



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

SHINTA KUSUMAWARDHANI

2412.106.010

DOSEN PEMBIMBING :

Dr. Ir. Ali Musyafa, MSc.

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA**

2015

LATAR BELAKANG



TURBIN
COMPRESSOR

AIR
COMPRESSOR
101J

Udara bertekanan (7 kg/cm^2)

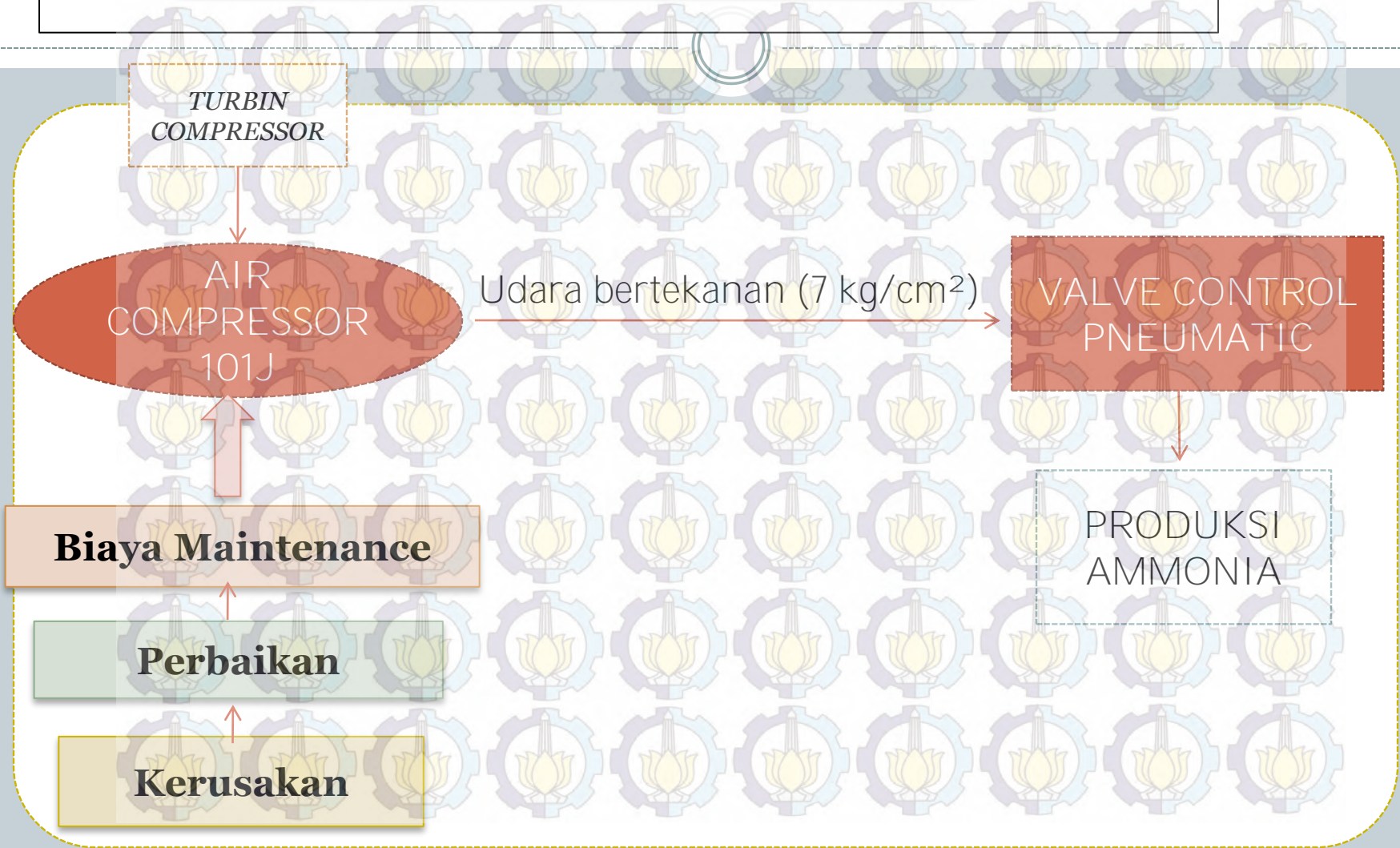
VALVE CONTROL
PNEUMATIC

Biaya Maintenance

Perbaikan

Kerusakan

PRODUKSI
AMMONIA



(Lanjutan..)



Teknik Fisika ITS

Pudyastuti, Widdhi Purwo. 2014. "Optimasi *Preventive Maintenance* dengan PSO (*Particle Swarm Optimization*) pada *Semi Lean Solution Pump* 107-JC di Pabrik I PT.Petrokimia Gresik"

Wisandiko , Anugrah Okta. 2011. " Analisa Keandalan, Keamanan Dan Manajemen Resiko Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Blok 2.2 Di PLTGU PT. PJB UP Gresik Dengan Menggunakan Pendekatan Kuantitatif"

Lestari, Dewi Widya. 2013. "Analisa Keandalan *LP Drum Waste Heat Boiler* (WHB) di PT.Petrokimia Gresik "

Prasetyo, Yudho. 2010. "Evaluasi *Reliability* dan Biaya Pada *Steam And Feed Water System* Unit 4 Di PT. UP Gresik Untuk *Preventive Maintenance*"

Fithri , Prima. 2010. "Optimasi *Preventive Maintenance* Dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor Dengan Menggunakan *Mixed Integer Non Linier Programming* Dari Kamran "

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

(Lanjutan..)



Surasa, Heru Agus. 2007. “Analisis Penyebab *Losses Energi Listrik Akibat Gangguan Jaringan Distribusi Menggunakan Metode Fault Tree Analysis Dan Failure Mode And Effect Analysis Di PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Jaringan Sumberlawang*”

Prasetyo Bagus, 2008.”Evaluasi Reliability Pada Low Pressure Turbin Untuk Preventive Maintenance”

Adiyagsa, Hardika . 2012. “Hazard and Operability study in Boiler System of The Steam Power Plant “

Dewina, LM . 2013. “Risk Management Using HAZOP Study Method Base Fault Tree Analysis on Emergency Shutdown System-Vacuum Distillation Unit, PT.PQR, Dumai, Indonesia “

PERUMUSAN MASALAH



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.

BATASAN MASALAH



1. Peralatan yang menjadi objek studi pada tugas akhir ini adalah *air compressor* 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.

TUJUAN



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*.

MANFAAT PENELITIAN



1. Memberikan informasi tentang kehandalan sistem tiap-tiap komponen pada *Air Compressor 101J* untuk perawatan instrumen *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.

