

# Evaluasi *Reliability* Pada *Air Compressor 101J* Di Pabrik Ammonia PT.Petrokimia Gresik

Shinta Kusumawardhani<sup>[1]</sup>, Dr. Ir. Ali Musyafa. MSc.<sup>[2]</sup>

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: [shintakusumawardhani04@gmail.com](mailto:shintakusumawardhani04@gmail.com)<sup>[1]</sup>, [musyafa@ep.its.ac.id](mailto:musyafa@ep.its.ac.id)<sup>[2]</sup>

**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/cm<sup>2</sup>. 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*

## I. PENDAHULUAN

Pada pembentukan ammonia, di PT.Petrokimia Gresik, terdapat tahap *pensuplaian udara* dari luar. Udara instrumen digunakan untuk sarana 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<sub>2</sub>O-nya. *Air* tersebut kemudian di distribusikan ke *user*, yaitu pabrik ammonia, pabrik urea, dan *service unit*. Udara instrumen tersebut bertekanan 7 kg/cm<sup>2</sup>. *Air compresor* yang terdapat pada sistem penyediaan udara *instrument* 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.

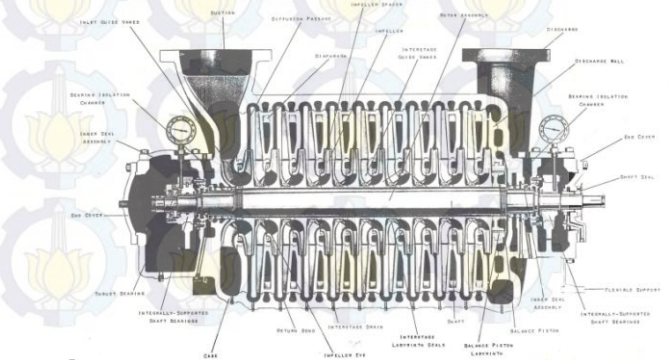
*Compressor* sangat penting peranannya dalam proses *pensuplaian udara*, sehingga perlu dilakukan evaluasi nilai kehandalan pada sistem kinerja *air compressor 101J*. Evaluasi yang dilakukan berkaitan dengan frekuensi waktu kegagalan atau kerusakan komponen-komponen. *Air compressor 101J* di pabrik ammonia 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. Tujuan pada tugas akhir ini adalah memperoleh hasil *reliability* pada *air compressor 101J*, memperoleh hasil *preventive maintenance* dari sisi *reliability* dan memperoleh hasil biaya *preventive maintenance* pada masing-masing komponen sistem *air compressor 101J*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Compressor

*Compressor* adalah suatu peralatan mekanik yang digunakan untuk menambahkan energi kepada fluida gas atau udara, sehingga udara atau gas dapat mengalir dari suatu tempat ketempat yang lain secara *continue*. (Sunyoto, 2008)

Perubahan energi ini bisa terjadi disebabkan adanya gerak mekanis dimana kompresor berfungsi merubah energi mekanik kedalam energi tekanan pada gas. Sebagian kecil sisa gas terbentuk menjadi panas yang hilang. Pada tugas akhir ini, jenis *compressor* yang dipakai adalah *compressor* tipe *sentrifugal*. Berikut ini adalah gambar *compressor* jenis *sentrifugal*.



Gambar 1. *Compressor* Tipe *Centrifugal*



### B. 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.. Konsep waktu dalam *reliability* adalah *time to failure* (TTF). *Time to failure* (TTF) sebagai waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan.

### C. Distribusi Weibull

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

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

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

- b. Laju kegagalan distribusi *weibull*. (Ebeling, 1997)

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta}\right]^{\beta-1} \quad (2)$$

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

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3)$$

### D. Distribusi Normal

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

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

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (4)$$

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

$$\lambda(t) = \frac{\exp[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2]}{\int_t^\infty \exp[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2] dt} \quad (5)$$

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

$$MTTF = \mu \quad (6)$$

### E. Distribusi Lognormal

Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi *lognormal*, maka:

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

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (7)$$

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

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (8)$$

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

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (9)$$

### F. Distribusi Eksponensial

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

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

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

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

$$\lambda(t) = \lambda \quad (11)$$

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

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (12)$$

### G Maintainability

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

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (13)$$

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

$$M(t) = \int_0^t \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (14)$$

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

$$M(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (15)$$

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

$$M(t) = 1 - e^{-\mu(t\gamma)} \quad (16)$$

### H. Preventive Maintenance

Secara matematis *Preventive Maintenance* dapat ditentukan dengan persamaan berikut. (Ebeling, 1997)

