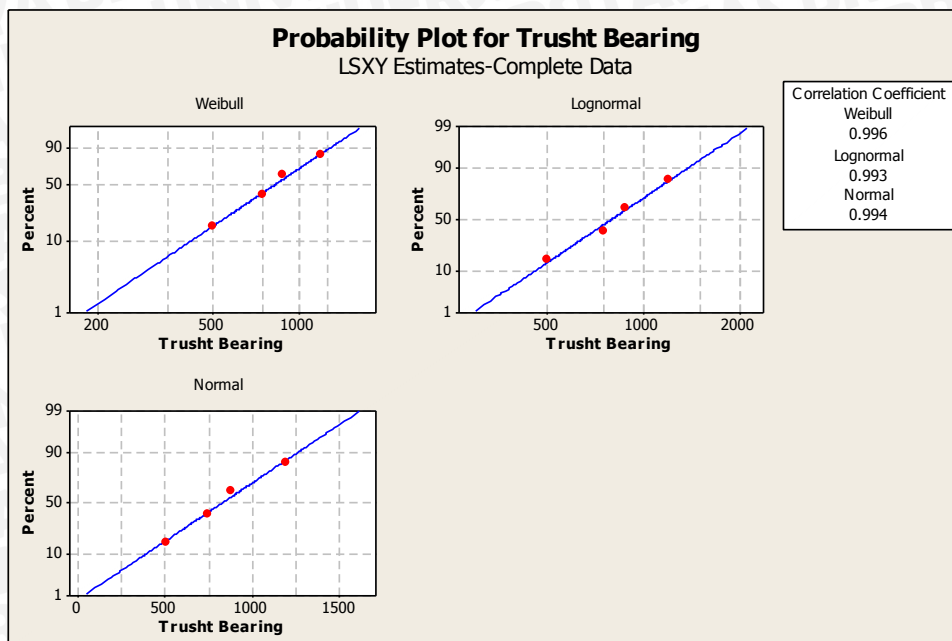


Output parameter pada data TTF komponen *oil seal stage 3*

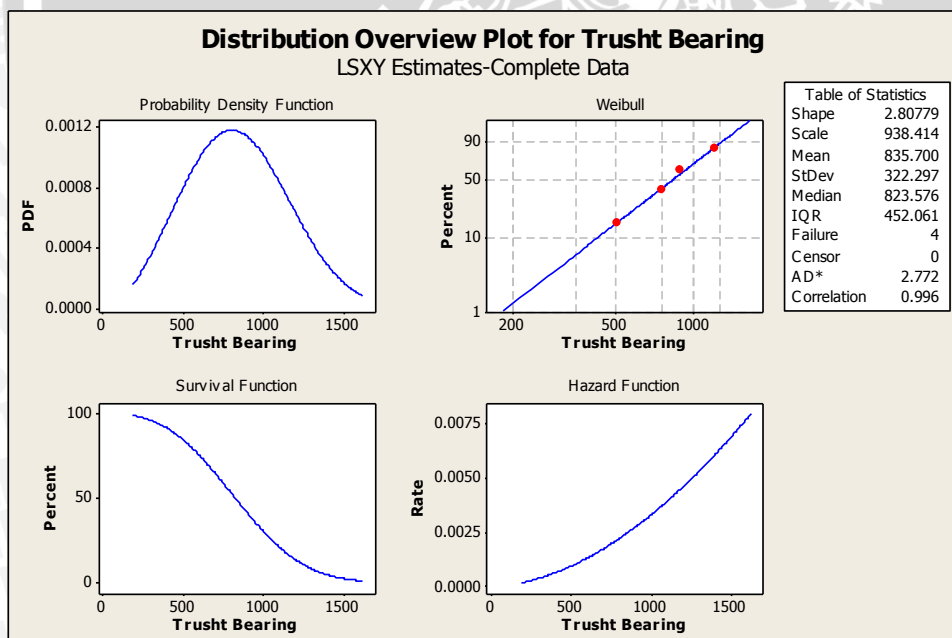


7. Truht Bearing

Output pengujian distribusi pada data TTF komponen *truht bearing*



Output parameter pada data TTF komponen *truht bearing*



Lampiran 3

Perhitungan Mean Time to Failure (MTTF) untuk Time to Failure (TTF) Komponen Kritis Mesin ATC

Tabel Fungsi Gamma

No.	x	$\Gamma(x)$
1	1	1
2	1,1	0,95135077
3	1,2	0,918168742
4	1,3	0,897470696
5	1,4	0,887263818
6	1,5	0,886226926
7	1,6	0,893515549
8	1,7	0,908638733
9	1,8	0,931383377
10	1,9	0,961765832
11	2	1

Sumber: Boas & Mary, 1983

1. Oil Seal Stage 1

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 1052,68 \Gamma \left(1 + \frac{1}{4,09762} \right)$$

$$= 966,54 \text{ jam}$$

2. Gas Seal Stage 1

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 1305,63 \Gamma \left(1 + \frac{1}{4,46466} \right)$$

$$= 1158,44 \text{ jam}$$

3. Impeller Stage 1

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 1556,98 \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,87392} \right)$$

$$= 1397,34 \text{ jam}$$

4. High Speed Pinion Bearing

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 951,57 \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,50445} \right)$$

$$= 873,70 \text{ jam}$$

5. Gas Seal Stage 3

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 1587,72 \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,72127} \right)$$

$$= 1408,72 \text{ jam}$$

6. Oil Seal Stage 3

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 1765,11 \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,22434} \right)$$

$$= 1584,14 \text{ jam}$$

7. Truhst Bearing

$$MTTF = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 938,42 \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,80779} \right)$$

