

# **RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DALAM MENGANALISIS PADA PRECISION AIR CONDITIONING (PAC) DI PT XYZ**

## **RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) IN ANALYZING PRECISION AIR CONDITIONING (PAC) AT PT XYZ**

**RIKZAN BACHRUL ULUM<sup>1</sup>, TARMAN<sup>2</sup>, HERRY FIRMANSYAH<sup>3</sup>, RIZKY FAJAR RAMDHANI<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup> (PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI) SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI WASTUKANCANA

PURWAKARTA <sup>1</sup>rikzan@wastukancana.ac.id, <sup>2</sup>tarman@wastukancana.ac.id,

<sup>3</sup>herry.firman94@gmail.com, <sup>4</sup>rizky@wastukancana.ac.id.

**Abstrak:** Kelancaran proses bisnis perusahaan sangat dipengaruhi oleh alat-alat produksi utama maupun alat-alat pendukung produksi yang handal, hal ini juga berlaku pada PT XYZ yang merupakan salah satu perusahaan yang bergerak pada jasa komunikasi. Salah satu bagian yang paling penting dari proses penyediaan jasa komunikasi tersebut adalah Precision Air Conditioning (PAC), yang memiliki fungsi untuk menjaga suhu server rack berada pada suhu optimal untuk bekerja, unit PAC bekerja selama 24 jam setiap harinya. Kegagalan pada unit PAC dapat mengakibatkan terganggunya server rack sehingga proses penyediaan jasa komunikasi dapat terhenti. Maka untuk menghindari terjadinya kegagalan tersebut, diperlukan usaha-usaha perawatan yang dilakukan oleh perusahaan. Salah satunya adalah dengan menerapkan Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk menerapkan sistem perawatan prediktif pada unit PAC dengan mencari komponen-komponen kritis dari PAC dan interval perawatannya. Dari hasil analisis RCM yang telah dilakukan, dapat diketahui terdapat 4 komponen yang memiliki risk priority number paling besar, komponen tersebut adalah fan dengan nilai RPN 576, compressor dengan nilai RPN 471, electric heater dengan nilai RPN 386 dan thermal expansion valve dengan nilai RPN 248. Untuk komponen fan, interval perawatan suku cadang v-belt adalah 155 hari dan bearing blade unit adalah 252 hari, sedangkan pada komponen compressor, interval perawatan untuk suku cadang sensor switch adalah 78 hari dan pelumas 42 hari, kemudian pada komponen electric heater, interval perawatan suku cadang komponen sensor temperatur adalah 182 hari dan sensor air flow 351 hari.

**Kata Kunci :** *Precision Air Conditioning, Reliability Centered Maintenance, Failure Mode effect Analysis, sistem infrastruktur, Logic Tree Analysis.*

**Abstract.** *The smoothness of operation of the company's business process is strongly influenced by the reliability of main production tools and production support tools, this also applies to PT XYZ, which is one of the companies engaged in communication services. One of the most important parts of the process of providing communication services is the Precision Air Conditioning (PAC), which has a function to keep the rack server temperature at the optimal temperature for work, the PAC unit works 24 hours every day. Failure in the PAC unit can result in disruption of the rack server so that the process of communication services can stop. To avoid this failure, maintenance efforts are needed by the company. One of them is by implementing Reliability Centered Maintenance (RCM) to implement a predictive maintenance system on the PAC unit by looking for critical components of the PAC and their maintenance intervals. From the results of the RCM analysis that has been done, it can be seen that there are 4 components that have the greatest risk priority number, these components are a fan with an RPN value of 576, a compressor with an RPN value of 471, an electric heater with an RPN value of 386 and a thermal expansion valve with a value of 248. For the fan component, the maintenance interval for the v-belt spare parts is 155 days and the bearing blade unit is 252 days, while for the compressor component, the maintenance interval for the switch sensor parts is 78 days and for lubricants 42 days, then for the electric component. heater, the temperature sensor component maintenance interval is 182 days and the air flow sensor is 351 days.*

**Keywords:** *Precision Air Conditioning, Reliability Centered Maintenance, Failure Mode effect Analysis, infrastructure system, Logic Tree Analysis*

### **1. Pendahuluan**

#### **A Latar Belakang**

Perusahaan PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penyedia jasa komunikasi pelayanan data (*Data Center*), internet dan *IT Services*. Sejak didirikan pada bulan April 1988, PT. XYZ telah menjadi bagian dari dinamika bisnis di Indonesia dengan menghadirkan layanan komunikasi data, informasi bisnis serta internet yang handal hingga ke wilayah – wilayah terpencil di Nusantara.