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

### I. Pembiayaan Maintenance

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

$$C_R = C_C + ((C_W + C_O) \times MTTR) \quad (17)$$

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)

$$C_{PM} = \frac{[(C_M \times R_G) + (C_R \times (1 - R_G))]}{[(t_P \times R_G) + (t_f \times (1 - R_G))]} \quad (18)$$

Dimana,

$C_M$  = biaya *maintenance*

$t_P$  = waktu *preventive*

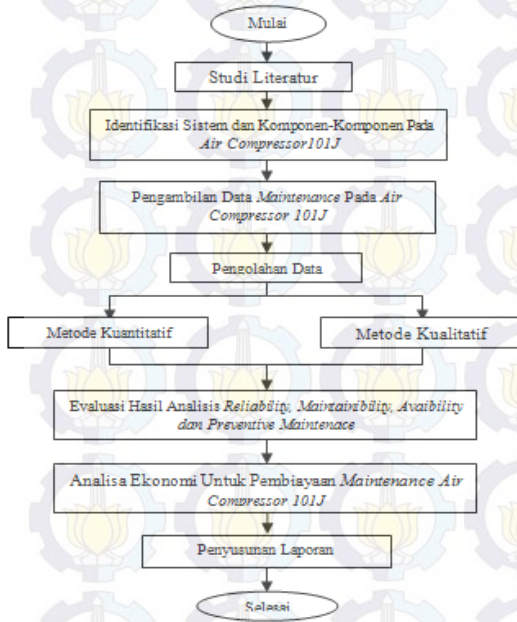
$t_f$  = waktu kegagalan

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



### III. METODOLOGI PENELITIAN

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



Gambar 2. *Flowchart* Tugas Akhir

Studi literatur berupa pemahaman secara teoritis tentang studi proses dan identifikasi komponen-komponen *air compressor 101J*. Komponen-komponen utama yang dianalisis kehandalannya yaitu *rotor, air filter, journal bearing, thrust bearing, oli lubricant, pressure indicator* dan *temperature indicator* ..

Tahapan metode kuantitatif, akan dilakukan evaluasi nilai *reliability, maintainability, availability* dan *preventive maintenance*. Pada 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*).

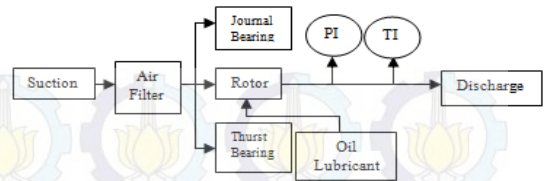
a. Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analisis*)

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.

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. Adapun langkahnya yaitu :

- Menganalisa alur proses sistem *air compressor 101J* dengan menggunakan *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) dan membuat diagram blok sistem *air compressor 101J* .



Gambar 3. *Process Flow Diagram* Air Compressor 101J

- Menentukan *top event* hingga *basic event* untuk melihat bagaimana alur kerja komponen di dalam sistem sehingga *air compressor trip* dapat diketahui.

Tabel. 1 *Top Event - Basic Event* Sistem Air Compressor 101J

<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>	1. <i>Pressure Indicator failure</i>
		2. <i>Temperature Indicator Failure</i>
	<i>Rotor failure</i>	1. <i>Thrust bearing disturbed</i>
		2. <i>Journal bearing disturbed</i>
		3. <i>No balance</i>
	<i>Pressure Indicator failure</i>	1. <i>error reading transmitter</i>
		2. <i>Setting pressure no stable</i>
	<i>Error reading transmitter</i>	1. <i>Cable not plugged</i>
		2. <i>Signal Loss</i>
	<i>Setting pressure not stable</i>	1. <i>Bolts jammed</i>
		2. <i>Bolts not matching design</i>
	<i>Temperature Indicator failure</i>	1. <i>error reading transmitter</i>
		2. <i>Setting pressure no stable</i>
	<i>Error reading transmitter</i>	1. <i>Cable not plugged</i>
		2. <i>Signal Loss</i>
	<i>Setting pressure not stable</i>	1. <i>Bolts jammed</i>
2. <i>Bolts not matching design</i>		
<i>Thrust bearing failure</i>	1. <i>Air filter dirty and rusty</i>	
	2. <i>Misalignment</i>	
	3. <i>Oil Lubricant system failure</i>	
<i>Air filter dirty and rusty</i>	1. <i>Air quality is bad</i>	
	2. <i>Many air particel from inlet</i>	
<i>Oil Lubricant system failure</i>	1. <i>Over heating</i>	
	2. <i>Leakage</i>	
<i>Journal bearing failure</i>	1. <i>Air filter dirty and rusty</i>	
	2. <i>Misalignment</i>	
	3. <i>Oil Lubricant system failure</i>	
<i>Air filter dirty and rusty</i>	1. <i>Air quality is bad</i>	
	2. <i>Many air particel from inlet</i>	
<i>Oil Lubricant system failure</i>	1. <i>Over heating</i>	
	2. <i>Leakage</i>	



Pada tahap terakhir dari tugas akhir ini yaitu membuat kesimpulan penelitian berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan. Hasil analisis di evaluasi sehingga dapat menjawab tujuan dari penelitian serta saran-saran yang dapat diberikan untuk menunjang ataupun perkembangan penelitian selanjutnya.