$$= 832,62 \text{ jam}$$

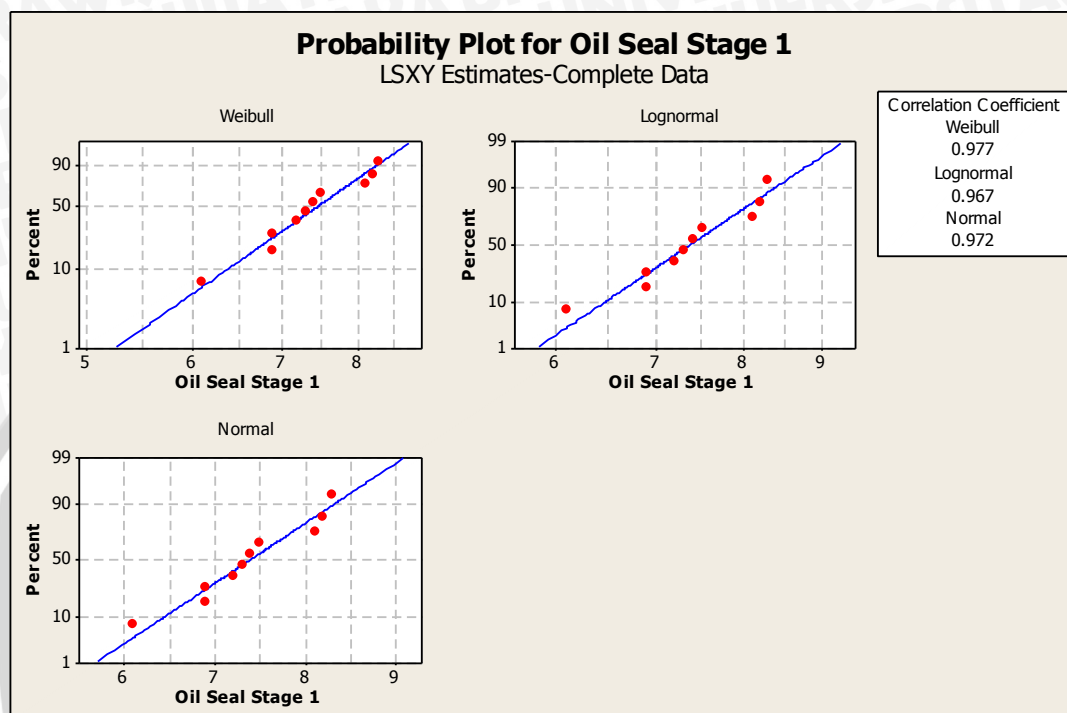


Lampiran 4

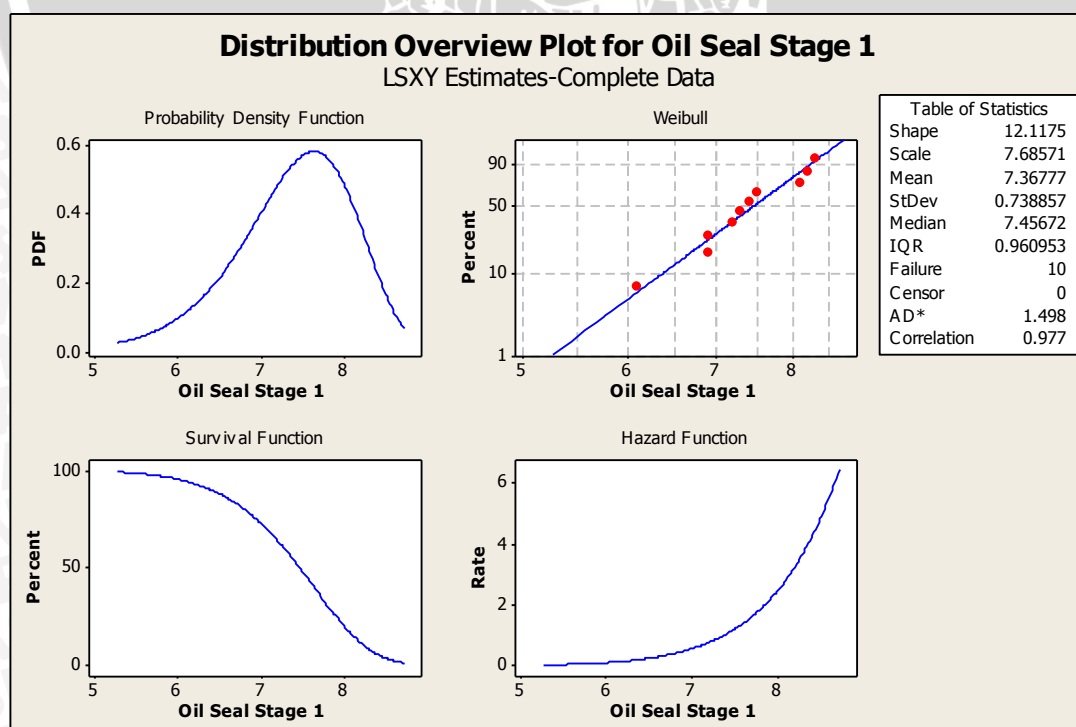
Penentuan Distribusi *Time To Repair* (TTR) Komponen Kritis Mesin ATC