Perusahaan PT XYZ memiliki kantor pusat yang berlokasi di "Central Jakarta Menara Thamrin 12th Floor Jl. M.H. Thamrin Kav.3 Jakarta 10250" dan salah satu cabang perusahaannya beralamat di Desa Cilegong Jatiluhur Purwakarta.

Salah satu infrastruktur yang mendukung atas bisnis ini adalah sistem pendingin yang berada di ruang server yaitu *Precision Air Conditioning* (PAC) adalah salah satu sistem pendingin yang di buat untuk menjaga kestabilan suhu (Temperatur) 18 sampai dengan 20 derajat celcius dan kelembaban (RH : relative humidity 50 % dengan toleransi +/- 5% ) pada ruangan tertutup yang di dalamnya terdapat perangkat – perangkat yang membutuhkan pendingin secara continue,

Permasalahan yang di hadapi adalah kerusakan yang terjadi sewaktu – waktu sebelum interval perawatan menyebabkan adanya kegiatan *overhaul* dan *replacement* atau *corrective maintenance* yang menimbulkan *downtime* dan *breakdown* unit PAC, oleh karena itu perlu di tunjang dengan aktivitas perawatan unit yang teratur dan terencana.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas yang mendasari penelitian ini maka dapat diambil perumusan masalah yang akan jadi objek kajian sebagai berikut:

1. Apa komponen yang memiliki risiko untuk gagal paling besar pada unit *precision air conditioning*?
2. Apa tindakan perbaikan bagi komponen yang memiliki risiko untuk gagal paling besar pada unit *precision air conditioning*?
3. Bagaimana penjadwalan perawatan bagi komponen yang memiliki risiko untuk gagal paling besar pada unit *precision air conditioning*?

## **C. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui komponen yang memiliki risiko untuk gagal paling besar pada unit *precision air conditioning*.
2. Mengetahui tindakan perbaikan bagi komponen yang memiliki risiko untuk gagal paling besar pada unit *precision air conditioning*.
3. Mengetahui jadwal perawatan bagi komponen yang memiliki risiko untuk gagal paling besar pada unit *precision air conditioning*.

## **2. Landasan Teori & Metode**

### **A. Pengertian Pemeliharaan**

*Maintenance* yang dalam bahasa indonesia biasa disebut pemeliharaan/perawatan merupakan sebuah aktifitas yang bertujuan untuk memastikan suatu fasilitas secara fisik bisa secara terus menerus melakukan apa yang pengguna/pemakai inginkan. Untuk pengertian pemeliharaan lebih jelas adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima (Kurniawan, 2013).

### **B. Bentuk-Bentuk Pemeliharaan**

Menurut (Sudrajat, 2011) bentuk kebijakan perawatan adalah sebagai berikut:

1. *Preventive Maintenance*
2. *Breakdown Maintenance*
3. *Scheduled Maintenance*
4. *Predictive Maintenance*
5. *Corrective Maintenance*

### **C. Tujuan Perawatan**

Perawatan adalah pendukung bagi kegiatan komersil dengan cara efektif, efisien dan berbiaya rendah. Adanya biaya perawatan ini, maka mesin produksi dapat digunakan sesuai dengan rencana dan tidak mengalami kerusakan selama jangka waktu tertentu yang telah direncanakan tercapai (Sudrajat, 2011).

## D. Reliable Centered Maintenance

*Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan sebuah proses teknik logika untuk menentukan tugas-tugas pemeliharaan yang akan menjamin sebuah perancangan sistem keandalan dengan kondisi pengoperasian yang spesifik pada sebuah lingkungan pengoperasian yang khusus. Penekanan terbesar pada *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah menyadari bahwa konsekuensi atau resiko dari kegagalan adalah jauh lebih penting dari pada karakteristik teknik itu sendiri.

## E. Tujuan Reliability Centered Maintenance

Menurut (Sudrajat, 2011), berikut adalah beberapa tujuan penting dari penerapan RCM: Membentuk desain yang berhubungan supaya dapat memfasilitasi *preventive maintenance* (PM).

