



TUGAS AKHIR - TF141581

**EVALUASI *RELIABILTY* PADA SISTEM AIR
COMPRESSOR 101J DI PABRIK AMMONIA
PT.PETROKIMIA GRESIK**

SHINTA KUSUMAWARDHANI
NRP 2412 106 010

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TF141581

**RELIABILITY EVALUATION ON AIR
COMPRESSOR 101J SYSTEM AT AMMONIA
FACTORY PT.PETROKIMIA GRESIK**

SHINTA KUSUMAWARDHANI
NRP 2412 106 010

Supervisors
Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015*

**EVALUASI RELIABILITY
PADA SISTEM AIR COMPRESSOR 101J
DI PABRIK AMMONIA PT. PETROKIMIA GRESIK**

TUGAS AKHIR

Oleh :

Shinta Kusumawardhani

NRP. 2412 106 010

Surabaya, 25 Januari 2015

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing,



Dr. Ir. Ali Musyafa, MSc.

NIP. 19600901 1987011 001

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

NIP. 19650309 199002 1 001

**EVALUASI RELIABILITY
PADA SISTEM AIR COMPRESSOR 101J
DI PABRIK AMMONIA PT. PETROKIMIA GRESIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

pada

**Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**SHINTA KUSUMAWARDHANI
NRP. 2412 106 010**

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. **Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.**(Pembimbing)
2. **Dr. Ir. Purwadi Agus D., M.Sc.**(Ketua Penguji)
3. **Ir. Yaumar, MT.**(Penguji I)
4. **Totok Ruki B., ST., MT., Ph.D.**(Penguji II)
5. **Arief Abdurrahman, ST., MT.**(Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI, 2015**

**EVALUASI RELIABILITY
PADA SISTEM AIR COMPRESSOR 101J
DI PABRIK AMMONIA PT.PETROKIMIA GRESIK**

Nama Mahasiswa : SHINTA KUSUMAWARDHANI
NRP : 2412 106 010
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. ALI MUSYAFQA, M.Sc.

Abstrak

Udara bertekanan digunakan sebagai aktuator pada instrumentasi pabrik yaitu penggerak control valve pneumatic. Udara ini berasal dari air compressor 101J di pabrik ammonia yang bertekanan 7 kg/cm². Air compresor yang terdapat pada sistem penyediaan udara bertekanan di PT. Petrokimia merupakan compresor jenis centrifugal. Compressor sangat penting peranannya dalam proses pensuplaian udara, sehingga perlu dilakukan evaluasi nilai keandalan pada sistem kinerja air compressor 101J. Evaluasi yang dilakukan berkaitan dengan frekuensi waktu kegagalan atau kerusakan komponen-komponen. Komponen-komponen pada air compressor 101J yang di evaluasi merupakan komponen yang sering mengalami kegagalan yaitu rotor, air filter, journal bearing, thurst bearing, oil lubricant, pressure indicator dan temperature indicator. Nilai keandalan secara keseluruhan pada sistem air compressor 101J selama waktu operasional 500 jam adalah 0,71. Pada waktu operasional 1000 jam adalah 0,61. Pada waktu operasional 1500 jam adalah 0,52. Komponen rotor merupakan komponen yang sering terjadi kegagalan karena disebabkan impeller tidak stabil, sehingga menyebabkan gaya sentrifugal yang tidak sesuai. Dampak inilah yang dapat menyebabkan air compressor 101J mengalami trip. Pada pembiayaan preventive maintenance yang dilakukan pada saat nilai keandalan mencapai 70%, 60% dan 50% untuk setiap komponen. Pada Rotor diperoleh US\$ 4.654; US\$ 3.750 dan US\$ 3.433. Pada perhitungan pembiayaan maintenance, jika dilakukan preventive maintenance pada nilai keandalan yang lebih kecil, maka biaya yang dibutuhkan akan semakin besar.

Kata Kunci : Air compressor, keandalan, maintenance

**RELIABILITY EVALUATION
ON AIR COMPRESSOR 101J SYSTEM
AT AMMONIA FACTORY PT. PETROKIMIA GRESIK**

Name : SHINTA KUSUMAWARDHANI
NRP : 2412 106 010
Program Study : S1 Engineering Physics, FTI-ITS
Lecture : Dr. Ir. ALI MUSYAFA, MSc

Abstract

Pressure air used as actuator for plant instrumentation means that driving pneumatic control valve. The air coming from the air compressor in ammonia plant 101J pressure of 7 kg / cm². Air Compressor contained in the instrument air supply system in PT. Petrokimia is a type of centrifugal compressor. Compressor very important role in the supply of air, so it is necessary to evaluate the value of reliability in the performance of air compressor system 101J. Evaluation relating to the time-frequency component failure or functions. Components of air compressor 101J evaluated is components often run into failure, it is rotor, air filter, journal bearing, thrust bearing, oil lubricant, pressure indicator, and temperature indicator. Result analysis conducted overall reliability of the values obtained in air compressor system 101J over 500 hours of operational time is 0,71. Over 1000 hours of operational time is 0,61. Over 1500 hours of operational time is 0,52. The rotor component is the component most often occurs due to unstable due to the impeller, causing unstable centrifugal force. This impact can cause the air compressor 101J experience trip. In financing of preventive maintenance on reliability get up to 70%, 60% and 50% on a components. Rotor obtainable US\$ 4.654; US\$ 3.750 and US\$ 3.433. In the calculation of maintenance financing, if performed preventive maintenance on reliability values are smaller, then the costs involved will be even greater.

Keywords: Air compressor, reliability, maintenance

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayat serta inayahnya dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Evaluasi *Reliability* Pada Sistem Air Compressor 101J Di Pabrik Ammonia PT.Petrokimia Gresik**”.

Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Sigit Basuki dan Suhartiningsih yang selalu memberikan do'a dan dukungan secara moril maupun materil setiap waktu.
2. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa, MSc. selaku pembimbing penulis, yang selalu membimbing, mengarahkan, dan memberikan ilmu pengetahuan demi kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
4. Bapak Ir. Ya'umar, M.T., selaku Kepala Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi.
5. Bapak Hendra Cordova, ST.MT. selaku dosen wali yang selalu memberikan bimbingan dan arahan bagi penulis selama menjalankan perkuliahan.
6. Bapak Eka Budiyanto, S.T., selaku pembimbing Tugas Akhir bagian Departemen Pemeliharaan I di Pabrik I PT. Petrokimia Gresik yang telah membantu dalam pengambilan data serta memberikan sarana dan prasarana demi kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Danang N. Sukamto, S.T., selaku Kasi Mekanik NH₃ di Pabrik I PT. Petrokimia Gresik yang telah membantu memberikan data *maintenance*.
8. Bapak Nur Anggoro, S.T., bagian Candal yang membantu dalam memberikan data-data harga komponen *air compressor*.

9. Bapak dosen penguji yang telah mengikuti, memberikan masukan dan kritikan positif selama pengerjaan maupun dalam ujian Tugas Akhir.
10. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman yang bermanfaat selama kuliah.
11. Ratih Kusumaningrum, selaku kakak penulis yang selalu memberikan motivasi kuliah.
12. Teman-teman angkatan 2012 Lintas Jalur periode genap yang telah memberikan keceriaan selama kuliah.
13. Seluruh sahabatku atas segala waktu, kebersamaan, diskusi, dan bantuannya.
14. Dan semua pihak yang telah mendukung dan memberikan ilmu dan do'a, yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya dan mengharapkan kritik serta saran yang positif demi kesempurnaannya. Penulis juga berharap, laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk pembaca maupun yang membutuhkan.

Surabaya, 25 Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Metodologi Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Laporan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Konsep <i>Reliability</i>	7
2.2 Penilaian Keandalan.....	8
2.3 Fungsi <i>Reliability</i>	8
2.4 Laju Kegagalan.....	9
2.5 Distribusi Data Waktu Kegagalan.....	9
2.6 Model Distribusi.....	10
2.6.1 Distribusi <i>Weibull</i>	10
2.6.2 Distribusi Normal.....	11
2.6.3 Distribusi <i>Lognormal</i>	12
2.6.4 Distribusi <i>Ekspensial</i>	13
2.7 Pemodelan Sistem.....	13
2.8 <i>Maintainability</i>	15
2.9 <i>Avaibility</i>	17

2.10	<i>Preventive Maintenance</i>	17
2.11	Evaluasi Kualitatif	19
2.11.1	FMEA (<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>)	19
2.11.2	FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>)	25
2.12	Pembiayaan <i>Maintenance</i>	28
2.13	<i>Compressor Centrifugal</i>	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Observasi Lapangan dan Studi Literatur	34
3.2	Pengambilan Data	34
3.3	Tahap pengolahan dan Analisis Data	34
3.3.1	Tahap Pengolahan Data Metode Kuantitatif	34
3.3.2	Tahap Pengolahan Data Metode Kualitatif	40
3.4	Analisis Biaya <i>Maintenance</i>	43
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Evaluasi Kuantitatif Sistem <i>Air Compressor 101J</i>	45
4.1.1	Evaluasi Kuantitatif Pada <i>Rotor</i>	53
4.1.2	Evaluasi Kuantitatif Pada <i>Air Filter</i>	47
4.1.3	Evaluasi Kuantitatif Pada <i>Journal Bearing</i>	50
4.1.4	Evaluasi Kuantitatif Pada <i>Thurst Bearing</i>	52
4.1.5	Evaluasi Kuantitatif Pada <i>Oil Lubricant</i>	55
4.1.6	Evaluasi Kuantitatif Pada <i>Pressure Indicator</i>	57
4.1.7	Evaluasi Kuantitatif Pada <i>Temperature Indicator</i>	59
4.2	Perhitungan Nilai Keandalan Sistem	62
4.3	Evaluasi Kualitatif Sistem <i>Air Compressor 101J</i>	64
4.3.1	Analisis Metode FMEA	64
4.3.2	Analisis Metode FTA	65
4.4	Evaluasi Biaya	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

LAMPIRAN D

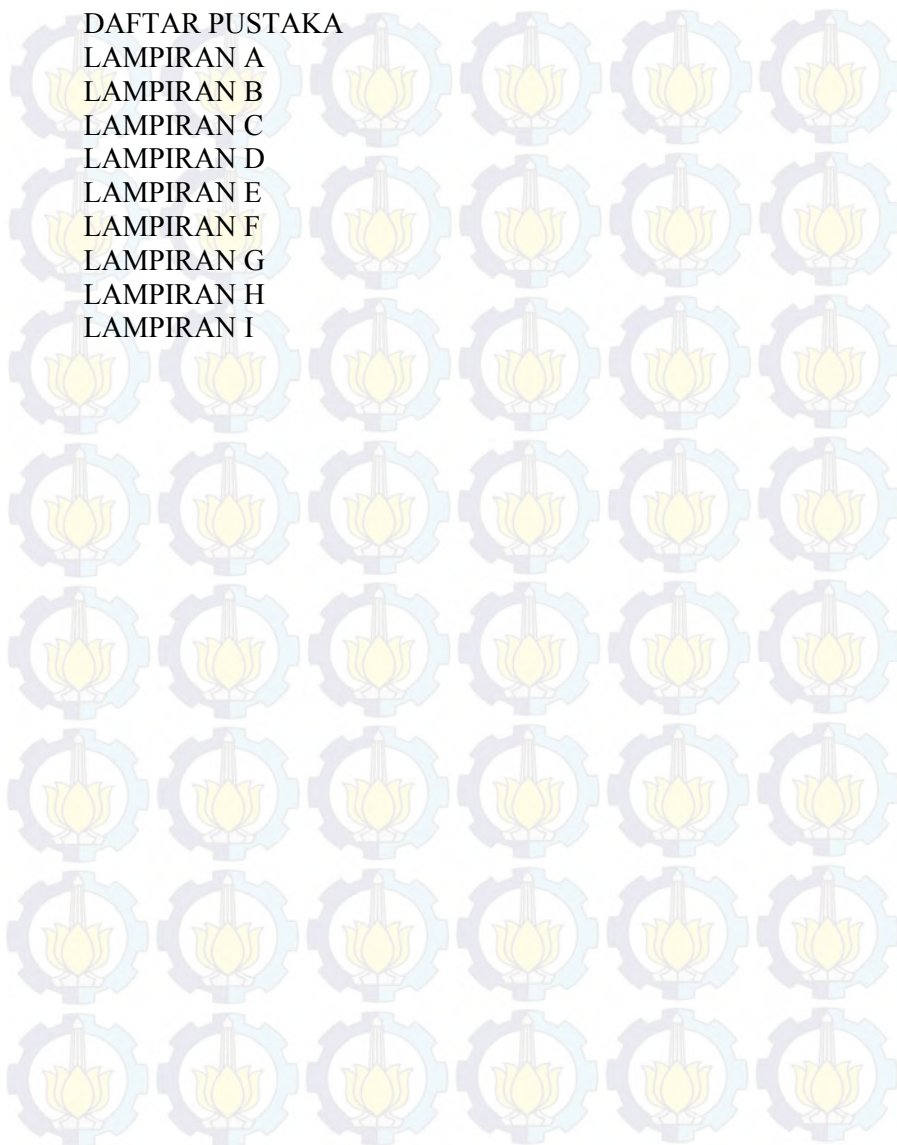
LAMPIRAN E

LAMPIRAN F

LAMPIRAN G

LAMPIRAN H

LAMPIRAN I



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Skala Penilaian untuk <i>Severity</i>	21
Tabel 2.2 Skala Penilaian untuk <i>Occurrence</i>	23
Tabel 2.3 Skala Penilaian untuk <i>Detectability</i>	24
Tabel 2.4 Simbol-simbol Hubungan Dalam FTA	26
Tabel 2.5 Simbol-simbol Kejadian Dalam FTA	27
Tabel 3.1 <i>Top Event-Basic Event</i> Pada <i>Air Compressor</i> <i>101J</i>	41
Tabel 4.1 Data <i>Maintenance Rotor</i>	45
Tabel 4.2 Data <i>Maintenance Air Filter</i>	48
Tabel 4.3 Data <i>Maintenance Journal Bearing</i>	50
Tabel 4.4 Data <i>Maintenance Thrust Bearing</i>	53
Tabel 4.5 Data <i>Maintenance Oil Lubricant</i>	55
Tabel 4.6 Data <i>Maintenance Pressure Indicator</i>	57
Tabel 4.7 Data <i>Maintenance Temperature Indicator</i>	60
Tabel 4.8 Perhitungan Biaya Tenaga <i>Maintenance</i>	67
Tabel 4.9 Rekap Biaya Untuk Perbaikan Komponen.....	69
Tabel 4.10 Biaya <i>Preventive Maintenance</i>	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Waktu Kegagalan dan Perbaikan Komponen...	9
Gambar 2.2 Konfigurasi Seri	14
Gambar 2.3 Konfigurasi Paralel.....	15
Gambar 2.4 Grafik <i>Reliability</i> Sistem dengan <i>Preventive Maintenance</i> Secara Periodik	18
Gambar 2.5 <i>Compressor</i> Tipe <i>Centrifugal</i>	29
Gambar 2.7 <i>Air Compressor 101J</i>	30
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian Tugas Akhir	33
Gambar 3.2 Pemasukan Data TTF	35
Gambar 3.3 Pengujian Distribusi Data TTF.....	36
Gambar 3.4 Ranking Tiap Distribusi	36
Gambar 3.5 Penunjukkan Hasil Distribusi.....	37
Gambar 3.6 PFD (<i>Process Flow Diagram</i>) <i>Air Compressor 101J</i>	38
Gambar 4.1 Grafik Keandalan Seluruh Komponen <i>Air Compressor 101J</i>	62
Gambar 4.2 FTA Proses <i>Air Compressor 101J</i>	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pupuk yang didirikan pertama kali di Indonesia adalah PT. Petrokimia yang berlokasi di Gresik Jawa Timur. PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu industri proses yang cukup kompleks pengoperasiannya. Produk pupuk utama yang dihasilkan adalah urea. Proses pembuatan pupuk, khususnya pupuk urea, memerlukan bahan baku utama yaitu ammonia (NH_3) dan gas karbondioksida (CO_2). Kedua bahan baku ini dihasilkan oleh pabrik ammonia. Pada pembentukan ammonia, terdapat tahap pensuplai udara dari luar. Udara bertekanan disuplai oleh *air compressor 101J*. Sebagian kecil aliran keluaran *compressor* tersebut di alirkan ke *dryer* untuk dihilangkan molekul uap air (H_2O) hingga < 100 ppm. Selanjutnya udara bertekanan tersebut didistribusikan ke tahap pembentukan produksi ammonia.

Udara bertekanan digunakan sebagai *actuator* pada instrumentasi pabrik, yaitu penggerak *control valve pneumatic*. Udara ini berasal dari *air compressor 101J* di pabrik ammonia. *Plant air* dari *compressor* tersebut di alirkan ke bagian utilitas I khususnya di seksi unit untuk diserap molekul-molekul H_2O nya. *Air* tersebut kemudian di distribusikan ke *user*, yaitu pabrik ammonia, pabrik urea, dan *service unit*. Udara tersebut menghasilkan tekanan 7 kg/cm^2 . *Air compresor 101J* yang terdapat pada sistem penyediaan udara bertekanan di PT. Petrokimia merupakan *compresor* jenis *centrifugal*, yaitu jenis *compressor* yang mampu memberikan unjuk kerja pada efisiensi yang tinggi dengan beroperasi pada *range* tekanan dan kapasitas yang besar.

Compressor sangat penting peranannya dalam proses pensuplai udara, sehingga perlu dilakukan evaluasi nilai keandalan pada sistem kinerja *air compressor 101J*. Pada penelitian sebelumnya (Lestari, 2014), melakukan analisis keandalan pada *Low Pressure (LP) Drum* di *Waste Heat Boiler*

(WHB) PT. Petrokimia Gresik. Pada saat menganalisa keandalan dengan metode kuantitatif, penelitian tersebut hanya menggunakan distribusi *eksponensial* dan *weibull*. Pada *preventive maintenance*, tidak melakukan analisis biaya. Pada penelitian ini, penulis menggunakan variasi distribusi, yaitu distribusi *weibull*, *normal*, *lognormal* dan *eksponensial*. Pada *preventive maintenance* dilakukan perhitungan pembiayaan. Evaluasi yang dilakukan berkaitan dengan *frekuensi* waktu kegagalan atau kerusakan komponen-komponen.

Air compressor 101J di pabrik ammonia PT. Petrokimia Gresik telah memiliki waktu operasional yang cukup panjang, yaitu dari tahun 90-an hingga saat ini. *Air compressor* tersebut beroperasi tanpa henti, sehingga menyebabkan kecurigaan apakah komponen-komponen di dalam *compressor* masih memiliki kinerja yang baik dalam melakukan fungsinya. Umur operasional yang lama akan dapat mempengaruhi kehandalan dari *air compressor*, sehingga tidak menutup kemungkinan sering terjadi kegagalan dari masing – masing komponen.

Kinerja *air compressor* sangat penting peranannya, maka dari itu peneliti merasa tertarik dalam melakukan evaluasi *reliability* pada *air compressor 101J*. Evaluasi tersebut diharapkan *compressor* dapat bekerja stabil dan dapat memenuhi penyediaan ammonia sebagai bahan pembuatan pupuk urea di PT.Petrokimia Gresik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, permasalahan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai keandalan dari masing – masing komponen yang sering mengalami kerusakan.pada sistem *air compressor 101J*.
2. Menentukan *preventive maintenance* pada sistem *air compressor 101J* untuk memperoleh perawatan yang optimal .

3. Mengevaluasi biaya *preventive maintenance* pada sistem *air compressor 101J* pada tiap-tiap komponen yang sering mengalami kerusakan.

1.3 Tujuan

Tujuan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh hasil *reliability* pada *air compressor 101J* agar dapat bekerja stabil dan dapat membantu proses pembentukan ammonia di PT. Petrokimia Gresik.
2. Memperoleh hasil *preventive maintenance* dari sisi *reliability* pada sistem *air compressor 101J*.
3. Memperoleh hasil biaya *preventive maintenance* pada masing-masing komponen sistem *air compressor 101J*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut.

1. Peralatan yang menjadi objek studi pada tugas akhir ini adalah *air compressor 101J* pada sistem pensuplaian udara untuk pembentukan ammonia.
2. Data yang digunakan adalah waktu kegagalan komponen dan waktu perbaikan sistem.
3. *Human error* yang mempengaruhi kegagalan dari *compressor* diabaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian tugas akhir yang ingin dicapai adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi tentang keandalan sistem tiap-tiap komponen pada *Air Compressor 101J* untuk perawatan *instrument compressor* agar dapat bekerja dengan stabil.
2. Memberikan rekomendasi tentang perawatan instrumen pada *air compressor 101J* agar dapat memenuhi penyediaan udara instrumen dalam menunjang proses produksi ammonia di PT. Petrokimia Gresik.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini, yaitu :

a. Studi Literatur

Pada studi literatur ini dilakukan untuk memahami konsep dan kinerja pada *air compressor 101J* beserta keterkaitannya dengan komponen-komponen yang akan dicari nilai keandalannya. Selain itu untuk analisis ekonomi untuk pembiayaan *maintenance* tiap-tiap komponen pada *air compressor 101J*.

b. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan di pabrik Ammonia PT. Petrokimia Gresik. Pengambilan data meliputi P&ID *air compressor 101J*, data *maintenance*, harga *part* komponen, dan biaya tenaga kerja.

c. Pengolahan data

Pengolahan data tugas akhir ini menggunakan 2 metode, yaitu metode kuantitatif dan kualitatif.

- Analisis kuantitatif pada *air compressor 101J* meliputi:
 - Penentuan *Time to Failure* (TTF) dan *Time to Repaire* (TTR) dari masing-masing komponen di *air compressor 101J*.
 - Menghitung nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk pengujian distribusi waktu selama kegagalan komponen.
 - Melakukan evaluasi pada bentuk distribusi data TTF dan TTR, keandalan dan laju kegagalan dengan menggunakan *ReliaSoft Weibull ++ Version 6*.
 - Menentukan nilai keandalan pada masing-masing komponen. Kemudian menghitung keandalan sistem secara keseluruhan pada *air compressor 101J* dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.
 - Menentukan nilai *avaibility* dan *maintainability* pada masing-masing komponen *air compressor 101J*
 - Menganalisis biaya, yaitu meliputi biaya kehilangan kesempatan produksi (*lost product*), biaya

penggantian *part component* selama proses *maintenance*, serta biaya tenaga kerja (*labour cost*) yang dibutuhkan selama kegiatan perbaikan.

- Analisis kualitatif pada *air compressor 101J* dilakukan berdasarkan hasil perhitungan kuantitatif. Metode kuantitatif pada tugas akhir ini dengan membuat pemodelan dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) serta membuat rancangan diagram *Fault Tree Analysis* (FTA).

1.7 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika laporan.

BAB II DASAR TEORI

Berisikan tentang teori-teori yang berhubungan dengan konsep *reliability*, *avaibility*, *maintainability*, tinjauan tentang *preventive maintenance*, FMEA, FTA, sistem *air compressor 101J*, biaya *maintenance* dan tinjauan *software weibull ++6*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang metode yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir, cara pengambilan data dan pengolahan data.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang penjabaran langkah-langkah pengolahan data yang dilakukan dengan analisis kuantitatif maupun kualitatif. Analisis kuantitatif diterapkan pada nilai *reliability*, *avaibility*, *maintainibilty*, dan *preventive maintenance* dengan menggunakan rumus-rumus yang ada. Analisis kualitatif meliputi metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), analisis biaya *maintenance* dan analisis statistik yang terkait.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dari hasil perhitungan dan analisis data dari penelitian yang telah dilakukan dan berisi saran sebagai penunjang maupun pengembangan untuk penelitian selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, berisi teori dasar dalam penyelesaian permasalahan dan mencapai tujuan akhir. Teori-teori tersebut mencakup hal-hal yang mendukung dan menjadi dasar rujukan dalam tugas akhir. Pengambilan dasar teori berasal dari *text book*, jurnal ilmiah yang dipublikasikan lewat *internet*, dan *instruction manual book* yang telah diakses.

2.1 Konsep *Reliability*

Reliability atau keandalan merupakan kemungkinan dari suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi atau melaksanakan fungsinya (Ebeling, 1997). Fungsi tersebut telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu dan dalam lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan pula. Jadi, keandalan adalah kemungkinan untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu (t) atau lebih.

Keandalan komponen, subsistem atau sistem produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kesuksesan proses produksi. Evaluasi keandalan dapat membantu dalam memperkirakan peluang sebuah sistem atau komponen untuk dapat melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu tertentu dan dalam kondisi tertentu pula. Sistem atau komponen masih dapat beroperasi walaupun tidak dapat memenuhi fungsinya secara maksimal (Dhillon, 2005).

Evaluasi keandalan ada beberapa yang harus diperhatikan, antara lain sebagai berikut (Priyatna, 2000).

- Kegagalan dari komponen maupun sistem harus jelas dan dapat diobservasi.
- Waktu kegagalan dapat diidentifikasi
- Pada saat kondisi normal, *performance*-nya dapat diobservasi dengan jelas.

2.2 Penilaian Keandalan

Ada dua metode yang secara umum digunakan untuk melakukan evaluasi keandalan (Priyatna, 2000).

a. Evaluasi Kuantitatif

Evaluasi kuantitatif dapat dibedakan menjadi bagian besar yaitu evaluasi secara analisis (statistik) dan evaluasi dengan metode simulasi.

b. Evaluasi Kualitatif

Evaluasi kualitatif merupakan evaluasi mode dan dampak kegagalan dengan metode FMEA (*Failure Mode Effects and Analysis*) dan FTA (*Fault Tree Analysis*).

2.3 Fungsi Reliability

Fungsi *reliability* adalah fungsi matematik yang menyatakan hubungan *reliability* dengan waktu. Nilai fungsi *reliability* merupakan nilai probabilitas, maka nilai fungsi *reliability* (R) bernilai $0 \leq R \leq 1$ (Ebeling, 1997). Fungsi *reliability* dinotasikan sebagai $R(t)$ dari sistem jika dipakai selama t satuan waktu. Probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian $[0, t]$. Parameter yang akan diukur didalam pengolahan data yaitu laju kegagalan komponen. Parameter tersebut merupakan *variable random* yang dapat didefinisikan secara *continue*. Konsep waktu dalam *reliability* adalah TTF (*time to failure*). TTF sebagai waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan.

Perhitungan nilai keandalan secara umum, menggunakan persamaan berikut ini (Ebeling, 1997).

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt \quad (2.1)$$

Keterangan :

$F(t)$ adalah *Cumulative Distribution Function* (CDF)

$R(t)$ adalah *Reliability Function*

$f(t)$ adalah *Probability Density Function* (PDF)

2.4 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu (Ebeling, 1997). Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, subsistem, dan sistem. Persamaan untuk menghitung nilai laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.2)$$

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

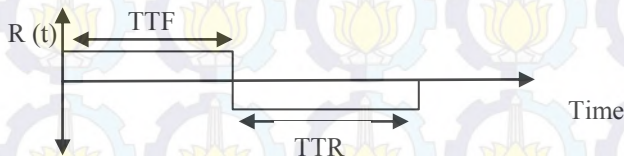
f adalah banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi.

T adalah total waktu operasi.

2.5 Distribusi Data Waktu Kegagalan

Pada *reliability*, distribusi statistik yang banyak digunakan adalah distribusi *continue* karena distribusi ini sangat cocok untuk sistem yang beroperasi secara *continue*. Distribusi *continue* terdiri atas distribusi *eksponensial*, *normal*, *weibull* dan *lognormal*.

Model kegagalan diperoleh dari nilai TTF dan TTR dari komponen yang dianalisis. TTF dan TTR komponen mengikuti beberapa distribusi kegagalan yang dikenal seperti distribusi *eksponensial*, *weibull*, *normal* dan sebagainya. Gambar 2.1 berikut ini menunjukkan hubungan antara TTF dan TTR.