1. *Oil Seal Stage 1*

Output pengujian distribusi pada data TTR komponen *oil seal stage 1*

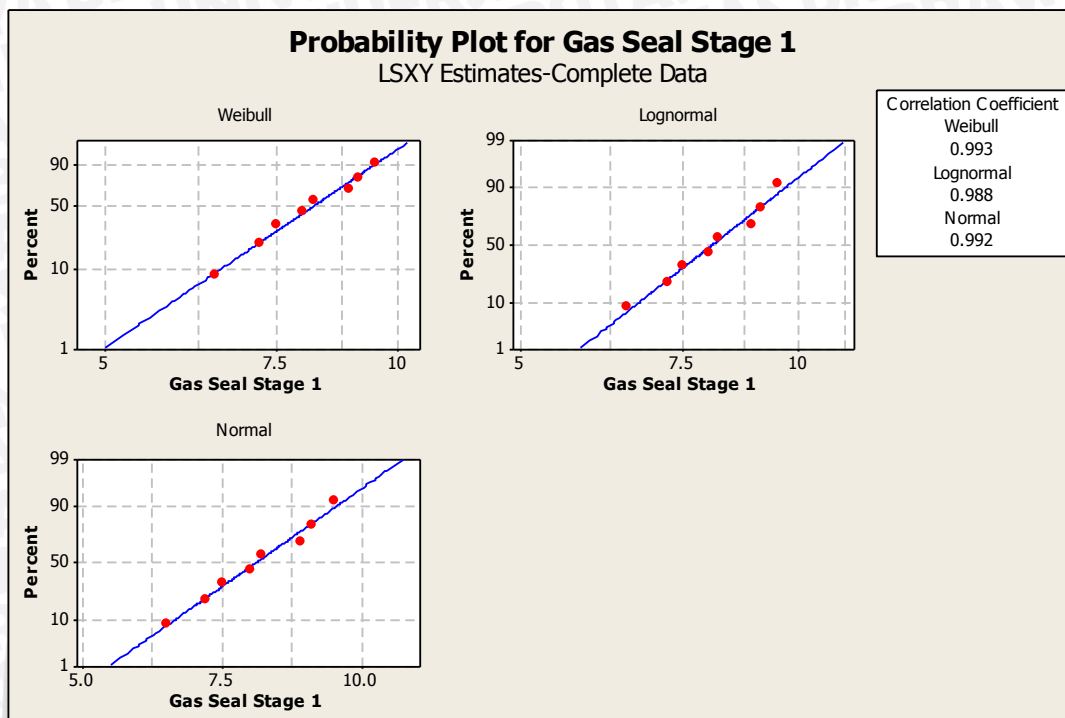


Output parameter pada data TTR komponen *oil seal stage 1*

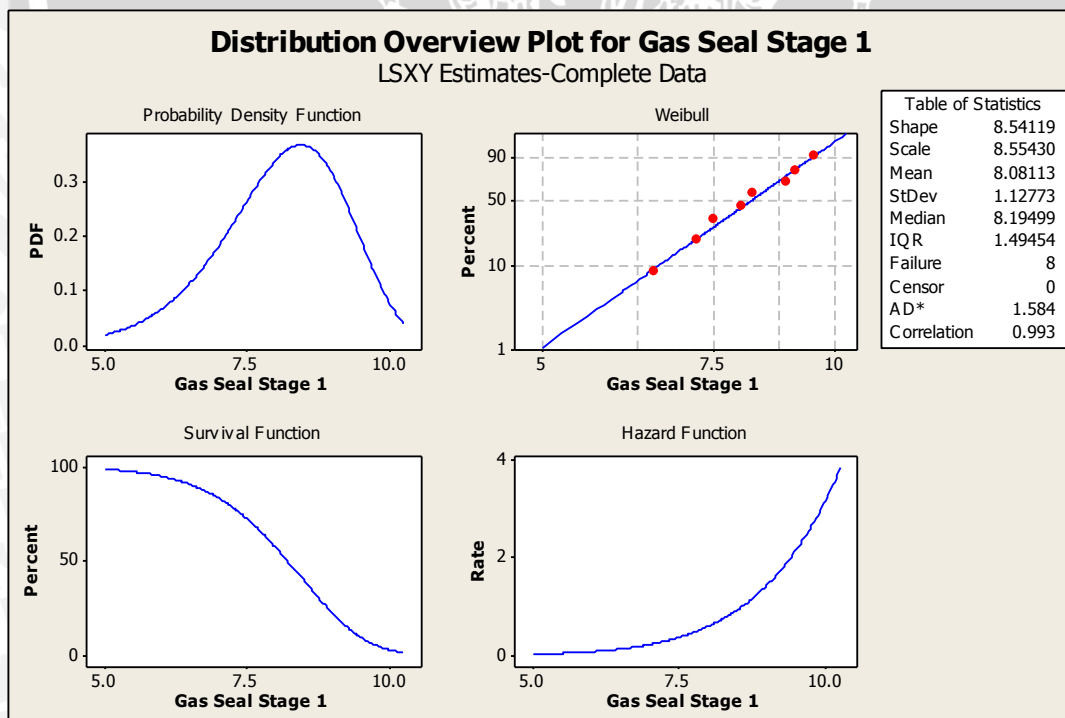


2. Gas Seal Stage 1

Output pengujian distribusi pada data TTR komponen *gas seal stage 1*

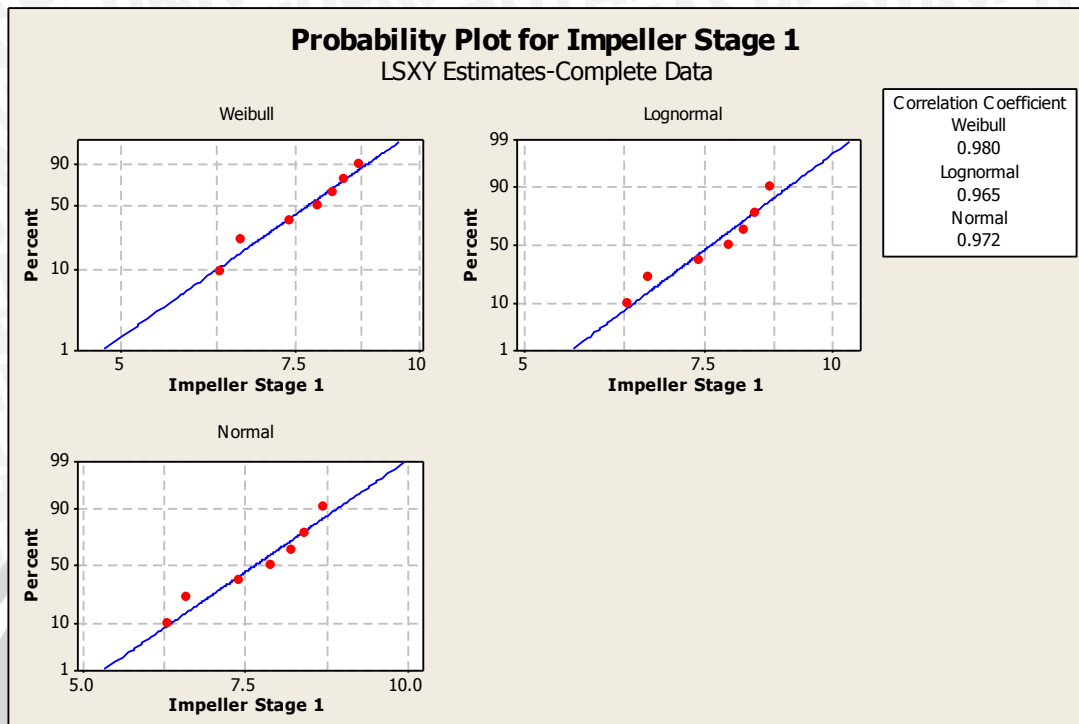


Output parameter pada data TTR komponen *gas seal stage 1*

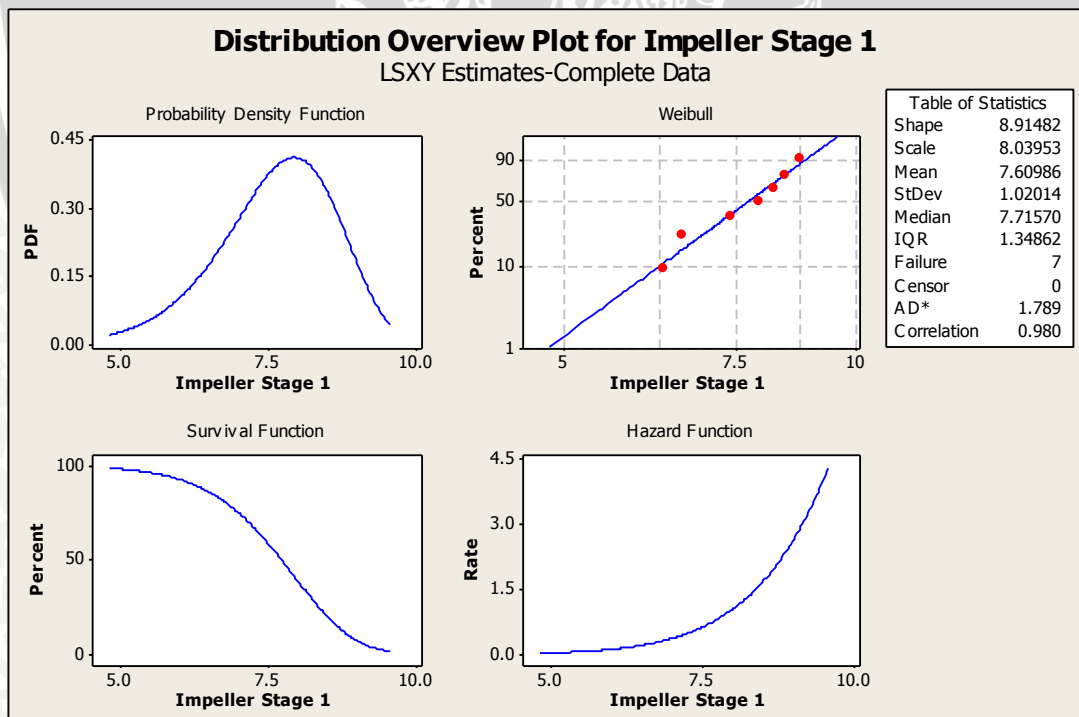


3. Impeller Stage 1

Output pengujian distribusi pada data TTR komponen *impeller stage 1*

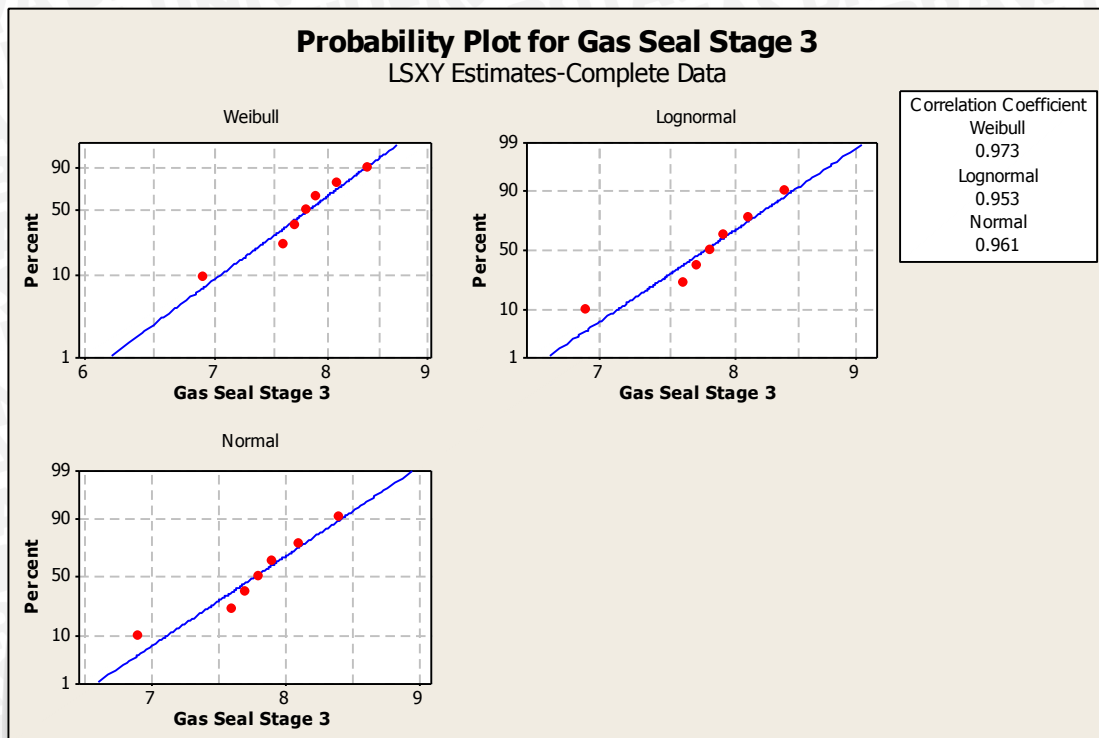


Output parameter pada data TTR komponen *impeller stage 1*

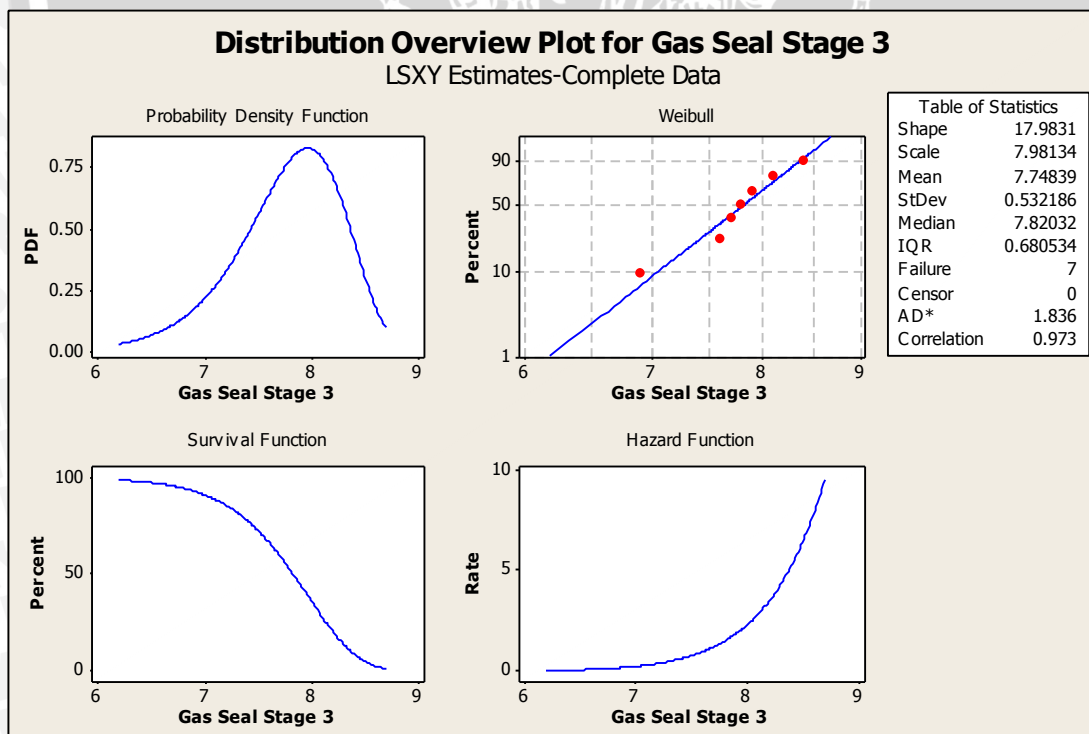


4. High Speed Pinion Bearing

Output pengujian distribusi pada data TTR komponen *high speed pinion bearing*

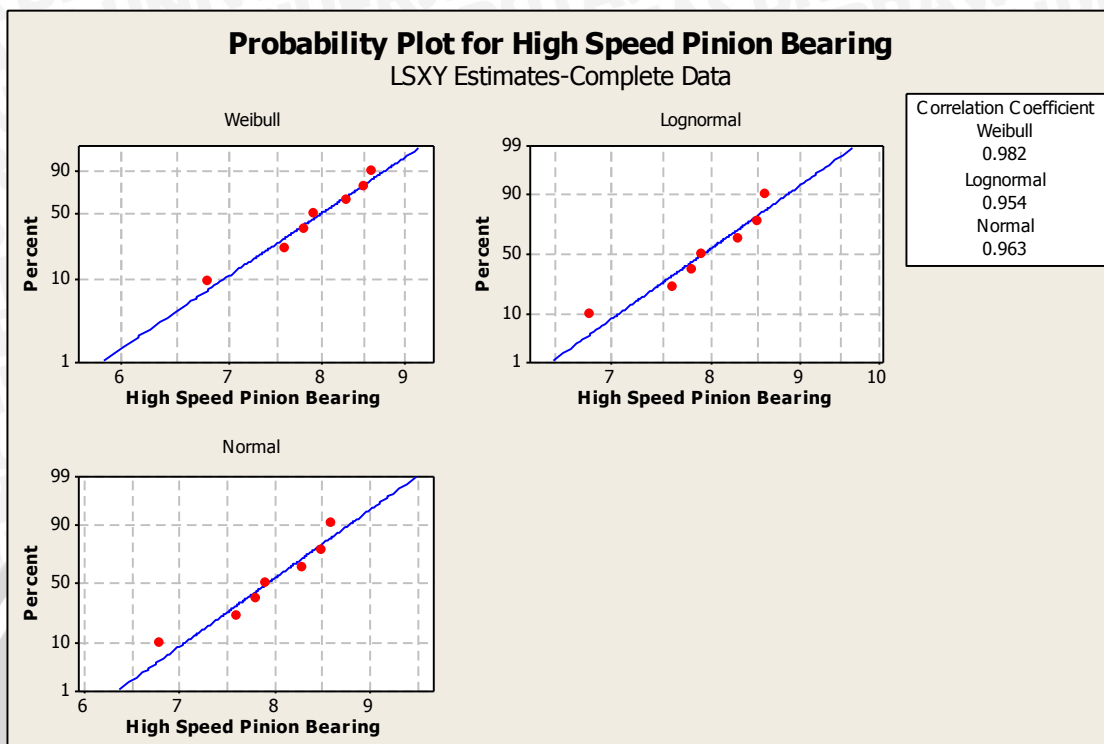


Output parameter pada data TTR komponen *high speed pinion bearing*