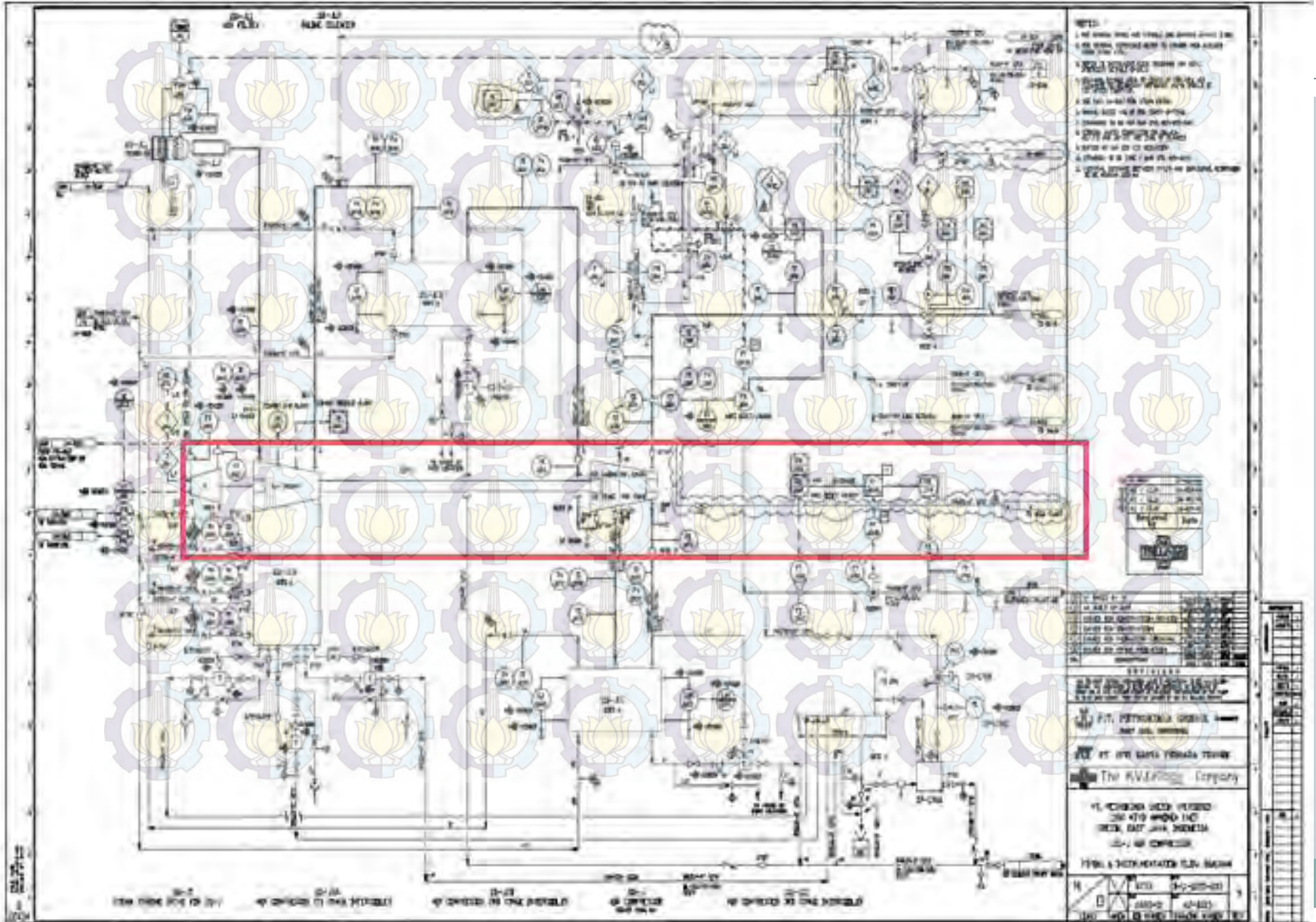
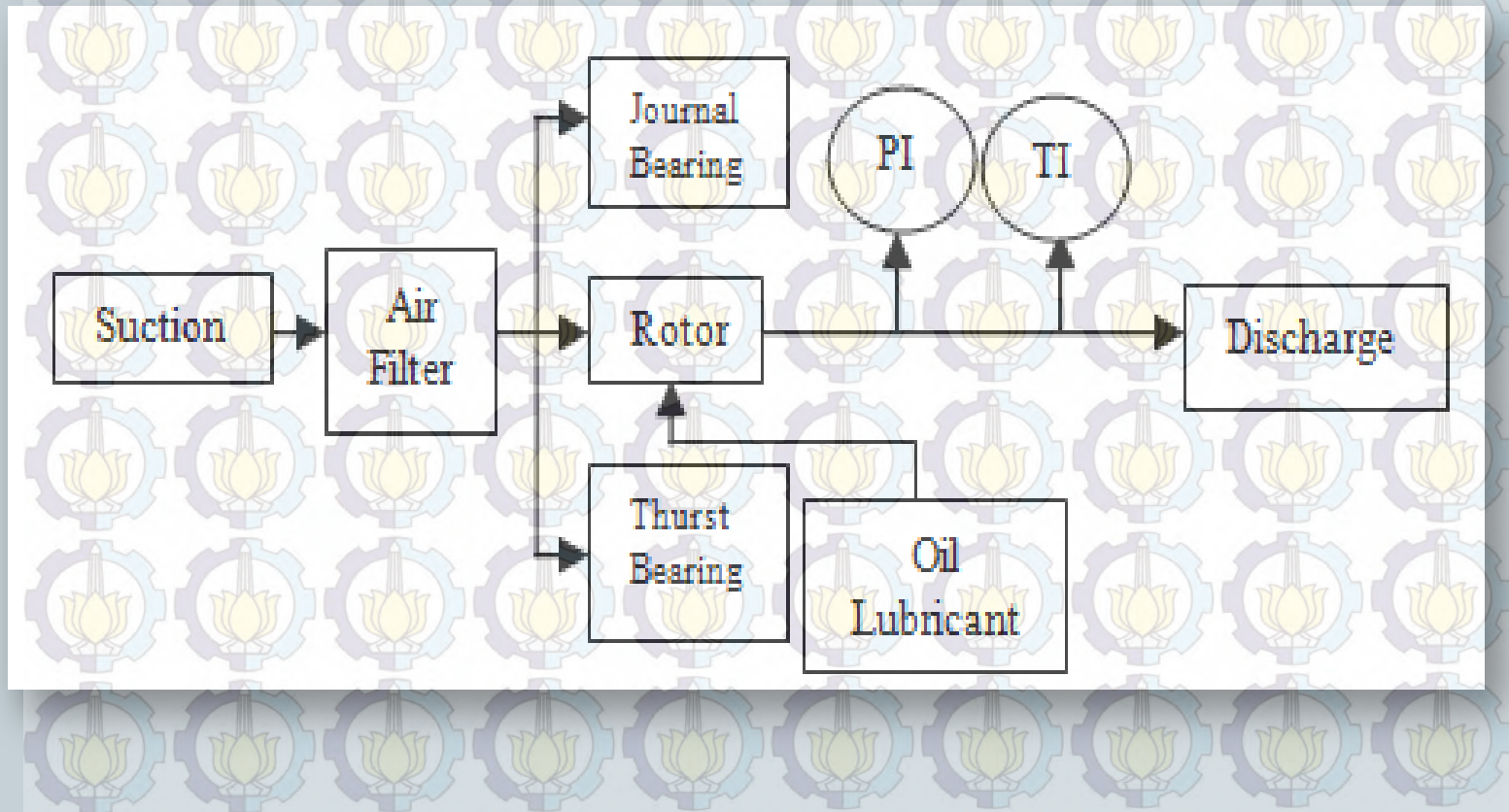


Diagram Blok Air Compressor 101J



Air Compressor 101J Pabrik Ammonia PT. Petrokimia Gresik



Reliability



Reliability atau kehandalan merupakan kemungkinan dari suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi atau melaksanakan fungsinya. Fungsi tersebut telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu dan dalam lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan pula. Rumus menghitung kehandalan (Ebeling, 1997)

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

Dimana :

