



Studi Kasus

Manajemen Perawatan Menggunakan Metode RCM Pada Mesin Produksi Kertas

Hery Hamdi Azwir¹, Arri Ismail Wicaksono¹, Hirawati Oemar²

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Presiden, Jababeka, Bekasi, 17530, Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Bandung, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: October 10, 2019

Revised: March 2, 2020

Available online: June 6, 2020

KEYWORDS

Maintenance, downtime, preventive maintenance, Reliability Centered Maintenance (RCM)

CORRESPONDENCE

Phone: +62 (021) 8910 9762 - 63

E-mail: hery.azwir@president.ac.id

A B S T R A C T

One of the leading manufacturers in packaging paper in Indonesia has six production machines. To keep the production machine always in the best condition, the role of maintenance is critical. One of the production machines, namely paper production machine 2 (PM2), has experienced increasing the number of breakdowns significantly, resulting in increased downtimes. Sudden failure causes a lengthy repair time and results in considerable production loss. The corrective maintenance method that is running at this time still not effectively reduce downtimes. To minimize the number of downtimes, preventive maintenance is needed, and therefore the Reliability Centered Maintenance (RCM) method is selected. Besides applying quantitative analysis such as Mean Time To Repair (MTTR), Mean Time To Failure (MTTF), reliability, and preventive cost calculations. This method also conducts qualitative analysis such as Functional Block Diagrams (FBD), critical engine analysis, Fault Tree Analysis (FTA), and Failure and Mode Effect Analysis (FMEA). After implementing the preventive maintenance, there is an increase in reliability in the sub-system of the press section of the paper production machine 2 from only 43% to 56%, while the repair cost has been reduced by Rp 393,258,670 from Rp 5,724,825,736 to Rp 5,331,567,066 each time replacement of components in the press section is carried out. Such decrease in costs will contribute to the profits earned by the company because it saves maintenance costs.

PENDAHULUAN

Salah satu perusahaan terkemuka yang memproduksi kertas kemasan di Indonesia yang berlokasi di Kab. Bekasi, memproduksi berbagai produk kertas yang meliputi kertas *Kraft Liner Board* (KLB) dan kertas *Corrugated Medium Paper* (CMP) untuk kemasan karton dan *Coated Duplex Board* (CDB) untuk kemasan display. Dengan mesin yang beroperasi nonstop selama 24 jam atau 3 shift, maka akan sangat rawan terjadi kerusakan. Oleh karena itu, peranan perawatan menjadi sangat penting dalam hal ini. Perawatan adalah kegiatan yang dilakukan untuk memastikan fungsi suatu aset atau peralatan berjalan sesuai dengan yang seharusnya [1].

Paper machine 2 (PM2) merupakan mesin yang digunakan untuk memproduksi kertas jenis KLB. Pada *Paper machine 2* terdapat sejumlah bagian mesin yang merupakan penyusun mesin tersebut seperti: *Gearbox, Roll, Pump (centrifugal & vacuum), Blower* dan Agitator. Banyaknya jumlah *downtime* mekanik PM2 pada periode 1 Januari – 31 Desember 2017 sudah melebihi total kumulatif *downtime* pada tahun 2016. Hal ini akan mengakibatkan target pencapaian *downtime* maksimum pada PM2 menjadi tidak tercapai. Metode penjadwalan perawatan mesin yang saat itu diterapkan pada PM2 masih di dominasi oleh

corrective maintenance, dimana dengan metode tersebut angka *downtime* dinilai masih cukup tinggi dan mengakibatkan proses produksi menjadi terganggu dan tidak optimal. Oleh karena itu, diperlukan metode yang lebih tepat untuk penjadwalan perbaikan mesin pada PM2.