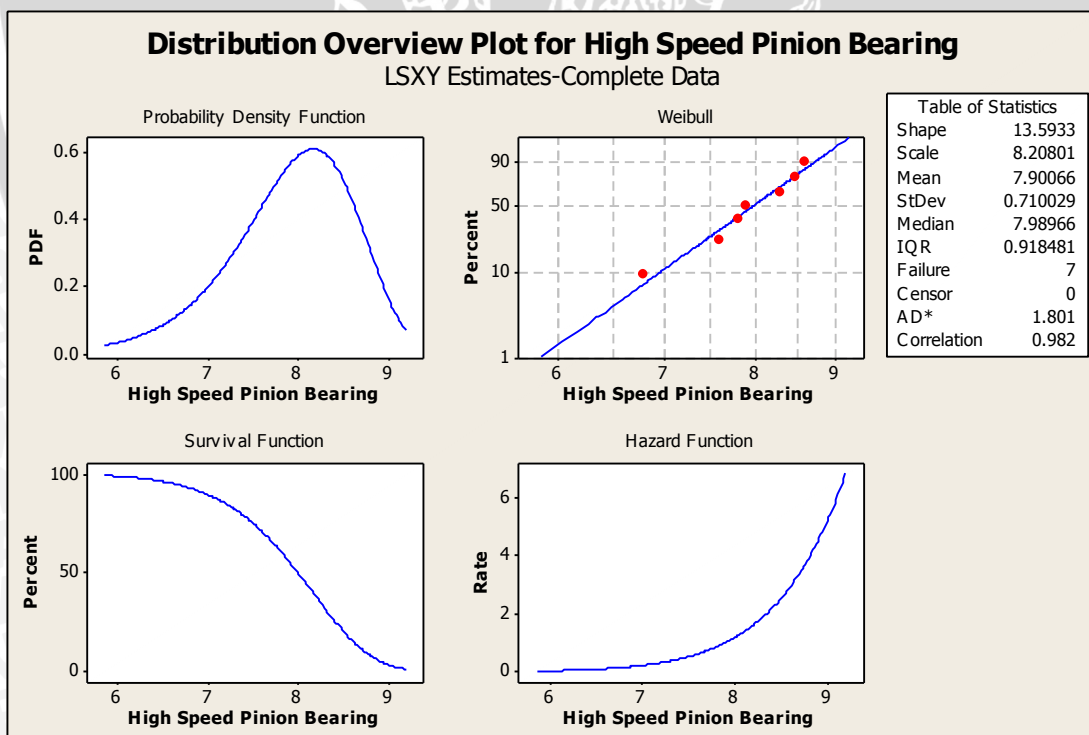


5. Gas Seal Stage 3

Output pengujian distribusi pada data TTR komponen *gas seal stage 3*

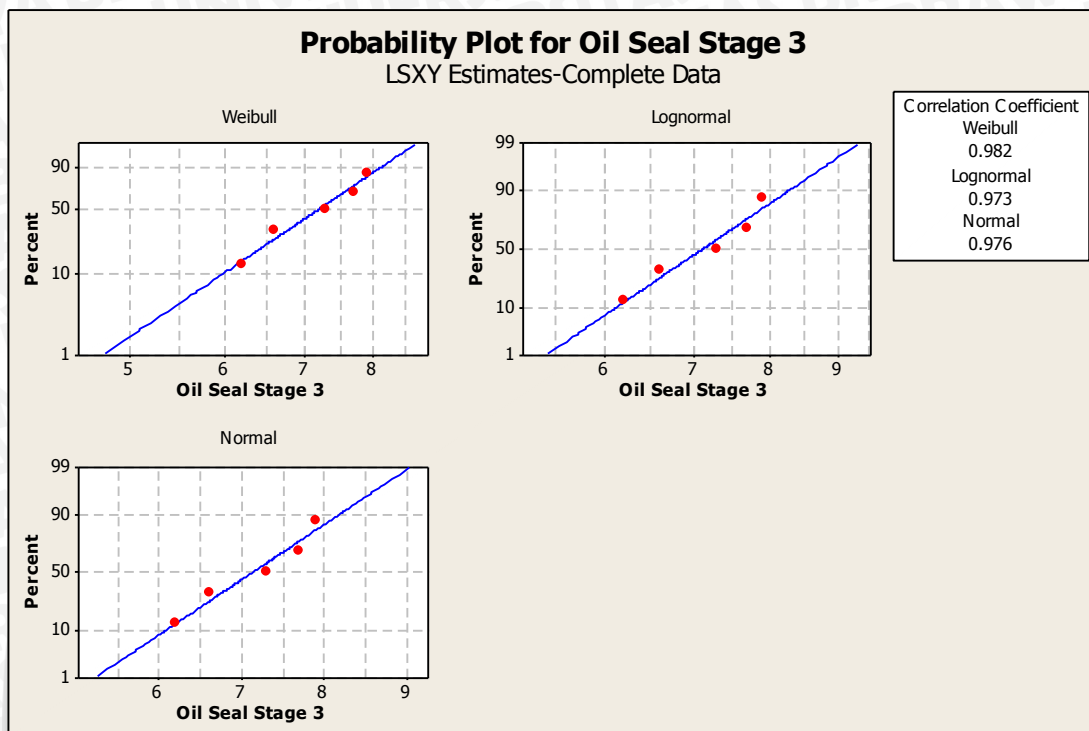


Output parameter pada data TTR komponen *gas seal stage 3*

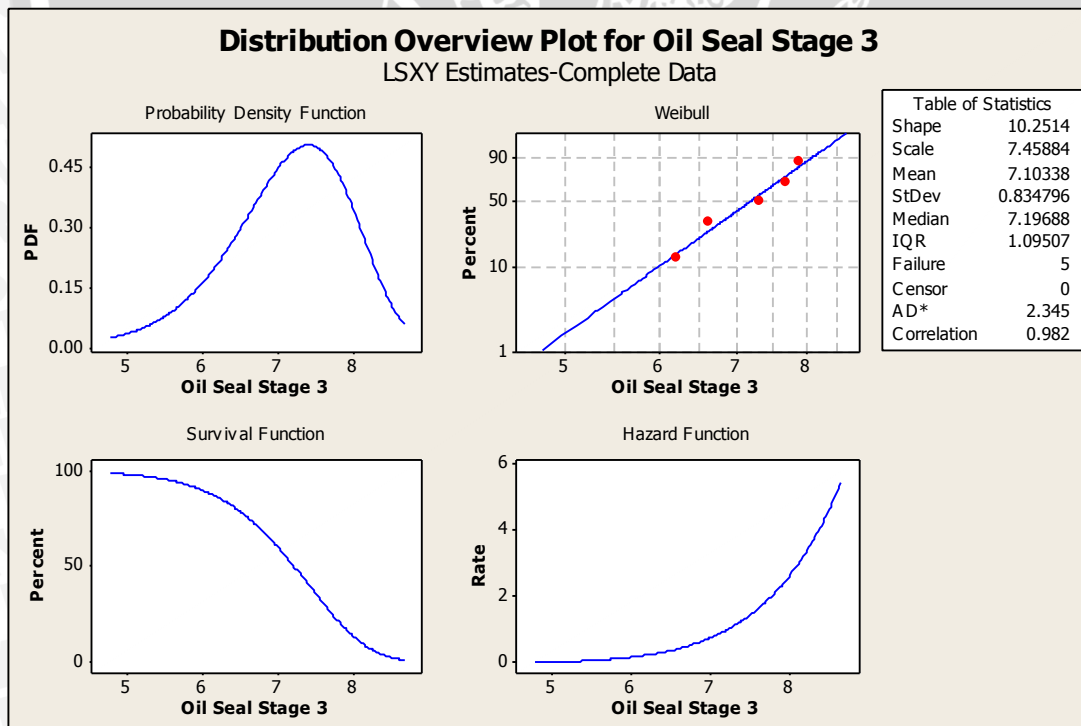


6. Oil Seal Stage 3

Output pengujian distribusi pada data TTR komponen *oil seal stage 3*

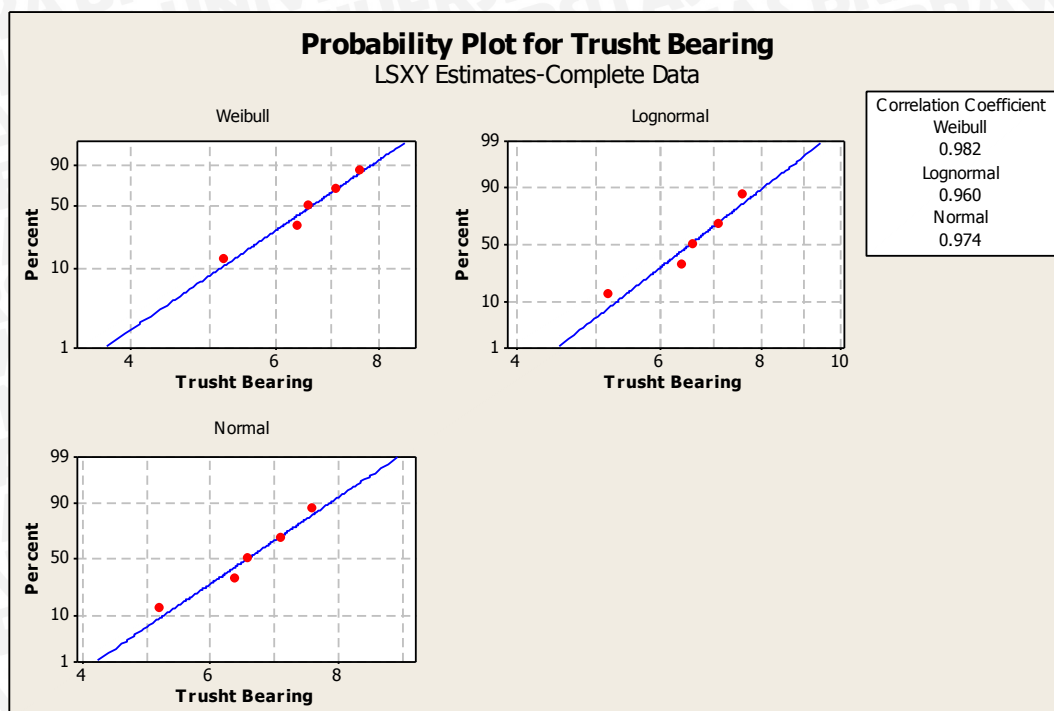


Output parameter pada data TTR komponen *oil seal stage 3*

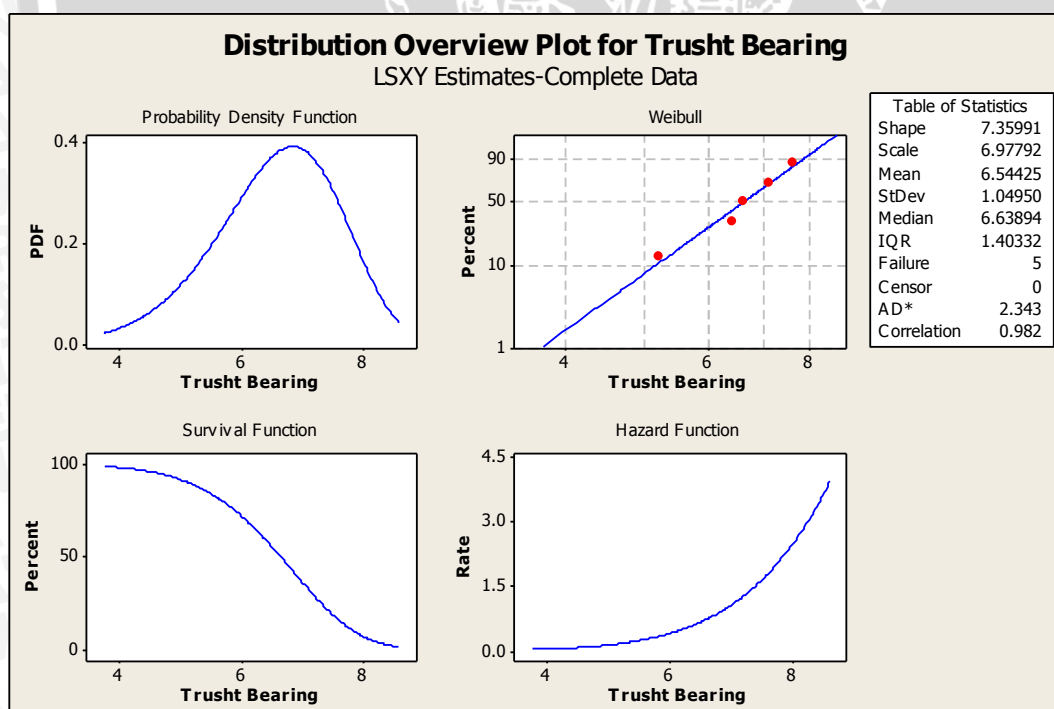


7. Truhst Bearing

Output pengujian distribusi pada data TTR komponen *truhst bearing*



Output parameter pada data TTR komponen *truhst bearing*



Lampiran 5**Perhitungan Mean Time to Repair (MTTR) untuk Time to Repair (TTR) Komponen****Kritis Mesin ATC***1. Oil Seal Stage 1*

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 7,6857\Gamma \left(1 + \frac{1}{12,1175} \right)$$

$$= 7,3118 \text{ jam}$$

2. Gas Seal Stage 1

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 8,5543\Gamma \left(1 + \frac{1}{8,5411} \right)$$

$$= 8,1381 \text{ jam}$$

3. Impeller Stage 1

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 8,0395\Gamma \left(1 + \frac{1}{8,9148} \right)$$

$$= 7,6483 \text{ jam}$$

4. High Speed Pinion Bearing

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 7,9813\Gamma \left(1 + \frac{1}{17,9831} \right)$$

$$= 7,5930 \text{ jam}$$

5. Gas Seal Stage 3

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 8,2080\Gamma \left(1 + \frac{1}{13,5933} \right)$$

$$= 7,8087 \text{ jam}$$

6. Oil Seal Stage 3

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 7,4588\Gamma \left(1 + \frac{1}{10,2514} \right)$$

$$= 7,0959 \text{ jam}$$

7. *Truhst Bearing*

$$MTTR = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = 6,9779 \Gamma \left(1 + \frac{1}{7,3599} \right) \\ = 6,6384 \text{ jam}$$