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

$R(t)$ adalah *Reliability Function*

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

LAJU KEGAGALAN

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagian perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, subsistem, dan sistem

$$\lambda = \frac{f}{T}$$

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

Dimana:

f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total waktu operasi

PERSAMAAN PADA TIAP-TIAP DISTRIBUSI

DISTRIBUSI WEIBULL

- Fungsi reliability distribusi weibull adalah $R(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right\}$
- Laju kegagalan distribusi weibull adalah $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1}$
- Waktu rata-rata kegagalan distribusi weibull adalah $MTTF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$

DISTRIBUSI NORMAL

- Fungsi kehandalan distribusi *normal* adalah: $R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$
- Laju kegagalan distribusi *normal* adalah: $\lambda(t) = \frac{\exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2]}{\int_t^\infty \exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2] dt}$
- Waktu rata-rata kegagalan distribusi *normal* adalah $MTTF = \mu$

PERSAMAAN PADA TIAP-TIAP DISTRIBUSI

DISTRIBUSI LOGNORMAL

- Fungsi reliability distribusi lognormal adalah $R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dt$
- Laju kegagalan distribusi lognormal adalah $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$
- Waktu rata-rata kegagalan distribusi lognormal adalah $MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)$

DISTRIBUSI EKSPONENSIAL

- Fungsi kehandalan distribusi *eksponensial* adalah: $R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)}$
- Laju kegagalan distribusi *normal* adalah: $\lambda(t) = \lambda$
- Waktu rata-rata kegagalan distribusi *normal* adalah $MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda}$

KONFIGURASI SERI



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 = *reliability* komponen 1

R_2 = *reliability* komponen 2

Sehingga,

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

KONFIGURASI PARALEL



$$R_p = P(E_1 \cup E_2) = 1 - P(E_1 \cup E_2)^c = 1 - P(E_1^c) P(E_2^c)$$

$$= 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)$$

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

Maintainability

Maintainability didefinisikan sebagai kemampuan suatu item dalam kondisi pemakaian tertentu, untuk dirawat, atau dikembalikan kekeadaan semula dimana item itu dapat menjalankan fungsi yang diperlukan, jika perawatan dilakukan dalam kondisi tertentu dan dengan menggunakan prosedur dan sumber daya yang sudah ditentukan.

WEIBULL	$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$	<ul style="list-style-type: none"> • Distribusi <i>Weibull</i> • $MTTR = \gamma + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$
NORMAL	$M(t) = \int_0^t \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	<ul style="list-style-type: none"> • Distribusi <i>Lognormal</i> • $MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)$
LOGNORMAL	$M(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$	<ul style="list-style-type: none"> • Distribusi <i>Normal</i> • $MTTR = \mu$
EKSPONENSIAL	$M(t) = 1 - e^{-\mu(t/\gamma)}$	<ul style="list-style-type: none"> • Distribusi <i>Eksponensial</i> • $MTTR = \gamma + \frac{1}{\mu}$

Availability

Availability didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sebuah item akan tersedia saat dibutuhkan (dengan berbagai kombinasi aspek-aspek keandalannya, kemampuan perawatan, dan dukungan perawatan), atau proporsi dari total waktu bahwa sebuah item tersedia untuk digunakan

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

Dimana,

λ = Failure rate dari waktu kegagalan

μ = 1/MTTR

Preventive Maintenance

Preventive Maintenance adalah tindakan perawatan terjadwal untuk memperpanjang life time serta mencegah terjadinya kerusakan pada komponen.

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

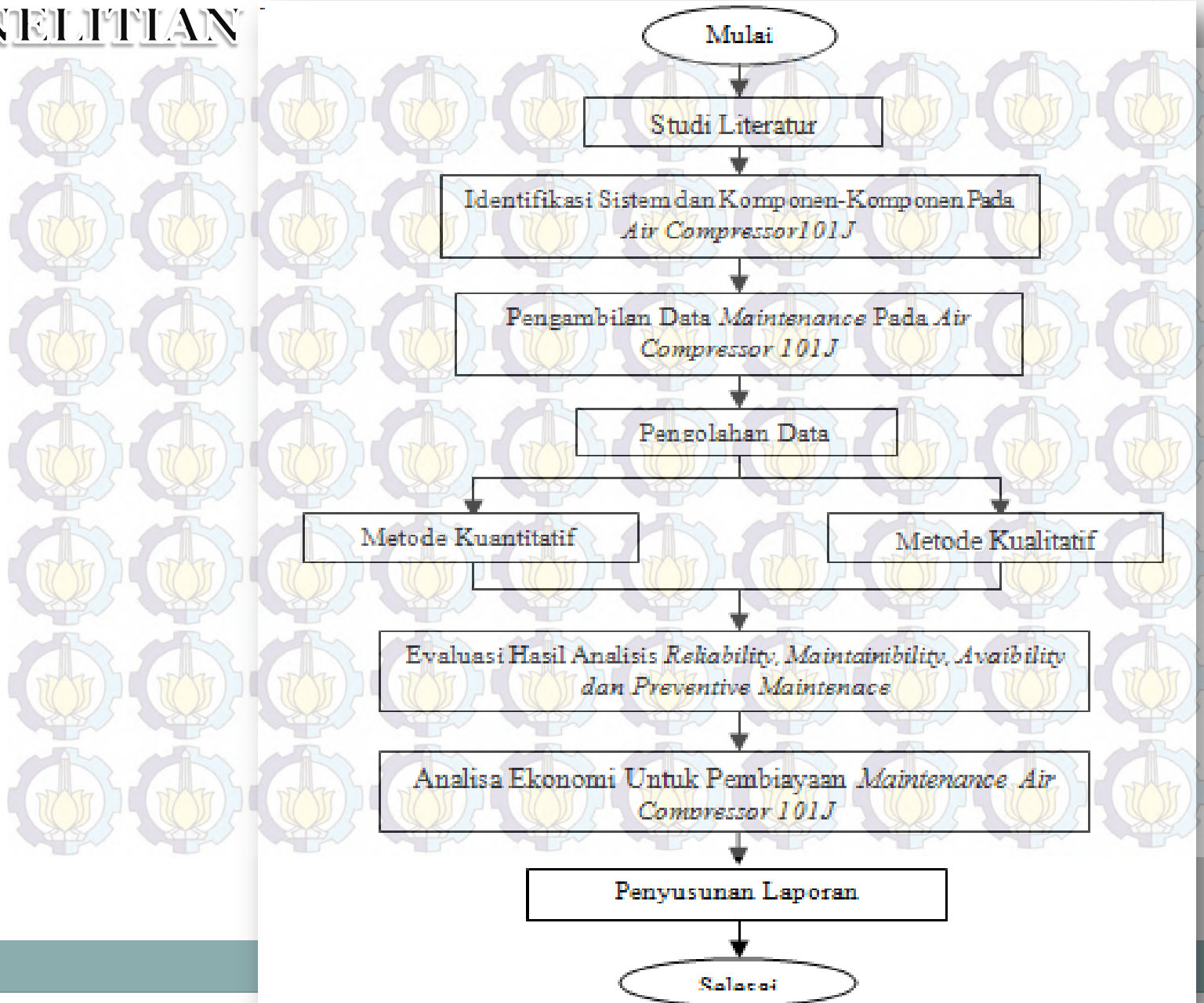
$$R_m(t) = R(T)R(t - nT) \text{ untuk } T \leq t \leq 2T$$