## VI. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

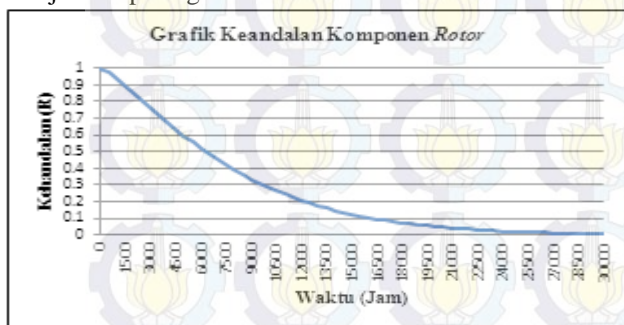
### A. Evaluasi Kuantitatif Sistem Air Compressor 101J

Evaluasi kuantitatif ini dilakukan dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull ++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 *time to failure* (TTF) dan *time to repair* (TTR). Distribusi dan parameter tersebut digunakan untuk mencari fungsi kehandalan sebagai fungsi waktu  $\{R(t)\}$ , *maintainability*  $\{M(t)\}$ , dan *availability*  $\{A(t)\}$ . Dari perhitungan nilai TTF (*Time To Failure*) dan TTR (*Time To Repair*), menentukan distribusi TTF dan TTR menggunakan *Reliasoft Weibull ++6*

#### a. Evaluasi Kuantitatif Pada Komponen Rotor

- Evaluasi Keandalan Pada Rotor

Hasil perhitungan nilai keandalan pada rotor, ditunjukkan pada grafik keandalan berikut ini.



Gambar 4. Nilai Keandalan Komponen Rotor

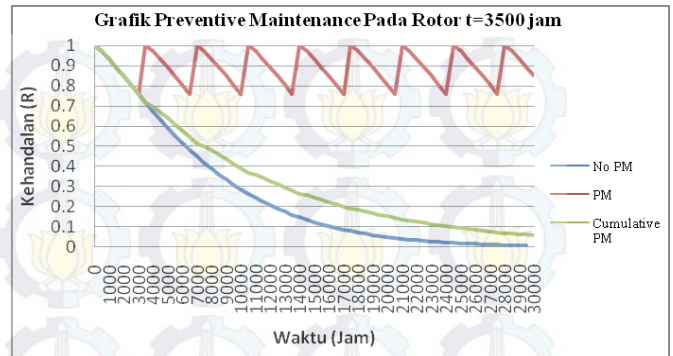
Diperoleh bahwa pada komponen Rotor memiliki nilai kehandalan sebesar 71,70 %. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 3500 jam atau kurang lebih 5 bulan.

- Evaluasi *Maintainability* dan *Avaibility* Pada Rotor

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *lognormal*. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 1500 jam. Waktu rata-rata kegagalan (MTTF) untuk komponen Rotor sebesar 609,318 jam dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 74 jam. Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar 0,00012 pada waktu operasional 3500 jam. Ketersediaan (*availability*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0.994702 pada waktu operasional 500 jam.

- Evaluasi *Preventive Maintenance* Pada Rotor

Pada evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai kehandalan mendekati 0.70 atau 70 %. Komponen Rotor dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 3000 jam. Evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai  $t$ (jam) dapat dihitung sebagaimana ditunjukkan pada grafik berikut ini.



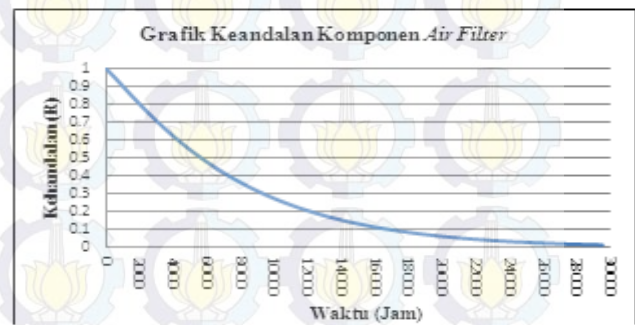
Gambar 5 *Preventive Maintenance* Pada Rotor

Analisis tersebut diplot dalam sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* dan *cumulative preventive maintenance*. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen rotor dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 8 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

#### b. Evaluasi Kuantitatif Pada Komponen Air Filter

- Evaluasi Keandalan Pada Air Filter

Hasil perhitungan nilai keandalan pada *air filter*, ditunjukkan pada grafik keandalan berikut ini.