## F. Langkah-Langkah Penerapan Reliability Centered Maintenance

Sebelum menerapkan RCM, kita harus memperhatikan langkah-langkah yang dibutuhkan dalam pelaksanaan RCM. Adapun langkah-langkah yang diperlukan dalam RCM dijelaskan dalam bagian berikut:

1. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi
2. Pendefinisan Batasan Sistem
3. Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsi
4. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsi
5. *Failure Mode Effect Analysis*
6. *Logic Tree Analysis*

## G. Pola Distribusi dalam Kehandalan

Distribusi merupakan ekspresi matematis usia dan pola kerusakan mesin atau peralatan penentuan pola distribusi kerusakan mesin atau komponennya biasanya merupakan distribusi Weibull, Lognormal, Eksponensial, Gamma dan Normal (Simanjuntak, 2018). Pola-pola berikut ini merupakan pola yang umum menggambarkan distribusi kerusakan komponen mesin sebagai berikut :

### Pola Distribusi Weibull

Fungsi-fungsi dari distribusi *Weibull*. Fungsi-fungsi pada distribusi weibull adalah:

- a. Fungsi kepadatan probabilitas

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (1)$$

- b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2)$$

1. Pola Distribusi Normal

Fungsi-fungsi pada distribusi normal adalah:

- a. Fungsi kepadatan probabilitas

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

untuk  $-\infty \leq t \leq \infty$

- b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (4)$$

atau

$$F(t) = \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (5)$$

2. Pola Distribusi *Lognormal*

Berikut adalah fungsi-fungsi distribusi *lognormal*:

- a. Fungsi kepadatan probabilitas

$$f(t) = \frac{1}{st\sqrt{2\pi}} e^{\left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right]} \quad (6)$$

- b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = \phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad (7)$$

3. Distribusi *Ekspensial*

Fungsi-fungsi dari distribusi Eksponensial:

- a. Fungsi kepadatan probabilitas

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (8)$$

untuk  $t \geq 0, \lambda > 0$

- b. Fungsi Distribusi Kumulatif

$$F(t) = 1 - e^{(-\lambda t)} \quad (9)$$

## H. Total Minimum Downtime

Pada dasarnya *downtime* didefinisikan sebagai waktu suatu komponen sistem tidak dapat digunakan (tidak berada dalam kondisi yang baik), sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan. Berdasarkan kenyataan bahwa pada dasarnya prinsip utama dalam manajemen perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting (Razak, 2017).

Dapat dilihat bahwa total *downtime* per unit waktu untuk tindakan penggantian preventif pada waktu  $tp$ , dinotasikan sebagai  $D(tp)$  adalah:

$$D(t) = \frac{H(t) Tf + Tp}{t + Tp}, \quad (10)$$

di mana:

$H(tp)$  = Banyaknya kerusakan (kegagalan) dalam interval waktu  $(0, tp)$ , merupakan nilai harapan (*expected value*)

$Tf$  = Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena kerusakan.

$Tp$  = Waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena tindakan preventif (komponen belum rusak).

$tp + Tp$  = Panjang satu siklus.

## I. Failure Mode Effect Analysis

Menurut Gasperz, dalam (Gunawan, 2017), FMEA dapat digunakan untuk megidentifikasi cara – cara kegagalan yang potensial untuk sebuah produk atau proses. Metode *risk priority number* (RPN) kemudian memerlukan analisa dari tim untuk menggunakan pengalaman masa lalu dan keputusan *engineering* untuk memberikan peringkat setiap potensial masalah, untuk mendapatkan penilaian dilakukan dengan cara mengumpulkan data hasil kegagalan dan menyebarluaskan kuesioner kepada pihak – pihak ahli (Operator, Teknisi) yang mengerti. Berikut di bawah ini adalah *rating* skala tersebut :

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (11)$$

## J. Logic Tree Analysis

*Logic tree analysis* (LTA) memiliki tujuan untuk memberikan prioritas pada tiap mode kerusakan dan melakukan tinjauan dan fungsi, kegagalan fungsi sehingga status mode kerusakan tidak sama (Razak, 2017).

## K. Software Easyfit

*Easyfit* memungkinkan untuk dengan mudah dan cepat memilih distribusi probabilitas yang paling sesuai dengan data, dan melakukan perhitungan khusus dengan menggunakan model terbaik. (Arwindy, Buulolo, & Rosmaini, 2014).

## 4. Hasil dan Pembahasan

### A. Analisa Function Block Diagram

Pembuatan *function block diagram* didasari dari gambar teknis PAC yang didapatkan dari buku manual.