Gambar 2.1. Waktu Kegagalan dan Perbaikan Komponen (Priyatna, 2000).

2.6 Model Distribusi

Parameter-parameter *reliability* dapat diketahui dengan memakai metode *parametric*. Pada metode ini, data kegagalan disesuaikan dengan beberapa distribusi probabilistik, seperti distribusi *eksponensial*, *beta*, *weibull*, *gamma* dan lain sebagainya. Parameter-parameter tersebut dapat menentukan keadaan dan sifat mekanisme kerusakan. Hasil dari distribusi tersebut dapat menjadi dasar untuk menganalisis.

2.6.1 Distribusi Weibull

Pada analisis *reliability*, distribusi *weibull* telah digunakan secara luas. Penambahan parameter didalam distribusi *weibull* dapat merepresentasikan banyak *Probability Density Function* (PDF), sehingga dapat digunakan untuk variasi data yang luas. Berikut ini adalah karakteristik distribusi *weibull*.

- a. Mempunyai beberapa parameter distribusi, yaitu 2 (η, β) dan 3 (η, β, γ). Fungsi parameter tersebut adalah:
 - η , sebagai parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$, disebut sebagai *characteristic life*
 - β , sebagai parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$, mendeskripsikan bentuk dari PDF (*Probability Density Function PDF*).
 - γ , sebagai parameter lokasi (*locations parameter*), yaitu merepresentasikan *failure-free* atau awal periode dari penggunaan item. Jika $\gamma = 0$ maka distribusi akan berubah menjadi 2 parameter.
 - b. Nilai η, β, γ dapat diketahui dari *Reliasoft Weibull ++ Version 6*.
 - c. Pada saat nilai $\beta = 1$ dan $\gamma = 0$, *weibull* akan ekivalen dengan distribusi *eksponensial*.
 - d. Pada saat $\beta = 3,44$ *weibull* akan mendekati distribusi normal
- Fungsi padat peluang/*Probability Density Function* (PDF) distribusi *weibull* ditunjukkan pada persamaan berikut ini (Ebeling, 1997).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.4)$$

Jika distribusi waktu kegagalan suatu komponen, subsistem ataupun sistem mengikuti distribusi *weibull*, maka:

a. Persamaan fungsi *reliability* distribusi *weibull* (Ebeling, 1997).

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right\} \quad (2.5)$$

b. Persamaan laju kegagalan distribusi *weibull* (Ebeling, 1997).

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.6)$$

Pada saat $\beta < 1$ akan didapatkan penurunan fungsi laju kegagalan, saat $\beta > 1$ akan didapatkan peningkatan fungsi laju kegagalan, $\beta = 1$ merupakan fungsi distribusi *eksponensial*.

c. Persamaan waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* (Ebeling, 1997).

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.7)$$

2.6.2 Distribusi Normal

Distribusi *normal* atau distribusi *gaussian* adalah salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan dalam menjelaskan sebaran data (Dhillon, 2005). PDF dari distribusi *normal* adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*) dan dispersi terhadap nilai rata-ratanya diukur dengan nilai standar deviasi (Ebeling, 1997). Dengan kata lain parameter distribusi *normal* adalah *mean* dan standar deviasi. *Probability density function* (PDF) dari distribusi *normal* dapat ditulis seperti persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.8)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *normal*, maka:

- a. Persamaan fungsi keandalan distribusi *normal* sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.9)$$

- b. Persamaan laju kegagalan distribusi *normal* sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$\lambda(t) = \frac{\exp[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2]}{\int_t^{\infty} \exp[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2] dt} \quad (2.10)$$

- c. Persamaan waktu rata-rata kegagalan distribusi *normal* sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$MTTF = \mu \quad (2.11)$$

2.6.3 Distribusi Lognormal

Pada saat *variable* acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi *lognormal*. Logaritma T memiliki distribusi *normal*. Persamaan fungsi kerapatan peluang untuk distribusi *lognormal* sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.12)$$

Karakteristik distribusi *lognormal* mempunyai dua parameter yang pertama parameter lokasi (μ) dan yang kedua parameter skala (σ), sama dengan standar deviasi. Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi *lognormal*, maka:

- a. Persamaan fungsi keandalan distribusi *lognormal* (Ebeling, 1997).

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.9)$$

- b. Persamaan laju kegagalan distribusi *lognormal* (Ebeling, 1997).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.10)$$

- c. Persamaan waktu rata-rata kegagalan distribusi *lognormal* (Ebeling, 1997).

$$MTTF = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (2.11)$$

2.6.4 Distribusi Eksponensial

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi *eksponensial* secara umum ditunjukkan dalam persamaan sebagai berikut (Ebeling, 1997).

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

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *eksponensial*, maka:

- a. Persamaan fungsi keandalan distribusi *eksponensial*. (Ebeling, 1997).

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

- b. Persamaan laju kegagalan distribusi *eksponensial* (Ebeling, 1997).

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.14)$$

- c. Persamaan waktu rata-rata kegagalan distribusi *eksponensial* (Ebeling, 1997).

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.15)$$

2.7 Pemodelan Sistem

Pada saat mencari nilai kehandalan secara keseluruhan didalam suatu sistem perlu mengetahui jenis konfigurasi. Setiap

sistem mempunyai komponen yang membentuk konfigurasi dalam menjalankan fungsinya. Berikut ini adalah jenis-jenis konfigurasi sistem.

a. Konfigurasi Seri

Pada sistem dengan susunan komppnen seri, komponen secara keseluruhan harus berfungsi agar sistem dapat berjalan. Hubungan seri dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok sebagai berikut.



Gambar 2.2. Konfigurasi Seri (Ebeling, 1997).

Jika, E_1 = kejadian komponen 1 tidak gagal

E_2 = kejadian komponen 2 tidak gagal

Jika $P(E_1) = R_1$ dan $P(E_2) = R_2$

Dimana,

R_1 adalah *reliability* komponen 1

R_2 adalah *reliability* komponen 2

Sehingga persamaan pada perhitungan konfigurasi seri sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$R_s = P(E_1 \cap E_2) = P(E_1) P(E_2) = R_1(R_2) \quad (2.16)$$

b. Konfigurasi Paralel

Dua atau lebih komponen dalam susunan paralel atau *redundant*, jika semua komponen gagal maka sistem tidak akan berjalan. Namun, apabila salah satu komponen terjadi kegagalan dan komponen yang lain masih menjalankan fungsinya dengan baik, maka sistem masih dapat berjalan.

Hubungan paralel dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok sebagai berikut.



Gambar 2.3. Konfigurasi Paralel (Ebeling, 1997).

Reliability untuk sistem paralel dan komponen bebas di dapatkan dengan mengurangkan 1 dengan probabilitas semua n komponen. Jika ada 2 komponen menggunakan persamaan sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$\begin{aligned} R_p &= P(E_1 U E_2) = 1 - P(E_1 U E_2)^c = 1 - P(E_1^c) P(E_2^c) \\ &= 1 - (1-R_1)(1-R_2) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Secara umum *reliability* sistem paralel ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$R_p(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1-R_i(t)] \quad (2.18)$$

2.8 Maintainability

Maintainability didefinisikan sebagai kemampuan suatu item dalam kondisi pemakaian tertentu, untuk dirawat, atau dikembalikan kekeadaan semula. Item tersebut menjalankan fungsi yang diperlukan, jika perawatan dilakukan dalam kondisi tertentu dan dengan menggunakan prosedur dan sumber daya yang sudah ditentukan (Priyatna, 2000).

- a. Persamaan *maintainability* untuk distribusi *weibull* ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.19)$$

- b. Persamaan *maintainability* untuk distribusi *lognormal* ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$M(t) = \int_0^t \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (2.20)$$

- c. Persamaan *maintainability* untuk distribusi *normal* ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$M(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.21)$$

- d. Persamaan *maintainability* untuk distribusi *eksponensial* ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$M(t) = 1 - e^{-\mu(t\gamma)} \quad (2.22)$$

- e. Persamaan waktu rata-rata perbaikan untuk beberapa distribusi ditunjukkan sebagai berikut (Ebeling, 1997).

- Distribusi *Weibull*

$$MTTR = \gamma + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.23)$$

- Distribusi *Lognormal*

$$MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.24)$$

- Distribusi *Normal*

$$MTTR = \mu \quad (2.25)$$

- Distribusi *Eksponensial*

$$MTTR = \gamma + \frac{1}{\mu} \quad (2.26)$$

2.9 Availability

Availability didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sebuah *item* akan tersedia saat dibutuhkan (dengan berbagai kombinasi aspek-aspek keandalannya, kemampurawatan, dan dukungan perawatan). *Availability* biasa dikategorikan sebagai proporsi dari total waktu bahwa sebuah *item* tersedia untuk digunakan. (Priyatna, 2000). Oleh karena itu *availability* merupakan fungsi dari *failure rate*. *Availability* dari sebuah sistem dapat ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$A(i) = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.27)$$

Secara *practical*, *availability* yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) - \left(\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp \left(-(\lambda + \mu)t \right) \right) \right] \quad (2.28)$$

Keterangan,

λ adalah *failure rate* dari waktu kegagalan

$\mu = 1/MTTR$

2.10 Preventive Maintenance

Preventive Maintenance adalah tindakan perawatan terjadwal untuk memperpanjang *life time* serta mencegah terjadinya kerusakan pada komponen (Priyatna, 2000). Pembersihan, pelumasan, penggantian komponen, kalibrasi dan perbaikan merupakan tindakan-tindakan yang ada dalam *scheduled preventive maintenance*.

Preventive maintenance akan meningkatkan keandalan, dimana secara matematis dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Ebeling, 1997).

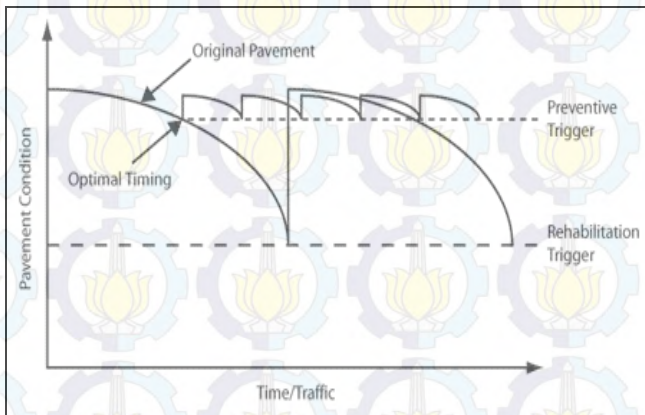
$$R_m(t) = R(t) \text{ untuk } 0 \leq t \leq T \quad (2.29)$$

$$R_m(t) = R(t) R(t-nT) \text{ untuk } 0 \leq t \leq 2T \quad (2.30)$$

Dimana $R(t)$ adalah probabilitas ketahanan sampai *preventive maintenance* yang pertama dan $R(t-nT)$ adalah probabilitas ketahanan selama jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan sebelumnya dari kondisi awal. Pada persamaan lain dapat ditunjukkan sebagai berikut (Ebeling, 1997).

$$R_m(t) = R(t)^n R(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1)T \quad (2.31)$$

Pembandingan untuk studi lebih lanjut tentang *preventive maintenance* dapat digunakan grafik *reliability* sistem yang mengalami *preventive maintenance* seperti yang ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Grafik *Reliability* Sistem Dengan *Preventive Maintenance* Secara Periodik (Ebeling, 1997).

Jika komponen memiliki laju kegagalan konstan maka waktu kegagalan komponen memiliki distribusi *eksponensial* dan pada komponen ini *preventive maintenance* menjadi tidak relevan. Jika instrumen tersebut memiliki laju kegagalan yang menurun (*burn in period*) mengindikasikan bahwa komponen masih dalam keadaan baru, sehingga kemungkinan tidak diperlukan tindakan perawatan secara *Preventive Maintenance*. Perawatan terjadwal (*preventive maintenance*) akan sangat efektif bila diterapkan untuk instrumen yang memiliki laju kegagalan yang meningkat.

Beberapa keuntungan dari *preventive maintenance* antara lain:

- a. *Preventive maintenance* bersifat antisipatif, sehingga bagian produksi ataupun maintenance perkiraan dan penjadwalan operasi yang lebih baik.
- b. *Preventive maintenance* dapat meminimumkan waktu berhentinya mesin (*down time*).
- c. *Preventive maintenance* dapat menurunkan tingkat kegiatan pekerjaan yang bersifat darurat.
- d. *Preventive maintenance* dapat meningkatkan mutu pengendalian terhadap suku cadang.

Beberapa kerugian dari *preventive maintenance* antara lain:

- a. Dapat terjadi pemborosan suku cadang bila penggantian suku-suku cadang dilakukan sebelum rusak.
- b. Penambahan biaya untuk karyawan

2.11 Evaluasi Kualitatif

Evaluasi kualitatif digunakan untuk mengevaluasi sistem berdasarkan bentuk kegagalan, sebab kegagalan dan akibat dari kegagalan tersebut.

2.11.1 FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)

FMEA *Failure Modes and Effects Analysis* merupakan metode kualitatif dalam mengidentifikasi risiko. Analisis ini lebih menekankan pada *hardware-oriented approach* atau *bottom-up approach*, karena analisis yang dilakukan dimulai dari peralatan dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat yang lebih tinggi. Metode FMEA dimulai dari mengidentifikasi hal-hal yang

bersifat khusus, yaitu melihat risiko –risiko yang mungkin akan muncul akibat proses produksi di dalam suatu perusahaan.

FMEA adalah sebuah metode evaluasi kemungkinan terjadinya sebuah kegagalan dari sebuah sistem desain, proses atau *service* untuk dibuat langkah penanganannya. Pada FMEA, setiap kemungkinan kegagalan yang terjadi dikuantifikasi untuk dibuat prioritas penanganan. Kuantifikasi penentuan prioritas dilakukan berdasarkan hasil perkalian antara rating frekuensi, tingkat kerusakan dan tingkat deteksi dari risiko.

Tujuan FMEA adalah untuk mengetahui dan mencegah terjadinya gangguan dengan mengetahui risiko yang mungkin terjadi (Peter S. pande, 2000). Selain itu, untuk membuat strategi penurunan risiko tersebut. Ada tiga parameter dalam menentukan gangguan dalam operasional, antara lain:

- Frekuensi (*occurrence*)
Penentuan *occurrence* ini dapat ditentukan seberapa banyak gangguan yang dapat menyebabkan sebuah kegagalan pada operasi perawatan dan kegiatan operasional pabrik.
- Tingkat kerusakan (*severity*)
Penentuan tingkat kerusakan ini dapat ditentukan seberapa serius kerusakan yang dihasilkan dengan terjadinya kegagalan proses dalam hal operasi perawatan dan kegiatan operasional pabrik.
- Tingkat deteksi (*detection*)
Penentuan tingkat deteksi dapat diketahui dari kegagalan sebelum terjadi. Tingkat deteksi juga dapat dipengaruhi dari banyaknya control yang mengatur jalannya proses. Semakin banyak control dan prosedur yang mengatur jalannya sistem penanganan operasional perawatan dan kegiatan operasional pabrik, maka tingkat deteksi dari kegagalan dapat semakin tinggi.

Berikut ini merupakan hal-hal penting dalam penyusunan FMEA

- a. Mereview proses
Mereview proses atau merancang nama atau kode proses yang sesuai. Suatu proses dapat memiliki lebih dari satu fungsi.
- b. Membuat daftar risiko, penyebab dan efek potensial.
Membuat daftar risiko yang dapat dari perusahaan dan penyebab beserta efek potensialnya.
- c. Menentukan tingkat *severity*
Menentukan tingkat *severity* dari setiap risiko, dimana *severity* adalah sebuah penilaian pada tingkat keseriusan suatu efek.
- d. Menentukan tingkat *occurrence*
Menentukan tingkat *occurrence* dari setiap resiko, dimana *occurrence* adalah sebuah penilaian dengan tingkatan tertentu dimana adanya sebuah sebab kerusakan secara mekanis yang terjadi pada mesin tersebut.
- e. Menentukan tingkat *detection*
Menentukan tingkat *detection* dari setiap resiko. *Detection* merupakan pendeteksian mode kegagalan potensial sebelum bagian atau komponen meninggalkan area operasional.

Skala penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection* dapat ditunjukkan pada tabel 2.1, 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.1 Skala Penilaian untuk *Severity* (Peter S. Pande, 2000).

Ranking	Akibat/Effect	Kriteria Verbal	Akibat pada Produksi
1	Tidak ada akibat	Tidak mengakibatkan apa-apa, tidak memerlukan penyesuaian.	Proses berada dalam kendali tanpa melakukan penyesuaian peralatan

Tabel 2.1 (Lanjutan)

Ranking	Akibat/Effect	Kriteria Verbal	Akibat pada Produksi
2	Akibat sangat ringan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya terjadi sedikit gangguan peralatan yang tidak berarti. Akibat hanya dapat diketahui oleh operator	Proses berada dalam pengendalian, hanya membutuhkan sedikit penyesuaian.
3	Akibat ringan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya ada sedikit gangguan. Akibat diketahui oleh rata-rata operator	Proses telah berada diluar kendali, beberapa penyesuaian diperlukan
4	Akibat minor	Mesin tetap beroperasi dengan aman, namun terdapat gangguan kecil. Akibat diketahui oleh semua operator	Kurang dari 30 menit <i>downtime</i> atau tidak ada <i>downtime</i> sama sekali
5	Akibat moderat	Mesin tetap beroperasi normal, dan menimbulkan beberapa kegagalan produk. Operator merasa tidak puas	30-60 menit <i>downtime</i>
6	Akibat signifikan	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetap menimbulkan kegagalan produk. Operator merasa sangat tidak puas dengan kinerja mesin	1-2 jam <i>downtime</i>

Tabel 2.1 (Lanjutan)

Ranking	Akibat/Effect	Kriteria Verbal	Akibat pada Produksi
7	Akibat major	Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi tidak dapat dijalankan secara penuh. Operator merasa sangat tidak puas	2-4 jam <i>downtime</i>
8	Akibat ekstrem	Mesin tidak dapat beroperasi dan telah kehilangan fungsi utamanya.	4-8 jam <i>downtime</i>
9	Akibat serius	Mesin gagal beroperasi, serta tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja	Lebih besar dari 8 jam <i>downtime</i>
10	Akibat berbahaya	Mesin tidak layak dioperasikan, karena dapat menimbulkan kecelakaan secara tiba-tiba, dan hal ini bertentangan dengan peraturan keselamatan kerja.	Lebih besar dari 8 jam <i>downtime</i>

Tabel 2.2 Skala Penilaian untuk *Occurrence* (Peter S. Pande, 2000).

Ranking	Kejadian	Kriteria Verbal	Tingkat Kejadian Kegagalan	Ppk
1	Hampir tidak pernah	Kerusakan hampir tidak pernah terjadi	Lebih dari 10.000 jam operasi mesin	<0,55
2	Remote	Kerusakan jarang terjadi	Lebih dari 10.000 jam operasi mesin	≥0,55

Tabel 2.2 (Lanjutan)

Ranking	Kejadian	Kriteria Verbal	Tingkat Kejadian Kegagalan	Ppk
3	Sangat sedikit	Kerusakan yang terjadi sedikit	3001-6000 jam operasi mesin	$\geq 0,78$
4	Sedikit	Kerusakan yang terjadi	2001-3000 jam operasi mesin	$\geq 0,86$
5	Rendah	Kerusakan yang terjadi pada tingkat rendah	1001-2000 jam operasi mesin	$\geq 0,94$
6	Medium	Kerusakan yang terjadi pada tingkat medium	401-1000 jam operasi mesin	$\geq 1,00$
7	Agak tinggi	Kerusakan yang terjadi agak tinggi	101-400 jam operasi mesin	$\geq 1,10$
8	Tinggi	Kerusakan yang terjadi tinggi	1-100 jam operasi tinggi	$\geq 1,20$
9	Sangat tinggi	Kerusakan yang terjadi sangat tinggi	2-10 jam operasi mesin	$\geq 1,30$
10	Hampir selalu	Kerusakan selalu terjadi	Kurang dari 2 jam operasi mesin	$\geq 1,67$

Tabel 2.3 Skala Penilaian *Detectability* (Peter S. Pande, 2000).

Ranking	Akibat	Kriteria Verbal
1	Hampir pasti	Perawatan <i>preventive</i> akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
3	Tinggi	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi penyebab potensial tau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

Tabel 2.3(Lanjutan)

Ranking	Akibat	Kriteria Verbal
4	<i>Moderately high</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>moderately high</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	<i>Moderate</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>moderate</i> untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial kegagalan dan mode kegagalan
8	<i>Remote</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>remote</i> untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
9	<i>Very remote</i>	Perawatan <i>preventive</i> memiliki kemungkinan <i>very remote</i> untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
10	Tidak pasti	Perawatan <i>preventive</i> akan selalu tidak mampu untuk mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

2.11.2 FTA (*Fault Tree Analysis*)

FTA (*Fault Tree Analysis*) digunakan untuk melihat reabilitas dari suatu sistem. FTA bersifat *top-down* artinya analisis yang dilakukan dimulai dari kejadian umum (kerusakan umum) selanjutnya penyebab khusus dapat ditelusuri. FTA merupakan metode untuk melakukan pendekatan terhadap reabilitas dan keamanan (*safety*) dari suatu proses. FTA mengilustrasikan keadaan dari komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*.


Output yang diperoleh setelah melakukan FTA adalah peluang munculnya kejadian terpenting dalam sistem dan memperoleh akar permasalahan sebabnya. Akar permasalahan tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh prioritas perbaikan permasalahan yang tepat pada sistem.

Simbol simbol dalam FTA dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Simbol-simbol *gate*

Simbol *gate* digunakan untuk menunjukkan hubungan antar kejadian dalam sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara pribadi atau bersama-sama menyebabkan kejadian lain muncul. Adapun symbol-simbol hubungan yang digunakan dalam FTA dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Simbol-Simbol Hubungan dalam FTA

No	Simbol Gate	Nama dan Keterangan
1		<i>And gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika semua <i>input event</i> terjadi secara bersamaan.
2		<i>OR gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika paling tidak satu <i>input event</i> terjadi.
3		<i>k out of n gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika paling sedikit <i>k</i> output dari <i>n</i> <i>input event</i> terjadi.
4		<i>Exclusive OR gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika satu <i>input event</i> , tetapi tidak keduanya terjadi.
5		<i>Inhibit gate</i> . <i>Input</i> menghasilkan <i>output</i> jika <i>conditional event</i> ada.
6		<i>Priority AND gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika semua <i>input event</i> terjadi baik dari kanan maupun kiri.
7		<i>NOT gate</i> . <i>Output event</i> terjadi jika <i>input event</i> tidak terjadi

b. Simbol-Simbol kejadian (*event*)

Simbol kejadian digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian ini akan lebih memudahkan kita dalam mengidentifikasi kejadian yang terjadi. Adapun symbol-simbol kejadian yang digunakan dalam FTA, yaitu:

Tabel 2.5 Simbol-simbol Kejadian dalam FTA

No	Simbol	Nama dan Keterangan
1		<i>Ellipse</i> Gambar <i>ellipse</i> menunjukkan kejadian pada level paling atas (<i>top level event</i>) dalam pohon kesalahan.
2		<i>Rectangle</i> Gambar <i>rectangle</i> menunjukkan kejadian pada level menengah (<i>intermediate fault event</i>) dalam pohon kesalahan.
3		<i>Circle</i> Gambar <i>circle</i> menunjukkan kejadian pada level paling bawah (<i>lowest level failure event</i>) atau disebut kejadian paling dasar (<i>basic event</i>).
4		<i>Diamond</i> Gambar <i>diamond</i> menunjukkan kejadian yang tidak terduga (<i>undeveloped event</i>). Kejadian-kejadian tak terduga dapat dilihat pada pohon kesalahan dan dianggap sebagai kejadian paling awal yang menyebabkan kerusakan
5		<i>House</i> Gambar <i>house</i> menunjukkan kejadian <i>input</i> (<i>input event</i>) dan merupakan kegiatan terkendali (<i>signal</i>). Kegiatan ini dapat menyebabkan kerusakan.

2.12 Pembiayaan *Maintenance*

Pembiayaan *maintenance* digunakan untuk mengetahui berapa banyak *cost* yang dikeluarkan perusahaan pada saat komponen mengalami kegagalan. *Preventive cost* (biaya perawatan) merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang memang sudah dijadwalkan. Sedangkan *failure cost* (biaya kerusakan) merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan di luar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi terhenti waktu produksi sedang berjalan. Untuk menghitung total biaya saat perbaikan dan *preventive* rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a. Persamaan perhitungan pembiayaan pada perbaikan (Sudarta, 2008).

$$C_R = C_C + ((C_W + C_O) \times MTTR) \quad (2.32)$$

Dimana:

C_R = biaya perbaikan

C_C = biaya komponen

C_W = biaya tenaga kerja

C_O = biaya konsekuensi operasional (*loss product*)

- b. Persamaan perhitungan pembiayaan pada *preventive maintenance* menggunakan persamaan berikut ini (Fithri, 2010)

$$C_{PM} = \frac{[(C_M \times R(t)) + (C_R \times (1 - R(t)))]}{[(t_p \times R(t)) + (t_f \times (1 - R(t)))]} \quad (2.33)$$

Dimana,

C_M = biaya *maintenance*

t_p = waktu *preventive*

t_f = waktu kegagalan

$R(t)$ = kehandalan pada saat *preventive maintenance*

Tekanan dan kecepatan dari gas yang akan naik setelah gas lepas dari ujung *impeller*, gas diperlambat didalam suatu saluran yang disebut *diffuser*. *Diffuser* lebih mudah dan efisien untuk mempercepat aliran dan cenderung tersebar dengan tidak terarah. Akibat dari aliran tidak terarah akan menyebabkan kecenderungan timbulnya aliran turbulen dan arus *steady*, yaitu merubah energi kinetik menjadi energi panas. Oleh karena itu perlu dijaga aliran tersebut tetap searah dengan memasang penyearah. *Compressor* ini pada umumnya beroperasi pada putaran tinggi, diatas 3000 *rpm* digerakkan oleh motor listrik atau turbin uap.



Gambar 2.7 *Air Compressor 101 J*

Pada unit penyediaan udara *instrument*, terdapat *air compressor 101J* untuk pensuplai udara. Udara tersebut didistribusikan untuk pembentukan produksi ammonia. *Air compressor* digerakkan oleh *turbin compressor*, dimana gerakan turbin tersebut hasil dari *steam*. Udara luar di kompresi sehingga menghasilkan udara yang bertekanan 7 kg/cm². Udara bertekanan tersebut digunakan untuk sistem pengendalian *pneumatic* pada tahap pembentukan ammonia.

Udara yang dihisap *compressor* selalu mengandung uap air (H₂O). Kadar air ini harus ditekan serendah mungkin dan perlu dihilangkan kondensatnya, sehingga *dryer* dan *filter* pada *air compressor 101J* di pasang seri untuk proses pengeringan dan penyaringan udara. Penyaring udara untuk mengurangi kandungan embun sampai tingkat yang sesuai pada pemakaian elemen-elemen pada proses pembentukan ammonia. Pada prinsipnya, udara bertekanan yang yang dihasilkan pada unit udara instrument harus bersih.