Lampiran 6

Perhitungan *Failure Cost* dan *Preventive Cost* Komponen Kritis Mesin ATC

1. Oil Seal Stage 1

$$\begin{aligned} Cf &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \\ &\quad \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 7,3118) + \text{Rp } 725.000,00 \\ &= \text{Rp } 2.157.754 \end{aligned}$$

2. Gas Seal Stage 1

$$\begin{aligned} Cf &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \\ &\quad \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 8,1381) + \text{Rp } 780.000,00 \\ &= \text{Rp } 2.374.677 \end{aligned}$$

3. Impeller Stage 1

$$\begin{aligned} Cf &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \\ &\quad \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 7,6484) + \text{Rp } 2.850.000,00 \\ &= \text{Rp } 4.348.709 \end{aligned}$$

4. High Speed Pinion Bearing

$$\begin{aligned} Cf &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \\ &\quad \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 7,5930) + \text{Rp } 1.435.000,00 \\ &= \text{Rp } 2.922.859 \end{aligned}$$

5. *Gas Seal Stage 3*

$$\begin{aligned} C_f &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \\ &\quad \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 7,8087) + \text{Rp } 780.000,00 \\ &= \text{Rp } 2.310.120 \end{aligned}$$

6. *Oil Seal Stage 3*

$$\begin{aligned} C_f &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \\ &\quad \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 7,0959) + \text{Rp } 725.000,00 \\ &= \text{Rp } 2.115.456 \end{aligned}$$

7. *Trusht Bearing*

$$\begin{aligned} C_f &= ((\text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Kerugian Produksi}) \times \text{MTTR}) + \\ &\quad \text{Harga Komponen} \\ &= ((\text{Rp } 195.000,00 + \text{Rp } 951) \times 6,6384) + \text{Rp } 1.625.000,00 \\ &= \text{Rp } 2.925.807 \end{aligned}$$



Lampiran 7**Perhitungan Interval Perawatan Optimal Komponen Kritis Mesin ATC****1. Oil Seal Stage 1**

$$TM = 1052,68 \left[\frac{2.157.754}{2.157.754(4,46466 - 1)} \right]^{\frac{1}{4,46466}}$$

$$= 796,93 \text{ jam}$$

2. Gas Seal Stage 1

$$TM = 1305,63 \left[\frac{2.374.677}{2.374.677(2,38098 - 1)} \right]^{\frac{1}{2,38098}}$$

$$= 1140,09 \text{ jam}$$

3. Impeller Stage 1

$$TM = 1556,98 \left[\frac{4.348.709}{4.348.709(2,87392 - 1)} \right]^{\frac{1}{2,87392}}$$

$$= 1251,35 \text{ jam}$$

4. High Speed Pinion Bearing

$$TM = 951,57 \left[\frac{2.922.859}{2.922.859(3,50445 - 1)} \right]^{\frac{1}{3,50445}}$$

$$= 732,26 \text{ jam}$$

5. Gas Seal Stage 3

$$TM = 1587,72 \left[\frac{2.310.120}{2.310.120(2,72127 - 1)} \right]^{\frac{1}{2,72127}}$$

$$= 1300,49 \text{ jam}$$

6. Oil Seal Stage 3

$$TM = 1765,11 \left[\frac{2.115.456}{2.115.456(3,22434 - 1)} \right]^{\frac{1}{3,22434}}$$

$$= 1377,49 \text{ jam}$$

7. *Trusht Bearing*

$$\begin{aligned} TM &= 938,42 \left[\frac{2.925.807}{2.925.807(2,80779 - 1)} \right]^{\frac{1}{2,80779}} \\ &= 759,99 \text{ jam} \end{aligned}$$



Lampiran 8

Perhitungan Total Biaya Perawatan Optimal Komponen Kritis Mesin ATC

1. Oil Seal Stage 1

Sebelum menggunakan interval perawatan:

$$TC_{MTTF} = \frac{C_p}{MTTF} + \frac{C_f}{\theta^\beta} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC_{MTTF} = \frac{\text{Rp } 2.157.754}{966,54} + \frac{\text{Rp } 2.157.754}{1052,68^{4,46466}} 966,54^{4,46466-1}$$

$$TC_{MTTF} = \text{Rp } 3.757/\text{jam}$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

$$TC_{TM} = \frac{C_p}{TM} + \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1}$$

$$TC_{TM} = \frac{\text{Rp } 2.157.754}{796,93} + \frac{\text{Rp } 2.157.754}{1052,68^{4,46466}} 796,93^{4,46466-1}$$

$$TC_{TM} = \text{Rp } 3.489/\text{jam}$$

2. Gas Seal Stage 1

Sebelum menggunakan interval perawatan :

$$TC_{MTTF} = \frac{C_p}{MTTF} + \frac{C_f}{\theta^\beta} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC_{MTTF} = \frac{\text{Rp } 2.374.677}{1158,44} + \frac{\text{Rp } 2.374.677}{1305,63^{2,38098}} 1158,44^{2,38098-1}$$

$$TC_{MTTF} = \text{Rp } 3.592/\text{jam}$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

$$TC_{TM} = \frac{C_p}{TM} + \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1}$$

$$TC_{TM} = \frac{\text{Rp } 2.374.677}{1140,09} + \frac{\text{Rp } 2.374.677}{1305,63^{2,38098}} 1140,09^{2,38098-1}$$

$$TC_{TM} = \text{Rp } 3.591/\text{jam}$$

3. Impeller Stage 1

Sebelum menggunakan interval perawatan :

$$TC_{MTTF} = \frac{C_p}{MTTF} + \frac{C_f}{\theta^\beta} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC_{MTTF} = \frac{\text{Rp } 4.348.709}{1397,34} + \frac{\text{Rp } 4.348.709}{1556,98^{2,87392}} 1397,34^{2,87392-1}$$

$$TC_{MTTF} = \text{Rp } 5.393/\text{jam}$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

$$TC_{TM} = \frac{Cp}{TM} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} TM^{\beta-1}$$

$$TC_{TM} = \frac{\text{Rp } 4.348.709}{1251,35} + \frac{\text{Rp } 4.348.709}{1556,98^{2,87392}} 1251,35^{2,87392-1}$$

$$TC_{TM} = \text{Rp } 5.330/\text{jam}$$

4. High Speed Pinion Bearing

Sebelum menggunakan interval perawatan :

$$TC_{MTTF} = \frac{Cp}{MTTF} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC_{MTTF} = \frac{\text{Rp } 2.922.859}{873,70} + \frac{\text{Rp } 2.922.859}{951,57^{3,50445}} 873,70^{3,50445-1}$$

$$TC_{MTTF} = \text{Rp } 5.826/\text{jam}$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

$$TC_{TM} = \frac{Cp}{TM} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} TM^{\beta-1}$$

$$TC_{TM} = \frac{\text{Rp } 2.922.859}{732,26} + \frac{\text{Rp } 2.922.859}{951,57^{3,50445}} 732,26^{3,50445-1}$$

$$TC_{TM} = \text{Rp } 5.585/\text{jam}$$

5. Gas Seal Stage 3

Sebelum menggunakan interval perawatan :

$$TC_{MTTF} = \frac{Cp}{MTTF} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC_{MTTF} = \frac{\text{Rp } 2.310.120}{1408,72} + \frac{\text{Rp } 2.310.120}{1587,72^{2,72127}} 1408,72^{2,72127-1}$$

$$TC_{MTTF} = \text{Rp } 2.824/\text{jam}$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

$$TC_{TM} = \frac{Cp}{TM} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} TM^{\beta-1}$$

$$TC_{TM} = \frac{\text{Rp } 2.310.120}{1300,49} + \frac{\text{Rp } 2.310.120}{1587,72^{2,72127}} 1300,49^{2,72127-1}$$

$$TC_{TM} = \text{Rp } 2.808/\text{jam}$$

6. Oil Seal Stage 3

Sebelum menggunakan interval perawatan :

$$TC_{MTTF} = \frac{Cp}{MTTF} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC_{MTTF} = \frac{Rp\ 2.115.456}{1584,13} + \frac{Rp\ 2.115.456}{1765,11^{3,22434}} 1584,13^{3,22434-1}$$

$$TC_{MTTF} = Rp\ 2.278/\text{jam}$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

$$TC_{TM} = \frac{Cp}{TM} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} TM^{\beta-1}$$

$$TC_{TM} = \frac{Rp\ 2.115.456}{1377,49} + \frac{Rp\ 2.115.456}{1765,11^{3,22434}} 1377,49^{3,22434-1}$$

$$TC_{TM} = Rp\ 2.226/\text{jam}$$

7. Trusht Bearing

Sebelum menggunakan interval perawatan :

$$TC_{MTTF} = \frac{Cp}{MTTF} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} MTTF^{\beta-1}$$

$$TC_{MTTF} = \frac{Rp\ 2.925.807}{832,62} + \frac{Rp\ 2.925.807}{938,42^{2,80779}} 832,62^{2,80779-1}$$

$$TC_{MTTF} = Rp\ 6.025/\text{jam}$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

$$TC_{TM} = \frac{Cp}{TM} + \frac{Cf}{\theta^{\beta}} TM^{\beta-1}$$

$$TC_{TM} = \frac{Rp\ 2.925.807}{759,99} + \frac{Rp\ 2.925.807}{938,42^{2,80779}} 759,99^{2,80779-1}$$

$$TC_{TM} = Rp\ 5.979/\text{jam}$$

Lampiran 9

Perhitungan Keandalan Interval Perawatan Optimal Komponen Kritis Mesin ATC

($e = 2,718$)