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

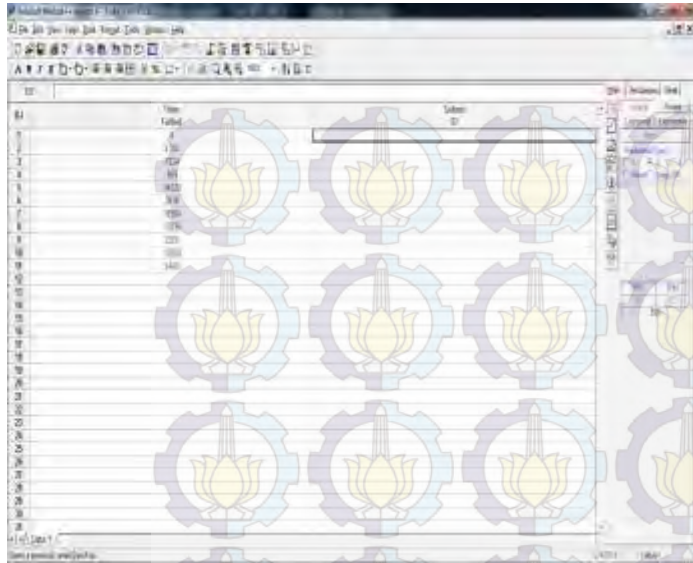
KUALITATIF

1. Mendiskripsikan dan menjabarkan fungsi dari setiap komponen untuk membuat suatu informasi yang dapat mendefinisikan fungsi sistem beserta fungsi keagalannya.
2. Membuat pemodelan dengan menggunakan metode FMEA (***failure mode and effect analysis***) yaitu dengan membuat informasi fungsi kerja sistem, kegagalan fungsi sistem, model kegagalan dan efek kegagalan.
3. Membuat rancangan diagram FTA (***Fault tree analysis***) yaitu dengan mengetahui penyebab dasar kegagalan yang bisa terjadi pada tiap–tiap komponen sehingga dapat diketahui hubungannya dengan skema ***preventive maintenance*** yang diperoleh.

METODOLOGI PENELITIAN



PENENTUAN DISTRIBUSI PADA RELIASOFT WEIBULL ++6



Step 1 of 3

Main Wizard Settings and Comments

DISTRIBUTION	AVGDF	AVPLOT	LKV
Exponential 1	14.6720833	12.2929025	-99.074258
Exponential 2	DISCARD	DISCARD	DISCARD
Normal	0.39349529	5.09762926	-98.748278
Lognormal	0.65978590	7.72338896	-98.845190
Weibull 2	1.9829E-02	6.36908412	-98.195902
Weibull 3	DISCARD	DISCARD	DISCARD

Report... Rank Regression Estimation (RR%)

Step 1 is completed!
 The first three columns show the results.
 The first column is the Average Goodness of Fit (AVGDF).
 Larger values indicate a bad fit.
 The second column is a normalized measure of how well
 the plotted values fit (AVPLOT).
 The third column is the value of the Likelihood Function (LKV).

Abort Distribution Weibull++ Distribution Wizard Help Close

100 %

Main | Set Analysis | Other

Weibull Normal

Lognormal Exponential

More >>>

Parameters/Type

1 2 3

Mixed Comp. FM

Beta 1.2617

Eta 8373.9949

Rho 0.9884

Lk Value -98.1959

RRX SRM

FM MED

CHKD

F=10/S=0

Wizard Step 3 of 3 Done.

Main Wizard Settings and Comments

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	4
Exponential 2	5
Normal	2
Lognormal	3
Weibull 2	1
Weibull 3	6

Report... Rank Regression Estimation (RR%)

Step 3 is completed!
 Column 1 presents the ranking of distribution.
 You may press (Implement Suggestion)
 to implement the top ranking distribution.

Abort Distribution Weibull++ Distribution Wizard Help Close

100 %

HASIL DISTRIBUSI MASING-MASING KOMPONEN



ROTOR

		PARAMETER						
	DISTRIBUSI	σ	λ	μ	β	η	Γ	γ
TTF	Weibull 2	-	-	-	1.2617	8373.9949	-	-
TTR	Lognormal	0,5446	-	4.1848	-	-	-	-

AIR FILTER

		PARAMETER						
	DISTRIBUSI	σ	λ	μ	β	η	Γ	γ
TTF	Weibull 2	-	-	-	1.0969	7912.0445	-	-
TTR	Weibull 3	-	-	-	11.9455	77.8837	-	19.54

JOURNAL BEARING

		PARAMETER						
	DISTRIBUSI	σ	λ	μ	β	η	Γ	γ
TTF	Weibull 2	-	-	-	1.648	1.81E+04	-	-
TTR	Weibull 2	-	-	-	2.6565	113.4653	-	-

THURST BEARING

		PARAMETER						
	DISTRIBUSI	σ	λ	μ	β	η	Γ	γ
TTF	Ekspensial	-	5.65E-05	-	-	-	-	-
TTR	Weibull 3	-	-	-	0.6345	32.1919	-	44.86

OIL LUBRICANT

		PARAMETER						
	DISTRIBUSI	σ	λ	μ	β	η	Γ	γ
TTF	Normal	1,53E+04	-	1,73E+04	-	-	-	-
TTR	Lognormal	422,178	-	0,4132	-	-	-	-