Gambar 6. Nilai Keandalan Komponen Air Filter

Hasil perhitungan dan plot grafik keandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Air Filter* memiliki nilai kehandalan sebesar 70,81%. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 3000 jam atau kurang lebih 4 bulan.

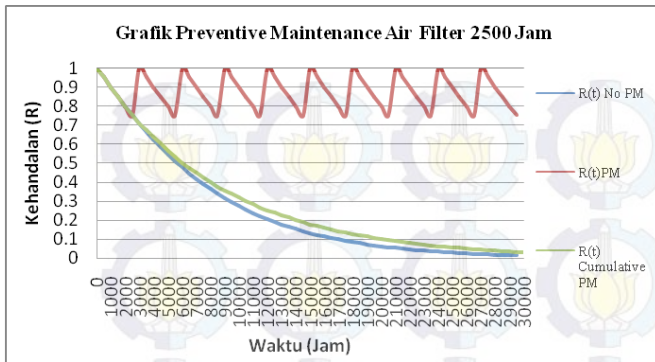
- Evaluasi *Maintainability* dan *Avaibility* Pada Air Filter

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *Weibull 3*. Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *lognormal*. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 500 jam. Waktu rata-rata kegagalan (MTTF) untuk komponen *Air Filter* sebesar 6174 jam dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 87 jam. Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar 0,000126 pada waktu operasional 3500 jam. Ketersediaan (*availability*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0.990882 pada waktu operasional 500 jam.

- Evaluasi *Preventive Maintenance* Air Filter

Evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai kehandalan mendekati 0.70 atau 70 %. Komponen *Air Filter* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 2500 jam.





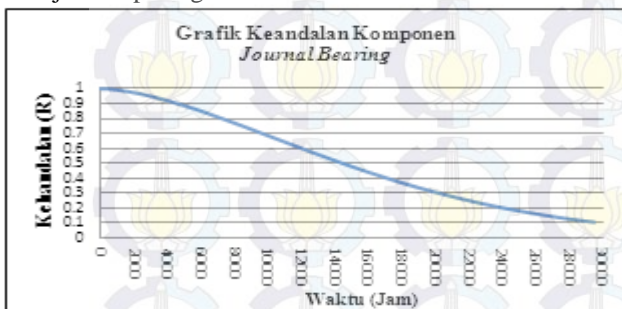
Gambar 7 Preventive Maintenance Air Filter

Analisis tersebut diplot dalam sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* dan *cumulative preventive maintenance*. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Air Filter* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 10 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

#### c. Evaluasi Kuantitatif Pada Komponen Journal Bearing

- Evaluasi Keandalan Pada Journal Bearing

Hasil perhitungan nilai keandalan pada journal bearing, ditunjukkan pada grafik keandalan berikut ini.



Gambar 8. Nilai Keandalan Komponen Jurnal Bearing

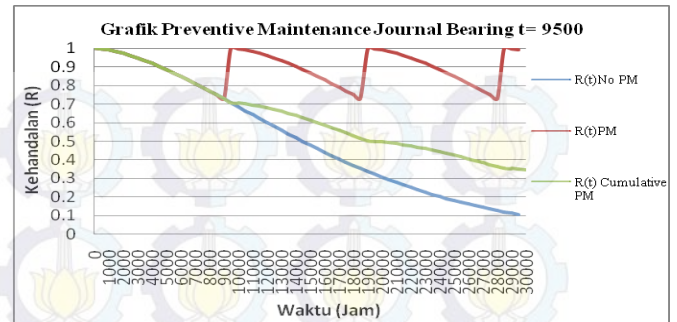
Hasil perhitungan dan plot grafik kehandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Journal Bearing* memiliki nilai kehandalan sebesar 70,70%. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 9500 jam atau kurang lebih 13 bulan.

- Evaluasi *Maintainability* dan *Avaibility* Pada *Journal Bearing*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *Weibull 2*. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 500 jam. Waktu rata-rata kegagalan (MTTF) untuk komponen *Journal Bearing* sebesar 12972 jam dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 100 jam. Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar  $6.01E-05$  pada waktu operasional 9500 jam. Ketersediaan (*avaibility*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0.999514 pada waktu operasional 500 jam.

- Evaluasi *Preventive Maintenance Journal Bearing*

Komponen *Journal Bearing* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 9000 jam. Evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai  $t(\text{jam})$  dapat ditunjukkan pada grafik berikut ini.