**Tabel 4.1. Analisis LTA Penentuan Kategori Kegagalan Komponen Compressor, Electric Heater dan Thermal Expansion Valve.**

Komponen	Failure Mode	Failure Cause	Suku Cadang	Critical Analysis			
				Evident	Safety	Outage	Category
Compressor	Sensor Switch Error	Compressor Mati	Sensor Switch	Ya	Tidak	Ya	B
	Oli Habis	Pelumas Pada Motor Habis	Pelumas	Ya	Tidak	Tidak	C
Electric Heater	Temperature Switch Error	Sensor Temperatur Error	Sensor Temperatur	Ya	Tidak	Ya	B
	Refrigeran bocor	Karat Pada Fitting Pipa	Fitting Pipa	Ya	Tidak	Tidak	C
	Air Flow Switch Error	Sensor Air Flow Error	Sensor Air Flow	Ya	Tidak	Ya	B
	Electric Heater Terbakar	Resistansi Pada Heater Melebihi Standar	Electric Heater Unit	Tidak	Tidak	Ya	D/B
	Thermal Expansion Valve	Setting Superheat Salah	-	Ya	Tidak	Ya	B
	Valve Macet	Kotoran Pada Refrigeran	Thermal Expansion Valve Unit	Ya	Tidak	Ya	B

## B. Perhitungan Time to Repair

### V-Belt Fan

Berikut adalah data *downtime* dan lama perbaikan *V-Belt fan* dari tahun 2015 yang penulis dapatkan dari *log* sistem PAC dan catatan *maintenance*:

**Tabel 4.2. Historis Lama Waktu Pergantian Suku Cadang V-Belt Fan.**

Tanggal Downtime	TTR		
	Mulai	Selesai	Waktu (Menit)
12/12/2015	09:18	10:29	71
25/05/2016	20:38	21:56	78
3/11/2016	08:56	10:16	80
1/05/2017	23:51	01:03	72
19/11/2017	03:22	04:42	80
Tanggal Downtime	TTR		
	Mulai	Selesai	Waktu(Menit)
27/05/2018	10:21	11:31	70
18/11/2018	10:55	12:10	75
6/05/2019	19:02	20:07	65
29/10/2019	21:33	22:53	80
12/05/2020	05:52	07:02	70

Berikut adalah hasil analisis *descriptive statistic* pada aplikasi *Easyfit Professional 5.5*:

Statistic	Value	Percentile	Value
Sample Size	10	Min	65
Range	15	5%	65
Mean	74.1	10%	65.5
Variance	27.878	25% (Q1)	70
Std. Deviation	5.2799	50% (Median)	73.5
Coef. of Variation	0.07125	75% (Q3)	80
Std. Error	1.6697	90%	80
Skewness	-0.23993	95%	80
Excess Kurtosis	-1.1373	Max	80

**Gambar 4.1. Hasil Analisis Descriptive Statistic Pada Data Perbaikan V-Belt Fan.**

Berdasarkan hasil analisis *descriptive statistic* pada aplikasi *Easyfit Professional 5.5* tersebut, dapat diketahui bahwa nilai *mean* dari waktu perbaikan *v-belt fan* adalah 74.1 menit.

## C. Penentuan Total Minimum Downtime

**Tabel 4.3. Data Suku Cadang Komponen V-Belt Fan.**

Nama Suku Cadang	V-Belt Fan
Distribusi	<i>Lognormal</i>
Parameter	$\bar{x}=0.07186$ , $s=5.186$ .
Tf	0.051
Tp	0.042

a. Perhitungan Fungsi Distribusi Kumulatif

Perhitungan distribusi kumulatif dilakukan dengan menggunakan *add-ins Easyfitxl* pada *Microsoft Excel*, dengan rumus  $=LognormalCdf(t,0.07186,5.186)$  dengan hasil:

$$F(1) = 0$$

$$F(2) = 0$$

$$F(3) = 0$$

$$F(\dots) = \dots$$

$$F(155) = 0.023624319$$

Dengan cara yang sama untuk  $F(1)$ ,  $F(2)$ .... $F(t)$  pada *Microsoft excel*, hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada lampiran.

b. Perhitungan Interval Kerusakan Tiap Waktu

$$H(0) \text{ selalu ditetapkan} = 0$$

$$H(1) = \{1 + H(0)\} F(1)$$

$$= \{1+0\} 0$$

$$= 0$$

$$H(2) = \{1 + H(1)\} F(2)$$

$$= \{1+0\} 0$$

$$= 0$$

$$H(3) = \{1 + H(2)\} F(3)$$

$$= \{1+0\} 0$$

$$= 0$$

$$H(\dots) = \dots$$

$$H(155) = \{1 + H(154)\} F(155)$$

$$= \{1+ 0.019326206\} 0.023624319$$

$$= 0.024080887$$

Dengan cara yang sama untuk  $H(1)$ ,  $H(2)$ .... $H(t)$  pada *Microsoft excel*, hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada lampiran.