1. Oil Seal Stage 1

Sebelum menggunakan interval perawatan :

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

$$R(\text{MTTF}) = e^{-\left(\frac{966,54}{1052,68}\right)^{4,46466}}$$

$$R(\text{MTTF}) = 0,588$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

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

$$R(\text{TM}) = e^{-\left(\frac{796,93}{1052,68}\right)^{4,46466}}$$

$$R(\text{TM}) = 0,799$$

2. Gas Seal Stage 1

Sebelum menggunakan interval perawatan :

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

$$R(\text{MTTF}) = e^{-\left(\frac{1158,44}{1305,63}\right)^{2,38098}}$$

$$R(\text{MTTF}) = 0,557$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

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

$$R(\text{TM}) = e^{-\left(\frac{1140,09}{1305,63}\right)^{2,38098}}$$

$$R(\text{TM}) = 0,669$$

3. Impeller Stage 1

Sebelum menggunakan interval perawatan :

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

$$R(\text{MTTF}) = e^{-\left(\frac{1397,34}{1556,98}\right)^{2,87392}}$$

$$R(\text{MTTF}) = 0,565$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

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



$$R(TM) = e^{-\left(\frac{1251,35}{1556,98}\right)^{2,87392}}$$

$$R(TM) = 0,660$$

4. High Speed Pinion Bearing

Sebelum menggunakan interval perawatan :

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

$$R(MTTF) = e^{-\left(\frac{873,70}{951,57}\right)^{3,50445}}$$

$$R(MTTF) = 0,562$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

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

$$R(TM) = e^{-\left(\frac{732,26}{951,57}\right)^{3,50445}}$$

$$R(TM) = 0,733$$

5. Gas Seal Stage 3

Sebelum menggunakan interval perawatan :

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

$$R(MTTF) = e^{-\left(\frac{1408,72}{1587,72}\right)^{2,72127}}$$

$$R(MTTF) = 0,570$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

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

$$R(TM) = e^{-\left(\frac{1300,49}{1587,72}\right)^{2,72127}}$$

$$R(TM) = 0,636$$

6. Oil Seal Stage 3

Sebelum menggunakan interval perawatan :

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

$$R(MTTF) = e^{-\left(\frac{1584,13}{1765,11}\right)^{3,22434}}$$

$$R(MTTF) = 0,577$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

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

$$R(TM) = e^{-\left(\frac{1377,49}{1765,11}\right)^{3,22434}}$$

$$R(TM) = 0,705$$

7. *Trusht Bearing*

Sebelum menggunakan interval perawatan :

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

$$R(MTTF) = e^{-\left(\frac{832,62}{938,42}\right)^{2,80779}}$$

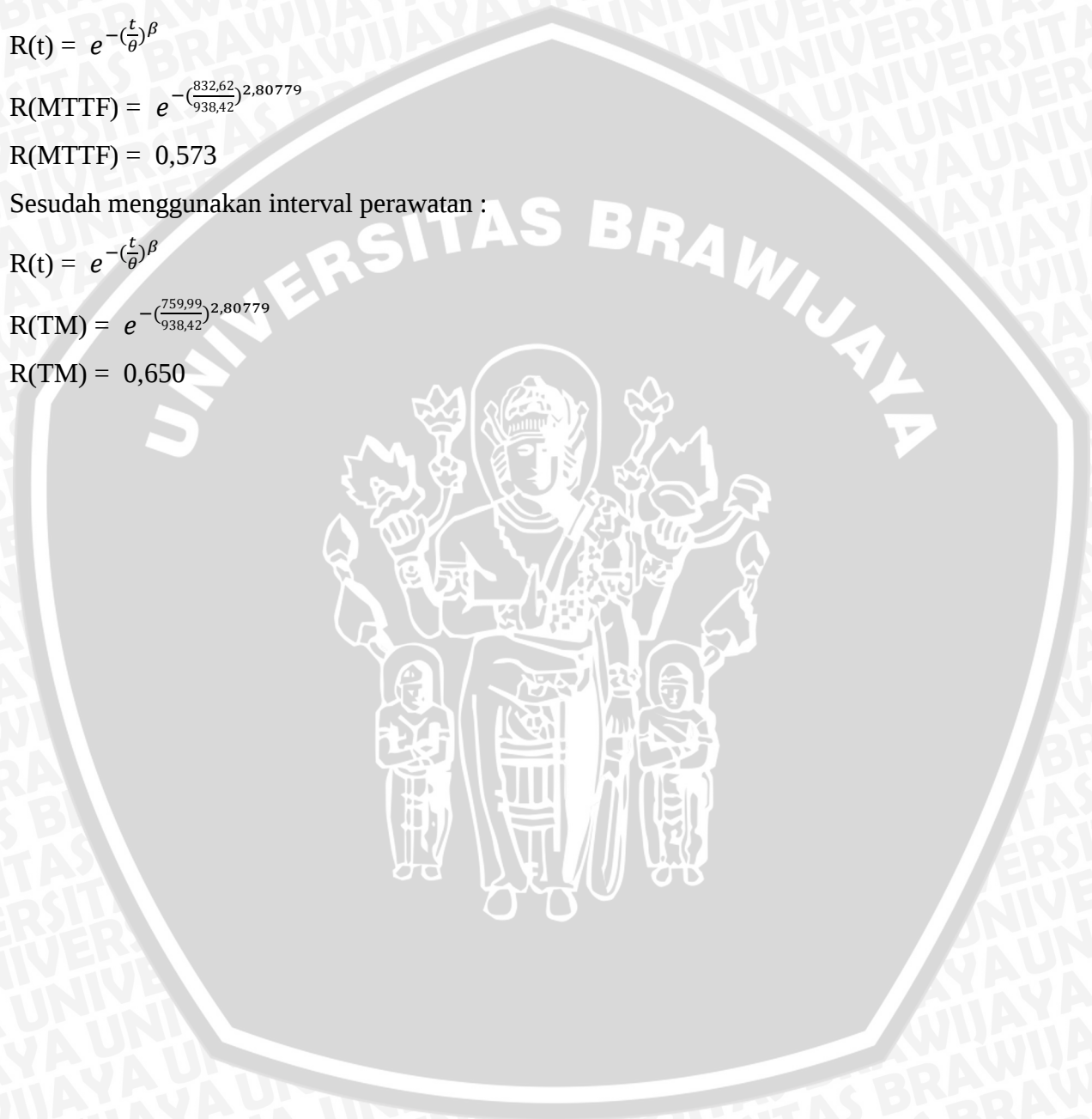
$$R(MTTF) = 0,573$$

Sesudah menggunakan interval perawatan :

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

$$R(TM) = e^{-\left(\frac{759,99}{938,42}\right)^{2,80779}}$$

$$R(TM) = 0,650$$



Lampiran 10

Rekap Perhitungan *Availability Rate* Komponen Kritis Mesin ATC

1. Oil Seal Stage 1

Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	8,2	15,80	65,83%	1	24	7,3	16,7	69,58%
2	24	7,4	16,60	69,17%	2	24	7,3	16,7	69,58%
3	24	6,9	17,10	71,25%	3	24	7,3	16,7	69,58%
4	24	7,2	16,80	70,00%	4	24	7,3	16,7	69,58%
5	24	7,5	16,50	68,75%	5	24	7,3	16,7	69,58%
6	24	6,9	17,10	71,25%	6	24	7,3	16,7	69,58%
7	24	8,3	15,70	65,42%	7	24	7,3	16,7	69,58%
8	24	8,1	15,90	66,25%	8	24	7,3	16,7	69,58%
9	24	7,3	16,70	69,58%	9	24	7,3	16,7	69,58%
10	24	6,1	17,90	74,58%	10	24	7,3	16,7	69,58%
TOTAL					TOTAL				
LT	240				LT	240			
DT		73,90			DT		73		
OP			166,10		OP			167	
AR				69,21%	AR				69,58%