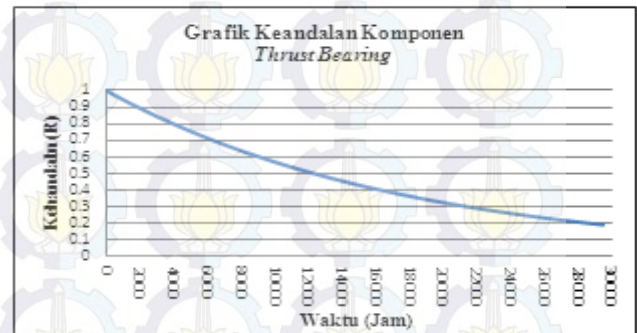
Gambar 9. Preventive Maintenance Journal Bearing

Analisis tersebut diplot dalam sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* dan *cumulative preventive maintenance*. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Journal Bearing* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 3 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

#### d. Evaluasi Kuantitatif Pada Komponen *Thurst Bearing*

- Evaluasi Keandalan Pada *Thurst Bearing*

Hasil perhitungan nilai keandalan pada *thurst bearing*, ditunjukkan pada grafik keandalan berikut ini.

Gambar 10. Nilai Keandalan Komponen *Thurst Bearing*

Hasil perhitungan dan plot grafik kehandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Thurst Bearing* memiliki nilai kehandalan sebesar 71,26%. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 6000 jam atau kurang lebih 8 bulan.

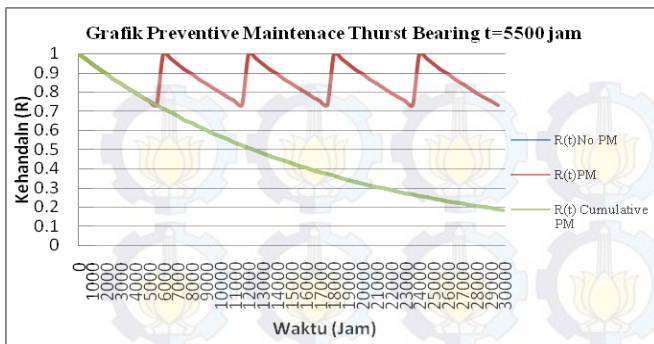
- Evaluasi *Maintainability* dan *Avaibility* Pada *Thurst Bearing*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *Weibull 3*. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 2500 jam. didapatkan waktu rata-rata kegagalan (MTTF) untuk komponen *Thurst Bearing* sebesar 11140,8 jam dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 76,8 jam. Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar 0.000056482 pada waktu operasional 6000 jam. Ketersediaan (*avaibility*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0.9995687 pada waktu operasional 500 jam.

- Evaluasi *Preventive Maintenance Thurst Bearing*

Evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai kehandalan mendekati 0.70 atau 70 %. Komponen *Thurst Bearing* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 5500 jam. Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* ditunjukkan pada grafik berikut.



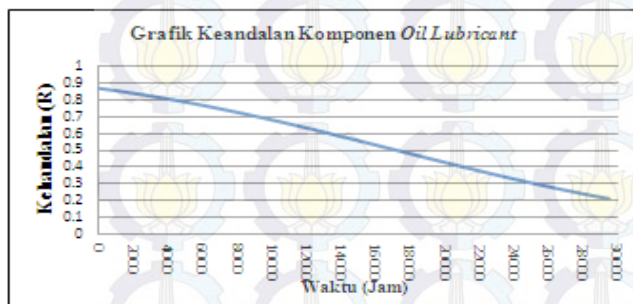
Gambar 11. Preventive Maintenance *Thrust Bearing*

Analisis tersebut diplot dalam sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* dan *cumulative preventive maintenance*. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Thrust Bearing* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 5 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

e. Evaluasi Kuantitatif Pada Komponen *Oil Lubricant*

- Evaluasi Keandalan Pada *Oil Lubricant*

Hasil perhitungan nilai keandalan pada *Oil Lubricant* ditunjukkan pada grafik keandalan berikut ini.

Gambar 12 Nilai Keandalan Komponen *Oil Lubricant*

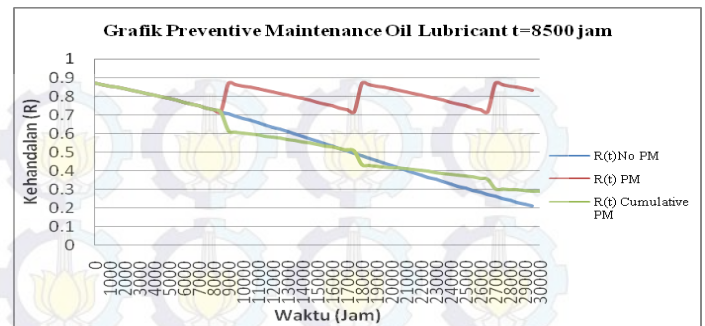
Hasil perhitungan dan plot grafik kehandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Oil Lubricant* memiliki nilai kehandalan sebesar 70,51%. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 9000 jam atau kurang lebih 1 tahun.