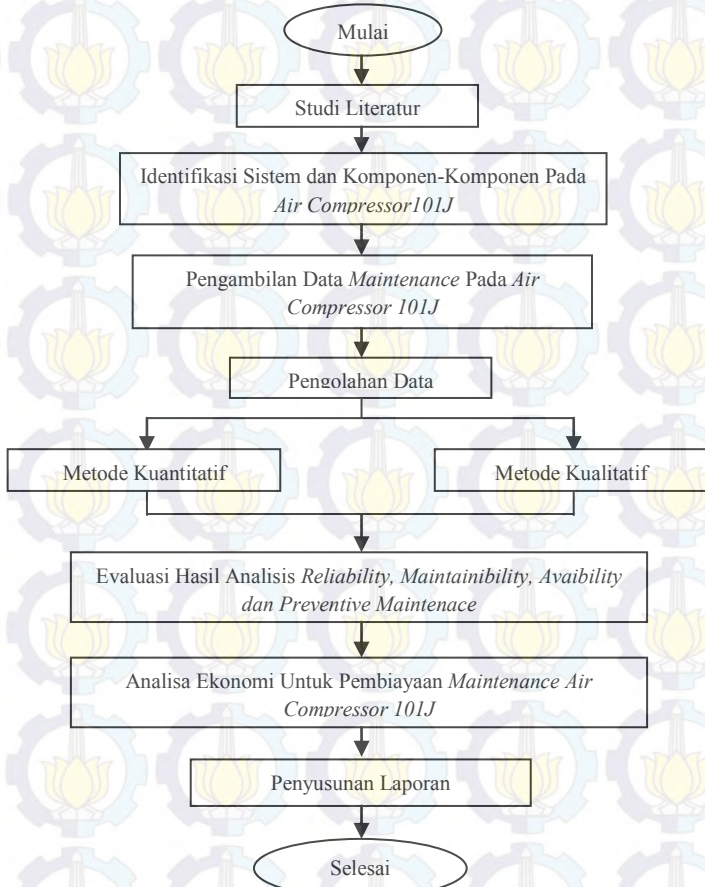
Udara bertekanan yang dibangkitkan oleh *compressor* akan berfluktuasi. Pengatur tekanan terpusat dipasang untuk menjamin agar udara yang dikompres stabil tekanannya. Tekanan yang terlalu tinggi membawa energi yang tidak efisien terhadap pemakaian, sedangkan tekanan rendah membuat efisiensi rendah terutama pada bagian tenaga. Terdapat *pressure indicator* (PI) untuk memonitoring kestabilan tekanan tersebut.



Halaman ini memang dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Tugas akhir ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut sesuai dengan *flowchart* pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian Tugas Akhir

3.1 Observasi Lapangan dan Studi Literatur

Observasi lapangan merupakan pengamatan secara langsung dilokasi. Objek dalam penelitian tugas akhir ini yaitu di *air compressor 101J* di pabrik ammonia PT. Petrokimia Gresik. Studi literatur berupa pemahaman secara teoritis tentang studi proses dan identifikasi komponen-komponen *air compressor 101J*. Komponen-komponen utama yang dianalisis keandalannya yaitu *rotor, air filter, journal bearing, thrust bearing, oli lubricant, pressure indicator* dan *temperature indicator*.

3.2 Pengambilan Data

Pada pengambilan data tugas akhir ini, data yang perlukan adalah data *maintenance air compressor 101J*. Data *maintenance* merupakan data *history* kegagalan dan perbaikan pada komponen-komponen yang sering mengalami kerusakan. Pada evaluasi segi kualitatif, data yang diperlukan adalah informasi sistem *maintenance* oleh karyawan yang menangani langsung kerusakan yang terjadi pada *air compressor 101J*.

3.3 Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Pada tahap ini, data-data yang diperoleh akan diolah dengan menggunakan metode kuantitatif dan metode kualitatif.

3.3.1 Tahap Pengolahan Dan Analisa Data Menggunakan Metode Kuantitatif

Tahapan metode kuantitatif, akan dilakukan evaluasi nilai *reliability, maintainability, availability* dan *preventive maintenance*. Adapun pengolahan data - data dengan metode kuantitatif sebagai berikut :

a. Penentuan Nilai TTF (*Time To Failure*)

Penentuan nilai TTF ini didapatkan dari data *maintenance* pada komponen - komponen *air compressor 101J* di pabrik ammonia dengan rentang waktu dari bulan agustus tahun 2005 sampai dengan bulan oktober 2014.

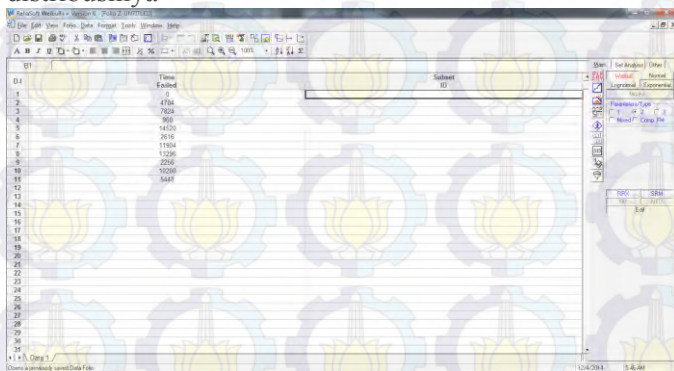
b. Penentuan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

Penentuan nilai MTTF ini didapatkan dari penjumlahan nilai TTF dibagi dengan banyaknya *maintenance* yang dilakukan dari bulan agustus tahun 2005 sampai dengan bulan agustus 2014.

c. Menentukan Distribusi TTF (*Time To Failure*)

Penentuan distribusi waktu antar kegagalan bertujuan untuk mendapatkan harga kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu. Penentuan distribusi *time to failure* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*. Keunggulan dari *software* ini adalah dapat menentukan berbagai jenis distribusi data baik itu data distribusi *eksponensial*, distribusi *weibull* 1-3 parameter, distribusi *normal*, dan distribusi *lognormal*. Berikut ini langkah-langkah penentuan distribusi waktu antar kegagalan:

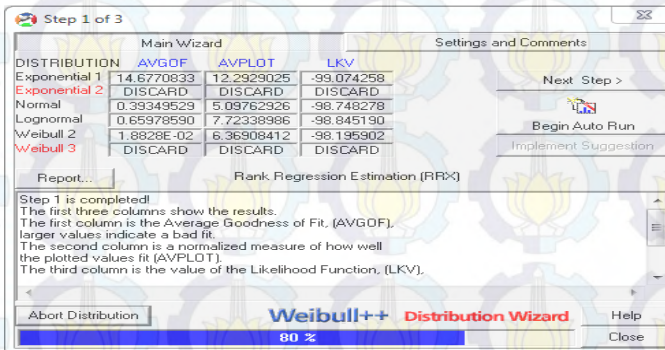
- Memasukan data antar kegagalan yang akan dicari distribusinya



Gambar 3.2 Pemasukan Data TTF

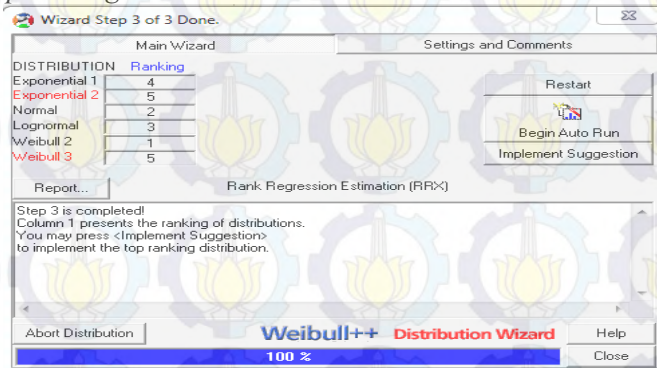
- Mulai dilakukan uji distribusi dengan memilih *option distribution wizard* untuk mendapatkan parameter uji *average goodness of fit* (AVGOF) dimana semakin besar nilai pada kolom ini mengindikasikan ketidaksesuaian hasil uji distribusi, parameter uji *average of plot fit*

(AVPLOT) yang menunjukkan ukuran yang digunakan untuk mengplot nilai hasil uji distribusi dan parameter uji *likelihood function* (LKV), nilai yang paling kecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi.



Gambar 3.3 Pengujian Distribusi Data TTF

- Ranking hasil uji distribusi terbaik dapat dilihat pada *option Begin Auto Run*.



Gambar 3.4 Ranking Tiap Distribusi

Pada setiap distribusi, menunjukkan hasil ranking. Ranking pada urutan terkecil menunjukkan hasil distribusi yang terbaik.

- Pada langkah terakhir terdapat *implementasi suggestion* yang menunjukkan distribusi serta parameter distribusi dari data yang diuji. Penentuan parameter-parameter disesuaikan dengan hasil distribusi terbaik sebelumnya. Pengujian distribusi yang dapat meliputi distribusi *normal*, *lognormal*, *eksponensial 1 parameter*, *eksponensial 2 parameter*, *weibull 2 parameter*, dan *weibull 3 parameter*. Hasil pengujian tersebut didapatkan parameter-parameter kegagalan dari distribusi tersebut.



Gambar 3.5 Penunjukan Hasil Distribusi

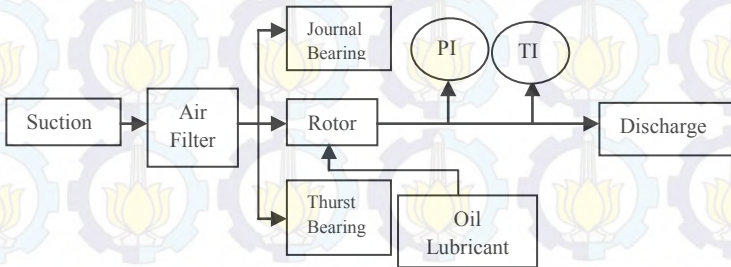
d. Evaluasi Keandalan ($R(t)$) masing-masing komponen

Berdasarkan penentuan parameter uji dengan menggunakan bantuan *ReliaSoft Weibull++ Version 6* dapat menentukan keandalan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada. Hasil dari perhitungan keandalan dapat di plot dalam sebuah grafik hubungan antara nilai Keandalan ($R(t)$) dengan waktu operasional.

e. Penentuan Keandalan Keseluruhan

Setelah mendapat nilai keandalan dari masing-masing komponen *air compressor 101J*, maka selanjutnya

menghitung nilai kehandalan keseluruhan dari komponen-komponen air compressor 101J. Untuk menghitung nilai keandalan $R(t)$ sistem secara keseluruhan terlebih dahulu dengan melihat alur proses sistem pada P&ID *air compressor* 101J (lampiran A). Setelah itu membuat diagram blok sistem keseluruhan *air compressor 101J* untuk mengetahui konfigurasi dari sistem tersebut apakah seri atau paralel. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6 sebagai berikut :



Gambar 3.6 PFD (*Process Flow Diagram*) *Air Compressor 101 J*

Gambar 3.6 diatas konfigurasi sistem *air compressor 101J* memakai konfigurasi seri. Hal ini karena sistem *air compressor* mempunyai satu input dan satu output. Input berasal dari suction sebagai masuknya udara dari luar kemudian diproses dengan *air filter journal bearing, rotor, thrust bearing* dan *oil lubricant* secara berurutan. *Pressure Indicator* (PI) dan *Temperature Indicator* (TI) sebagai monitoring tekanan dan temperature udara yang dihasilkan. *Output* pada *discharge* sebagai keluaran udara dengan tekanan dan temperature yang ditentukan. Kehandalan dengan konfigurasi seri dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.16.

f. Penentuan TTR (*Time to Repair*)

Data yang digunakan adalah data maintenance komponen-komponen *air compressor 101J* yang berupa data waktu perbaikan yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan terhadap komponen-komponen yang mengalami kerusakan.

g. Penentuan Distribusi TTR (*Time to Repair*)

Penentuan distribusi waktu antar perbaikan bertujuan untuk mendapatkan nilai kemungkinan lamanya waktu perbaikan pada sistem. Penentuan distribusi *TTR* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ReliaSoft Weibull++6*. Adapun langkah-langkah untuk menentukan distribusi *Time to Repair* sama dengan langkah-langkah penentuan distribusi *Time to Failure* yang telah dijelaskan sebelumnya.

h. Evaluasi *Maintainability*

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari uji parameter dengan menggunakan *software ReliaSoft Weibull++ Version 6* dapat menentukan *maintainability* dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.

i. Evaluasi *Availability*

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari uji parameter dengan menggunakan *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*, maka dapat ditentukan nilai *availability* dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.

j. Evaluasi *Preventive Maintenance Reliability* masing-masing komponen *air compressor 101J*

Evaluasi *Preventive Maintenance Reliability* berupa perbandingan nilai kehandalan komponen sebelum dilakukan *preventive maintenance* dengan nilai kehandalan setelah dilakukan *preventive maintenance* dengan acuan nilai Kehandalan sebesar 70 % atau 0,70. Hasil dari perbandingan nilai tersebut dapat di plot dalam sebuah grafik hubungan antara nilai kehandalan dengan waktu operasional.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data Dan Analisa Data Menggunakan Metode Kualitatif

Pada penelitian tugas akhir ini, metode kualitatif yang digunakan ada dua yaitu dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analisis*) dan FTA (*Failure Mode and Effect Analisis*). Adapun masing – masing analisisnya yaitu sebagai berikut :

a. FMEA (*Failure Mode and Effect Analisis*)

Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analisis*) pada tugas akhir ini digunakan untuk mengetahui komponen mana yang mengalami kegagalan, mengetahui sebab - sebab terjadinya kegagalan, mengetahui pengaruh kegagalan dan mengetahui cara- cara penanganan dengan adanya kegagalan tersebut. Selain itu dengan dilakukannya penentuan *severity* dengan acuan tingkat (*ranking*) keamanan sesuai pada tabel 2.1, 2.2 dan 2.3.

b. Metode FTA (*Fault Tree Analisis*)

Metode FTA (*Fault Tree Analisis*) pada Tugas Akhir ini digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan ataupun *trip* pada komponen di dalam suatu sistem. Selain itu juga metode ini dapat mempresentasikan seberapa handal suatu komponen di dalam sistem. Adapun langkahnya yaitu :

- Menganalisa alur proses dan komponen apa saja yang berpengaruh dalam menyebabkan kegagalan terhadap sistem *air compressor 101J* dengan menggunakan *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)* seperti ditunjukkan pada Lampiran A.
- Membuat diagram blok sistem air compressor 101J seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5.
- Menentukan *top event* hingga *basic event* untuk melihat bagaimana alur kerja komponen di dalam sistem. Apabila kegagalan terjadi di salah satu komponen maka komponen - komponen yang mengalami *trip* dapat diketahui. Menentukan *top event* hingga *basic event* ini dapat juga

dilihat dari *worksheet* FMEA (Lampiran B). Dari *worksheet* FMEA tersebut parameter – parameter penyebab terjadinya kegagalan dapat dikelompokkan berdasarkan akibat yang ditimbulkan dari kegagalan tersebut. Adapun menentukan *top event* hingga *basic event* dalam tugas akhir ini pada sistem *air compressor 101J* dapat ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 *Top Event-Basic Event* Pada *Air Compressor 101 J*

<i>Top Events</i>	<i>Resultans Events</i>	<i>Basic Events</i>
<i>Air Compressor trip</i>		
	<i>Velocity and temperature no stable (overheating)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Presssure Indicator failure</i> 2. <i>Temperature Indicator Failure</i>
	<i>Rotor failure</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Thurst bearing disturbed</i> 2. <i>Journal bearing disturbed</i> 3. <i>No balance</i>
	<i>Pressure Indicator failure</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>error reading transmitter</i> 2. <i>Setting pressure no stable</i>
	<i>Error reading transmitter</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Cable not plugged</i> 2. <i>Signal Loss</i>
	<i>Setting pressure not stable</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Bolts jammed</i> 2. <i>Bolts not matching design</i>
	<i>Temperature Indicator failure</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>error reading transmitter</i> 2. <i>Setting pressure no stable</i>
	<i>Error reading transmitter</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Cable not plugged</i> 2. <i>Signal Loss</i>

Tabel 3.1 (Lanjutan)

Top Events	Resultans Events	Basic Events
	<i>Setting pressure not stable</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bolts jammed 2. Bolts not matching design
	<i>Thrust bearing failure</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Air filter dirty and rusty 2. Misalignment 3. Oil Lubricant system failure
	<i>Air filter dirty and rusty</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Air quality is bad 2. Many air partichel from inlet
	<i>Oil Lubricant system failure</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Over heating 2. Leakage
	<i>Journal bearing failure</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Air filter dirty and rusty 2. Misalignment 3. Oil Lubricant system failure
	<i>Air filter dirty and rusty</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Air quality is bad 2. Many air partichel from inlet
	<i>Oil Lubricant system failure</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Over heating 2. Leakage

- Menetapkan simbol *logic gate* (gerbang logika) sesuai dengan gabungan peristiwa. *Logic gate* menunjukkan apakah kedua peristiwa terjadi pada waktu dan tempat yang sama (*AND*) atau kejadian yang mungkin terjadi (*OR*). Pergerakan ke cabang pada *fault tree* menunjukkan efek.

3.4 Analisis Biaya *Maintenance*

Pembiayaan *maintenance* dilakukan pada setiap tindakan *maintenance*, diasumsikan bahwa *schedule preventive maintenance* akan memulihkan sistem seperti kondisi baru. Analisis pembiayaan *maintenance* pada penelitian tugas akhir ini menggunakan persamaan 2.32 dan 2.33.



Halaman ini memang dikosongkan

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi Kuantitatif Sistem Air Compressor 101J

Evaluasi kuantitatif ini dilakukan dengan menggunakan *Reliasoft Weibull ++ Version 6* dari data *history* kerusakan dan perbaikan komponen-komponen yang ada didalam sistem *air compressor 101J*. Evaluasi ini digunakan untuk mendapatkan distribusi dan parameter yang paling sesuai untuk data TTF (*Time to Failure*) dan TTR (*Time to Repair*). Distribusi dan parameter tersebut digunakan untuk mencari fungsi keandalan sebagai fungsi waktu $\{R(t)\}$, *maintainability* $\{M(t)\}$, dan *availability* $\{A(t)\}$.

4.1.1 Evaluasi Kuantitatif Pada Rotor

Berdasarkan data *maintenance* pada komponen *rotor* didapatkan data kegagalan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data *Maintenance Rotor*

No	Raise Date	Finish Date	TTR (hours)	TTF (hours)
1	8/16/2005	8/23/2005	168	0
2	3/4/2006	3/6/2006	48	4704
3	1/27/2007	1/29/2007	48	7824
4	3/9/2007	3/11/2007	48	960
5	11/11/2008	11/15/2008	96	14520
6	2/1/2009	2/4/2009	72	2616
7	6/15/2010	6/19/2010	96	11904
8	12/28/2011	12/30/2011	48	13296
9	4/4/2012	4/5/2012	24	2256
10	6/5/2013	6/8/2013	72	10200
11	1/20/2014	1/25/2014	96	5448
Jumlah			816	73728

Berdasarkan data kegagalan *Rotor*, maka dilakukan pengujian distribusi waktu kegagalan dan perbaikan dengan menggunakan *Reliasoft Weibull ++ version 6*. Pengujian tersebut diperoleh bahwa distribusi waktu kegagalan yang paling sesuai adalah distribusi *Weibull 2* dengan parameter $\beta = 1,2617$; $\eta = 8373,9949$. Sedangkan untuk distribusi waktu perbaikan yang paling sesuai adalah distribusi *lognormal* dengan parameter $\mu = 4,1848$ dan $\sigma = 0,5446$.

a. Evaluasi Keandalan Pada Rotor

Berdasarkan distribusi *Weibull 2*, fungsi keandalan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5).

$$R(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t-0}{8373,9949}\right)^{1,2617}\right\}$$

Nilai keandalan pada *rotor* untuk berbagai nilai t (jam) dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel C-1. Analisis perhitungan keandalan diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional yang ditunjukkan pada Gambar D-1.

Hasil perhitungan dan plot grafik kehandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Rotor* memiliki nilai kehandalan sebesar 71,70 %. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 3500 jam atau kurang lebih 5 bulan.

b. Evaluasi Maintainability Pada Rotor

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *lognormal*, sehingga perhitungan *maintainability* menggunakan persamaan (2.20).

$$M(t) = \int_0^t \frac{1}{0,5446 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - 4,1848)^2}{2(0,5446)^2}\right] dt$$

Maintainability untuk berbagai nilai t (jam) dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel C-1. Evaluasi perhitungan di plot dalam sebuah grafik hubungan antara *maintainability* dengan waktu perbaikan seperti pada Gambar E-1. Nilai

maintainability mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 1500 jam.

c. Evaluasi *Avaibility* Pada *Rotor*

Pada persamaan (2.28) dengan waktu rata-rata kegagalan (*MTTF*) untuk komponen *Rotor* sebesar 609,32 jam dan waktu rata-rata perbaikan (*MTTR*) sebesar 74 jam.

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{0,00012}{0,00012 + 4,1848} \right) - \left(\left(\frac{0,00012}{0,00012 + 4,1848} \right) \exp \left(- (0,00012 + 4,1848) t \right) \right) \right]$$

Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar 0,00012 pada waktu operasional 3500 jam. Ketersediaan (*availability*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0,995 pada waktu operasional 500 jam.

d. Evaluasi *Preventive Maintenance* Pada *Rotor*

Pada evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai keandalan mendekati 0,70 atau 70 %. Komponen *Rotor* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 3000 jam. Perhitungan nilai keandalan dengan *preventive maintenance* menggunakan persamaan (2.31).

$$R_m(t) = R(t)^n R(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1)T$$

Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai t (jam) pada *rotor* dapat dihitung sebagaimana diunjukkan dalam Tabel F-1. Analisis tersebut kemudian diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* yang ditunjukkan pada Gambar G-1. Hasil analisis *preventive maintenance* dapat dilihat bahwa komponen rotor dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 8 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

4.1.2 Evaluasi Kuantitatif Pada *Air Filter*

Dari data *maintenance* pada komponen *Air Filter* didapatkan data kegagalan sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data *Maintenance Air Filter*

No	Raise Date	Finish Date	TTR (hours)	TTF (hours)
1	3/15/2007	3/18/2007	72	0
2	4/11/2008	4/13/2008	48	7872
3	8/8/2008	8/12/2008	96	2760
4	9/11/2009	9/17/2009	144	9456
5	12/21/2009	12/23/2009	48	3072
6	12/19/2011	12/23/2011	96	17424
7	11/19/2012	11/24/2012	120	7944
8	4/5/2013	4/8/2013	72	864
Jumlah			696	49392

Berdasarkan data kegagalan *Air Filter*, maka dilakukan pengujian distribusi waktu kegagalan dan perbaikan dengan menggunakan *Reliasoft Weibull ++ version 6*. Pengujian tersebut diperoleh bahwa distribusi waktu kegagalan yang paling sesuai adalah distribusi *Weibull 2* dengan parameter $\beta = 1,0969$; $\eta = 7912,0445$. Sedangkan untuk distribusi waktu perbaikan yang paling sesuai adalah distribusi *Weibull 3* dengan parameter $\beta = 11,9455$; $\eta = 77,8837$; $\gamma = 19,5400$

a. Evaluasi Keandalan Pada *Air Filter*

Berdasarkan distribusi *Weibull 2*, fungsi keandalan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5).

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t - 0}{7912,0445} \right)^{1,0969} \right\}$$

Nilai keandalan untuk berbagai nilai t(jam) dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel C-2. Analisis perhitungan keandalan diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional yang ditunjukkan pada Gambar D-2. Hasil perhitungan dan plot grafik keandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Air Filter* memiliki nilai keandalan sebesar

0,7081 atau sebesar 70,81%. Nilai keandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 3000 jam atau kurang lebih 4 bulan.

b. Evaluasi Maintainability Pada Air Filter

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *Weibull 3*, sehingga perhitungan *maintainability* menggunakan persamaan (2.19).

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-0}{77,8837}\right)^{1,9445}}$$

Perhitungan *maintainability* untuk berbagai nilai t (jam) ditunjukkan pada Tabel C-2. Evaluasi perhitungan di plot dalam sebuah grafik hubungan antara *maintainability* dengan waktu perbaikan ditunjukkan pada Tabel E-2. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 500 jam.

c. Evaluasi Availability Pada Air Filter

Pada persamaan (2.28) dengan waktu rata-rata kegagalan (*MTTF*) untuk komponen *Air Filter* sebesar 6174 jam dan waktu rata-rata perbaikan (*MTTR*) sebesar 87 jam.

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{0,000126}{0,000126 + 0,0115} \right) - \left(\frac{0,000126}{0,000126 + 0,0115} \right) \exp \left(- \left(\frac{0,000126 + 0,0115}{t} \right) \right) \right]$$

Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar 0,000126 pada waktu operasional 3500 jam. Ketersediaan (*availability*) komponen *air filter* pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0,990882 pada waktu operasional 500 jam.

d. Evaluasi Preventive Maintenance Pada Air Filter

Pada evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai keandalan mendekati 0,70 atau 70 %. Komponen *Air Filter* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 2500 jam. Perhitungan nilai kehandalannya dengan *preventive maintenance* menggunakan persamaan (2.31).

$$R_m(t) = R(t)^n R(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1)T$$

Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai t (jam) pada *air filter* dapat dihitung sebagaimana diunjukkan dalam Tabel F-2. Analisis tersebut kemudian diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* yang ditunjukkan pada Gambar G-2. Hasil analisis *preventive maintenance* dapat dilihat bahwa komponen *air filter* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 10 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

4.1.3 Evaluasi Kuantitatif Pada *Journal Bearing*

Dari data *maintenance* pada komponen *Journal Bearing* didapatkan data kegagalan sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data *Maintenance Journal Bearing*

No	Raise Date	Finish Date	TTR (hours)	TTF (hours)
1	2/13/2006	2/18/2006	120	0
2	3/12/2007	3/15/2007	72	9360
3	6/15/2010	6/17/2010	48	28440
4	10/4/2012	10/8/2012	96	20088
5	6/5/2013	6/11/2012	144	5688
6	1/25/2014	1/30/2014	120	14256
Jumlah			600	77832

Berdasarkan data kegagalan *Journal Bearing*, maka dilakukan pengujian distribusi waktu kegagalan dan perbaikan dengan menggunakan *Reliasoft Weibull ++ version 6*. Pengujian tersebut diperoleh bahwa distribusi waktu kegagalan yang paling sesuai adalah distribusi *Weibull 2* dengan parameter $\beta = 1,648$; $\eta = 1,81E+04$. Pada distribusi waktu perbaikan, paling sesuai adalah distribusi *Weibull 2* dengan parameter $\beta = 2,6565$; $\eta = 113,4653$.

a. Evaluasi Keandalan Pada *Journal Bearing*

Berdasarkan distribusi *Weibull 2*, fungsi keandalan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5).

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t-0}{1,81E+04} \right)^{1,648} \right\}$$

Nilai keandalan untuk berbagai nilai t (jam) pada *journal bearing* dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel C-3. Analisis perhitungan keandalan diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional yang ditunjukkan pada Gambar D-3. Ha

Hasil perhitungan dan plot grafik keandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Journal Bearing* memiliki nilai keandalan sebesar 0,7070 atau 70,70%. Nilai keandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 9500 jam atau kurang lebih 13 bulan.

b. Evaluasi *Maintainability* Pada *Journal Bearing*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *Weibull 2* sehingga perhitungan *maintainability* menggunakan persamaan (2.19).

$$M(t) = 1 - e^{- \left(\frac{t-0}{113,4653} \right)^{2,6565}}$$

Perhitungan *maintainability* untuk berbagai nilai t (jam) ditunjukkan pada Gambar C-3. Evaluasi perhitungan di plot dalam sebuah grafik hubungan antara *maintainability* dengan waktu perbaikan ditunjukkan pada Gambar E-3. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 500 jam.

c. Evaluasi *Availability* Pada *Journal Bearing*

Pada persamaan (2.28) dengan waktu rata-rata kegagalan (*MTTF*) untuk komponen *Journal Bearing* sebesar 12972 jam dan waktu rata-rata perbaikan (*MTTR*) sebesar 100 jam.