2. Gas Seal Stage 1

Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	7,2	16,80	70,00%	1	24	8,1	15,9	66,25%
2	24	7,5	16,50	68,75%	2	24	8,1	15,9	66,25%
3	24	6,5	17,50	72,92%	3	24	8,1	15,9	66,25%
4	24	9,1	14,90	62,08%	4	24	8,1	15,9	66,25%
5	24	9,5	14,50	60,42%	5	24	8,1	15,9	66,25%
6	24	8	16,00	66,67%	6	24	8,1	15,9	66,25%
7	24	8,9	15,10	62,92%	7	24	8,1	15,9	66,25%
8	24	8,2	15,80	65,83%	8	24	8,1	15,9	66,25%
TOTAL					TOTAL				
LT	192				LT	192			
DT		64,90			DT		65		
OP			127,10		OP			127	
AR				66,20%	AR				66,25%

3. Impeller Stage 1

Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	7,9	16,10	67,08%	1	24	7,6	16,4	68,33%
2	24	6,6	17,40	72,50%	2	24	7,6	16,4	68,33%
3	24	8,4	15,60	65,00%	3	24	7,6	16,4	68,33%
4	24	7,4	16,60	69,17%	4	24	7,6	16,4	68,33%
5	24	6,3	17,70	73,75%	5	24	7,6	16,4	68,33%
6	24	8,2	15,80	65,83%	6	24	7,6	16,4	68,33%
7	24	8,7	15,30	63,75%	7	24	7,6	16,4	68,33%
TOTAL					TOTAL				
LT	168				LT	168			
DT		53,50			DT		53		
OP			114,50		OP			115	
AR				68,15%	AR				68,33%

4. High Speed Pinion Bearing

Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	7,8	16,20	67,50%	1	24	7,6	16,4	68,33%
2	24	8,4	15,60	65,00%	2	24	7,6	16,4	68,33%
3	24	6,9	17,10	71,25%	3	24	7,6	16,4	68,33%
4	24	7,7	16,30	67,92%	4	24	7,6	16,4	68,33%
5	24	7,9	16,10	67,08%	5	24	7,6	16,4	68,33%
6	24	7,6	16,40	68,33%	6	24	7,6	16,4	68,33%
7	24	8,1	15,90	66,25%	7	24	7,6	16,4	68,33%
TOTAL					TOTAL				
LT	168				LT	168			
DT		54,40			DT		53		
OP			113,60		OP			115	
AR				67,62%	AR				68,33%

5. Gas Seal Stage 3

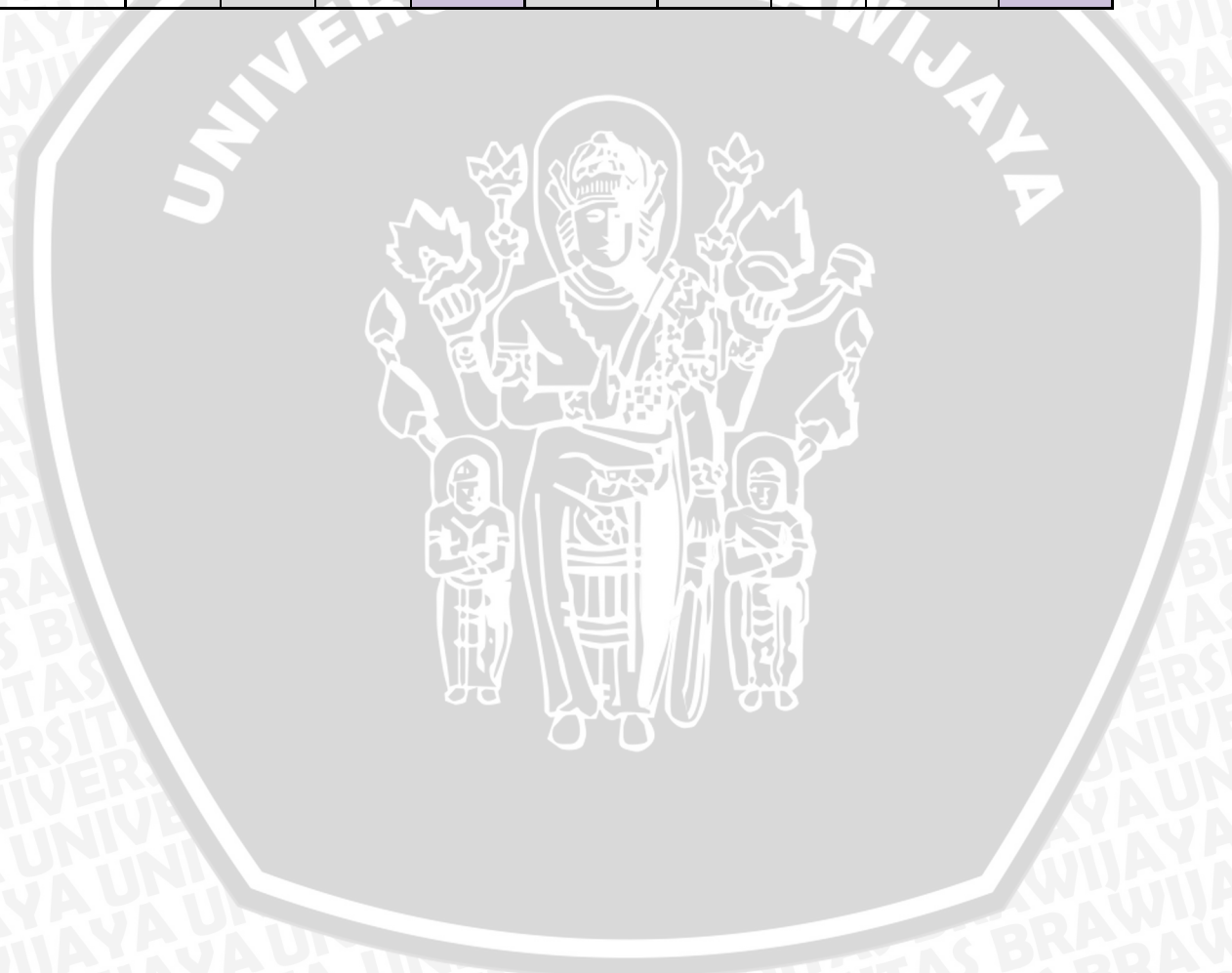
Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	7,6	16,40	68,33%	1	24	7,8	16,2	67,46%
2	24	8,6	15,40	64,17%	2	24	7,8	16,2	67,46%
3	24	7,8	16,20	67,50%	3	24	7,8	16,2	67,46%
4	24	8,3	15,70	65,42%	4	24	7,8	16,2	67,46%
5	24	8,5	15,50	64,58%	5	24	7,8	16,2	67,46%
6	24	7,9	16,10	67,08%	6	24	7,8	16,2	67,46%
7	24	6,8	17,20	71,67%	7	24	7,8	16,2	67,46%
TOTAL					TOTAL				
LT	168				LT	168			
DT		55,50			DT		55		
OP			112,50		OP			113	
AR				66,96%	AR				67,46%

6. Oil Seal Stage 3

Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	7,3	16,70	69,58%	1	24	7,1	16,9	70,43%
2	24	7,7	16,30	67,92%	2	24	7,1	16,9	70,43%
3	24	6,2	17,80	74,17%	3	24	7,1	16,9	70,43%
4	24	6,6	17,40	72,50%	4	24	7,1	16,9	70,43%
5	24	7,9	16,10	67,08%	5	24	7,1	16,9	70,43%
TOTAL					TOTAL				
LT	168				LT	120			
DT		35,70			DT		35		
OP			84,30		OP			85	
AR				67,62%	AR				70,43%

7. Trusht Bearing

Periode	Corrective Maintenance				Periode	Preventive Maintenance			
	LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)		LT (jam)	DT (jam)	OT (jam)	AR (%)
1	24	6,6	17,40	72,50%	1	24	6,5	17,5	72,76%
2	24	6,4	17,60	73,33%	2	24	6,5	17,5	72,76%
3	24	5,2	18,80	78,33%	3	24	6,5	17,5	72,76%
4	24	7,6	16,40	68,33%	4	24	6,5	17,5	72,76%
5	24	7,1	16,90	70,42%	5	24	6,5	17,5	72,76%
TOTAL					TOTAL				
LT	120				LT	120			
DT		32,90			DT		33		
OP			87,10		OP			87	
AR				72,58%	AR				72,76%



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 17 Mei 2017

Mahasiswa



Septiawan Pambudi Pratama
NIM. 125060701111002

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN KEBIJAKAN PERAWATAN MESIN *AIR TURBO COMPRESSOR (ATC)* DENGAN METODE *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)* II DI PT. POLYCHEM INDONESIA TBK, MERAK

SKRIPSI

TEKNIK INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



SEPTIAWAN PAMBUDI PRATAMA

NIM. 125060701111002

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 17 Mei 2017

Dosen Pembimbing I

Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741115 200604 1 002

Dosen Pembimbing II

Dwi Hadi Sulistyarini, ST., MT.
NIP. 19810322 200812 2 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri

Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730819 199903 1 002