HASIL DISTRIBUSI MASING-MASING KOMPONEN



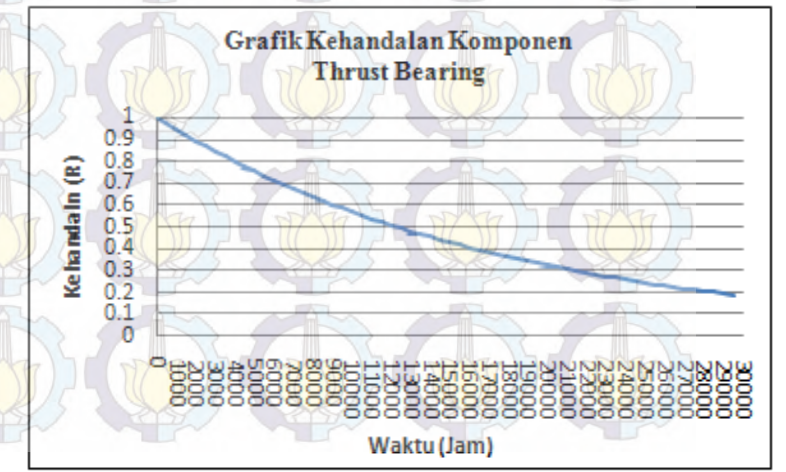
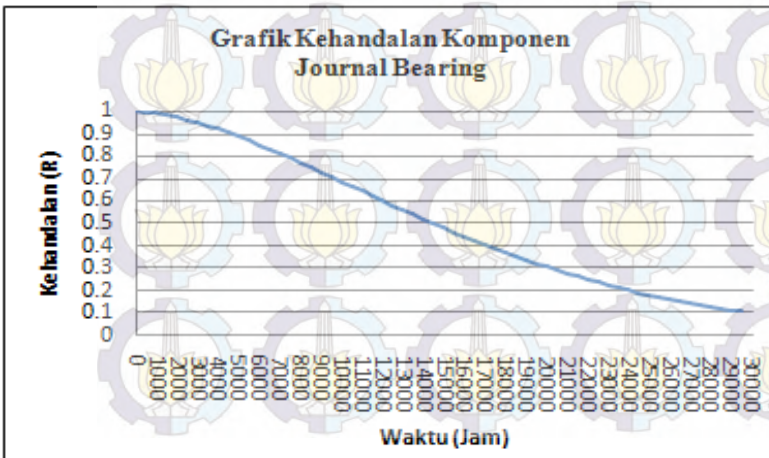
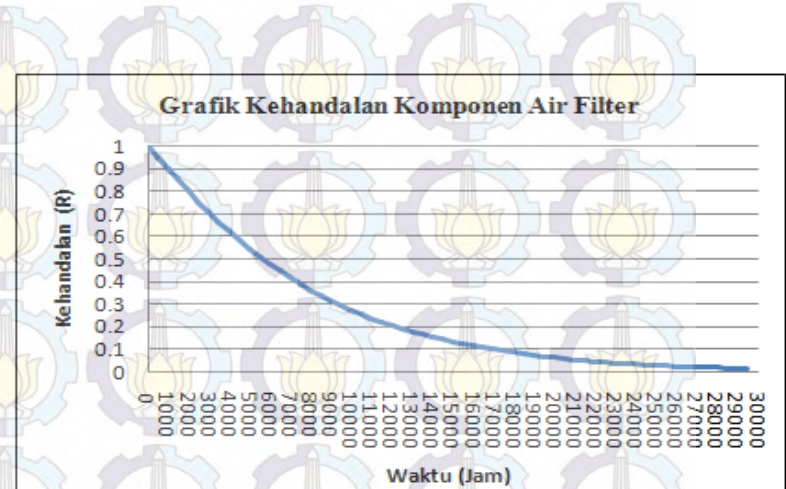
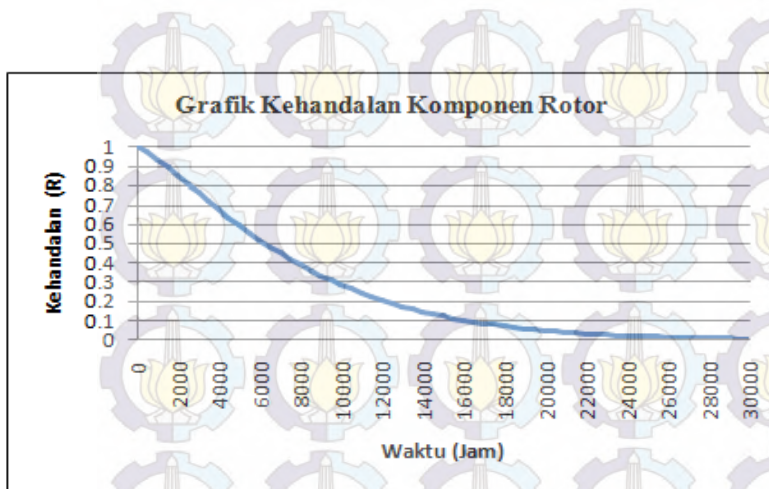
PRESSURE INDICATOR								
	DISTRIBUSI	PARAMETER						
		σ	λ	μ	β	η	Γ	γ
TTF	Lognormal	1.00E+05	-	1,53E+04	-	-	-	-
TTR	Weibull2	-	-	-	2,0330	66,2834	-	-

TEMPERATURE INDICATOR								
	DISTRIBUSI	PARAMETER						
		σ	λ	μ	β	η	Γ	γ
TTR	Weibull 2	-	-	-	2,7649	1,37E+04	-	-
TTF	Weibull 2	-	-	-	5.1484;	109.0156	-	-

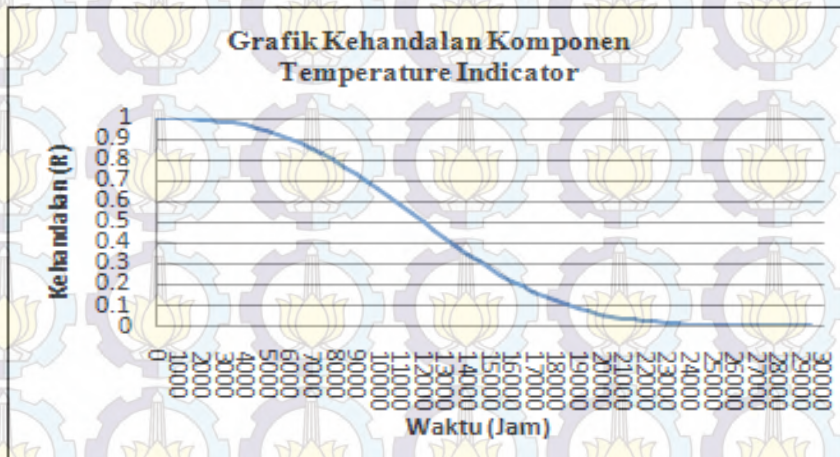
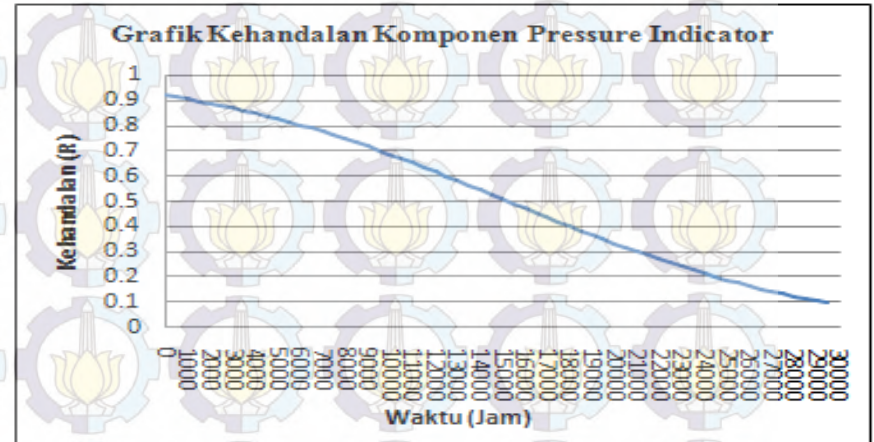
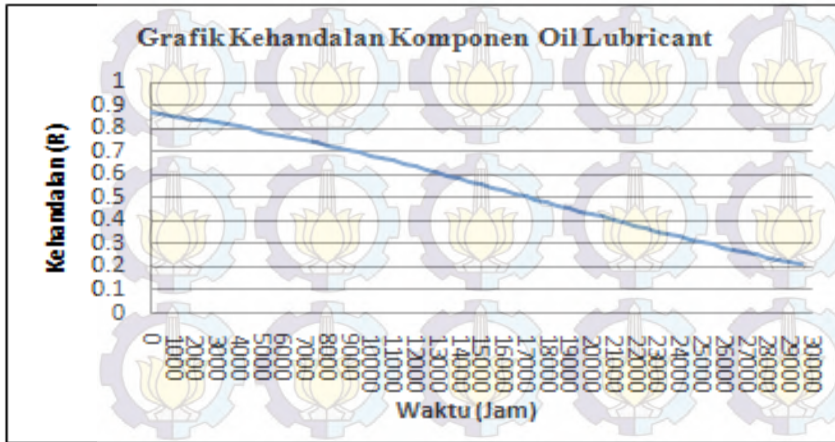


Data
Maintenance

HASIL EVALUASI KEHANDALAN



HASIL EVALUASI KEHANDALAN



TABEL REKAP PERHITUNGAN KEHANDALAN, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY