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{6.01E-05}{6.01E-05 + 0,01} \right) - \left(\left(\frac{6.01E-05}{6.01E-05 + 0,01} \right) \exp \left(- \left(\frac{6.01E-05 + 0,01}{6.01E-05 + 0,01} \right) t \right) \right) \right]$$

Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar 6.01E-05 pada waktu operasional 9500 jam. Ketersediaan (*availability*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0,999514 pada waktu operasional 500 jam.

d. Evaluasi *Preventive Maintenance* Pada *Journal Bearing*

Pada evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai keandalan mendekati 0.70 atau 70 %. Komponen *Journal Bearing* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 9000 jam. Perhitungan nilai keandalan dengan *preventive maintenance* menggunakan persamaan (2.31).

$$R_m(t) = R(t)^n R(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1)T$$

Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai t (jam) pada *journal bearing* dapat dihitung sebagaimana diunjukkan dalam Tabel F-3. Analisis tersebut kemudian diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* yang ditunjukkan pada Gambar G-3. Hasil analisis *preventive maintenance* dapat dilihat bahwa komponen *journal bearing* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 3 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

4.1.4 Evaluasi Kuantitatif Pada *Thrust Bearing*

Dari data *maintenance* pada komponen *Thrust Bearing* didapatkan data kegagalan sebagai berikut.

Tabel 4.4 Data *Maintenance Thurst Bearing*

No	Raise Date	Finish Date	TTR (hours)	TTF (hours)
1	12/10/2006	12/12/2006	48	0
2	1/12/2007	1/15/2007	72	720
3	12/23/2010	12/25/2010	48	34392
4	10/4/2012	10/10/2012	144	15576
5	5/4/2013	5/7/2013	72	5016
Jumlah			384	55704

Berdasarkan data kegagalan *Thurst Bearing*, maka dilakukan pengujian distribusi waktu kegagalan dan perbaikan dengan menggunakan *Reliasoft Weibull ++ version 6*. Pengujian tersebut diperoleh bahwa distribusi waktu kegagalan yang paling sesuai adalah distribusi *eksponensial* dengan parameter $\lambda = 0,000056482$. Sedangkan untuk distribusi waktu perbaikan yang paling sesuai adalah distribusi *Weibull 3* dengan parameter $\beta = 0,6345$; $\eta = 32,1919$; $\gamma = 44,8600$.

a. Evaluasi Keandalan Pada *Thurst Bearing*

Berdasarkan distribusi *eksponensial* fungsi keandalan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.13).

$$R(t) = e^{-0,000056482 \dots (t)}$$

Nilai kehandalan untuk berbagai nilai t (jam) dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel C-4. Analisis perhitungan keandalan diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional yang ditunjukkan pada Gambar D-4. Hasil perhitungan dan plot grafik keandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Thurst Bearing* memiliki nilai keandalan sebesar 71,26%. Nilai keandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 6000 jam atau kurang lebih 8 bulan.

b. Evaluasi *Maintainability* Pada *Thurst Bearing*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *Weibull 3*, sehingga perhitungan *maintainability* menggunakan persamaan (2.19).

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-0}{32,1919}\right)^{0,6345}}$$

Perhitungan *maintainability* untuk berbagai nilai t (jam) ditunjukkan pada Tabel C-4. Evaluasi perhitungan di plot dalam sebuah grafik hubungan antara *maintainability* dengan waktu perbaikan ditunjukkan pada Gambar E-4. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 2500 jam.

c. Evaluasi *Avaibility* Pada *Thurst Bearing*

Pada persamaan (2.28) dengan waktu rata-rata kegagalan (*MTTF*) untuk komponen *Thurst Bearing* sebesar 11140,8 jam dan waktu rata-rata perbaikan (*MTTR*) sebesar 76,8 jam.

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{0,0000565}{0,0000565 + 0,013} \right) - \left(\frac{0,0000565}{0,0000565 + 0,013} \right) \exp \left\{ - \left(\frac{0,0000565 + 0,013}{0,0000565 + 0,013} \right) t \right\} \right]$$

Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar 0,000056482 pada waktu operasional 6000 jam. Ketersediaan (*avaibility*) komponen *thurst bearing* pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0,9995687 pada waktu operasional 500 jam.

d. Evaluasi *Preventive Maintenance* Pada *Thurst Bearing*

Pada evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai keandalan mendekati 0,70 atau 70%. Komponen *Thurst Bearing* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 5500 jam. Perhitungan nilai keandalan dengan *preventive maintenance* menggunakan persamaan (2.31).

$$R_m(t) = R(t)^n R(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1)T$$

Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai t (jam) pada *thurst bearing* dapat dihitung sebagaimana diunjukkan dalam Tabel F-4. Analisis tersebut

kemudian diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* yang ditunjukkan pada Gambar G-4. Hasil analisis *preventive maintenance* dapat dilihat bahwa komponen *thrust bearing* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 5 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

4.1.5 Evaluasi Kuantitatif Pada *Oil Lubricant*

Berdasarkan data *maintenance* pada komponen *Oil Lubricant* didapatkan data kegagalan sebagai berikut.

Tabel 4.5 Data *Maintenance Oil Lubricant*

No	Raise Date	Finish Date	TTR (hours)	TTF (hours)
1	2/5/2008	2/9/2008	96	0
2	7/21/2010	7/23/2010	48	21408
3	9/26/2013	9/30/2013	96	27720
4	1/20/2014	1/22/2014	48	2640
Jumlah			288	51768

Berdasarkan data kegagalan *Oil Lubricant*, maka dilakukan pengujian distribusi waktu kegagalan dan perbaikan dengan menggunakan *Reliasoft Weibull ++ version 6*. Pengujian tersebut diperoleh bahwa distribusi waktu kegagalan yang paling sesuai adalah distribusi *normal* dengan parameter $\mu = 1,73E+04$ dan $\sigma = 1,53E+04$. Sedangkan untuk distribusi waktu perbaikan yang paling sesuai adalah distribusi *lognormal* dengan parameter $\mu = 4,22178$ dan $\sigma = 0,4132$.

a. Evaluasi Keandalan Pada *Oil Lubricant*

Berdasarkan distribusi *normal* fungsi keandalan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9).

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - 1,73E + 04}{1,53E + 04}\right)$$

Nilai keandalan untuk berbagai nilai t (jam) dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel C-5. Analisis perhitungan keandalan diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional yang ditunjukkan pada Gambar D-5. Hasil perhitungan dan plot grafik keandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Oil Lubricant* memiliki nilai kehandalan sebesar 70,51%. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 9000 jam atau kurang lebih 1 tahun.

b. Evaluasi *Maintainability* Pada *Oil Lubricant*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *lognormal*, sehingga perhitungan *maintainability* menggunakan persamaan (2.20).

$$M(t) = \int_0^t \frac{1}{0,4132\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln t - 0,01389)^2}{2(0,4132)^2} \right] dt$$

Perhitungan *maintainability* untuk berbagai nilai t (jam) ditunjukkan pada Tabel C-5. Evaluasi perhitungan di plot dalam sebuah grafik hubungan antara *maintainability* dengan waktu perbaikan ditunjukkan pada Gambar E-5. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 1000 jam.

c. Evaluasi *Availability* Pada *Oil Lubricant*

Pada persamaan (2.28) dengan waktu rata-rata kegagalan (*MTTF*) untuk komponen *Oil Lubricant* sebesar 12942 jam dan waktu rata-rata perbaikan (*MTTR*) sebesar 76,8 jam.

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{3,2E-05}{3,2E-05 + 0,014} \right) - \left(\frac{3,2E-05}{3,2E-05 + 0,014} \right) \exp \left(-\left(\frac{3,2E-05 + 0,014}{t} \right) \right) \right]$$

Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar $3,2E-05$ pada waktu operasional 9000 jam. Ketersediaan (*availability*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0,9988 pada waktu operasional 500 jam.

d. Evaluasi *Preventive Maintenance* Pada *Oil Lubricant*

Pada evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai kehandalan mendekati 0,70 atau

70%. Komponen *Oil Lubricant* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 8500 jam. Perhitungan nilai kehandalangan *preventive maintenance* menggunakan persamaan (2.31).

$$R_m(t) = R(t)^n R(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1)T$$

Evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai t (jam) dapat ditunjukkan dalam Tabel F-5. Analisis tersebut kemudian diplot dalam sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* seperti terlampir pada Gambar G-5. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Oil Lubricant* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 3 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

4.1.6 Evaluasi Kuantitatif Pada *Pressure Indicator*

Berdasarkan data *maintenance* pada komponen *Pressure Indicator* didapatkan data kegagalan sebagai berikut.

Tabel 4.6 Data *Maintenance Pressure Indicator*

No	Raise Date	Finish Date	TTR (hours)	TTF (hours)
1	2/7/2007	2/10/2007	72	0
2	2/28/2010	3/2/2010	48	26712
3	11/2/2011	11/6/2011	96	14520
4	3/28/2012	3/30/2012	48	3528
5	2/10/2014	2/11/2014	24	16320
Jumlah			288	61080

Berdasarkan data kegagalan *Pressure Indicator* maka dilakukan pengujian distribusi waktu kegagalan dan perbaikan dengan menggunakan *Reliasoft Weibull ++ version 6*. Pengujian tersebut diperoleh bahwa distribusi waktu kegagalan yang paling sesuai adalah distribusi *normal* dengan parameter $\mu = 1,53E+04$

dan $\sigma = 1,10E+04$. Sedangkan untuk distribusi waktu perbaikan yang paling sesuai adalah distribusi *weibull* 2 dengan parameter $\beta = 2,0330$; $\eta = 66,2834$

a. Evaluasi Kehandalan Pada *Pressure Indicator*

Berdasarkan distribusi *normal* fungsi kehandalan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9).

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - 1,53E + 04}{1,10E + 04}\right)$$

Nilai kehandalan untuk berbagai nilai t(jam) dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel C-6. Analisis perhitungan kehandalan diplot dalam sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu operasional yang ditunjukkan pada Gambar D-6.

Hasil perhitungan dan plot grafik kehandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Pressure Indicator* memiliki nilai kehandalan sebesar 71,65 %. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 9000 jam atau kurang lebih 1 tahun.

b. Evaluasi *Maintainability* Pada *Pressure Indicator*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *weibull*, sehingga perhitungan *maintainability* menggunakan persamaan (2.19).

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-0}{66,28}\right)^{2,033}}$$

Perhitungan *maintainability* untuk berbagai nilai t (jam) ditunjukkan pada Tabel C-6. Evaluasi perhitungan di plot dalam sebuah grafik hubungan antara *maintainability* dengan waktu perbaikan ditunjukkan pada Gambar E-6. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 500 jam.

c. Evaluasi *Avaibility* Pada *Pressure Indicator*

Pada persamaan (2.28) dengan waktu rata-rata kegagalan (*MTTF*) untuk komponen *Pressure Indicator* sebesar 12126 jam dan waktu rata-rata perbaikan (*MTTR*) sebesar 57,6 jam.

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{4,32E-05}{4,32E-05 + 0,017} \right) - \left(\left(\frac{4,32E-05}{4,32E-05 + 0,017} \right) \exp \left(- (4,32E-05 + 0,017) t \right) \right) \right]$$

Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar 4,32E-05 pada waktu operasional 9000 jam. Ketersediaan (*avaibility*) komponen *pressure indicator* pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0.999763 pada waktu operasional 500 jam.

d. Evaluasi *Preventive Maintenance* Pada *Pressure Indicator*

Pada evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai kehandalan mendekati 0.70 atau 70 %. Komponen *Pressure Indicator* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 8500 jam. Perhitungan nilai kehandalannya dengan *preventive maintenance* menggunakan persamaan (2.31).

$$R_m(t) = R(t)^n R(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1)T$$

Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai t (jam) dapat ditunjukkan dalam Tabel F-6. Analisis tersebut kemudian diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* seperti terlampir pada Gambar G-6. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Pressure indicator* pat dilakukan penjadwalan sebanyak 3 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

4.1.7 Evaluasi Kuantitatif Pada *Temperature Indicator*

Dari data *maintenance* pada komponen *Temperature Indicator* didapatkan data kegagalan sebagai berikut.

Tabel 4.7 Data *Maintenance Temperature Indicator*

No	Raise Date	Finish Date	TTR (hours)	TTF (hours)
1	7/14/2008	7/18/2008	96	0
2	12/25/2010	12/29/2010	96	21288
3	3/8/2012	3/13/2012	120	10536
4	4/4/2013	4/7/2013	72	9696
5	3/14/2014	3/19/2014	120	8208
Jumlah			504	49728

Berdasarkan data kegagalan *Temperature Indicator* maka dilakukan pengujian distribusi waktu kegagalan dan perbaikan dengan menggunakan *Reliasoft Weibull ++ version 6*. Pengujian tersebut diperoleh bahwa distribusi waktu kegagalan yang paling sesuai adalah distribusi *weibul 2* dengan parameter $\beta = 2,7649$; $\eta = 1,37E+04$. Distribusi waktu perbaikan yang paling sesuai adalah distribusi *weibul 2* dengan parameter $\beta = 5,1484$; $\eta = 109,0156$

a. Evaluasi Kehandalan Pada *Temperature Indicator*

Berdasarkan distribusi *weibull 2* fungsi kehandalan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5).

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t - 0}{1,37E + 04} \right)^{2,7649} \right\}$$

Nilai kehandalan untuk berbagai nilai t(jam) dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel C-7 . Analisis perhitungan keandalan diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional yang ditunjukkan pada Gambar D-7. Hasil perhitungan dan plot grafik keandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Temperature Indicator* memiliki nilai keandalan sebesar 73,30%. Nilai keandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 9000 jam atau kurang lebih 1 tahun.

b. Evaluasi *Maintainability* Pada *Temperature Indicator*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *weibull*, sehingga perhitungan *maintainability* menggunakan persamaan (2.19).

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-0}{0,0099}\right)^{5,15}}$$

Perhitungan *maintainability* untuk berbagai nilai t (jam) ditunjukkan pada Tabel C-7. Evaluasi perhitungan di plot dalam sebuah grafik hubungan antara *maintainability* dengan waktu perbaikan ditunjukkan pada Gambar E-7. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 500 jam.

c. Evaluasi *Avaibility* Pada *Temperature Indicator*

Pada persamaan (2.28), dengan waktu rata-rata kegagalan (MTTF) untuk komponen *Temperature Indicator* sebesar 9945.6jam dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 100,8 jam.

$$A(t) = 1 - \left[\left(\frac{9,54E-05}{9,54E-05 + 0,009} \right) - \left(\left(\frac{9,54E-05}{9,54E-05 + 0,009} \right) \exp \left(- \left(\frac{9,54E-05 + 0,009}{t} \right)^{5,15} \right) \right) \right]$$

Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar $9,54E-05$ pada waktu operasional 9000 jam. Ketersediaan (*avaibility*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0.999942 pada waktu operasional 500 jam.

d. Evaluasi *Preventive Maintenance* Pada *Temperature Indicator*

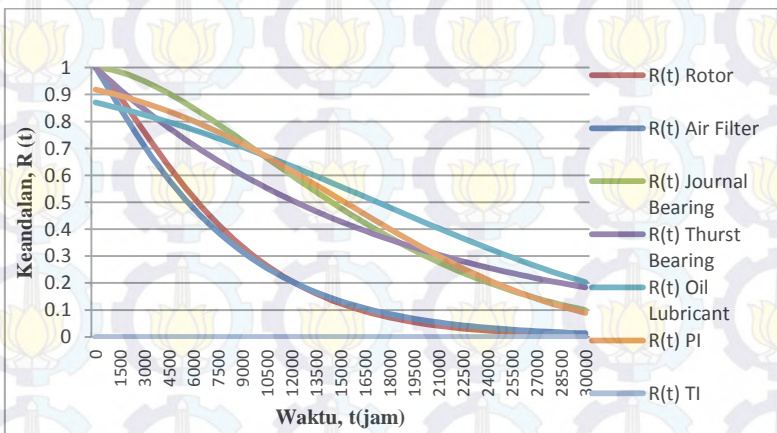
Pada evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai kehandalan mendekati 0.70 atau 70 %. Komponen *Temperature Indicator* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 8500 jam. Perhitungan nilai kehandalاندengan *preventive maintenance* menggunakan persamaan (2.31).

$$R_m(t) = R(t)^n R(t-nT) \text{ untuk } nT \leq t \leq (n+1)T$$

Evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai t (jam) dapat ditunjukkan dalam Tabel F-7. Analisis tersebut kemudian diplot dalam sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* seperti terlampir pada Gambar G-7. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Temperature Indicator* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 3 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

4.2 Perhitungan Nilai Keandalan Sistem

Berdasarkan dari analisis masing-masing keandalan pada tiap-tiap komponen, diperoleh grafik yang dapat ditunjukkan pada lampiran D. Hasil grafik keandalan masing-masing komponen dapat dilakukan perbandingan. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada grafik berikut ini.



Gambar 4.1 Grafik Keandalan Seluruh Komponen *Air Compressor 101J*

Grafik tersebut menunjukkan bahwa *Oil Lubricant* mempunyai penurunan keandalan yang relatif rendah terhadap waktu.. Pada *Rotor* menunjukkan bahwa penurunan keandalannya paling tinggi terhadap waktu.

Pada bab 3, telah diketahui bahwa sistem *air compressor 101J* memiliki konfigurasi seri yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. sehingga untuk menghitung nilai keandalan sistem, terlebih dahulu mengetahui nilai keandalan masing – masing komponen. Keandalan pada *compressor 101J* dinyatakan dalam persamaan (2.16).

Dimana:

$$R_1 = R(\text{Rotor})$$

$$R_2 = R(\text{Air Filter})$$

$$R_3 = R(\text{Journal Bearing})$$

$$R_4 = R(\text{Thrust Bearing})$$

$$R_5 = R(\text{Oil Lubricant})$$

$$R_6 = R(\text{Pressure Indicator})$$

$$R_7 = R(\text{Temperature Indicator})$$

Nilai keandalan pada operasional selama 1000 jam

$$R_1 = 0.933816$$

$$R_2 = 0.901735$$

$$R_3 = 0.991551$$

$$R_4 = 0.945083$$

$$R_5 = 0.85585$$

$$R_6 = 0.903726$$

$$R_7 = 0.999286$$

Sehingga,

$$R_s = P(E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap E_4 \cap E_5 \cap E_6 \cap E_7)$$

$$= P(E_1) P(E_2) P(E_3) P(E_4) P(E_5) P(E_6) P(E_7)$$

$$= (R_1) (R_2) (R_3) (R_4) (R_5) (R_6) (R_7)$$

$$= 0,933816 \times 0,901735 \times 0,991551 \times 0,945083 \times 0,85585 \times 0,903726 \times 0,999286$$

$$= 0,61$$

Berdasarkan persamaan yang sama, nilai keandalan secara keseluruhan pada *air compressor 101J* dilakukan pada 500 jam dan 1500 jam. Nilai keandalan masing-masing komponen untuk

jam operasional 500 jam dan 1500 jam dapat dilihat pada lampiran C. Hasil perhitungan diperoleh bahwa nilai keandalan secara keseluruhan pada sistem *air compressor 101J* selama waktu operasional 500 jam adalah 0,71 dan pada waktu operasional 1500 jam adalah 0,52.

4.3 Evaluasi Kualitatif Sistem Air Compressor 101J

Pada tugas akhir ini, metode kualitatif yang digunakan ada dua yaitu dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan FTA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

4.3.1 Analisis Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

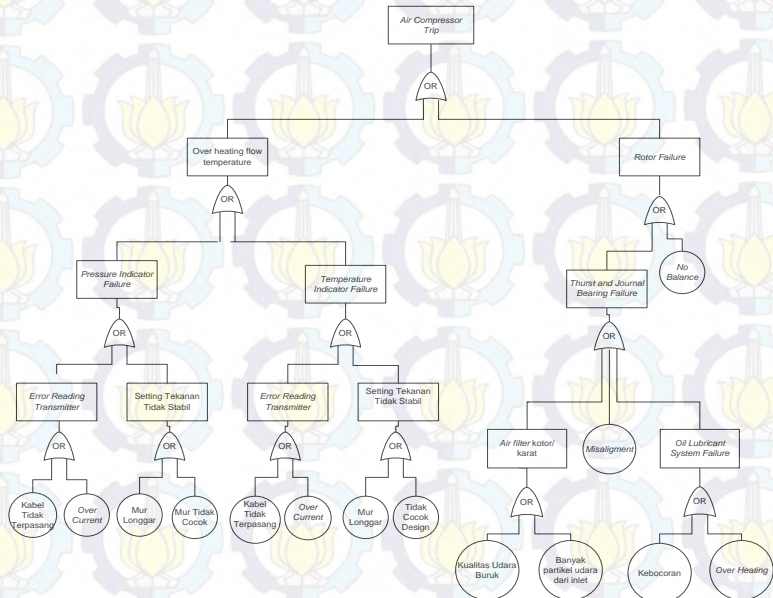
Jenis – jenis kegagalan yang terjadi pada komponen di dalam *Air Compressor 101J* dapat ditunjukkan pada tabel FMEA (lampiran H). Pada komponen *Rotor* terdapat dua jenis kegagalan yaitu *rotor* tidak *balance* dan kotor. Pada komponen *Air Filter* jenis kegagalan yang terjadi karena saringan kotor dan berkarat. Pada komponen *Thrust Bearing* jenis kegagalan yang terjadi adalah adanya goresan (*shufed*) dan korosi. Pada komponen *Journal Bearing* mempunyai dua jenis kegagalan yaitu adanya korosi dan *misalignment*. Pada komponen *Oil Lubricant* mempunyai dua jenis kegagalan yaitu adanya kebocoran dan *overheating*. Pada *Pressure Indicator* dan *Temperature Indicator* mempunyai jenis kegagalan yang sama yaitu karena *setting* tidak stabil dan pembacaan *error*.

Ketujuh komponen tersebut, pada komponen *Rotor* merupakan komponen yang mempunyai dampak paling parah di dalam sistem *air compressor* jika terjadi kegagalan. Hal ini ditunjukkan pada nilai *severity* dan *critical rank* sebesar 4. Nilai 4 ini masuk ke dalam akibat minor (*tabel 2.1*). Ketika *Rotor* ini tidak *balance* dimana terjadi kegagalan karena adanya *journal bearing* dan *thrust bearing*. *Journal bearing* dan *thrust bearing* yang terpasang sebagai pendukung beban radial dan aksial tidak pas. Kemudian penyebab yang lain karena oli tidak mengalir atau terendap, sehingga timbul gesekan. Dampak ini menyebabkan

tekanan pada gaya sentrifugal di *impeller* tidak stabil, sehingga kecepatan dan aliran gas yang dikeluarkan *air compressor* tidak sesuai dengan setting tekanan yang diharapkan. Dampak inilah yang dapat menyebabkan *air compressor 101J* mengalami *trip*. Sedangkan komponen *Pressure indicator* jarang mengalami kegagalan. Penyebab kegagalannya adalah adanya mur/baut yang tidak sesuai dengan desain yang berakibat pada rusak atau macetnya baut. Hal ini ditunjukkan pada nilai *severity* dan *critical rank* = 1 yang tidak mengakibatkan apa – apa di dalam sistem hanya memerlukan penyesuaian saja.

4.3.2 Analisis Metode FTA (*Failure Tree Analysis*)

Analisis pada metode FTA merupakan proses pada saat terjadi *trip* di sistem *air compressor* yang akan mempengaruhi sistem pensuplaian udara pada *pneumatic instrument*. Metode FTA pada penelitian tugas akhir ini, dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 FTA Proses *Air Compressor 101J*

Ketika *air compressor 101J trip* ada dua faktor yang akan mempengaruhi yaitu kualitas gas udara buruk dan adanya kegagalan pada rotor. Penyebab adanya kualitas udara yang buruk karena tidak terkendalinya tekanan dan temperatur selama proses terjadinya pengompresan udara. Tekanan dan temperature tersebut di ukur oleh masing-masing *Pressure Indicator (PI)* dan *Temperature Indicator (TI)*. Penyebab kegagalan PI dan TI karena adanya *error* pada pembacaan pengukuran. Hal ini disebabkan kabel tidak terpasang sempurna dan kelebihan arus. Penyebab kegagalan PI dan TI yang kedua adalah *setting* tekanan tidak stabil. Hal ini dikarenakan mur longgar dan baut tidak cocok dengan *design*.

Faktor kedua yang mempengaruhi *air compressor trip* adalah kegagalan pada rotor. Rotor gagal menjalankan fungsinya dikarenakan *no balance* dan adanya kegagalan pada *thrust bearing* dan *journal bearing*. *Surging* merupakan suatu kondisi dimana terjadi aliran balik (*reverse flow*) pada *compressor* Hal ini disebabkan karena *pressure discharge* yang berlebihan (*pressure ratio* tinggi) yang selanjutnya dapat terjadi ketidakseimbangannya *impeller* pada rotor. *Thrust bearing* dan *Journal bearing* gagal karena beberapa faktor, yaitu *air filter* kotor dan berkarat, *misalignment* (ketidaklurusan dengan poros) dan kegagalan pada *oil lubricant system*. *Air filter* kotor dan berkarat di karenakan kualitas udara yang dihisap buruk dan banyaknya partikel-partikel udara dari inlet. Kegagalan pada *oil lubricant* karena adanya kebocoran dan panas berlebih, sehingga oli kehilangan sifat pelumasannya.

4.4 Evaluasi Biaya

Berdasarkan data-data pendukung untuk menentukan perhitungan biaya kegagalan yang didapatkan dari seksi perencanaan dan pengendalian pabrik 1 PT.Petrokimia Gresik adalah seluruh komponen-komponen biaya yang muncul akibat terjadinya kegagalan. Pada penelitian tugas akhir ini, berikut adalah analisis perhitungan biaya *preventive maintenance* pada sistem *air compressor 101J*.

a. Biaya Perawatan (C_M)

Biaya perawatan terdiri dari biaya tenaga kerja (upah lembur) dan *treatment cost* misalnya untuk minyak pelumas, dan penggantian komponen kecil seperti sekrup, mur, dan baut. Kegiatan perawatan pencegahan dilakukan diluar jam operasi. Karena perawatan pencegahan dilakukan diluar jam kerja normal maka biaya tenaga perawatan menjadi upah lembur yaitu Rp.1.500.000,00.

b. Biaya Perbaikan (C_R)

Biaya perbaikan timbul akibat adanya komponen komponen *air compressor* yang mengalami kerusakan membutuhkan *service* perbaikan/perbaikan komponen. Biaya perbaikan (C_R) terdiri dari biaya tenaga kerja (C_W), biaya pemulihan/pergantian komponen (C_C) dan biaya konsekuensi operasional akibat tidak beroperasinya mesin (C_O).

• **Biaya tenaga kerja**

Biaya tenaga kerja merupakan biaya tenaga kerja yang dialokasikan untuk melakukan tindakan *maintenance* selama terjadinya kerusakan pada komponen peralatan *air compressor*. Tenaga kerja yang ditugaskan untuk menangani masalah-masalah teknis tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 4.8. Perhitungan Biaya Tenaga *Maintenance*

Jabatan	Jumlah Orang	Gaji Perbulan	Jumlah
Kepala bagian instrumentasi	1	Rp. 8.500.000	Rp. 8.500.000
Kepala regu instrumentasi	1	Rp. 7.500.000	Rp. 7.500.000
Tenaga operasi instrumentasi	2	Rp. 4.000.000	Rp. 8.000.000
Kepala bagian mekanik	1	Rp. 8.500.000	Rp. 8.500.000
Kepala regu mekanik	1	Rp. 7.500.000	Rp. 7.500.000
Tenagaoperasi mekanik	2	Rp. 4.000.000	Rp. 8.000.000
Total			Rp. 48.000.000

Bila diasumsikan dalam satu bulan terdapat 160 jam kerja dengan perincian sebagai berikut.