- Evaluasi *Maintainability dan Availability* Pada *Oil Lubricant*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *lognormal*. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 1000 jam. Waktu rata-rata kegagalan (MTTF) untuk komponen *Oil Lubricant* sebesar 12942 jam dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 76,8 jam. 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.

- Evaluasi *Preventive Maintenance Oil Lubricant*

Komponen *Oil Lubricant* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 8500 jam. Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* untuk berbagai nilai  $t$  (jam) dapat ditunjukkan pada grafik berikut ini.

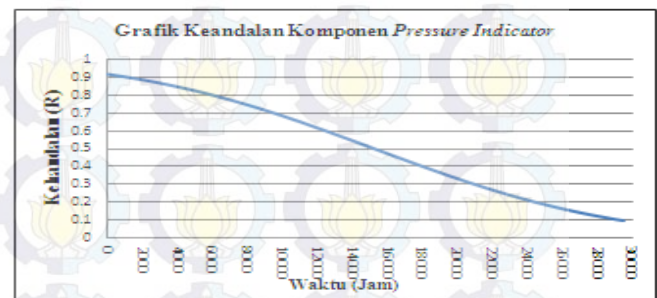
Gambar 13. Preventive Maintenance *Oil Lubricant*

Analisis tersebut diplot sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* dan *cumulative preventive maintenance*. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Oil Lubricant* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 3 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

f. Evaluasi Kuantitatif Pada Komponen *Pressure Indicator*

- Evaluasi Keandalan Pada *Pressure Indicator*

Hasil perhitungan nilai keandalan pada *pressure indicator* ditunjukkan pada grafik keandalan berikut ini.

Gambar 14. Nilai Keandalan Komponen *Pressure Indicator*

Hasil perhitungan dan plot grafik kehandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Pressure Indicator* memiliki nilai kehandalan sebesar 70,08%. Nilai kehandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 9000 jam atau kurang lebih 1 tahun.

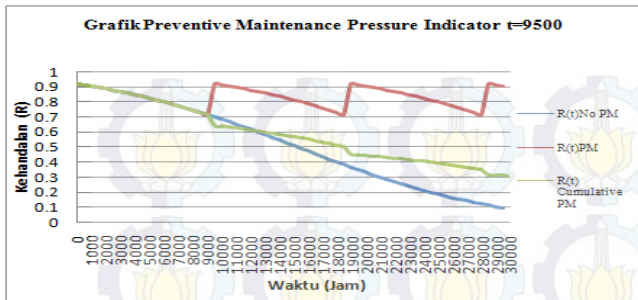
- Evaluasi *Maintainability dan Availability* Pada *Pressure Indicator*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *Weibull*. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 500 jam. Waktu rata-rata kegagalan (MTTF) untuk komponen *Pressure Indicator* sebesar 12126 jam dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 57,6 jam. Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar  $4,32 E-05$  pada waktu operasional 9000 jam. Ketersediaan (*availability*) komponen *pressure indicator* pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0.999763 pada waktu operasional 500 jam.

- Evaluasi *Preventive Maintenance Pressure Indicator*

Evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai keandalan mendekati 0.70 atau 70%. Komponen *Pressure Indicator* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 9500 jam. Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* ditunjukkan pada grafik berikut.





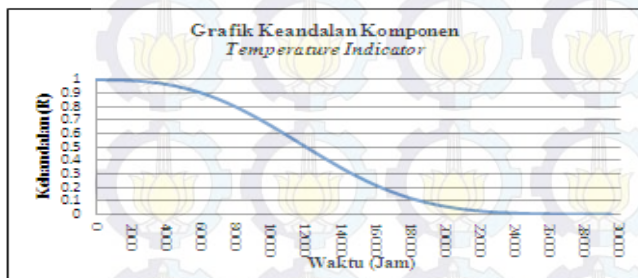
Gambar 15 Preventive Maintenance Pressure Indicator

Analisis tersebut diplot dalam sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* dan *cumulative preventive maintenance*. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Pressure Indicator* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 3 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

g. Evaluasi Kuantitatif Pada Komponen *Temperature Indicator*

• Evaluasi Keandalan Pada *Temperature Indicator*

Hasil perhitungan nilai keandalan pada *temperature indicator* ditunjukkan pada grafik keandalan berikut ini.