Perhitungan Nilai Kehandalan Sistem

Dimana:

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

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

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

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

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

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

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

Nilai kehandalan diasumsikan 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,

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

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

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

$$= 0.933816 \times 0.901735 \times 0.991551 \times 0.945083 \times 0.85585 \times$$

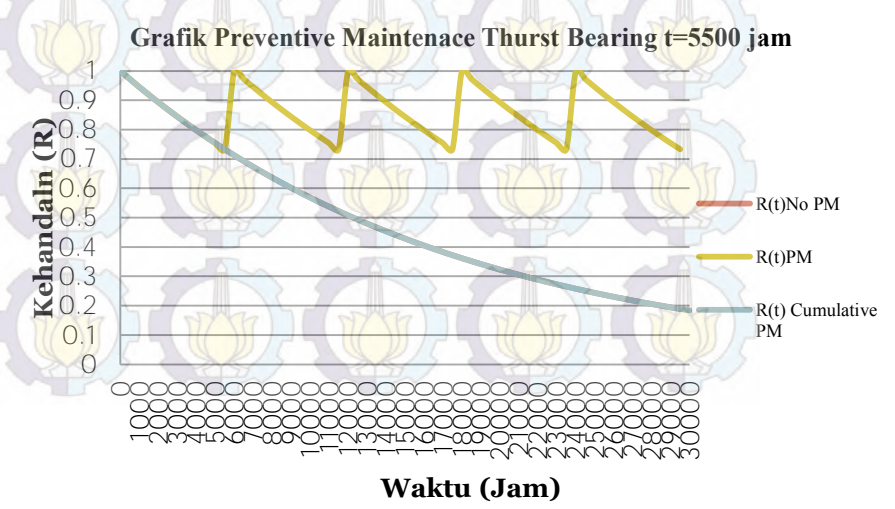
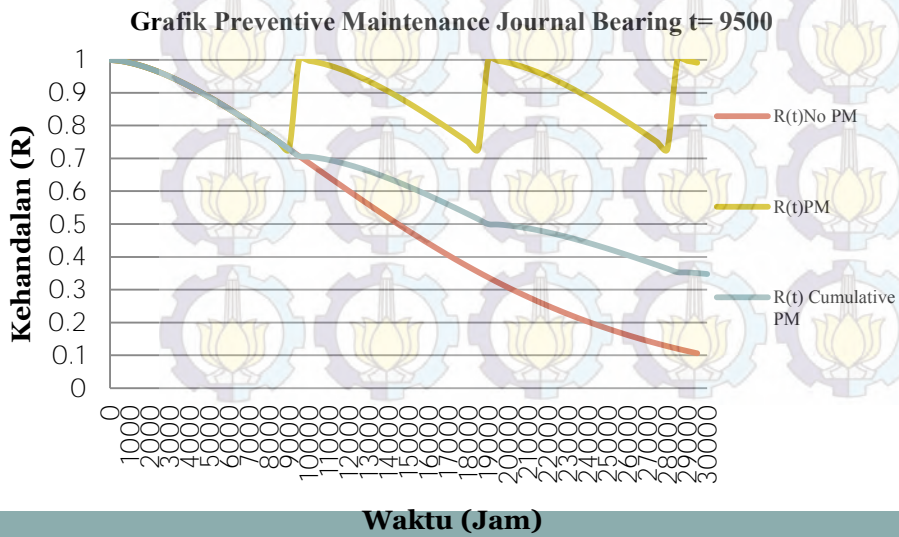
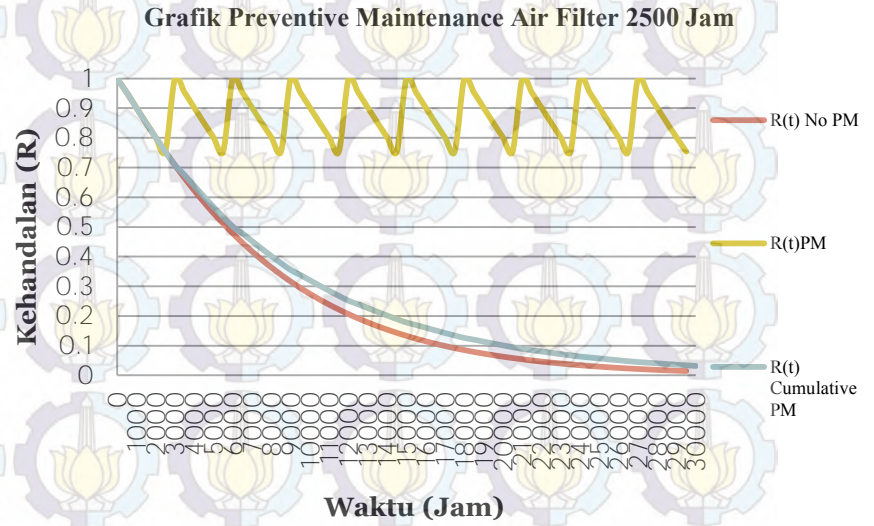
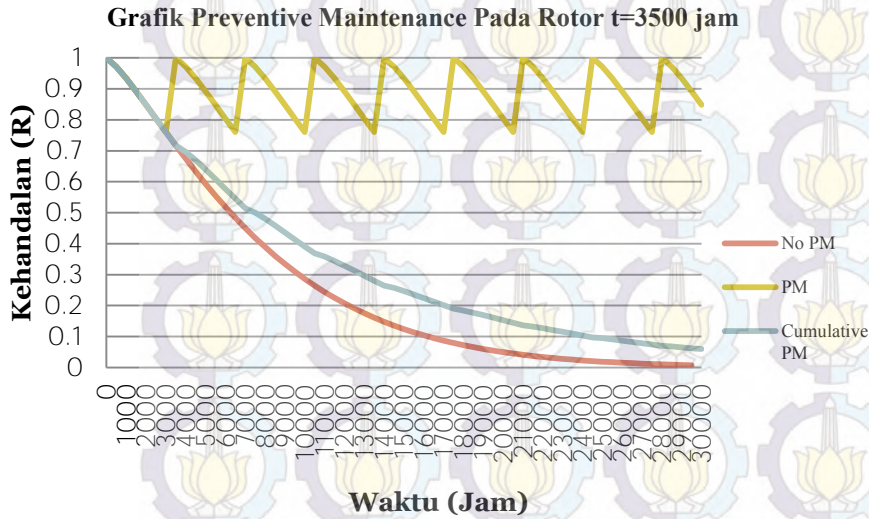
$$0.903726 \times 0.999286$$