- 1 bulan = 4 minggu
- 1 minggu = 5 hari
- 1 hari = 8 jam kerja

Jadi biaya total untuk tenaga kerja yang dikeluarkan perusahaan adalah sebesar Rp.300.000,00 per jam dengan asumsi seluruh tenaga operasi dan kepala regu dapat ditugaskan untuk melakukan kegiatan dan perawatan.

- **Biaya Akibat Konsekuensi Operasional (C_o)**

Biaya konsekuensi operasional merupakan biaya yang timbul akibat terjadinya *downtime* (kerusakan), hal tersebut menyebabkan perusahaan mengalami *loss production* karena peralatan tidak berfungsi. Apabila *air compressor* tidak dapat melakukan fungsinya dikatakan gagal menyuplai udara, maka *plant* mengalami *trip* atau dapat memenuhi target yang ditetapkan.

Pada pihak perusahaan diketahui bahwa setiap kegiatan perbaikan dan perawatan di Pabrik Ammonia menyebabkan konsekuensi operasional. Kapasitas produksi ammonia sebesar 98.000 ton per tahun. Produk ammonia akan disalurkan ke unit urea untuk diolah menjadi produk Pupuk Urea dengan harga Rp.1.800,00 per kg. Informasi tersebut dapat di analisis perhitungan *lost product*. Rata-rata pabrik ammonia menghasilkan produk sebesar 268.5 ton per hari atau 11.187,5 kg per jam. Sehingga konsekuensi operasional yang terakumulasi mencapai Rp. 20.137.500,00 per jam.

- **Biaya Perbaikan (C_R)**

Biaya ini timbul akibat adanya kerusakan dari peralatan *air compressor*, yang membutuhkan penggantian komponen. Perhitungan untuk mendapatkan biaya perbaikan (C_R) akan menggunakan persamaan (2.33)

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk komponen rotor yang menghendaki dilakukannya *maintenance* untuk kerusakan yang disebabkan karena *Rotor* tidak *balance*.

Diketahui:

$$C_c = \text{Rp. } 8.200.000$$

$$C_w = \text{Rp. } 300.000 \text{ per jam}$$

$$C_o = \text{Rp. } 20.137.500 \text{ per jam}$$

$$MTTR = 74 \text{ jam}$$

Maka didapatkan perhitungan C_R adalah:

$$C_R = \text{Rp. } 8.200.000 + ((\text{Rp. } 300.000 + \text{Rp. } 20.137.500) \times 74 \text{ jam})$$

$$= \text{Rp. } 8.200.000 + 20.437.500 \times 74 \text{ jam}$$

$$= \text{Rp. } 1.518.725.000$$

Untuk hasil rekap hasil perhitungan lengkap dapat dilihat tabel berikut.

Tabel 4.9. Rekap Biaya Untuk Perbaikan Komponen

Komponen	C_c (Rp.)	C_w (Rp.)	C_o (Rp.)	MTTR	C_R (Rp.)
Rotor	8.200.000	300.000	20.137.500	74	1.520.575.000
Air Filter	362.000	300.000	20.137.500	87	1.778.424.500
Journal bearing	28.000	300.000	20.137.500	100	2.061.992.000
Thrust bearing	12.500	300.000	20.137.500	76,8	1.180.514.000
Pressure Indicator	3.314.000	275.000	20.137.500	57,6	1.569.612.500
Temperatur Indicator	1.892.000	275.000	20.137.500	100,8	2.043.778.000
Oil lubricant	128.250	275.000	20.137.500	72	1.471.628.250

c. Penentuan Biaya *Preventive Maintenance* (C_{PM})

Sebelumnya telah dilakukan analisis perhitungan kehandalan masing-masing komponen pada *air compressor*. Pada perhitungan dilakukan sampai rentang waktu 30.000 jam. Rentang waktu tersebut di ambil nilai keandalan pada saat mencapai 70%, 60 %, dan 50% untuk tiap komponen. Pada tiap nilai keandalan tersebut dianalisis untuk menghitung biaya pada saat dilakukan *preventive maintenance*. Perhitungan biaya tersebut menggunakan

persamaan (2.34). Berikut perhitungan biaya *preventive maintenance* pada rotor.

Biaya *Preventive maintenance* (C_{PM}) pada rotor ketika nilai keandalan $\approx 70\%$

$$\begin{aligned} C_{PM} &= \frac{[(2250000 \times 0,717022) + (1.520.575.000 \times (1 - 0,717022))]}{[(3500 \times 0,717022)] + [6702,5 \times (1 - 0,717022)]} \\ &= \frac{[(1.613.250) + (1.520.575.000 \times (0,283))]}{[(2059,58) + (1896,66)]} \\ &= \frac{431.935.975}{4.406,24} \\ &= \text{Rp.}98.020,73 \text{ per jam} \end{aligned}$$

Pembiayaan pada rotor ketika nilai keandalan $\approx 70\%$ adalah Rp. 98.020,73 x 74 jam = Rp. 7.253.534. Pada *preventive maintenance* dengan keandalan 70% diperoleh sebanyak 8 kali selama 30000 jam, sehingga total biaya diperoleh Rp.58.028.272,2 atau US\$ 4.654

Biaya *Preventive maintenance* (C_{PM}) pada rotor ketika nilai keandalan $\approx 60\%$

$$\begin{aligned} C_{PM} &= \frac{[(2.250.000 \times 0,633328) + (1.520.575.000 \times (1 - 0,633328))]}{[(4500 \times 0,633328)] + [6702,5 \times (1 - 0,633328)]} \\ &= \frac{[(1.424.250) + (1.520.575.000 \times (0,367))]}{[(2849,58) + (2459,82)]} \\ &= \frac{559.475.275}{5.309,8} \\ &= \text{Rp.}105.316,5 \text{ per jam} \end{aligned}$$

Pembiayaan pada rotor ketika nilai keandalan $\approx 60\%$ adalah Rp.105.316,5 x 74 jam = Rp. 7.793.420. Pada *preventive maintenance* dengan keandalan 60% diperoleh sebanyak 6 kali selama 30000 jam, sehingga total biaya diperoleh Rp. 46.760.519.9 atau US\$ 3.751

Biaya *Preventive maintenance* (C_{PM}) pada *rotor* ketika nilai keandalan $\approx 50\%$

$$\begin{aligned}
 C_{PM} &= \frac{[(2250000 \times 0,518589) + (1.520.575.000 \times (1 - 0,518589))]}{[(6000 \times 0,518589) + [6702,5 \times (1 - 0,518589)]]} \\
 &= \frac{[(1.167.750) + (1.520.575.000 \times 0,48)]}{[(3.111,54) + (3.226,65)]} \\
 &= \frac{731.043.750}{6.338,18} \\
 &= \text{Rp. } 115.677,86 \text{ per jam}
 \end{aligned}$$

Pembiayaan pada *rotor* ketika nilai keandalan $\approx 50\%$ adalah Rp. 115.677,86 x 74 jam = Rp.8560.161,2. Pada *preventive maintenance* dengan keandalan 50% diperoleh sebanyak 5 kali selama 30000 jam, sehingga total biaya diperoleh Rp. 42.800.805,8 atau US\$ 3.433

Pada komponen lainnya dapat direkap pada tabel berikut ini.

Tabel 4.10 Biaya *Preventive Maintenance*

Komponen	Cpm pada R(t)					
	70%		60%		50%	
	Rupiah (Rp)	Dollar (US\$)	Rupiah (Rp)	Dollar (US\$)	Rupiah (Rp)	Dollar (US\$)
<i>Rotor</i>	58.028.272	4.654	46.760.520	3.750	42.800.806	3.433
<i>Air Filter</i>	115.373.787	9.254	84.898.275	6.809	64.958.613	5.210
<i>Journal Bearing</i>	26.660.611	2.138	20.637.531	1.655	13.964.722	1.120
<i>Thrust Bearing</i>	23.251.247	1.865	14.657.996	1.176	10.266.468	823
<i>Oli Lubricant</i>	9.256.292	742	6.391.976	513	3.490.706	280
<i>Pressure Indicator</i>	5.943.660	477	4.319.814	347	2.449.226	196
<i>Temperatur Indicator</i>	18.042.104	1447	15.314.917	1.228	9.426.525	756

Kurs US\$ yang digunakan berdasar kurs Bank Mandiri per tanggal 16 Januari 2015 pukul 09:20 WIB, dengan harga Rp. 12.468,00. Hasil perhitungan biaya tersebut menunjukkan bahwa biaya *preventive maintenance* pada tiap-tiap komponen berbeda-beda. Jika dilakukan *preventive maintenance* pada nilai keandalan yang lebih besar, maka biaya yang dibutuhkan juga akan semakin besar.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Nilai keandalan pada masing-masing komponen pada *air compressor 101J* diperoleh berturut-turut pada saat 1000 jam, 3000 jam dan 6000 jam. *Rotor* diperoleh $R(t) = 0,93$; $R(t) = 0,76$ dan $R(t) = 0,52$. *Air Filter* diperoleh $R(t) = 0,90$; $R(t) = 0,71$ dan $R(t) = 0,48$. *Journal bearing* diperoleh $R(t) = 0,99$; $R(t) = 0,95$ dan $R(t) = 0,85$. *Thurst bearing* diperoleh $R(t) = 0,95$; $R(t) = 0,84$ dan $R(t) = 0,82$. *Oil lubricant* diperoleh $R(t) = 0,86$; $R(t) = 0,82$ dan $R(t) = 0,77$. *Pressure Indicator* diperoleh $R(t) = 0,90$; $R(t) = 0,87$ dan $R(t) = 0,80$. *Temperature Indicator* diperoleh $R(t) = 0,99$; $R(t) = 0,98$ dan $R(t) = 0,90$.
- Nilai keandalan secara keseluruhan pada sistem *air compressor 101J* selama waktu operasional 500 jam adalah 0,71. Pada waktu operasional 1000 jam adalah 0,61. Pada waktu operasional 1500 jam adalah 0,52.
- Sistem *air compressor 101J* merupakan konfigurasi seri.
- Diperoleh mekanisme *maintenance* pada masing-masing komponen. Tindakan *maintenance* pada rotor adalah melakukan rutinitas pengecekan ketika beroperasi dan lubrication. Pada *Air Filter* adalah pembersihan *impeller* dan permukaan penghubung diafragma. Pada *journal bearing* adalah lubrication dan *cleaned*. Pada *thurst bearing* adalah melakukan rutinitas pengecekan ketika beroperasi. Pada *oil lubricant* adalah melakukan rutinitas pengecekan pelumasan ketika beroperasi. Pada *pressure indicator* dan *temperature indicator* adalah sama, yaitu melakukan rutinitas pengecekan dan kalibrasi.
- Pada pembiayaan *preventive maintenance* yang dilakukan pada saat nilai keandalan mencapai 70%, 60% dan 50% berturut-turut diperoleh pada masing-masing komponen. *Rotor* diperoleh US\$ 4.654 ; US\$ 3.750 dan US\$ 3.433. *Air*

Filter diperoleh US\$ 9.254 ; US\$ 6.890 dan US\$ 5.210. *Journal bearing* diperoleh US\$ 2.138 ; US\$ 1.655 dan US\$ 1.120. *Thurst bearing* diperoleh US\$ 1.865 ; US\$ 1.176 dan US\$ 823. *Oil lubricant* diperoleh US\$ 742 ; US\$ 513 dan US\$ 280. *Pressure Indicator* diperoleh US\$ 477 ; US\$ 347 dan US\$ 196. *Temperature Indicator* diperoleh US\$ 1.447 ; US\$ 1.228 dan US\$ 756

5.2 Saran

Adapun saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut :

- Penggunaan metode optimasi supaya nilai *output* keandalan lebih akurat.
- Pada perusahaan, pemeliharaan pencegahan pada sistem sebaiknya dilakukan tidak melebihi interval waktu yang telah ditetapkan sehingga efek dari kerusakan yang timbul dapat dikurangi atau bahkan diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

Arnlijot, H. d. (1994). *System Reliability Theory*. The Norwegian Institute of Technology: John Wiley & Sons Inc.

Dhillon, B. (2005). *Reliability, Quality and Safety for Engineers*. USA: CRC Press.

Ebeling, C. E. (1997.). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw – HillCompanies.

Fithri, P. (2010). Optimasi Preventive Maintenance Dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor Dengan Menggunakan Mixed Integer Non Linier Programming Dari Kamran.

Lestari, Dewi W. (2014). Analisa Keandalan *LP Drum* Pada *Waste Heat Boiler* (WHB) di PT.Petrokimia Gresik.

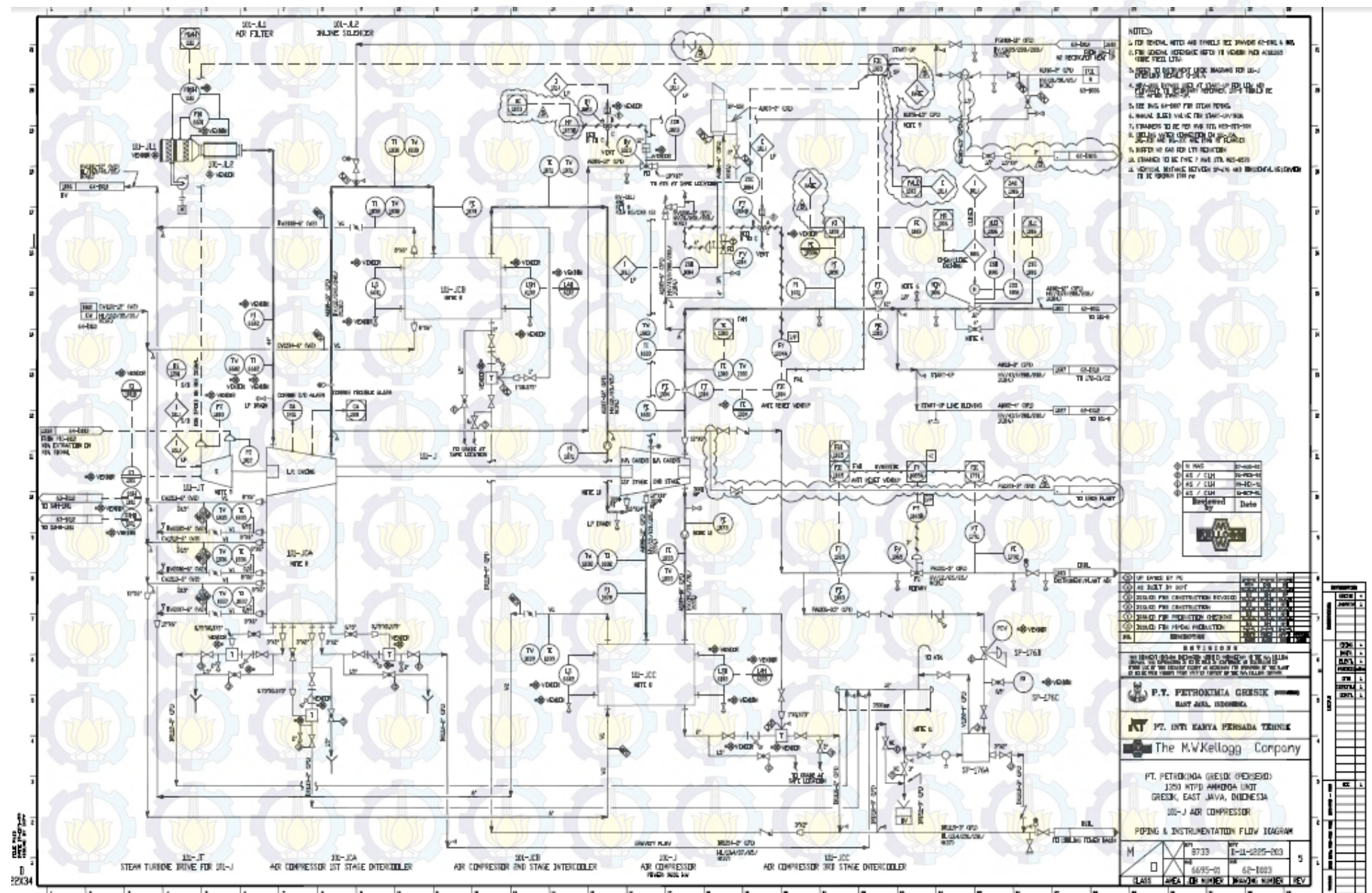
Peter S. Pande, R. P. (2000). *The Six Sigma Way:How GE, Motorola, And Other Top Components Are Honing Their Performance*. New York: McGraw-Hill.

Priyatna, D. (2000). *Keandalan dan Perawatan*.

Sudarta. (2008). Evaluasi Reliability Pada Sistem Crusher Untuk Memperbaiki Kinerja Maintenance Di PT. Semen Gresik.

Sunyoto, d. (2008). *Teknik Mesin Industri, Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Lampiran A
P and ID (Piping and Instrumentasi Diagram) Air Compressor 101J



- NOTES:**
- FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.
 - FOR TRENCH, NOTES ARE SHOWN IN THE DRAWING AND SHALL BE IN ACCORDANCE WITH THE DESIGN AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS.

PI	Pressure	Pressure
TI	Temperature	Temperature
LI	Level	Level
SI	Switch	Switch
CV	Control Valve	Control Valve
TV	Temperature Valve	Temperature Valve
LV	Level Valve	Level Valve
DI	Display	Display
AI	Alarm	Alarm
SI	Signal	Signal
DI	Display	Display
AI	Alarm	Alarm

PI	Pressure	Pressure
TI	Temperature	Temperature
LI	Level	Level
SI	Switch	Switch
CV	Control Valve	Control Valve
TV	Temperature Valve	Temperature Valve
LV	Level Valve	Level Valve
DI	Display	Display
AI	Alarm	Alarm
SI	Signal	Signal
DI	Display	Display
AI	Alarm	Alarm

P.T. PETROKIMIA GRESIK
BANGUNAN, GRESIK, INDONESIA

PT. INTI KARYA PERSADA TRINIK
The M/K Kellogg Company

PT. PETROKIMIA GRESIK (PERSERDA)
J250 WTD AMANDA UNIT
GRESIK, EAST JAVA, INDONESIA

J250-J AIR COMPRESSOR
PIPING & INSTRUMENTATION FLOW DIAGRAM

NO.	8733	REV.	E-11-2225-003
DATE	6695-01	NO.	6P-003
CLASS	AREA	DR NUMBER	DRAWING NUMBER

NO.	8733	REV.	E-11-2225-003
DATE	6695-01	NO.	6P-003
CLASS	AREA	DR NUMBER	DRAWING NUMBER

Lampiran B

Data Sheet Pada Air Compressor 101 J Pabrik Ammonia PT. Petrokimia Gresik

40-1101 28-87



CENTRIFUGAL COMPRESSOR DATA SHEET

JOB NO. 6696 PAGE 1 OF 2
 CLIENT P.T. PETROKIMIA
 LOCATION GRESIK, INDONESIA
 UNIT 1350 ENTER AMMONIA
 ITEM NO. 811
 SERVICE AIR COMPRESSOR
 REGISTRATION NO. 22425011-2118-01

REVISION	NUMBER	1		2		3		4	
		BY	DATE	BY	DATE	BY	DATE	BY	DATE
	0101H								
	CHECK								
	APPROV.								

1 SERIAL NO. _____ NO. REQUIRED ONE (1)

2 MANUFACTURER ROBE STEEL LTD. • MODEL VC905 + VS407 DRIVER STEAM TURBINE

3 NOTE: INFORMATION TO BE COMPLETED: BY PURCHASER BY MANUFACTURER.

4 OPERATING CONDITIONS

5 (ALL DATA ON PER LIST SAME)

SECTIONAL PERFORMANCE	NORMAL		SECTIONAL PERFORMANCE	
	ANZ	EXTR.	EXTR.	EXTR.
6 BAROMETRIC PRESSURE <u>1.0335 kg/m²</u>			(SEE SKETCH PAGE 4)	
7 GAS HANDLED (ALSO SEE PAGE 3)				
8 DENSITY (KG/M ³) @ 0 °C				
9 WEIGHT FLOW (KG/HR) (WET) (DRY)	<u>1136.7</u>	<u>1136.7</u>	<u>28.2</u>	<u>1026.2</u>
10 INLET CONDITIONS				
11 PRESSURE (KG/CM ²)	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>10.5</u>	<u>10.5</u>
12 TEMPERATURE (°C)	<u>33.0</u>	<u>33.0</u>	<u>38.5</u>	<u>38.5</u>
13 RELATIVE HUMIDITY (%)	<u>70</u>	<u>70</u>		
14 MOLECULAR WEIGHT (MW)	<u>28.87</u>	<u>28.87</u>	<u>28.90</u>	<u>28.90</u>
15 Cp (KCAL / GR DEGREE)	<u>1.401</u>	<u>1.401</u>	<u>1.403</u>	<u>1.403</u>
16 COMPRESSIBILITY (Z) (DRY)	<u>1.0</u>	<u>1.0</u>	<u>0.996</u>	<u>0.996</u>
17 INLET VOLUME (M ³ /HR WET)	<u>62475</u>	<u>62495</u>	<u>5569</u>	<u>5233</u>
18 DISCHARGE CONDITIONS				
19 PRESSURE (KG/CM ²)	<u>38.7</u>	<u>10.57</u>	<u>16.36</u>	<u>38.90</u>
20 TEMPERATURE (°C)	<u>183.5</u>	<u>131</u>	<u>94</u>	<u>183.5</u>
21 Cp (KCAL / GR DEGREE)	<u>1.372</u>	<u>1.372</u>	<u>1.372</u>	<u>1.372</u>
22 COMPRESSIBILITY (Z) (DRY)	<u>1.012</u>	<u>1.001</u>	<u>1.0</u>	<u>1.012</u>
23 BHP REQUIRED (ALL LOSSES INCL.)	<u>8730 (NET)</u>			
24 SPEED (RPM)	<u>7230</u>			
25 ESTIMATED SURGE, M/IN (AT SPEED ABOVE)				
26 POLYTROPIC HEAD (M)		<u>24530</u>	<u>4412</u>	<u>9862</u>
27 POLYTROPIC EFF. ENERGY (%)		<u>84.4</u>	<u>98.09</u>	<u>98.7</u>
28 GUARANTEES POINT	<u>YES</u>			
29 PERFORMANCE CURVE NO.	<u>24157.452</u>			
30 PROCESS CONTROL:				
31 METHOD: <input type="checkbox"/> BYPASS FROM _____ TO _____				
32 <input type="checkbox"/> ANTISURGE BYPASS: <input type="checkbox"/> MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> AUTOMATIC (SLOW OFF)				
33 <input type="checkbox"/> SECTION THROTTLING FROM _____ TO _____				
34 SPEED VARIATION FROM _____ TO _____	<u>85 %</u>		<u>105 %</u>	
35 SIGNAL: <input type="checkbox"/> OTHER _____				
36 SOURCE <u>PROCESSES</u>				
37 TYPE <u>ELECTRONIC</u>				
38 RANGE: FOR PNEUMATIC CONTROL _____ KG/CM ² _____ RPM @ _____ NO/NO				
39 OTHER <u>0.2 % FROM 2000, 100 % FROM 2000</u>				
40 SERVICE: <input checked="" type="checkbox"/> CONTINUOUS <input type="checkbox"/> INTERMITTENT <input type="checkbox"/> STAND BY				
41 REMARKS: <u>(1) GUARANTEED BHP WITH NO POSITIVE TOLERANCE.</u>				

V3



CENTRIFUGAL COMPRESSOR DATA SHEET

REVISIONS	NUMOCR	0		1		2		3		4	
		BY	DATE	BY	DATE	BY	DATE	BY	DATE	BY	DATE
	DRIS A	WV	12/21/96	WV	12/21/96						
	CHECK										
	APPROV'D	WV	12/21/96	WV	12/21/96						

JOB NO. 0695
 ITEM NO. 101-5
 PAGE 2 OF 33

OPERATING CONDITIONS, CONT'D

1	GAS ANALYSIS:	NORMAL	RATE:	OTHER CONDITIONS				REMARKS
				A	B	C	D	
2	<input type="checkbox"/> MCL % <input type="checkbox"/> O							
3								
4	AIR	28.969	96.5					
5	OXYGEN	32.000						
6	NITROGEN	28.016						
7	WATER VAPOR	8.016	3.5					
8	CARBON MONOXIDE	28.010						
9	CARBON DIOXIDE	44.010						
10	HYDROGEN SULFIDE	34.078						
11	HYDROGEN	2.016						
12	METHANE	16.042						
13	ETHYLENE	28.052						
14	ETHANE	30.068						
15	PROPYLENE	42.078						
16	PROPANE	44.084						
17	i-BUTANE	58.120						
18	n-BUTANE	58.120						
19	i-PENTANE	72.146						
20	n-PENTANE	72.146						
21	HEXANE PLUS							
22								
23								
24	TOTAL		100					
25	AVG. MOL. WT.		28.57					

26 LOCATION:

27 INDOOR HEATED UNDER ROOF

28 OUTDOOR UNHEATED PARTIAL SIDES

29 GARAGE MEZZANINE

30 ELECTRICAL AREA CLASS I OR D DIV. 2

31 WINTERIZATION RECD. TROPICALIZATION RECD.

32 SITE DATA:

33 ELEVATION 0 M BAROMETER 103 KG/CMFA

34 RANGE OF AMBIENT TEMPS:

35 DRY BULB _____ WET BULB _____

36 SITE RATED *C _____

37 NORMAL *C _____

38 MAXIMUM *C 36

39 MINIMUM *C 15

40 UNUSUAL CONDITIONS: DUST FUMES

41 OTHER HUMID, CHEMICAL PLANT

42 ENVIRONMENT

43 _____

44 _____

45 _____

46 _____

47 REMARKS:

48 _____

49 _____

50 _____

NOISE SPECIFICATIONS:

APPLICABLE TO MACHINE:
 SEE SPECIFICATION SEE NOISE DATA SHEET

APPLICABLE TO NEIGHBORHOOD:
 SEE SPECIFICATION _____

ACOUSTIC HOUSING: YES NO

APPLICABLE SPECIFICATIONS:

API 617, CENTRIFUGAL COMP. FOR GEN. REFINERY SERVICES
MWR J21-1E-B9

PAINTING:

MANUFACTURER'S STD.

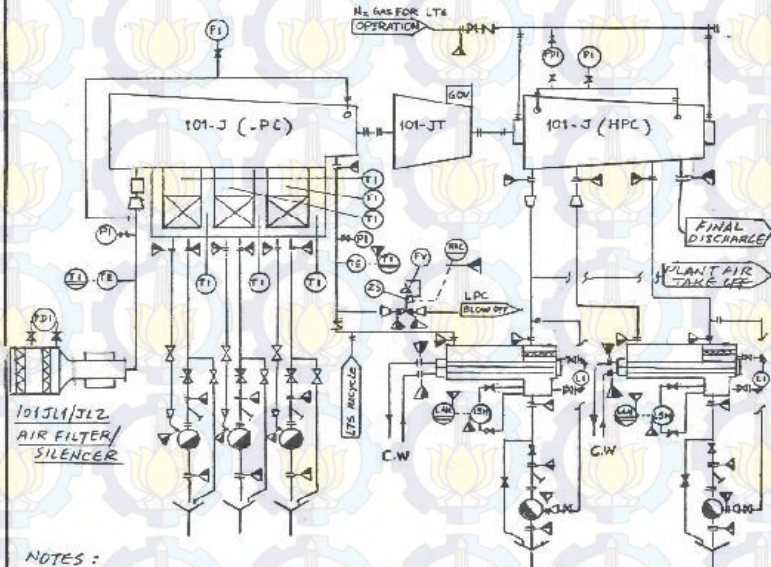
OTHERS _____

SHIPMENT:

DOMESTIC EXPORT EXPORT BOXING REQD.