Gambar 16. Nilai Keandalan Komponen Temperature Indicator

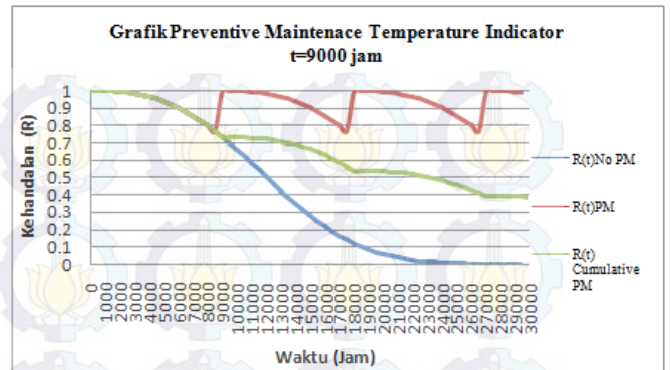
Hasil perhitungan dan plot grafik keandalan, diperoleh bahwa pada komponen *Temperature Indicator* memiliki nilai keandalan sebesar 73,30%. Nilai keandalan tersebut terjadi pada waktu operasional selama 9000 jam atau kurang lebih 1 tahun.

• Evaluasi *Maintainability* dan *Avaibility* Pada *Temperature Indicator*

Hasil plot data TTR diperoleh distribusi *weibull*. Nilai *maintainability* mencapai 100% ketika mencapai selang waktu 500 jam. Waktu rata-rata kegagalan (MTTF) untuk komponen *Temperature Indicator* sebesar 9945.6 jam dan waktu rata-rata perbaikan (MTTR) sebesar 100,8 jam. Laju kegagalan diperoleh nilai sebesar  $9,54E-05$  pada waktu operasional 9000 jam. Ketersediaan (*availability*) komponen rotor pada *air compressor 101J* menurun menjadi 0.999942 pada waktu operasional 500 jam.

• Evaluasi *Preventive Maintenance Pressure Indicator*

Evaluasi kehandalan dengan *preventive maintenance*, perhitungan dilakukan pada nilai kehandalan mendekati 0.70 atau 70 %. Komponen *Temperature Indicator* dilakukan *preventive maintenance* pada interval waktu 9000 jam. Evaluasi keandalan dengan *preventive maintenance* ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 17. Preventive Maintenance Temperature Indicator

Analisis tersebut diplot dalam sebuah grafik hubungan antara kehandalan dengan waktu penjadwalan *preventive maintenance* dan *cumulative preventive maintenance*. Hasil perhitungan *preventive maintenance*, dapat dilihat bahwa komponen *Temperature Indicator* dapat dilakukan penjadwalan sebanyak 3 kali selama waktu kurang lebih 3 tahun.

B. Perhitungan Nilai Keandalan Sistem

Pada diagram blok diketahui bahwa sistem *air compressor 101J* memiliki konfigurasi seri, sehingga untuk menghitung nilai keandalan sistem, terlebih dahulu mengetahui nilai keandalan masing – masing komponen dimana:

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

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

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

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

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

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

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

Sehingga,

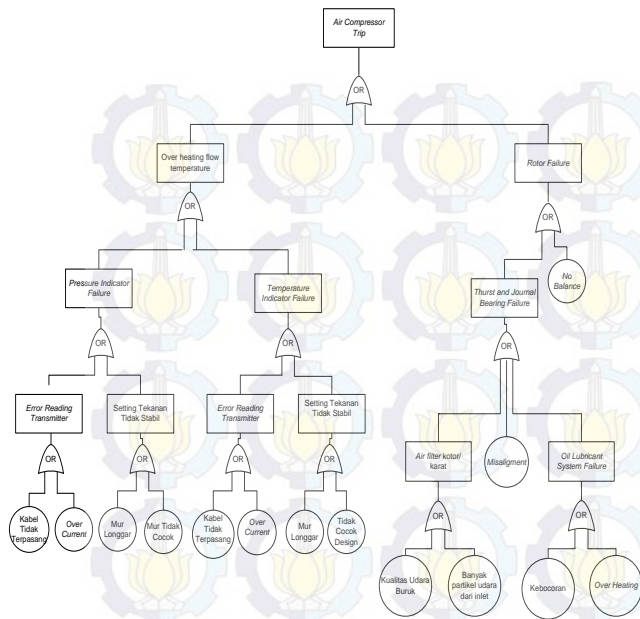
$$\begin{aligned} R_s &= P(E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap E_4 \cap E_5 \cap E_6 \cap E_7) \\ &= P(E_1) P(E_2) P(E_3) P(E_4) P(E_5) P(E_6) P(E_7) \\ &= (R_1) (R_2) (R_3) (R_4) (R_5) (R_6) (R_7) \\ &= 0.933816 \times 0.901735 \times 0.991551 \times 0.945083 \times 0.85585 \\ &\quad \times 0.903726 \times 0.999286 \\ &= 0,61 \end{aligned}$$

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.