c. Perhitungan Total *Minimum Downtime*

$$D(1) = \frac{0 \times 0.051 + 0.042}{1+0.042}$$

$$= 0.0403$$

$$D(2) = \frac{0 \times 0.051 + 0.042}{2+0.042}$$

$$= 0.0206$$

$$D(3) = \frac{0 \times 0.051 + 0.042}{3+0.042}$$

$$= 0.0138$$

$$D(\dots) = \dots$$

$$D(155) = \frac{0.024080887 \times 0.051 + 0.042}{155+0.042}$$

$$= 0.0002788$$

Dengan cara yang sama untuk  $D(1)$ ,  $D(2)$ .... $H(t)$  pada *Microsoft excel*, hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada lampiran. Dari seluruh hasil perhitungan TMD didapatkan bahwa t ke 155 memiliki nilai TMD paling kecil, sebesar 0.0002788.

## E. Interval Perawatan

**Tabel 4.4. Data Interval Perawatan Masing-Masing Suku Cadang Komponen**

Komponen	Suku Cadang	Nilai TMD	Interval (Hari)
<i>Fan</i>	<i>V-Belt</i>	0.000279	155
	<i>Blade Bearing Unit</i>	0.000580	252
<i>Compressor</i>	<i>Sensor Switch</i>	0.000434	78
	<i>Pelumas</i>	0.001566	42
<i>Electric Heater</i>	<i>Sensor Temperatur</i>	0.000291	182
	<i>Sensor Air Flow</i>	0.000102	351

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data yang telah dilakukan pada bab IV, penulis memperoleh kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis FMEA dan interpretasi dengan diagram Pareto, dapat diketahui bahwa terdapat beberapa komponen dari PAC yang memiliki *risk priority number* yang cukup besar, komponen tersebut adalah *fan* dengan nilai RPN 576, *compressor* dengan nilai RPN 471, *electric heater* dengan nilai RPN 386 dan *thermal expansion valve* dengan nilai RPN 248, empat komponen tersebut mewakili hampir 80% dari total nilai RPN komponen dari PAC secara keseluruhan.
2. Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada tahapan pemilihan kegiatan dengan bantuan diagram *task selection*, terdapat 6 *failure mode* pada 3 komponen yang termasuk dalam kategori *time directed*, 8 *failure mode* pada 4 komponen yang termasuk pada kategori *condition directed*, 2 *failure mode* pada 2 komponen yang termasuk kategori *failure finding*, dan 1 *failure mode* pada 1 komponen yang termasuk kategori *run to failure*.
3. Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada tahapan penentuan interval perawatan berdasarkan nilai TMD terkecil untuk mode kegagalan yang masuk ke kategori *time directed*, dapat diketahui bahwa untuk komponen *fan*, interval perawatan suku cadang *v-belt* adalah 155 hari dan *bearing blade unit* adalah 252 hari, sedangkan pada komponen *compressor*, interval perawatan untuk suku cadang *sensor switch* adalah 78 hari dan *pelumas* 42 hari, kemudian pada komponen *electric heater*, interval perawatan suku cadang komponen *sensor temperatur* adalah 182 hari dan *sensor air flow* 351 hari.

## Referensi

- Ansori, N., & Mustajib, M. (2013). *Sistem Perawatan Terpadu*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Arianto, G. (2016). Penjadwalan Perawatan Mesin Giling Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance.
- Arwinda, F., Buulolo, F., & Rosmaini, E. (2014). Analisis Dan Simulasi Sistem Antrian Pada Bank Abc. *Saintia Matematika Vol. 2 No. 2*, 147-162.
- Asisco, H. (2012). Usulan Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Di Pt. Perkebunan Nusantara Vii (Persero)
- Faizal, M. (2016). Implementasi Reliability Centered Maintenance Pada Proses Peleburan Polimer Keramik Di Pp. Ferro Indonesia.
- Gunawan, I. (2017). Analisa Kegagalan Proses Regenerasi Water Treatment Plant # 2 Pltgu Unit Pembangkitan Gresik Dengan Metode Fmea Dan Fta (Studi Kasus Di Pt Pjb Up. Gresik).
- Kirana, U. T., Alhilman, J., & Sutrisno. (2016). Perancangan Kebijakan Perawatan Mesin Coraza Ff100 Pada Line 3 Pt Xyz Dengan Menggunakan Metode Rcm.
- Kurniawan, F. (2013). *Teknik Dan Aplikasi Manajemen Perawatan Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Manzini , R., Regattieri, A., Pham, H., & Ferrari, E. (2010). *Maintenance For Industrial Systems*. London: Springer.
- Pranoto, H. (2015). *Reliability Centered Maintenance*. Jakarta: Mitra Wacana.