OUTDOOR STORAGE MORE THAN 5 MONTHS

PROCESS AIR COMPRESSOR : 101 J / JT



NOTES :

- 1) SCOPE OF SUPPLY INDICATED AS : ▲ SUPPLIER
BY PURCHASER
- 2) EQUIPMENT TAG NOS. AS FOLLOWS : 101 J : AIR COMPRESSOR (L.P./H.P.)
: 101JL1/JL2 : FILTER/SILENCER
: 101JCA : INTEGRAL COOLERS IN L.P. CASE
: 101JCB : INTERCASE COOLER
: 101JCC : H.P. CASE INTERCOOLER
- 3) LUBE OIL RUN-DOWN TANK FOR 101J/JT (NOT SHOWN HERE) IS INCLUDED IN KOBE SCOPE OF SUPPLY.

REV	7				/M KELLOGG	Managing Office	Engineering Office
	6					HOC	HOC
	5						
	4					EQUIPMENT DATA SHEET	
	3				CLIENT	PETROKIMIA GRESIK	
	2				LOCATION	GRESIK, INDONESIA JOB NO. 6695	
	1				ITEM	AIR COMPRESSOR	
	0	25 FEB 91	NJ	HDO	ITEM NO.	101 J	SPEC NO.
SI	NO.	DATE	ENGINEER	CHECKED	APPROVED	REQ'N. NO. 6695-01D1-J210-01	PAGE 3 OF 33



CENTRIFUGAL COMPRESSOR DATA SHEET

REVISIONS	NUMBER	1		2		3		4	
	BY	DATE	BY	DATE	BY	DATE	BY	DATE	
	ORIGIN	MJ	13 MAR 89	KW	24 FEB 91				
	CHECK								
	APPROVD	MJM	13 MAR 89	KW	24 FEB 91				

JOB NO.	6695
ITEM NO.	101-5
PAGE	2 of 3

UTILITIES

1	UTILITY CONDITIONS: 2.0					<input type="checkbox"/> TOTAL UTILITY CONSUMPTION:
2	STEAM	DRIVERS	HEATING			COOLING WATER _____ M ³ /HR
3	INLET MIN	48.2	Kg/cm ² G 350	C	Kg/cm ² G C	STEAM, NORMAL _____ Kg/HR
4	NORM	48.2	Kg/cm ² G 375	C	Kg/cm ² G C	STEAM, MAK _____ Kg/HR
5	MAX	48.4	Kg/cm ² G 400	C	Kg/cm ² G C	INSTRUMENT AIR _____ M ³ /HR
6	EX-HAUST MIN		Kg/cm ² G	C	Kg/cm ² G C	HP (DRIVER) _____ KW
7	NORM	3.5	Kg/cm ² G 227	C	Kg/cm ² G C	HP (AUXILIARIES): _____ KW
8	MAX		Kg/cm ² G	C	Kg/cm ² G C	
9						
10	ELECTRICITY:	40				REMARKS:
11		DRIVERS	HEATING	CONTRD	SHUTDOWN	
12	VOLTAGE	380	380	220	110	
13	HERTZ	50	50	50	50	
14	PHASE	3	3	1	1	
15	COOLING WATER:					
16	TEMP. INLET	32.2	C	MAX. RETURN	45.6	C
17	PRESS NORM	5.0	Kg/cm ² G	DESIGN	10.5	Kg/cm ² G
18	MIN RETURN		Kg/cm ² G	MAX ALLOW AF	0.7	Kg/cm ²
19	WATER SOURCE	COOLING TOWER				
20						
21	INSTRUMENT AIR:					
22	MAX PRESS	7.0	Kg/cm ² G	MIN PRESS	4.2	Kg/cm ² G

Lampiran C

Tabel C-1. Hasil Perhitungan *Reliability* {R(t)}, *Maintainability* {M(t)} dan *Availability* {A(t)} Pada Rotor

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
0	0	1	1	5.317E-183
500	7.21E-05	0.971846	0.994702	0.99990317
1000	8.64E-05	0.933816	0.993647	0.99999971
1500	9.61E-05	0.892069	0.992941	1
2000	0.000104	0.848581	0.992393	1
2500	0.00011	0.804464	0.99194	1
3000	0.000115	0.760443	0.991549	1
3500	0.00012	0.717022	0.991204	1
4000	0.000124	0.674563	0.990894	1
4500	0.000128	0.633328	0.990612	1
5000	0.000132	0.593507	0.990352	1
5500	0.000135	0.555231	0.990111	1
6000	0.000138	0.518589	0.989885	1
6500	0.000141	0.483637	0.989673	1
7000	0.000144	0.4504	0.989473	1
7500	0.000146	0.418883	0.989284	1
8000	0.000149	0.389075	0.989103	1
8500	0.000151	0.360948	0.988931	1
9000	0.000154	0.334464	0.988766	1
9500	0.000156	0.309578	0.988608	1
10000	0.000158	0.286236	0.988455	1
10500	0.00016	0.264381	0.988309	1
11000	0.000162	0.243952	0.988167	1
11500	0.000164	0.224884	0.98803	1
12000	0.000166	0.207114	0.987898	1
12500	0.000167	0.190576	0.98777	1
13000	0.000169	0.175205	0.987645	1
13500	0.000171	0.160937	0.987524	1
14000	0.000172	0.147708	0.987406	1
14500	0.000174	0.135458	0.987291	1
15000	0.000175	0.124126	0.98718	1

Tabel C-1 (Lanjutan)

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
15500	0.000177	0.113655	0.987071	1
16000	0.000178	0.103989	0.986964	1
16500	0.00018	0.095077	0.98686	1
17000	0.000181	0.086866	0.986758	1
17500	0.000183	0.079308	0.986659	1
18000	0.000184	0.072359	0.986561	1
18500	0.000185	0.065975	0.986466	1
19000	0.000187	0.060114	0.986373	1
19500	0.000188	0.054739	0.986281	1
20000	0.000189	0.049813	0.986191	1
20500	0.00019	0.045302	0.986103	1
21000	0.000192	0.041175	0.986016	1
21500	0.000193	0.037402	0.985931	1
22000	0.000194	0.033954	0.985847	1
22500	0.000195	0.030806	0.985765	1
23000	0.000196	0.027934	0.985684	1
23500	0.000197	0.025316	0.985604	1
24000	0.000198	0.022931	0.985526	1
24500	0.0002	0.020759	0.985449	1
25000	0.000201	0.018783	0.985373	1
25500	0.000202	0.016986	0.985298	1
26000	0.000203	0.015353	0.985224	1
26500	0.000204	0.01387	0.985151	1
27000	0.000205	0.012524	0.98508	1
27500	0.000206	0.011303	0.985009	1
28000	0.000207	0.010196	0.984939	1
28500	0.000208	0.009193	0.98487	1
29000	0.000209	0.008284	0.984802	1
29500	0.000209	0.007462	0.984735	1
30000	0.00021	0.006719	0.984669	1

Tabel C-2. Hasil Perhitungan *Reliability* $\{R(t)\}$, *Maintainability* $\{M(t)\}$ dan *Availability* $\{A(t)\}$ Pada *Air Filter*

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
0	0	1	1	0
500	0.000106	0.952793	0.990882	1
1000	0.000113	0.901735	0.990226	1
1500	0.000118	0.850978	0.989838	1
2000	0.000121	0.801523	0.989554	1
2500	0.000124	0.753824	0.989328	1
3000	0.000126	0.708107	0.98914	1
3500	0.000128	0.664482	0.988978	1
4000	0.00013	0.622991	0.988836	1
4500	0.000131	0.58363	0.988709	1
5000	0.000133	0.54637	0.988595	1
5500	0.000134	0.511159	0.98849	1
6000	0.000135	0.477935	0.988394	1
6500	0.000136	0.446627	0.988305	1
7000	0.000137	0.417158	0.988221	1
7500	0.000138	0.389449	0.988143	1
8000	0.000139	0.363418	0.98807	1
8500	0.00014	0.338985	0.988	1
9000	0.00014	0.316068	0.987934	1
9500	0.000141	0.29459	0.987872	1
10000	0.000142	0.274472	0.987812	1
10500	0.000142	0.25564	0.987755	1
11000	0.000143	0.238022	0.9877	1
11500	0.000144	0.221548	0.987648	1
12000	0.000144	0.206152	0.987598	1
12500	0.000145	0.19177	0.987549	1
13000	0.000145	0.178341	0.987502	1
13500	0.000146	0.165808	0.987457	1
14000	0.000147	0.154115	0.987413	1
14500	0.000147	0.14321	0.987371	1
15000	0.000148	0.133044	0.98733	1

Tabel C-2 (Lanjutan)

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
15500	0.000148	0.123571	0.98729	1
16000	0.000148	0.114745	0.987251	1
16500	0.000149	0.106526	0.987214	1
17000	0.000149	0.098874	0.987177	1
17500	0.00015	0.091752	0.987142	1
18000	0.00015	0.085125	0.987107	1
18500	0.000151	0.078961	0.987073	1
19000	0.000151	0.073229	0.98704	1
19500	0.000151	0.0679	0.987008	1
20000	0.000152	0.062947	0.986976	1
20500	0.000152	0.058345	0.986946	1
21000	0.000152	0.054069	0.986916	1
21500	0.000153	0.050098	0.986886	1
22000	0.000153	0.046411	0.986857	1
22500	0.000153	0.042987	0.986829	1
23000	0.000154	0.03981	0.986801	1
23500	0.000154	0.036861	0.986774	1
24000	0.000154	0.034126	0.986747	1
24500	0.000155	0.031588	0.986721	1
25000	0.000155	0.029235	0.986696	1
25500	0.000155	0.027053	0.98667	1
26000	0.000156	0.02503	0.986646	1
26500	0.000156	0.023155	0.986621	1
27000	0.000156	0.021418	0.986597	1
27500	0.000156	0.019808	0.986574	1
28000	0.000157	0.018317	0.986551	1
28500	0.000157	0.016935	0.986528	1
29000	0.000157	0.015656	0.986505	1
29500	0.000157	0.014471	0.986483	1
30000	0.000158	0.013374	0.986462	1

Tabel C-3. Hasil Perhitungan *Reliability* $\{R(t)\}$, *Maintainability* $\{M(t)\}$ dan *Availability* $\{A(t)\}$ Pada *Journal Bearing*.

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
0	0	1	1	0
500	8.92E-06	0.997296	0.999114	1
1000	1.4E-05	0.991551	0.998604	1
1500	1.82E-05	0.983584	0.998185	1
2000	2.19E-05	0.973759	0.997814	1
500	2.53E-05	0.962317	0.997474	1
3000	2.85E-05	0.949449	0.997158	1
3500	3.15E-05	0.93531	0.996861	1
4000	3.43E-05	0.920039	0.996578	1
4500	3.71E-05	0.90376	0.996308	1
5000	3.97E-05	0.886583	0.996048	1
5500	4.22E-05	0.868616	0.995797	1
6000	4.47E-05	0.849955	0.995555	1
6500	4.7E-05	0.830693	0.995319	1
7000	4.93E-05	0.810916	0.99509	1
7500	5.16E-05	0.790706	0.994867	1
8000	5.38E-05	0.77014	0.994648	1
8500	5.6E-05	0.749293	0.994435	1
9000	5.81E-05	0.728233	0.994226	1
9500	6.01E-05	0.707025	0.994022	1
10000	6.22E-05	0.685731	0.993821	1
10500	6.42E-05	0.664409	0.993624	1
11000	6.61E-05	0.643113	0.99343	1
11500	6.81E-05	0.621893	0.993239	1
12000	7E-05	0.600797	0.993052	1
12500	7.18E-05	0.579869	0.992867	1
13000	7.37E-05	0.559148	0.992684	1
13500	7.55E-05	0.538674	0.992505	1
14000	7.73E-05	0.518478	0.992327	1
14500	7.91E-05	0.498594	0.992152	1
15000	8.09E-05	0.479049	0.991979	1

Tabel C-3 (Lanjutan)

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
15500	8.26E-05	0.459868	0.991808	1
16000	8.43E-05	0.441074	0.991639	1
16500	8.6E-05	0.422687	0.991473	1
17000	8.77E-05	0.404725	0.991307	1
17500	8.94E-05	0.387202	0.991144	1
18000	9.1E-05	0.370132	0.990982	1
18500	9.26E-05	0.353525	0.990822	1
19000	9.42E-05	0.337389	0.990664	1
19500	9.58E-05	0.32173	0.990507	1
20000	9.74E-05	0.306555	0.990351	1
20500	9.9E-05	0.291865	0.990197	1
21000	0.000101	0.277661	0.990045	1
21500	0.000102	0.263944	0.989893	1
22000	0.000104	0.250711	0.989743	1
22500	0.000105	0.237961	0.989594	1
23000	0.000107	0.225687	0.989446	1
23500	0.000108	0.213886	0.9893	1
24000	0.00011	0.202552	0.989154	1
24500	0.000111	0.191675	0.98901	1
25000	0.000113	0.18125	0.988867	1
25500	0.000114	0.171267	0.988725	1
26000	0.000115	0.161716	0.988584	1
26500	0.000117	0.152588	0.988444	1
27000	0.000118	0.143872	0.988304	1
27500	0.00012	0.135558	0.988166	1
28000	0.000121	0.127635	0.988029	1
28500	0.000123	0.12009	0.987892	1
29000	0.000124	0.112913	0.987757	1
29500	0.000125	0.106091	0.987622	1
30000	0.000127	0.099612	0.987488	1

Tabel C-4. Hasil Perhitungan *Reliability* $\{R(t)\}$, *Maintainability* $\{M(t)\}$ dan *Availability* $\{A(t)\}$ Pada *Thrust Bearing*

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
0	5.65E-05	1	1	0
500	5.65E-05	0.972154	0.995687	0.996652
1000	5.65E-05	0.945083	0.995681	0.999856
1500	5.65E-05	0.918767	0.995681	0.999989
2000	5.65E-05	0.893183	0.995681	0.999999
2500	5.65E-05	0.868311	0.995681	1
3000	5.65E-05	0.844132	0.995681	1
3500	5.65E-05	0.820627	0.995681	1
4000	5.65E-05	0.797776	0.995681	1
4500	5.65E-05	0.775561	0.995681	1
5000	5.65E-05	0.753964	0.995681	1
5500	5.65E-05	0.73297	0.995681	1
6000	5.65E-05	0.712559	0.995681	1
6500	5.65E-05	0.692718	0.995681	1
7000	5.65E-05	0.673428	0.995681	1
7500	5.65E-05	0.654676	0.995681	1
8000	5.65E-05	0.636446	0.995681	1
8500	5.65E-05	0.618723	0.995681	1
9000	5.65E-05	0.601494	0.995681	1
9500	5.65E-05	0.584745	0.995681	1
10000	5.65E-05	0.568462	0.995681	1
10500	5.65E-05	0.552633	0.995681	1
11000	5.65E-05	0.537244	0.995681	1
11500	5.65E-05	0.522284	0.995681	1
12000	5.65E-05	0.507741	0.995681	1
12500	5.65E-05	0.493602	0.995681	1
13000	5.65E-05	0.479858	0.995681	1
13500	5.65E-05	0.466495	0.995681	1
14000	5.65E-05	0.453505	0.995681	1
14500	5.65E-05	0.440877	0.995681	1
15000	5.65E-05	0.428601	0.995681	1

Tabel C-4 (Lanjutan)

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
15500	5.65E-05	0.416666	0.995681	1
16000	5.65E-05	0.405063	0.995681	1
16500	5.65E-05	0.393784	0.995681	1
17000	5.65E-05	0.382819	0.995681	1
17500	5.65E-05	0.372159	0.995681	1
18000	5.65E-05	0.361796	0.995681	1
18500	5.65E-05	0.351721	0.995681	1
19000	5.65E-05	0.341927	0.995681	1
19500	5.65E-05	0.332406	0.995681	1
20000	5.65E-05	0.32315	0.995681	1
20500	5.65E-05	0.314151	0.995681	1
21000	5.65E-05	0.305403	0.995681	1
21500	5.65E-05	0.296899	0.995681	1
22000	5.65E-05	0.288632	0.995681	1
22500	5.65E-05	0.280594	0.995681	1
23000	5.65E-05	0.272781	0.995681	1
23500	5.65E-05	0.265185	0.995681	1
24000	5.65E-05	0.257801	0.995681	1
24500	5.65E-05	0.250622	0.995681	1
25000	5.65E-05	0.243643	0.995681	1
25500	5.65E-05	0.236859	0.995681	1
26000	5.65E-05	0.230263	0.995681	1
26500	5.65E-05	0.223851	0.995681	1
27000	5.65E-05	0.217618	0.995681	1
27500	5.65E-05	0.211558	0.995681	1
28000	5.65E-05	0.205667	0.995681	1
28500	5.65E-05	0.19994	0.995681	1
29000	5.65E-05	0.194373	0.995681	1
29500	5.65E-05	0.18896	0.995681	1
30000	5.65E-05	0.183698	0.995681	1

Tabel C-5. Hasil Perhitungan *Reliability* $\{R(t)\}$, *Maintainability* $\{M(t)\}$ dan *Availability* $\{A(t)\}$ Pada *Oil Lubricant*.

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
0	1.59E-05	0.870167	1	4.27E-160
500	1.66E-05	0.863136	0.998808	0.999999
1000	1.73E-05	0.85585	0.998754	1
1500	1.81E-05	0.848307	0.998699	1
2000	1.89E-05	0.840506	0.998643	1
2500	1.97E-05	0.832446	0.998585	1
3000	2.05E-05	0.824129	0.998526	1
3500	2.13E-05	0.815556	0.998466	1
4000	2.22E-05	0.806726	0.998403	1
4500	2.31E-05	0.797644	0.99834	1
5000	2.4E-05	0.788311	0.998275	1
5500	2.49E-05	0.778731	0.998209	1
6000	2.59E-05	0.768908	0.998141	1
6500	2.68E-05	0.758845	0.998071	1
7000	2.78E-05	0.74855	0.998001	1
7500	2.88E-05	0.738026	0.997929	1
8000	2.99E-05	0.727281	0.997855	1
8500	3.09E-05	0.716322	0.99778	1
9000	3.2E-05	0.705157	0.997704	1
9500	3.3E-05	0.693793	0.997626	1
10000	3.41E-05	0.682239	0.997547	1
10500	3.53E-05	0.670505	0.997467	1
11000	3.64E-05	0.658601	0.997386	1
11500	3.76E-05	0.646537	0.997303	1
12000	3.87E-05	0.634324	0.997218	1
12500	3.99E-05	0.621973	0.997133	1
13000	4.11E-05	0.609496	0.997046	1
13500	4.24E-05	0.596906	0.996958	1
14000	4.36E-05	0.584214	0.996869	1
14500	4.49E-05	0.571433	0.996779	1
15000	4.62E-05	0.558578	0.996687	1

Tabel C-5 (Lanjutan)

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
15500	4.75E-05	0.54566	0.996595	1
16000	4.88E-05	0.532694	0.996501	1
16500	5.01E-05	0.519693	0.996406	1
17000	5.14E-05	0.506671	0.99631	1
17500	5.28E-05	0.493642	0.996213	1
18000	5.42E-05	0.480619	0.996115	1
18500	5.56E-05	0.467618	0.996016	1
19000	5.7E-05	0.454651	0.995916	1
19500	5.84E-05	0.441732	0.995814	1
20000	5.98E-05	0.428874	0.995712	1
20500	6.13E-05	0.416092	0.995609	1
21000	6.27E-05	0.403398	0.995505	1
21500	6.42E-05	0.390805	0.9954	1
22000	6.57E-05	0.378325	0.995294	1
22500	6.72E-05	0.365971	0.995187	1
23000	6.87E-05	0.353754	0.99508	1
23500	7.02E-05	0.341687	0.994971	1
24000	7.17E-05	0.329778	0.994862	1
24500	7.33E-05	0.31804	0.994752	1
25000	7.48E-05	0.306482	0.994641	1
25500	7.64E-05	0.295114	0.994529	1
26000	7.8E-05	0.283943	0.994417	1
26500	7.96E-05	0.272979	0.994303	1
27000	8.12E-05	0.262229	0.994189	1
27500	8.28E-05	0.2517	0.994075	1
28000	8.44E-05	0.241399	0.993959	1
28500	8.6E-05	0.231331	0.993843	1
29000	8.77E-05	0.221502	0.993727	1
29500	8.93E-05	0.211916	0.993609	1
30000	9.1E-05	0.202577	0.993491	1

Tabel C-6. Hasil Perhitungan *Reliability* $\{R(t)\}$, *Maintainability* $\{M(t)\}$ dan *Availability* $\{A(t)\}$ Pada *Pressure Indicator* (PI)

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
0	1.5E-05	0.918401	1	0
500	1.61E-05	0.911289	0.999073	1
1000	1.73E-05	0.903726	0.999007	1
1500	1.85E-05	0.895699	0.998938	1
2000	1.97E-05	0.887198	0.998866	1
2500	2.1E-05	0.878214	0.998791	1
3000	2.24E-05	0.868738	0.998712	1
3500	2.38E-05	0.858765	0.99863	1
4000	2.53E-05	0.848291	0.998545	1
4500	2.68E-05	0.837312	0.998457	1
5000	2.84E-05	0.82583	0.998365	1
5500	3.01E-05	0.813845	0.998271	1
6000	3.18E-05	0.801363	0.998173	1
6500	3.35E-05	0.788388	0.998072	1
7000	3.54E-05	0.77493	0.997968	1
7500	3.72E-05	0.761	0.99786	1
8000	3.92E-05	0.746612	0.99775	1
8500	4.11E-05	0.731781	0.997636	1
9000	4.32E-05	0.716525	0.99752	1
9500	4.53E-05	0.700866	0.9974	1
10000	4.74E-05	0.684825	0.997278	1
10500	4.96E-05	0.668428	0.997152	1
11000	5.18E-05	0.651702	0.997024	1
11500	5.41E-05	0.634675	0.996893	1
12000	5.64E-05	0.617378	0.996759	1
12500	5.88E-05	0.599845	0.996623	1
13000	6.13E-05	0.582107	0.996483	1
13500	6.37E-05	0.564201	0.996342	1
14000	6.63E-05	0.546162	0.996197	1
14500	6.88E-05	0.528028	0.996051	1
15000	7.15E-05	0.509835	0.995901	1

Tabel C-6 (Lanjutan)

t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
15500	7.41E-05	0.491622	0.99575	1
16000	7.68E-05	0.473426	0.995596	1
16500	7.95E-05	0.455285	0.99544	1
17000	8.23E-05	0.437238	0.995282	1
17500	8.51E-05	0.41932	0.995121	1
18000	8.8E-05	0.401567	0.994959	1
18500	9.09E-05	0.384016	0.994794	1
19000	9.38E-05	0.366699	0.994628	1
19500	9.67E-05	0.34965	0.99446	1
20000	9.97E-05	0.332898	0.994289	1
20500	0.000103	0.316474	0.994118	1
21000	0.000106	0.300404	0.993944	1
21500	0.000109	0.284713	0.993769	1
22000	0.000112	0.269424	0.993592	1
22500	0.000115	0.254558	0.993413	1
23000	0.000118	0.240134	0.993233	1
23500	0.000121	0.226167	0.993052	1
24000	0.000125	0.212671	0.992869	1
24500	0.000128	0.199657	0.992684	1
25000	0.000131	0.187135	0.992499	1
25500	0.000135	0.17511	0.992312	1
26000	0.000138	0.163588	0.992124	1
26500	0.000141	0.152569	0.991934	1
27000	0.000145	0.142054	0.991744	1
27500	0.000148	0.132041	0.991552	1
28000	0.000151	0.122526	0.991359	1
28500	0.000155	0.113503	0.991165	1
29000	0.000158	0.104963	0.99097	1
29500	0.000162	0.096899	0.990775	1
30000	0.000165	0.089299	0.990578	1

Tabel C-7. Hasil Perhitungan *Reliability* $\{R(t)\}$, *Maintainability* $\{M(t)\}$ dan *Availability* $\{A(t)\}$ Pada *Temperature Indicator* (PI)

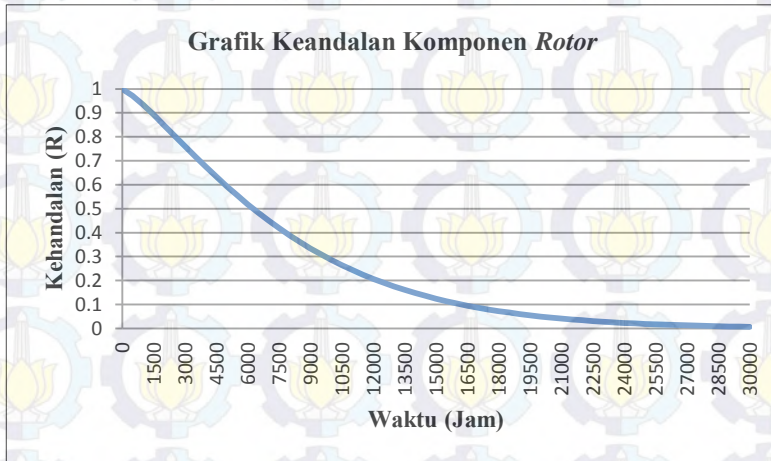
t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
0	0	1	1	0
500	5.81E-07	0.999895	0.999942	1
1000	1.97E-06	0.999286	0.999801	1
1500	4.04E-06	0.997812	0.999593	1
2000	6.71E-06	0.995159	0.999324	1
2500	9.95E-06	0.991047	0.998998	1
3000	1.37E-05	0.985221	0.998619	1
3500	1.8E-05	0.977457	0.998188	1
4000	2.28E-05	0.967554	0.997707	1
4500	2.81E-05	0.955347	0.997179	1
5000	3.38E-05	0.940702	0.996604	1
5500	4E-05	0.923522	0.995985	1
6000	4.66E-05	0.903753	0.995321	1
6500	5.37E-05	0.881379	0.994615	1
7000	6.12E-05	0.856431	0.993867	1
7500	6.91E-05	0.828985	0.993079	1
8000	7.75E-05	0.799161	0.99225	1
8500	8.62E-05	0.767125	0.991383	1
9000	9.54E-05	0.733085	0.990477	1
9500	0.000105	0.697287	0.989533	1
10000	0.000115	0.660012	0.988553	1
10500	0.000125	0.621572	0.987536	1
11000	0.000136	0.582298	0.986484	1
11500	0.000147	0.54254	0.985397	1
12000	0.000158	0.502654	0.984276	1
12500	0.00017	0.462994	0.983121	1
13000	0.000183	0.423907	0.981933	1
13500	0.000195	0.385722	0.980713	1
14000	0.000208	0.348747	0.97946	1
14500	0.000221	0.313255	0.978177	1
15000	0.000235	0.279486	0.976862	1

Tabel C-7 (Lanjutan)

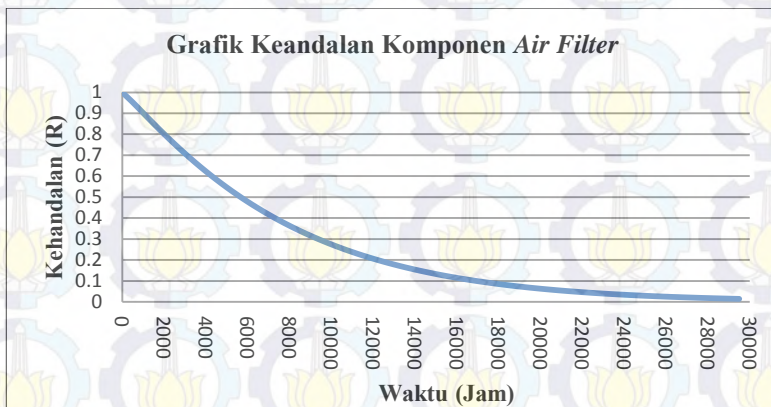
t (jam)	λ (t)	R(t)	A(t)	M(t)
15500	0.000249	0.247641	0.975517	1
16000	0.000263	0.217874	0.974143	1
16500	0.000278	0.190298	0.972739	1
17000	0.000293	0.164981	0.971307	1
17500	0.000308	0.141949	0.969846	1
18000	0.000324	0.121186	0.968357	1
18500	0.00034	0.102641	0.966842	1
19000	0.000357	0.086231	0.965299	1
19500	0.000373	0.071848	0.96373	1
20000	0.00039	0.05936	0.962136	1
20500	0.000408	0.048622	0.960516	1
21000	0.000426	0.039478	0.958871	1
21500	0.000444	0.031769	0.957201	1
22000	0.000462	0.025333	0.955508	1
22500	0.000481	0.020015	0.953791	1
23000	0.0005	0.015665	0.952051	1
23500	0.000519	0.012143	0.950288	1
24000	0.000539	0.009322	0.948503	1
24500	0.000559	0.007086	0.946696	1
25000	0.000579	0.005332	0.944868	1
25500	0.000599	0.003972	0.943019	1
26000	0.00062	0.002928	0.941149	1
26500	0.000642	0.002136	0.939259	1
27000	0.000663	0.001541	0.93735	1
27500	0.000685	0.0011	0.935421	1
28000	0.000707	0.000777	0.933473	1
28500	0.000729	0.000543	0.931506	1
29000	0.000752	0.000375	0.929522	1
29500	0.000775	0.000256	0.92752	1
30000	0.000799	0.000173	0.9255	1