$$= 0.61$$

EVALUASI PERVENTIVE MAINTAINCE



Grafik Preventive Maintenance Pada Komponen-komponen Air Compressor 101J

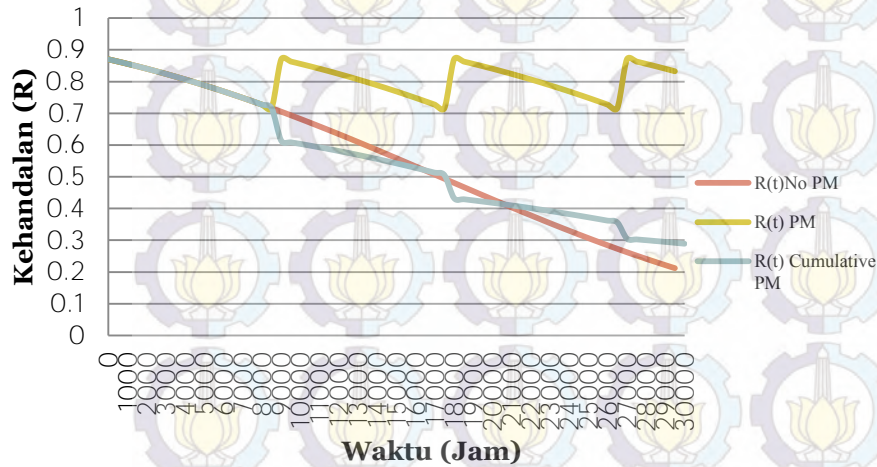


EVALUASI PERVENTIVE MAINTAINCE

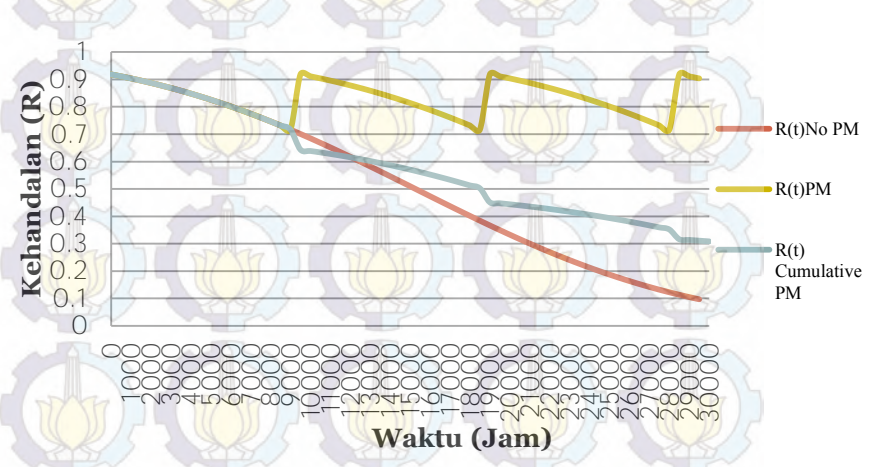


Grafik Preventive Maintenance Pada Komponen-komponen *Air Compressor 101J*

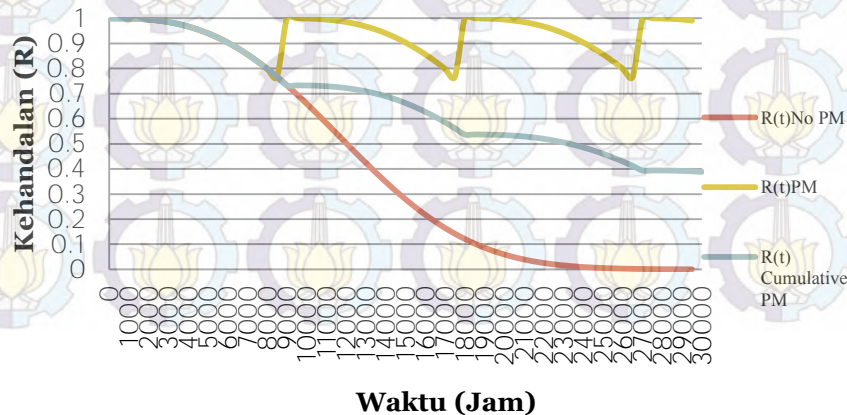
Grafik Preventive Maintenance Oil Lubricant t=9000 jam



Grafik Preventive Maintenance Pressure Indicator t=9500



Grafik Preventive Maintenance Temperature Indicator t=9000 jam



Perhitungan
Rekap Hasil
Preventive
Maintenance

EVALUASI KUALITATIF METODE FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)



WORKSHEET FMEA

Nama Komponen	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Dampak Kegagalan	Severity	Probability	Critical Rank	Analisis dan Tindakan Korektif
				S	P	C	
Rotor	1. Rotor tidak Balance	1. Impeller-impeller yang terpasang di shaft tidak kurang pas	Kecepatan dan aliran gas tidak stabil	4	3	4	1. Check ketika beroperasi 2. Lubrication
		2. Oli tidak mengalir/terendap					
Rotor	2. Rotor Kotor	Material saringan tidak sesuai spesifikasi	1. Vibrasi meningkat	3	2	3	Pembersihan Impeller dan permukaan penghubung diaphragma
			2. Tekanan pada gaya sentrifugal di impeller berkurang				
Air Filter	Saringan kotor dan berkarat	1. Banyak partikel-partikel udara dari inlet	1. rotor aus	2	3	3	Pembersihan internal check ketika beroperasi
		2. Kualitas udar buruk	2. aliran udara terhalangi				
Thrust Bearing	1. Goresan (schufed)	Pelumasn kurang	Perputaran rotor terhambat	2	2	2	1. Lubrication
	2. Corosi	Udara corrosive	kecepatan gas terhambat	2	2	2	2. Cleaned
Journal Bearing	1. Misalignment	Lintasan ball pada raceway outer-ring tidak sejajar	Temperatur di ball/race melebihi normal	4	2	1	1. Maintenance 2. Check ketika beroperasi
			Keausan berlebih				
Oil Lubricant	2. Corosi	Udara corrosive	kecepatan gas terhambat	2	2	2	Cleaned
			1. Kebocoran	celah seal pentup rusak/rapuh	Kerja thrust bearing dan journal bearing kurang maksimal	3	2

Tabel lanjutan..

Pressure Indicator	2. Overheating	tekanan saat beroperasi tinggi	sifat lubrikasi hilang	4	2	1	maintenance
	1. Setting tekanan tidak stabil	1. Rentang mur pengunci terlalu longgar	Tekanan maksimum compressor tidak terbaca	1	2	1	1. Check ketika beroperasi
		2. Baut tidak cocok	Tekanan tidak dapat terdeteksi	3	2	2	2. Maintenance
Temperature Indicator	2. Pembacaan error	Over heating	Tekanan pada maksimum kerja compressor tidak terbaca	2	2	1	1. Kalibrasi dan Profil test
	1. Setting temperatu tidak stabil	1. Rentang mur pengunci terlalu longgar	Tekanan tidak dapat terdeteksi	3	2	2	2. Maintenance
		2. Mur/baut tidak cocok pada design					

EVALUASI KUALITATIF

METODE FTA

(Failure Tree Analysis)