C. Evaluasi Kualitatif Sistem Air Compressor 101J

Pada tugas akhir ini, metode kualitatif memakai dua metode yaitu secara FMEA dan secara FTA. Untuk FMEA dapat ditunjukkan pada *worksheet* FMEA yang ada pada lampiran dari tugas akhir ini. Sedangkan untuk FTA dari tugas akhir ini dapat ditunjukkan pada Gambar berikut.





Gambar 18. FTA Proses Air Compressor 101J

Gambar diatas merupakan FTA proses pada saat terjadi trip di sistem *air compressor* yang akan mempengaruhi sistem pensuplaian udara pada *pneumatic instrument*. Pada gambar tersebut, ketika *air compressor 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 temperature selama proses terjadinya pengompressan 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*. *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.

### C. 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 tugas akhir ini, komponen-komponen biaya yang dimaksud yaitu biaya-biaya yang muncul akibat kegagalan tau kerusakan suatu komponen dari suatu equipment adalah:

#### 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 sehingga tidak mengganggu aktivitas unit pensuplaian udara. Karena perawatan pencegahan dilakukan diluar jam kerja normal maka biaya tenaga perawatan menjadi upah lembur yaitu Rp. 625.000,00 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*. Tenaga kerja yang ditugaskan untuk menangani masalah-masalah teknis tersebut adalah:

Tabel 2. 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
Tenaga operasi 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 ( $C_O$ )

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 (17)

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:

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

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

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

Untuk hasil rekap hasil perhitungan lengkap dapat dilihat tabel berikut.

Tabel 3. Rekap biaya perbaikan

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  $\approx 70\%$

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

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

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

$$= \text{Rp. } 98.020,73 \text{ per jam}$$

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  $\approx 60\%$

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

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

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

$$= \text{Rp. } 105.316,5 \text{ per jam}$$

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  $\approx 50\%$

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

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

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

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

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

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

Pada komponen lainnya dapat direkap pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Biaya Preventive Maintenance

Komponen	$C_{pm}$ pada R(t)					
	70%		60%		50%	
	Rupiah (Rp)	Dollar (US\$)	Rupiah (Rp)	Dollar (US\$)	Rupiah (Rp)	Dollar (US\$)
Rotor	58.028.272	4.654	46.760.520	3.750	42.800.806	3.433
Air Filter	115.373.787	9.254	84.898.275	6.809	64.958.613	5.210
Journal Bearing	26.660.611	2.138	20.637.531	1.655	13.964.722	1.120
Thrust Bearing	23.251.247	1.865	14.657.996	1.176	10.266.488	823
Oil Lubricant	9.256.292	742	6.391.976	513	3.490.706	280
Pressure Indicator	5.943.660	477	4.319.814	347	2.449.226	196
Temperatur Indicator	18.042.104	1447	15.314.917	1.228	9.426.525	756

Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa biaya preventive maintenance pada tiap-tiap komponen berbeda-beda. Jika dilakukan preventive maintenance pada nilai kehandalan yang lebih rendah, maka biaya yang dibutuhkan akan semakin besar.

## V. 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  $R(t) = 0,85$ . *Thrust 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 *thrust 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 kenadalan 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. *Thrust 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.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis, Shinta Kusumawardhani mengucapkan terima kasih kepada PT. Petrokimia Gresik yang telah memberikan bantuan ijin penelitian serta sarana dan prasarana penunjang yang ada. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dalam penelitian tugas akhir ini. Seluruh dosen dan staff pengajar yang telah memberikan ilmu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] 61511, I. (2003). *Functional Safety-Safety Instrumented Systems for the Process Industry*. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- [2] Adiyagsa, H. (2012). Hazard and Operability study in Boiler System of The Steam Power Plant. *1 No. 3*.
- [3] Arnljot, H. d. (1994). *System Reliability Theory*. The Norwegian Institute of Technology: John Wiley & Sons Inc.
- [4] Dewina, L. (2013). Risk Management Using HAZOP Study Method Base Fault Tree Analysis on Emergency Shutdown System-Vacuum Distillation Unit, PT.PQR, Dumai.
- [5] Dhillon, B. (2005). *Reliability, Quality and Safety for Engineers*. USA: CRC Press.
- [6] Ebeling, C. E. (1997.). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The McGraw – HillCompanies.

- [7] Fithri, P. (2010). Optimasi Preventive Maintenance Dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor Dengan Menggunakan Mixed Integer Non Linier Programming Dari Kamran.
- [8] 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.
- [9] Priyatna, D. (2000). *Keandalan dan Perawatan*.
- [10] Sudarta. (2008). Evaluasi Reliability Pada Sistem Crusher Untuk Memperbaiki Kinerja Maintenance Di PT. Semen Gresik.
- [11] Sunyoto, d. (2008). *Teknik Mesin Industri, Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [12] Surasa, H. A. (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.