Lampiran D

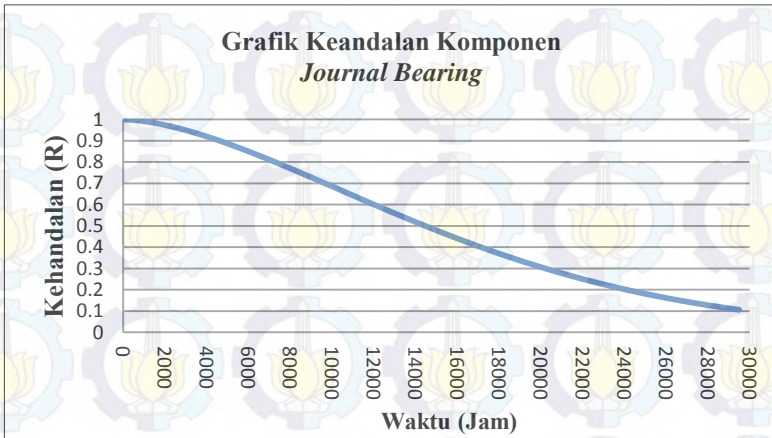
Grafik Keandalan Pada Komponen-komponen *Air Compressor* 101J



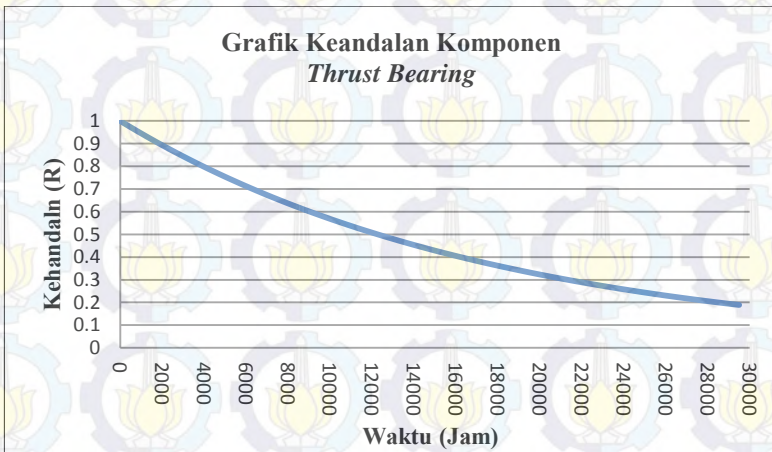
Gambar D-1. Grafik Keandalan Komponen *Rotor*



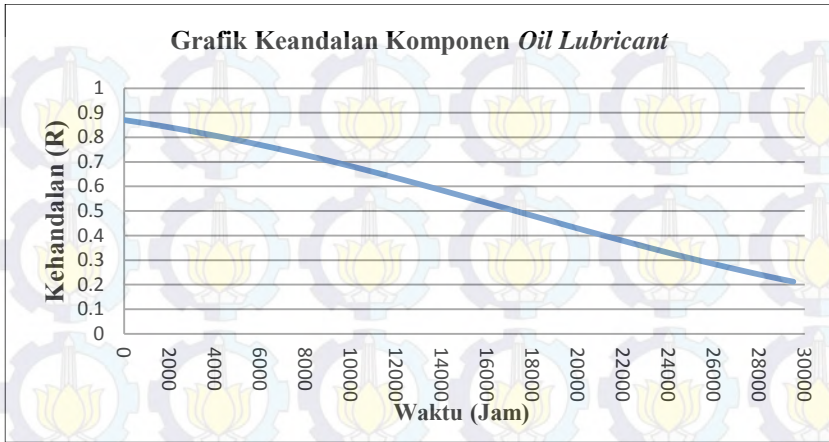
Gambar D-2. Grafik Keandalan Komponen *Air Filter*



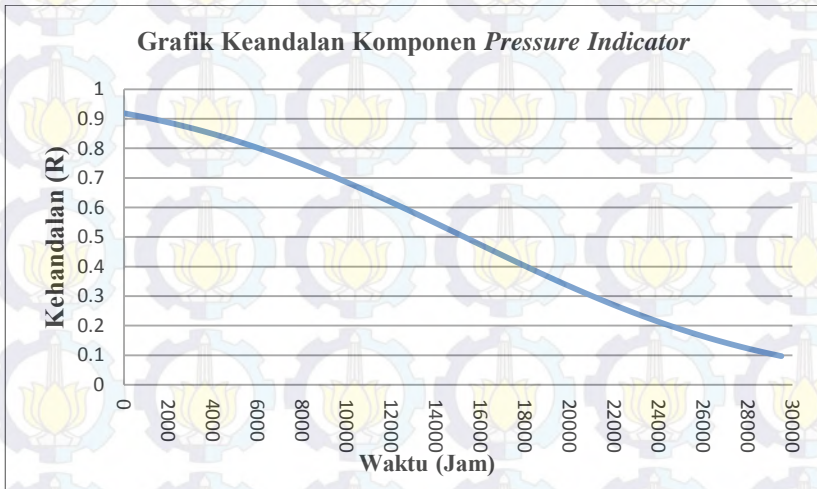
Gambar D-3. Grafik Keandalan Komponen *Journal Bearing*



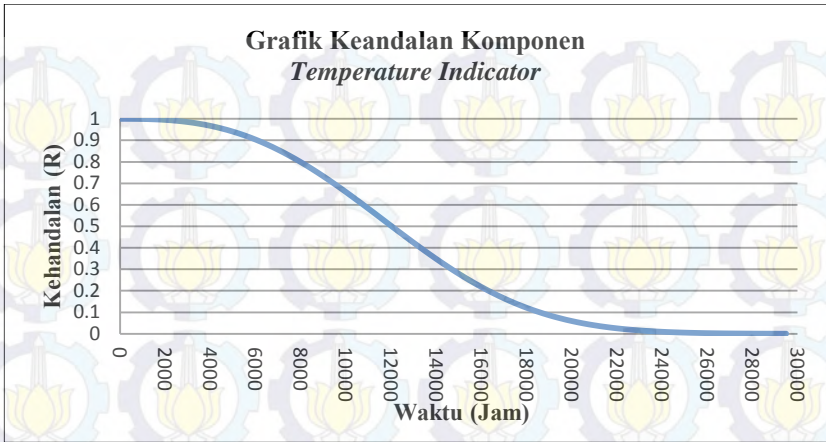
Gambar D-4. Grafik Keandalan Komponen *Thrust Bearing*



Gambar D-5. Grafik Keandalan Komponen *Oil Lubricant*



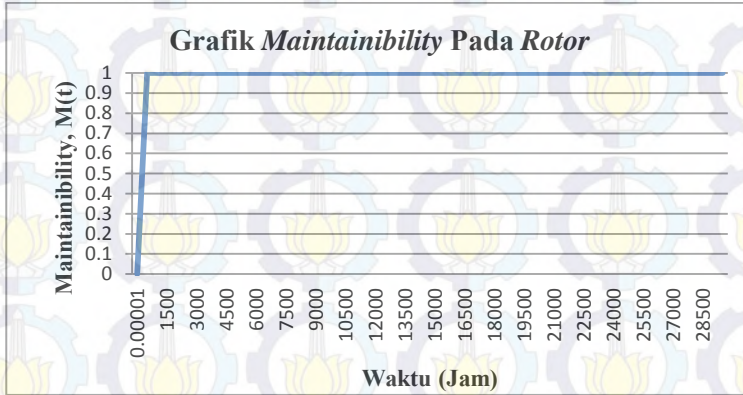
Gambar D-6. Grafik Keandalan Komponen *Pressure Indicator*



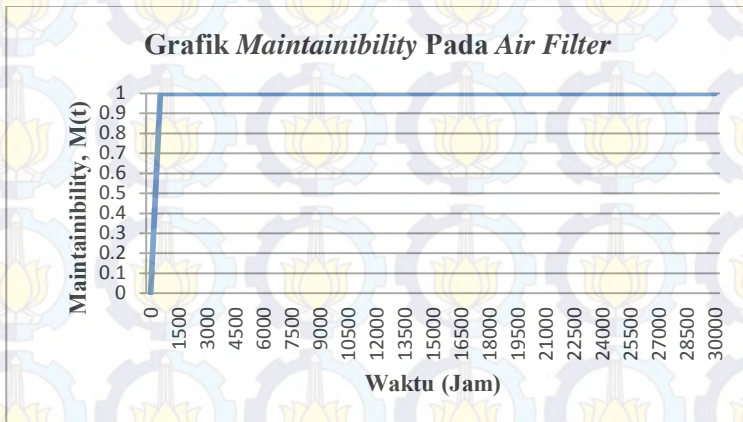
Gambar D-7. Grafik Keandalan Komponen *Temperature Indicator*

Lampiran E

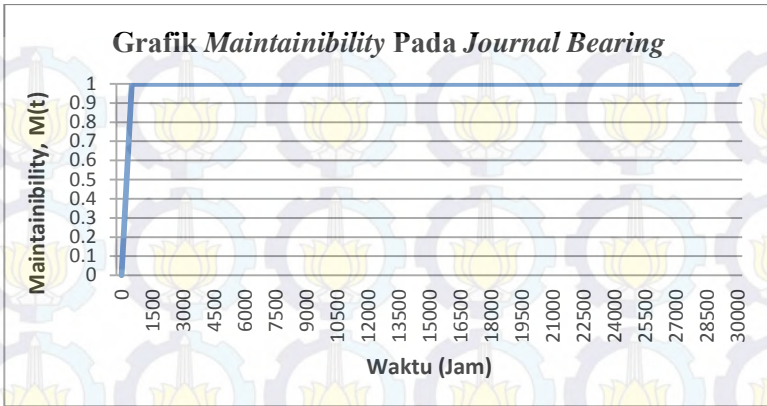
Grafik *Maintainability* Pada Komponen-komponen *Air Compressor 101J*



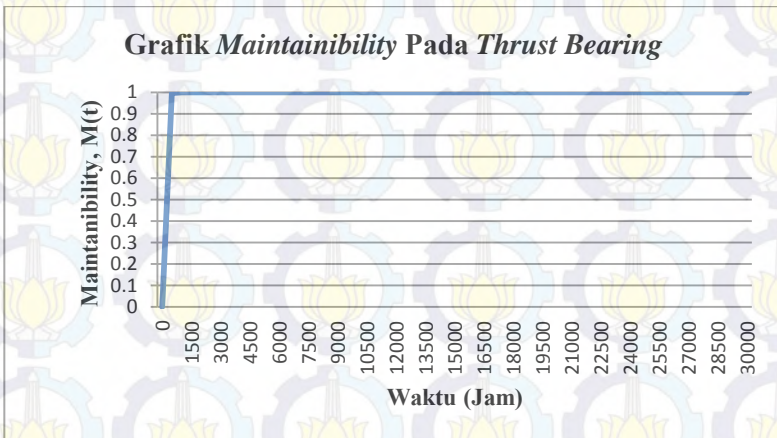
Gambar E-1. Grafik *Maintainability* Pada Rotor



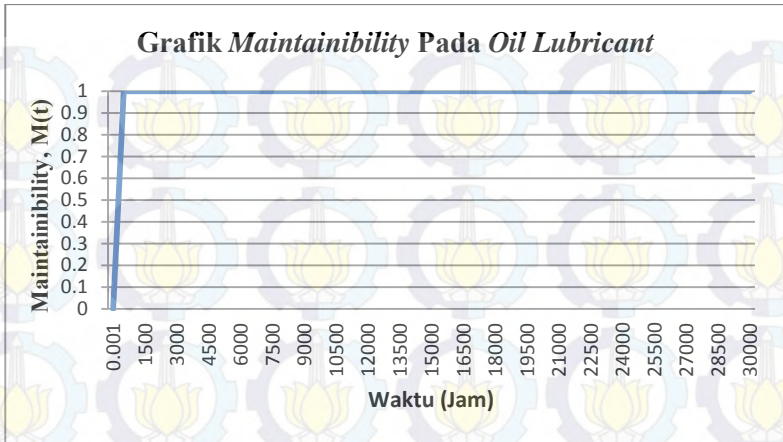
Gambar E-2. Grafik *Maintainability* Pada Air Filter



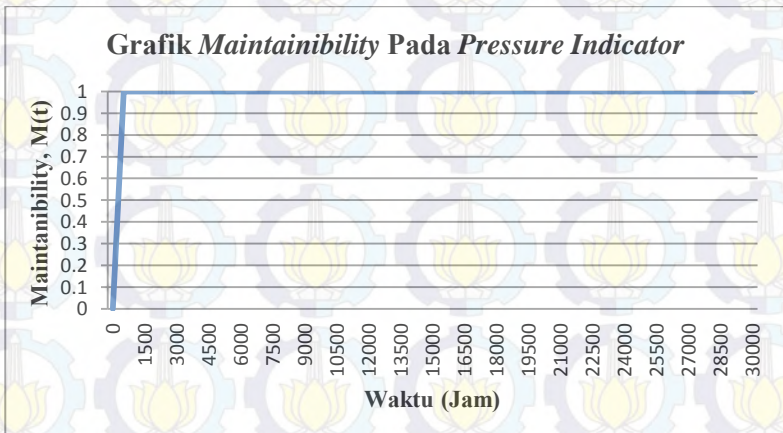
Gambar E-3. Grafik *Maintainability* Pada *Journal Bearing*



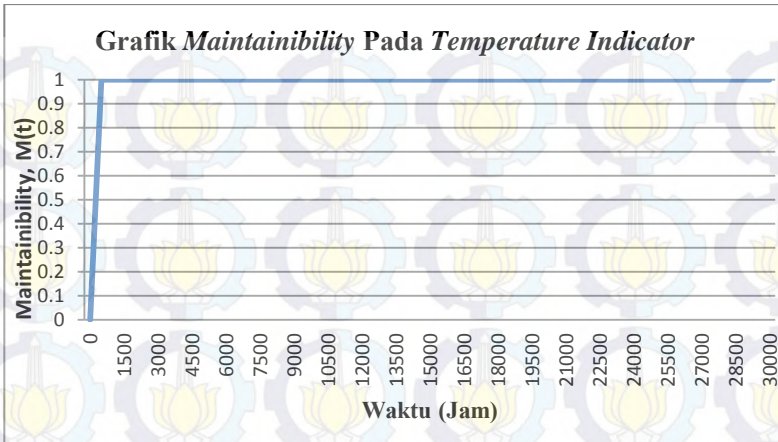
Gambar E-4. Grafik *Maintainability* Pada *Thrust Bearing*



Gambar E-5. Grafik *Maintainability* Pada *Oil Lubricant*



Gambar E-6. Grafik *Maintainability* Pada *Pressure Indicator*



Gambar E-7. Grafik *Maintainability* Pada *Temperature Indicator*

Lampiran F

Hasil Perhitungan *Preventive Maintenance* Tiap tiap Komponen Pada *Air Compressor 101J*

Tabel F-1. *Preventive Maintenance* Pada Rotor

t	$R(t)$ No PM	n	$t-nT$	$R(t-nT)$, PM	$R_m(t)$, <i>Cumulative PM</i>
0	1	0	0	1	1
500	0.971846022	0	500	0.971846022	0.971846022
1000	0.933816248	0	1000	0.933816248	0.933816248
1500	0.892069186	0	1500	0.892069186	0.892069186
2000	0.848581204	0	2000	0.848581204	0.848581204
2500	0.804464149	0	2500	0.804464149	0.804464149
3000	0.760442794	0	3000	0.760442794	0.760442794
3500	0.717021686	1	0	1	0.717022
4000	0.674562814	1	500	0.971846022	0.696834978
4500	0.633328334	1	1000	0.933816248	0.669566794
5000	0.593506843	1	1500	0.892069186	0.639633232
5500	0.555230893	1	2000	0.848581204	0.608451392
6000	0.51858937	1	2500	0.804464149	0.576818493
6500	0.483636659	1	3000	0.760442794	0.545254213
7000	0.450399654	2	0	1	0.514120548
7500	0.418883261	2	500	0.971846022	0.49964601
8000	0.389074817	2	1000	0.933816248	0.480094122
8500	0.360947672	2	1500	0.892069186	0.458631099
9000	0.334464135	2	2000	0.848581204	0.436273034
9500	0.309577914	2	2500	0.804464149	0.413591549
10000	0.286236151	2	3000	0.760442794	0.390959266
10500	0.264381109	3	0	1	0.368635744
11000	0.243951595	3	500	0.971846022	0.358257181

Tabel F-1 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
11500	0.22488414	3	1000	0.933816248	0.344238047
12000	0.207113984	3	1500	0.892069186	0.328848588
12500	0.190575895	3	2000	0.848581204	0.312817364
13000	0.175204844	3	2500	0.804464149	0.29655424
13500	0.160936557	3	3000	0.760442794	0.280326395
14000	0.147707967	4	0	1	0.264319938
14500	0.135457569	4	500	0.971846022	0.256878281
15000	0.124125704	4	1000	0.933816248	0.246826253
15500	0.113654777	4	1500	0.892069186	0.235791672
16000	0.103989416	4	2000	0.848581204	0.224296932
16500	0.095076587	4	2500	0.804464149	0.212635914
17000	0.086865664	4	3000	0.760442794	0.201000192
17500	0.079308472	5	0	1	0.189523211
18000	0.072359293	5	500	0.971846022	0.184187379
18500	0.065974857	5	1000	0.933816248	0.176979854
19000	0.060114304	5	1500	0.892069186	0.169067816
19500	0.05473914	5	2000	0.848581204	0.160825835
20000	0.049813172	5	2500	0.804464149	0.152464628
20500	0.045302439	5	3000	0.760442794	0.14412156
21000	0.04117513	6	0	1	0.135892312
21500	0.037401503	6	500	0.971846022	0.132066403
22000	0.03395379	6	1000	0.933816248	0.126898449
22500	0.030806112	6	1500	0.892069186	0.121225344
23000	0.027934383	6	2000	0.848581204	0.115315662
23500	0.025316216	6	2500	0.804464149	0.109320493
24000	0.022930833	6	3000	0.760442794	0.103338329
24500	0.020758974	7	0	1	0.097437777

Tabel F-1 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
25000	0.018782808	7	500	0.971846022	0.094694516
25500	0.016985845	7	1000	0.933816248	0.090988979
26000	0.015352853	7	1500	0.892069186	0.086921239
26500	0.013869779	7	2000	0.848581204	0.082683866
27000	0.012523669	7	2500	0.804464149	0.078385198
27500	0.011302597	7	3000	0.760442794	0.074095855
28000	0.01019559	8	0	1	0.06986503
28500	0.009192567	8	500	0.971846022	0.067898051
29000	0.00828427	8	1000	0.933816248	0.0652411
29500	0.007462208	8	1500	0.892069186	0.06232444
30000	0.006718599	8	2000	0.848581204	0.059286151

Tabel F-2. Preventive Maintenance Pada Air Filter

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
0	1	0	0	1	1
500	0.952792736	0	500	0.952792736	0.95279274
1000	0.901734723	0	1000	0.901734723	0.90173472
1500	0.850977529	0	1500	0.850977529	0.85097753
2000	0.801522963	0	2000	0.801522963	0.80152296
2500	0.753823542	0	2500	0.753823542	0.75382354
3000	0.708106515	1	0	1	0.708107
3500	0.664481849	1	500	0.952792736	0.67467921
4000	0.622990544	1	1000	0.901734723	0.63852467
4500	0.583630122	1	1500	0.850977529	0.60258315
5000	0.54636959	1	2000	0.801522963	0.56756402
5500	0.511158885	1	2500	0.753823542	0.53378773
6000	0.477935173	2	0	1	0.50141552

Tabel F-2 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
6500	0.446627202	2	500	0.952792736	0.47774507
7000	0.417158407	2	1000	0.901734723	0.45214379
7500	0.389449159	2	1500	0.850977529	0.42669334
8000	0.36341843	2	2000	0.801522963	0.40189606
8500	0.338985019	2	2500	0.753823542	0.37797883
9000	0.316068479	3	0	1	0.35505584
9500	0.294589793	3	500	0.952792736	0.33829463
10000	0.274471884	3	1000	0.901734723	0.32016618
10500	0.255639979	3	1500	0.850977529	0.30214454
11000	0.238021871	3	2000	0.801522963	0.28458541
11500	0.221548092	3	2500	0.753823542	0.26764945
12000	0.206152031	4	0	1	0.25141753
12500	0.191769986	4	500	0.952792736	0.23954879
13000	0.178341187	4	1000	0.901734723	0.22671191
13500	0.165807785	4	1500	0.850977529	0.21395067
14000	0.154114811	4	2000	0.801522963	0.20151692
14500	0.14321012	4	2500	0.753823542	0.18952445
15000	0.133044324	5	0	1	0.17803051
15500	0.123570704	5	500	0.952792736	0.16962618
16000	0.114745124	5	1000	0.901734723	0.16053629
16500	0.106525933	5	1500	0.850977529	0.15149996
17000	0.098873866	5	2000	0.801522963	0.14269554
17500	0.091751944	5	2500	0.753823542	0.13420359
18000	0.08512537	6	0	1	0.12606465
18500	0.078961428	6	500	0.952792736	0.12011348
19000	0.073229381	6	1000	0.901734723	0.11367687
19500	0.067900371	6	1500	0.850977529	0.10727819

Tabel F-2 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
20000	0.062947328	6	2000	0.801522963	0.10104371
20500	0.058344868	6	2500	0.753823542	0.0950305
21000	0.054069205	7	0	1	0.08926726
21500	0.050098066	7	500	0.952792736	0.0850532
22000	0.046410601	7	1000	0.901734723	0.08049539
22500	0.042987304	7	1500	0.850977529	0.07596443
23000	0.039809937	7	2000	0.801522963	0.07154976
23500	0.036861452	7	2500	0.753823542	0.06729176
24000	0.034125923	8	0	1	0.06321077
24500	0.031588478	8	500	0.952792736	0.06022677
25000	0.029235234	8	1000	0.901734723	0.05699935
25500	0.027053236	8	1500	0.850977529	0.05379095
26000	0.0250304	8	2000	0.801522963	0.05066489
26500	0.023155459	8	2500	0.753823542	0.04764977
27000	0.021417912	9	0	1	0.04475999
27500	0.019807972	9	500	0.952792736	0.04264699
28000	0.018316524	9	1000	0.901734723	0.04036164
28500	0.016935078	9	1500	0.850977529	0.03808975
29000	0.015655733	9	2000	0.801522963	0.03587616
29500	0.014471135	9	2500	0.753823542	0.03374113
30000	0.013374439	10	0	1	0.03169486

Tabel F-3. Preventive Maintenance Pada Journal Bearing

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
0	1	0	0	1	1
500	0.997296	0	500	0.997296	0.997296
1000	0.991551	0	1000	0.991551	0.991551

Tabel F-3 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
1500	0.983584	0	1500	0.983584	0.983584
2000	0.973759	0	2000	0.973759	0.973759
2500	0.962317	0	2500	0.962317	0.962317
3000	0.949449	0	3000	0.949449	0.949449
3500	0.93531	0	3500	0.93531	0.93531
4000	0.920039	0	4000	0.920039	0.920039
4500	0.90376	0	4500	0.90376	0.90376
5000	0.886583	0	5000	0.886583	0.886583
5500	0.868616	0	5500	0.868616	0.868616
6000	0.849955	0	6000	0.849955	0.849955
6500	0.830693	0	6500	0.830693	0.830693
7000	0.810916	0	7000	0.810916	0.810916
7500	0.790706	0	7500	0.790706	0.790706
8000	0.77014	0	8000	0.77014	0.77014
8500	0.749293	0	8500	0.749293	0.749293
9000	0.728233	0	9000	0.728233	0.728233
9500	0.707025	1	0	1	0.707025
10000	0.685731	1	500	0.997296	0.705113
10500	0.664409	1	1000	0.991551	0.701051
11000	0.643113	1	1500	0.983584	0.695419
11500	0.621893	1	2000	0.973759	0.688472
12000	0.600797	1	2500	0.962317	0.680382
12500	0.579869	1	3000	0.949449	0.671284
13000	0.559148	1	3500	0.93531	0.661288
13500	0.538674	1	4000	0.920039	0.650491
14000	0.518478	1	4500	0.90376	0.638981
14500	0.498594	1	5000	0.886583	0.626837

Tabel F-3 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
15000	0.479049	1	5500	0.868616	0.614133
15500	0.459868	1	6000	0.849955	0.60094
16000	0.441074	1	6500	0.830693	0.587321
16500	0.422687	1	7000	0.810916	0.573338
17000	0.404725	1	7500	0.790706	0.559049
17500	0.387202	1	8000	0.77014	0.544508
18000	0.370132	1	8500	0.749293	0.529769
18500	0.353525	1	9000	0.728233	0.514879
19000	0.337389	2	0	1	0.499884
19500	0.32173	2	500	0.997296	0.498533
20000	0.306555	2	1000	0.991551	0.495661
20500	0.291865	2	1500	0.983584	0.491678
21000	0.277661	2	2000	0.973759	0.486767
21500	0.263944	2	2500	0.962317	0.481047
22000	0.250711	2	3000	0.949449	0.474615
22500	0.237961	2	3500	0.93531	0.467547
23000	0.225687	2	4000	0.920039	0.459913
23500	0.213886	2	4500	0.90376	0.451775
24000	0.202552	2	5000	0.886583	0.443189
24500	0.191675	2	5500	0.868616	0.434208
25000	0.18125	2	6000	0.849955	0.424879
25500	0.171267	2	6500	0.830693	0.41525
26000	0.161716	2	7000	0.810916	0.405364
26500	0.152588	2	7500	0.790706	0.395261
27000	0.143872	2	8000	0.77014	0.384981
27500	0.135558	2	8500	0.749293	0.37456
28000	0.127635	2	9000	0.728233	0.364032

Tabel F-3 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
28500	0.12009	3	0	1	0.353431
29000	0.112913	3	500	0.997296	0.352475
29500	0.106091	3	1000	0.991551	0.350445
30000	0.099612	3	1500	0.983584	0.347629

Tabel F-4. Preventive Maintenance Pada Thurst Bearing

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
0	1	0	0	1	1
500	0.972154	0	500	0.972154	0.972154
1000	0.945083	0	1000	0.945083	0.945083
1500	0.918767	0	1500	0.918767	0.918767
2000	0.893183	0	2000	0.893183	0.893183
2500	0.868311	0	2500	0.868311	0.868311
3000	0.844132	0	3000	0.844132	0.844132
3500	0.820627	0	3500	0.820627	0.820627
4000	0.797776	0	4000	0.797776	0.797776
4500	0.775561	0	4500	0.775561	0.775561
5000	0.753964	0	5000	0.753964	0.753964
5500	0.73297	0	5500	0.73297	0.73297
6000	0.712559	1	0	1	0.712556
6500	0.692718	1	500	0.972154	0.692714
7000	0.673428	1	1000	0.945083	0.673425
7500	0.654676	1	1500	0.918767	0.654673
8000	0.636446	1	2000	0.893183	0.636443
8500	0.618723	1	2500	0.868311	0.618721
9000	0.601494	1	3000	0.844132	0.601492
9500	0.584745	1	3500	0.820627	0.584743