Untuk mengatasi permasalahan yang sedang terjadi, perlu dilakukan analisis yang berbasis pada *reliability* dengan cara kualitatif dan kuantitatif [1]. Metode perawatan yang berbasis pada *reliability* dikenal dengan nama *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Tujuan dari RCM adalah sebagai berikut [2]:

1. Untuk mengembangkan prioritas terkait desain yang dapat memfasilitasi *preventive maintenance*.
2. Untuk mengumpulkan informasi yang berguna untuk menyempurnakan desain produk yang tidak memuaskan dengan keandalannya.
3. Untuk mengembangkan tugas-tugas terkait *preventive maintenance* yang dapat memulihkan keandalan dan keselamatan ke level yang sesuai dengan kerusakan peralatan atau sistem.
4. Untuk mencapai tujuan-tujuan di atas dengan total biaya minimal.

Sejumlah studi dan implementasi RCM telah banyak dilakukan dalam beberapa kasus diantaranya pada mesin *blowmould* di industri minuman [3], mesin-mesin di sebuah UMKM yang memproduksi produk berbahan aluminium [4], mesin *blowing* di perusahaan tekstil [5], industri pupuk [6], industri pembuatan keju [7], mesin kompresor di industri otomotif [8], mesin *stitching* di industri percetakan buku [9], mesin *boiler* di PLTU [10], mesin-mesin pencetakan buku-buku pelajaran, majalah, surat kabar dan lain-lain di sebuah industri percetakan besar [11]. RCM juga digunakan untuk perawatan *microgrid* dan sistem distribusi tenaga listrik [12], serta identifikasi *failure modes* dalam *electrostatic chuck* (ESC) dalam proses manufaktur *mikrochip* [13].

Oleh karena pendekatan *corrective maintenance* yang dilakukan selama ini masih belum berhasil menurunkan *downtime*, dan perusahaan menginginkan perawatan yang memperhatikan faktor peningkatan *availability* atau *reliability*, maka usulan metode RCM dalam penelitian ini menjadi hal yang penting. Tujuan penelitian ini adalah (1) Mengetahui komponen-komponen kritis pada PM2 karena memiliki *downtime* tertinggi; (2) Mengetahui tingkat *reliability* suatu komponen berdasarkan data histori perbaikan PM2; (3) Menentukan penjadwalan perawatan mesin

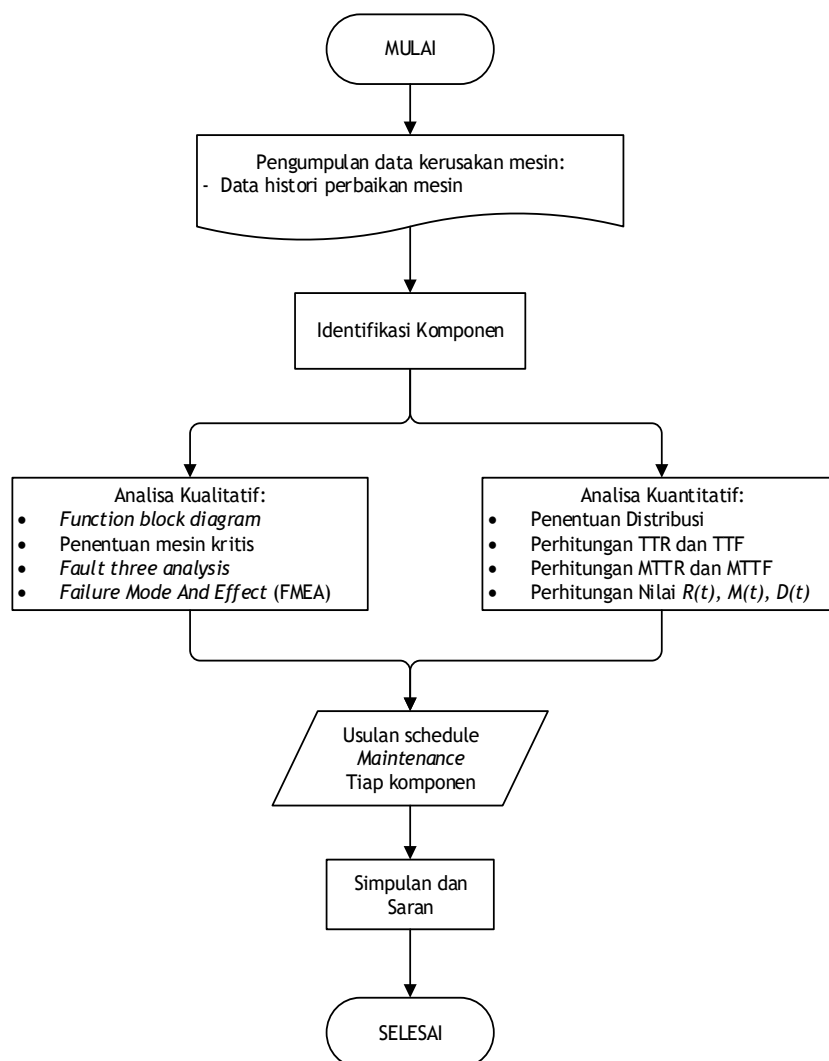
yang tepat pada pada PM2; (4) Mengetahui perbandingan biaya jika dilakukan penjadwalan perbaikan mesin.