Top Event-Basic Event Pada Air Compressor 101 J

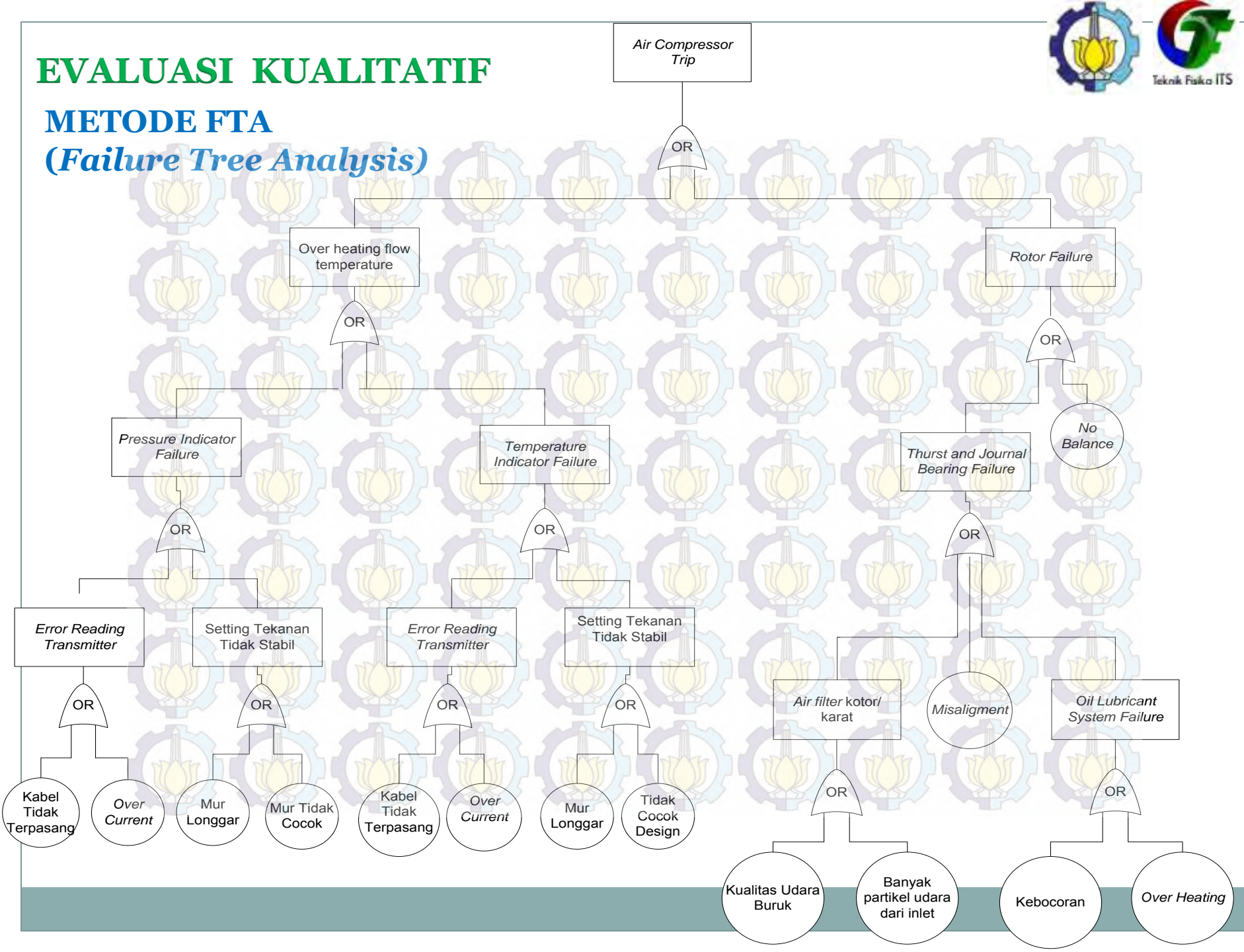
Top Events	Resultans Events	Basic Events
Air Compressor trip		
	Velocity and temperature no stable (overheating)	1. Pressure Indicator failure 2. Temperature Indicator Failure
	Rotor failure	1. Thrust bearing disturbed 2. Journal bearing disturbed 3. No balance
	Pressure Indicator failure	1. error reading transmitter 2. Setting pressure no stable
	Error reading transmitter	1. Cable not plugged 2. Signal Loss
	Setting pressure not stable	1. Bolts jammed 2. Bolts not matching design
	Temperature Indicator failure	1. error reading transmitter 2. Setting pressure no stable
	Error reading transmitter	1. Cable not plugged 2. Signal Loss
	Setting pressure not stable	1. Bolts jammed 2. Bolts not matching design
	Thrust bearing failure	1. Air filter dirty and rusty 2. Misalignment 3. Oil Lubricant system failure
	Air filter dirty and rusty	1. Air quality is bad 2. Many air particelel from inlet
	Oil Lubricant system failure	1. Over heating 2. Leakage
	Journal bearing failure	1. Air filter dirty and rusty 2. Misalignment 3. Oil Lubricant system failure
	Air filter dirty and rusty	1. Air quality is bad 2. Many air particelel from inlet
	Oil Lubricant system failure	1. Over heating 2. Leakage



EVALUASI KUALITATIF

METODE FTA

(Failure Tree Analysis)



VALIDASI DATA KUALITATTIF



PT. PETROKIMIA GRESIK

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

Nama : Shinta Kusumawardhani
NRP : 2412 105 010
Fak./Juruan : 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

EVALUASI PEMBIAYAAN MAINTAINENCE



a. Biaya Perawatan (C_M)

biaya tenaga perawatan menjadi upah lembur yaitu Rp. Rp.1.500.000,00.untuk setiap perawatan yang dilakukan.

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*

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

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

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.

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*.

Perhitungan untuk mendapatkan biaya perbaikan (C_p) akan menggunakan persamaan.

$$C_R = C_c + (((C_w + C_o) \times MTTR)$$

Dimana:

C_R = biaya perbaikan

C_c = biaya komponen

C_w = biaya tenaga kerja

C_o = biaya konsekuensi operasional (*loss product*)

EVALUASI PEMBIAYAAN MAINTAINENCE



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

Diketahui:

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

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

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

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

Maka didapatkan perhitungan CR adalah:

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

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

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

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})

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.

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

$$C_{PM} = \frac{[(2250000 \times 0,717022) + (1.520.575.000 \times (1 - 0,717022))]}{[(3500 \times 0,717022) + [6702,5 \times (1 - 0,717022)]]}$$

$$= \frac{[(1.613.250) + (1.520.575.000 \times (0,283))]}{[2059,58] + [1896,66]}$$

$$= \frac{431.935.975}{4.406,24}$$

$$= \text{Rp. } 98.020,73 \text{ perjam}$$

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 $\approx 60\%$

$$C_{PM} = \frac{[(2.250.000 \times 0,633328) + (1.520.575.000 \times (1 - 0,633328))]}{[(4500 \times 0,633328) + [6702,5 \times (1 - 0,633328)]]}$$

$$= \frac{[(1.424.250) + (1.520.575.000 \times (0,367))]}{[2849,58] + [2459,82]}$$

$$= \frac{559.475.275}{5.309,8}$$

$$= \text{Rp. } 105.316,5 \text{ perjam}$$

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

$$C_{PM} = \frac{[(C_M \times R_{(t)}) + (C_R \times (1 - R_{(t)}))]}{[(t_f \times R_{(t)}) + (t_r \times (1 - R_{(t)}))]}$$

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

$$C_{PM} = \frac{[(2250000 \times 0,518589) + (1.520.575.000 \times (1 - 0,518589))]}{[(6000 \times 0,518589) + [6702,5 \times (1 - 0,518589)]]}$$

$$= \frac{[(1.167.750) + (1.520.575.000 \times 0,48)]}{[3.111,54] + [3.226,65]}$$

$$= \frac{731.043.750}{6.338,18}$$

$$= \text{Rp. } 115.677,86 \text{ per jam}$$

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

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.

EVALUASI PEMBIAYAAN MAINTAINENCE



Rekap Hasil Perhitungan Biaya *Preventive Maintenance* Tiap-Tiap Komponen

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

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

DAFTAR PUSTAKA

- Arljot, 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.



Teknik Fisika ITS

TERIMA KASIH

SHINTA KUSUMAWARDHANI

2412.106.010