Tabel F-4 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
10000	0.568462	1	4000	0.797776	0.56846
10500	0.552633	1	4500	0.775561	0.552631
11000	0.537244	1	5000	0.753964	0.537242
11500	0.522284	1	5500	0.73297	0.522282
12000	0.507741	2	0	1	0.507736
12500	0.493602	2	500	0.972154	0.493598
13000	0.479858	2	1000	0.945083	0.479853
13500	0.466495	2	1500	0.918767	0.466491
14000	0.453505	2	2000	0.893183	0.453501
14500	0.440877	2	2500	0.868311	0.440873
15000	0.428601	2	3000	0.844132	0.428597
15500	0.416666	2	3500	0.820627	0.416662
16000	0.405063	2	4000	0.797776	0.40506
16500	0.393784	2	4500	0.775561	0.39378
17000	0.382819	2	5000	0.753964	0.382815
17500	0.372159	2	5500	0.73297	0.372155
18000	0.361796	3	0	1	0.361791
18500	0.351721	3	500	0.972154	0.351716
19000	0.341927	3	1000	0.945083	0.341922
19500	0.332406	3	1500	0.918767	0.332401
20000	0.32315	3	2000	0.893183	0.323145
20500	0.314151	3	2500	0.868311	0.314147
21000	0.305403	3	3000	0.844132	0.305399
21500	0.296899	3	3500	0.820627	0.296895
22000	0.288632	3	4000	0.797776	0.288628
22500	0.280594	3	4500	0.775561	0.280591
23000	0.272781	3	5000	0.753964	0.272777

Tabel F-4 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
23500	0.265185	3	5500	0.73297	0.265181
24000	0.257801	4	0	1	0.257796
24500	0.250622	4	500	0.972154	0.250617
25000	0.243643	4	1000	0.945083	0.243639
25500	0.236859	4	1500	0.918767	0.236854
26000	0.230263	4	2000	0.893183	0.230259
26500	0.223851	4	2500	0.868311	0.223847
27000	0.217618	4	3000	0.844132	0.217614
27500	0.211558	4	3500	0.820627	0.211554
28000	0.205667	4	4000	0.797776	0.205663
28500	0.19994	4	4500	0.775561	0.199936
29000	0.194373	4	5000	0.753964	0.194369
29500	0.18896	4	5500	0.73297	0.188957
30000	0.183698	5	0	1	0.183694

Tabel F-5. Preventive Maintenance Pada Oil Lubricant

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
0	0.870167	0	0	0.870167	0.870167
500	0.863136	0	500	0.863136	0.863136
1000	0.85585	0	1000	0.85585	0.85585
1500	0.848307	0	1500	0.848307	0.848307
2000	0.840506	0	2000	0.840506	0.840506
2500	0.832446	0	2500	0.832446	0.832446
3000	0.824129	0	3000	0.824129	0.824129
3500	0.815556	0	3500	0.815556	0.815556
4000	0.806726	0	4000	0.806726	0.806726
4500	0.797644	0	4500	0.797644	0.797644

Tabel F-5 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
5000	0.788311	0	5000	0.788311	0.788311
5500	0.778731	0	5500	0.778731	0.778731
6000	0.768908	0	6000	0.768908	0.768908
6500	0.758845	0	6500	0.758845	0.758845
7000	0.74855	0	7000	0.74855	0.74855
7500	0.738026	0	7500	0.738026	0.738026
8000	0.727281	0	8000	0.727281	0.727281
8500	0.716322	0	8500	0.716322	0.716322
9000	0.705157	1	0	0.870167	0.613604
9500	0.693793	1	500	0.863136	0.608647
10000	0.682239	1	1000	0.85585	0.603509
10500	0.670505	1	1500	0.848307	0.598189
11000	0.658601	1	2000	0.840506	0.592688
11500	0.646537	1	2500	0.832446	0.587005
12000	0.634324	1	3000	0.824129	0.581141
12500	0.621973	1	3500	0.815556	0.575095
13000	0.609496	1	4000	0.806726	0.568869
13500	0.596906	1	4500	0.797644	0.562464
14000	0.584214	1	5000	0.788311	0.555883
14500	0.571433	1	5500	0.778731	0.549128
15000	0.558578	1	6000	0.768908	0.542201
15500	0.54566	1	6500	0.758845	0.535105
16000	0.532694	1	7000	0.74855	0.527845
16500	0.519693	1	7500	0.738026	0.520424
17000	0.506671	1	8000	0.727281	0.512848
17500	0.493642	1	8500	0.716322	0.50512
18000	0.480619	2	0	0.870167	0.432687

Tabel F-5 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
18500	0.467618	2	500	0.863136	0.429191
19000	0.454651	2	1000	0.85585	0.425568
19500	0.441732	2	1500	0.848307	0.421817
20000	0.428874	2	2000	0.840506	0.417938
20500	0.416092	2	2500	0.832446	0.413931
21000	0.403398	2	3000	0.824129	0.409795
21500	0.390805	2	3500	0.815556	0.405532
22000	0.378325	2	4000	0.806726	0.401142
22500	0.365971	2	4500	0.797644	0.396626
23000	0.353754	2	5000	0.788311	0.391985
23500	0.341687	2	5500	0.778731	0.387221
24000	0.329778	2	6000	0.768908	0.382336
24500	0.31804	2	6500	0.758845	0.377333
25000	0.306482	2	7000	0.74855	0.372214
25500	0.295114	2	7500	0.738026	0.366981
26000	0.283943	2	8000	0.727281	0.361638
26500	0.272979	2	8500	0.716322	0.356189
27000	0.262229	3	0	0.870167	0.305112
27500	0.2517	3	500	0.863136	0.302647
28000	0.241399	3	1000	0.85585	0.300093
28500	0.231331	3	1500	0.848307	0.297448
29000	0.221502	3	2000	0.840506	0.294712
29500	0.211916	3	2500	0.832446	0.291886
30000	0.202577	3	3000	0.824129	0.28897

Tabel F-6. Preventive Maintenance Pada Pressure Indicator

t	$R(t)$ No PM	n	$t-nT$	$R(t-nT)$, PM	$R_m(t)$, Cumulative PM
0	0.918401	0	0	0.918401	0.918401
500	0.911289	0	500	0.911289	0.911289
1000	0.903726	0	1000	0.903726	0.903726
1500	0.895699	0	1500	0.895699	0.895699
2000	0.887198	0	2000	0.887198	0.887198
2500	0.878214	0	2500	0.878214	0.878214
3000	0.868738	0	3000	0.868738	0.868738
3500	0.858765	0	3500	0.858765	0.858765
4000	0.848291	0	4000	0.848291	0.848291
4500	0.837312	0	4500	0.837312	0.837312
5000	0.82583	0	5000	0.82583	0.82583
5500	0.813845	0	5500	0.813845	0.813845
6000	0.801363	0	6000	0.801363	0.801363
6500	0.788388	0	6500	0.788388	0.788388
7000	0.77493	0	7000	0.77493	0.77493
7500	0.761	0	7500	0.761	0.761
8000	0.746612	0	8000	0.746612	0.746612
8500	0.731781	0	8500	0.731781	0.731781
9000	0.716525	0	9000	0.716525	0.716525
9500	0.700866	1	0	0.918401	0.643676
10000	0.684825	1	500	0.911289	0.638691
10500	0.668428	1	1000	0.903726	0.633391
11000	0.651702	1	1500	0.895699	0.627765
11500	0.634675	1	2000	0.887198	0.621807
12000	0.617378	1	2500	0.878214	0.61551
12500	0.599845	1	3000	0.868738	0.608869

Tabel F-6 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
13000	0.582107	1	3500	0.858765	0.601879
13500	0.564201	1	4000	0.848291	0.594538
14000	0.546162	1	4500	0.837312	0.586844
14500	0.528028	1	5000	0.82583	0.578796
15000	0.509835	1	5500	0.813845	0.570397
15500	0.491622	1	6000	0.801363	0.561648
16000	0.473426	1	6500	0.788388	0.552554
16500	0.455285	1	7000	0.77493	0.543122
17000	0.437238	1	7500	0.761	0.533359
17500	0.41932	1	8000	0.746612	0.523275
18000	0.401567	1	8500	0.731781	0.51288
18500	0.384016	1	9000	0.716525	0.502188
19000	0.366699	2	0	0.918401	0.45113
19500	0.34965	2	500	0.911289	0.447637
20000	0.332898	2	1000	0.903726	0.443922
20500	0.316474	2	1500	0.895699	0.439979
21000	0.300404	2	2000	0.887198	0.435803
21500	0.284713	2	2500	0.878214	0.43139
22000	0.269424	2	3000	0.868738	0.426736
22500	0.254558	2	3500	0.858765	0.421837
23000	0.240134	2	4000	0.848291	0.416692
23500	0.226167	2	4500	0.837312	0.411299
24000	0.212671	2	5000	0.82583	0.405659
24500	0.199657	2	5500	0.813845	0.399772
25000	0.187135	2	6000	0.801363	0.39364
25500	0.17511	2	6500	0.788388	0.387266
26000	0.163588	2	7000	0.77493	0.380656

Tabel F-6 (Lanjutan)

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
26500	0.152569	2	7500	0.761	0.373813
27000	0.142054	2	8000	0.746612	0.366746
27500	0.132041	2	8500	0.731781	0.35946
28000	0.122526	2	9000	0.716525	0.351967
28500	0.113503	3	0	0.918401	0.316182
29000	0.104963	3	500	0.911289	0.313734
29500	0.096899	3	1000	0.903726	0.31113
30000	0.089299	3	1500	0.895699	0.308366

Tabel F-7. Preventive Maintenance Pada Temperature Indicator

t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
0	1	0	0	1	1
500	0.999895	0	500	0.999895	0.999895
1000	0.999286	0	1000	0.999286	0.999286
1500	0.997812	0	1500	0.997812	0.997812
2000	0.995159	0	2000	0.995159	0.995159
2500	0.991047	0	2500	0.991047	0.991047
3000	0.985221	0	3000	0.985221	0.985221
3500	0.977457	0	3500	0.977457	0.977457
4000	0.967554	0	4000	0.967554	0.967554
4500	0.955347	0	4500	0.955347	0.955347
5000	0.940702	0	5000	0.940702	0.940702
5500	0.923522	0	5500	0.923522	0.923522
6000	0.903753	0	6000	0.903753	0.903753
6500	0.881379	0	6500	0.881379	0.881379
7000	0.856431	0	7000	0.856431	0.856431
7500	0.828985	0	7500	0.828985	0.828985

Tabel F-7 (Lanjutan)

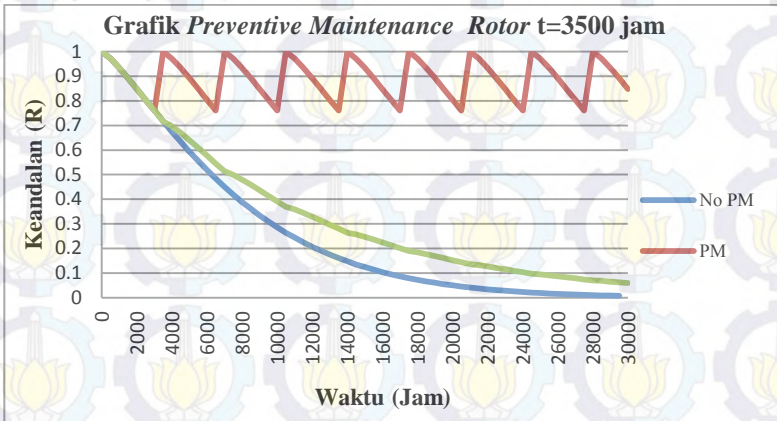
t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
8000	0.799161	0	8000	0.799161	0.799161
8500	0.767125	0	8500	0.767125	0.767125
9000	0.733085	1	0	1	0.733085
9500	0.697287	1	500	0.999895	0.733008
10000	0.660012	1	1000	0.999286	0.732562
10500	0.621572	1	1500	0.997812	0.731481
11000	0.582298	1	2000	0.995159	0.729536
11500	0.54254	1	2500	0.991047	0.726522
12000	0.502654	1	3000	0.985221	0.722251
12500	0.462994	1	3500	0.977457	0.716559
13000	0.423907	1	4000	0.967554	0.709299
13500	0.385722	1	4500	0.955347	0.70035
14000	0.348747	1	5000	0.940702	0.689614
14500	0.313255	1	5500	0.923522	0.67702
15000	0.279486	1	6000	0.903753	0.662528
15500	0.247641	1	6500	0.881379	0.646126
16000	0.217874	1	7000	0.856431	0.627837
16500	0.190298	1	7500	0.828985	0.607716
17000	0.164981	1	8000	0.799161	0.585853
17500	0.141949	1	8500	0.767125	0.562368
18000	0.121186	2	0	1	0.537414
18500	0.102641	2	500	0.999895	0.537357
19000	0.086231	2	1000	0.999286	0.53703
19500	0.071848	2	1500	0.997812	0.536238
20000	0.05936	2	2000	0.995159	0.534812
20500	0.048622	2	2500	0.991047	0.532602
21000	0.039478	2	3000	0.985221	0.529471

Tabel F-7 (Lanjutan)

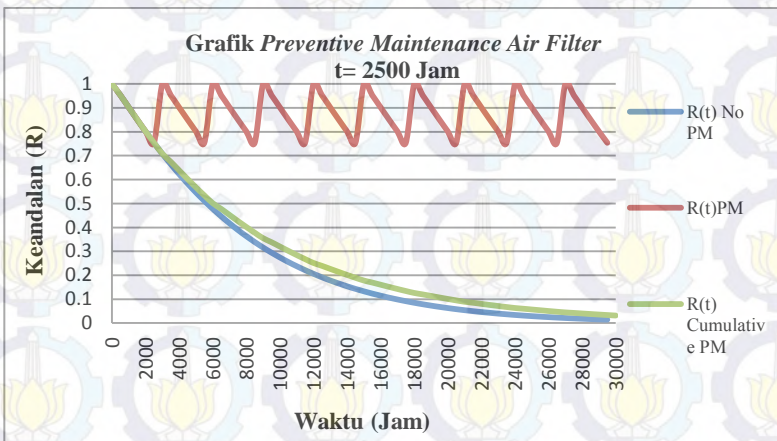
t	R(t) No PM	n	t-nT	R(t-nT), PM	Rm(t), Cumulative PM
21500	0.031769	2	3500	0.977457	0.525298
22000	0.025333	2	4000	0.967554	0.519977
22500	0.020015	2	4500	0.955347	0.513416
23000	0.015665	2	5000	0.940702	0.505546
23500	0.012143	2	5500	0.923522	0.496313
24000	0.009322	2	6000	0.903753	0.485689
24500	0.007086	2	6500	0.881379	0.473665
25000	0.005332	2	7000	0.856431	0.460258
25500	0.003972	2	7500	0.828985	0.445508
26000	0.002928	2	8000	0.799161	0.42948
26500	0.002136	2	8500	0.767125	0.412264
27000	0.001541	3	0	1	0.39397
27500	0.0011	3	500	0.999895	0.393928
28000	0.000777	3	1000	0.999286	0.393689
28500	0.000543	3	1500	0.997812	0.393108
29000	0.000375	3	2000	0.995159	0.392063
29500	0.000256	3	2500	0.991047	0.390443
30000	0.000173	3	3000	0.985221	0.388148

Lampiran G

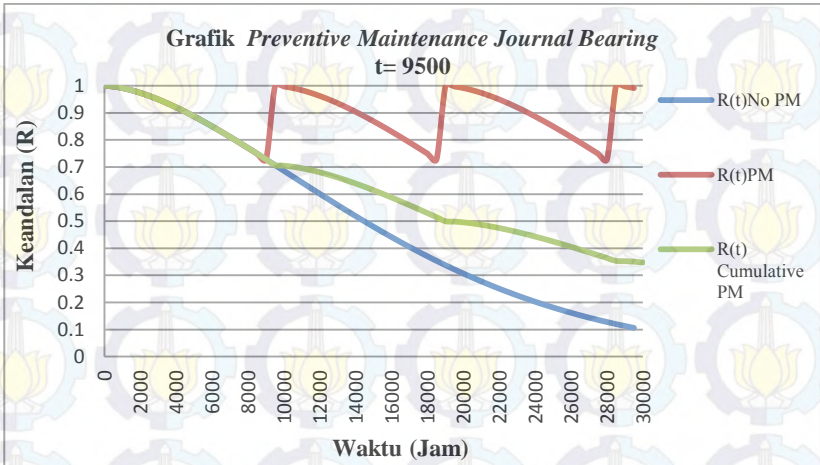
Grafik *Preventive Maintenance* Pada Komponen-komponen *Air Compressor 101J*



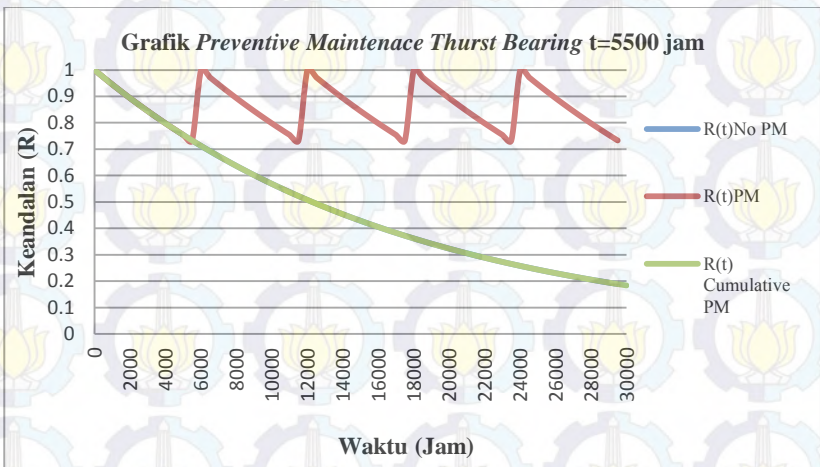
Gambar G-1. *Preventive Maintenance* Pada Rotor



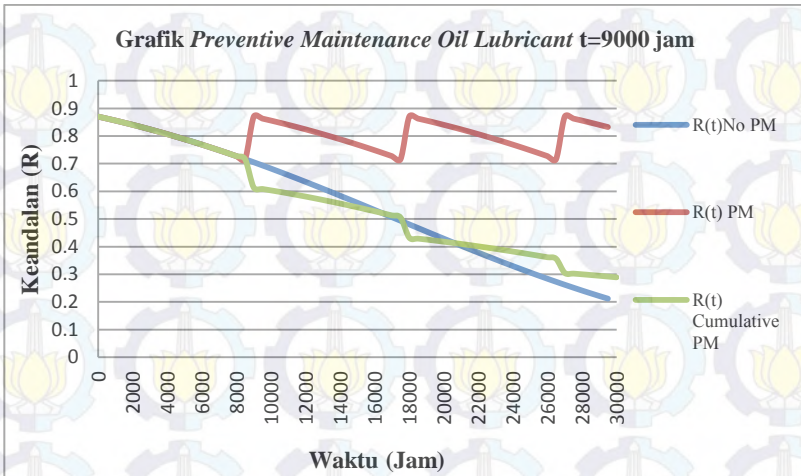
Gambar G-2. Preventive Maintenance Pada Air Filter



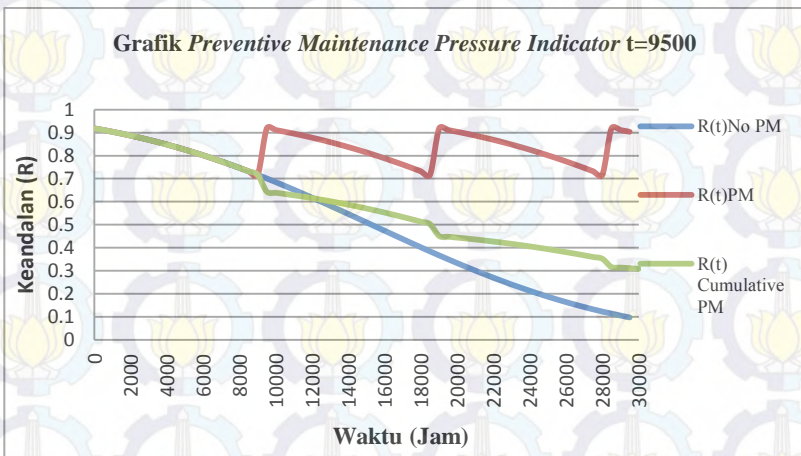
Gambar G-3. Preventive Maintenance Pada Journal Bearing



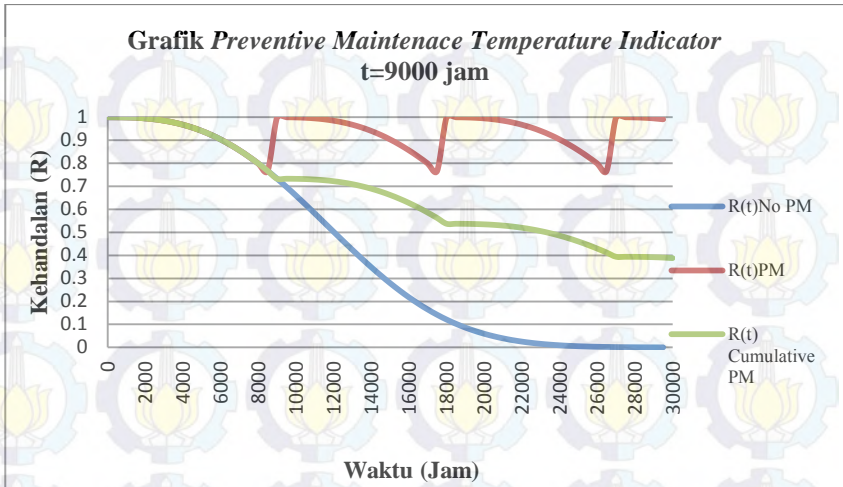
Gambar G-4. Preventive Maintenance Pada Thurst Bearing



Gambar G-5. Preventive Maintenance Pada Oil Lubricant



Gambar G-6. Preventive Maintenance Pada Pressure Indicator



Gambar G-7. Preventive Maintenance Temperature Indicator

Lampiran H

Tabel H. FMEA (*Failure Mode And Effects Analysis*)

Nama Komponen	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Dampak Kegagalan	Severity	Probability	Critical Rank	Analisis dan Tindakan Korektif
				S	P	C	
Rotor	1. Rotor tidak <i>Balance</i>	1. <i>Impeller-impeller</i> yang terpasang di shaft tidak/kurang pas	Kecepatan dan aliran gas tidak stabil	4	3	4	1. <i>Check</i> ketika beroperasi
		2. Oli tidak mengalir/terendap					2. <i>Lubrication</i>
Rotor	2. Rotor Kotor	Material saringan tidak sesuai spesifikasi	1. Vibrasi meningkat	3	2	3	Pembersihan <i>Impeller</i> dan permukaan penghubung diaphragma
			2. Tekanan pada gaya sentrifugal di <i>impeller</i> berkurang				
Air Filter	Saringan kotor dan berkarat	1. Banyak pertikel-partikel pertikel udara dari inlet	1. Rotor aus	2	3	3	Pembersihan internal
		2. Kualitas udar buruk	2. Aliran udara terhalangi				check ketika beroperasi
Thrust Bearing	1. Goresan (<i>schufed</i>)	Pelumasan kurang	Perputaran rotor terhambat	2	2	2	1. <i>Lubrication</i>
	2. <i>Corosi</i>	Udara <i>corrosive</i>	kecepatan gas terhambat	2	2	2	2. <i>Cleanned</i>
Journal Bearing	1. <i>Misalignment</i>	Lintasan ball pada raceway outer-ring tidak sejajar	Temperatur di <i>ball/race</i> melebihi normal	4	2	1	1. <i>Maintenance</i>
			Keausan berlebih				2. Check ketika beroperasi
Oil Lubricant	1. Kebocoran	Celah <i>seal</i> pentup rusak/rapuh	Kerja <i>thrust bearing</i> dan <i>journal bearing</i> kurang maksimal	3	2	2	<i>Maintenance</i>
	2. <i>Overheating</i>	Tekanan saat beroperasi tinggi	sifat lubrikasi hilang	4	2	1	<i>Maintenance</i>
Pressure Indicator	1. <i>Setting</i> tekanan tidak stabil	1. Rentang mur pengunci terlalu longgar	Tekanan maksimum <i>compressor</i> tidak terbaca	1	2	1	1. Check ketika beroperasi
		2. Baut tidak cocok					2. <i>Maintenance</i>
Temperature Indicator	2. Pembacaan <i>error</i>	<i>Over heating</i>	Tekanan tidak dapat terdeteksi	3	2	2	1. Kalibrasi dan Profil test
				2. <i>Maintenance</i>			
Temperature Indicator	1. <i>Setting</i> temperatur tidak stabil	1. Rentang mur pengunci terlalu longgar	Tekanan pada maksimum kerja <i>compressor</i> tidak terbaca	2	2	1	Check ketika beroperasi
		2. Mur/baut tidak cocok pada <i>design</i>					
Temperature Indicator	2. Pembacaan <i>error</i>	<i>Over heating</i>	Tekanan tidak dapat terdeteksi	3	2	2	1. Kalibrasi dan Profil test
				2. <i>Maintenance</i>			

Lampiran I

Legalitas Data Sistem *Air Compressor 101J*



PT. PETROKIMIA GRESIK

Berdasarkan data lapangan dan hasil diskusi di bagian Departemen Pemeliharaan Pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik untuk penyelesaian Tugas Akhir:

Nama : Shinta Kusumawardhani
NRP : 2412.106.010
Fak./Jurusan : Teknologi Industri/ S1-Teknik Fisika
Judul Tugas Akhir : Evaluasi *Reliability* Pada Sistem *Air Compressor 101J* di Pabrik Ammonia PT.Petrokima Gresik.

Hasil analisis dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) terhadap peralatan sistem *Air Compressor 101J* yang terdiri dari *Rotor, Air Filter, Journal Bearing, Thrust Bearing, Pressure Indicator dan Temperature Indicator*. Data *maintenance* pada *Air Compressor 101J* yang ada di Pabrik Ammonia Unit 1 adalah selama operasi Agustus 2005 s/d Oktober 2014.

Gresik, 15 Desember 2014

Pembimbing Lapangan

Eka Budiyanto, ST.

Kepala Seksi Bg. Instrumentasi I,
Departemen Pemeliharaan

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Shinta Kusumawardhani. Penulis lahir di Ds. Dengok, Kec. Padangan, Kab. Bojonegoro pada tanggal 11 Desember tahun 1991. Jenjang pendidikan yang telah ditempuh penulis adalah TK Tunas Rimba Perhutani Padangan pada tahun 1996-1997. Melanjutkan Sekolah Dasar di SD Negeri Dengok 02 pada tahun 1997-2003. Melanjutkan Sekolah Menengah di SMP Negeri 1 Padangan pada tahun 2003-2006 dan SMA Negeri 4 Bojonegoro pada tahun 2006-2009. Selama menempuh pendidikan Sekolah Menengah, penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik (ekstrakurikuler). Setelah lulus SMA, penulis diterima di program Diploma 3 Jurusan Otomasi Sistem Instrumentasi, Fakultas Sains dan Teknologi di Universitas Airlangga pada tahun 2009-2012. Kemudian pada tahun 2012 penulis melanjutkan program Strata 1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Saran dan kritik yang membangun untuk penulis dapat dikirim melalui email shintakusumawardhani04@gmail.com