METODE

Penelitian terhadap perawatan mesin produksi kertas 2 (PM2) yang ada di perusahaan kertas ini mengambil data:

- Waktu dan frekuensi kerusakan mesin produksi kertas nomer 2
- Sub sistem mesin produksi kertas 2
- Penyebab kerusakan mesin produksi kertas 2
- Biaya perbaikan kerusakan mesin produksi kertas 2

Selanjutnya, setelah data tersebut didapatkan, maka dilanjutkan dengan tahapan berikutnya yang diperlihatkan pada Gambar 1. Setelah seluruh data didapatkan, dilanjutkan dengan identifikasi komponen melalui analisis kualitatif dan kuantitatif. Setelah analisis dilakukan, dibuat suatu usulan penjadwalan perawatan. Secara lebih rinci tahapan-tahapan dalam Gambar 1 dijelaskan dalam masing-masing paragraf berikut dengan merujuk kepada Daya [14].



Gambar 1. Metode

Menentukan Mesin yang Akan Dijadikan Objek Penelitian

Penentuan mesin yang dijadikan objek penelitian berdasarkan mesin yang memiliki frekuensi kerusakan yang terbesar.

Menjelaskan Fungsi dari Tiap–Tiap Sub Sistem Mesin Produksi Kertas

Functional block diagram menggambarkan hubungan antara fungsi utama dan sistem pendukungnya atau sub-sistem. Dengan menggambarkan sistem dapat diketahui hubungan antar komponen dan kontribusinya terhadap kinerja sistem kemudian hasilnya digunakan untuk melakukan penjadwalan perawatan di masa yang akan datang.

Menentukan Mesin Kritis pada Mesin Produksi Kertas

Penentuan mesin kritis menggunakan diagram pareto berdasarkan pada frekuensi kerusakan yang terbesar. Diagram pareto merupakan satu dari tujuh alat dasar kontrol kualitas. Prinsip pareto menggambarkan fakta bahwa 80% masalah berasal dari 20% penyebabnya.

Analisis Komponen Penyusun Kerusakan dengan FTA

Fault Tree Analysis (FTA) merupakan salah satu diagram satu arah dan menghubungkan informasi yang dikembangkan dalam *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) [15]. FTA adalah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi sebab dan akibat yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*Top Event*), dalam hal ini adalah PM2 dengan simbol kotak, kemudian menentukan sebab-sebab suatu kejadian puncak sampai pada suatu kegagalan dasar (*Basic Event*) dengan simbol lingkaran.

Analisis FMEA dari Kerusakan yang Ditimbulkan Tiap–Tiap Komponen

Tugas dalam FMEA adalah mengidentifikasi mode kegagalan menggunakan data dan pengetahuan tentang suatu produk atau peralatan, masing-masing potensi kegagalan dan efek yang ditimbulkan dinilai dari tiga faktor berikut [14]:

Severity : konsekuensi saat terjadi kegagalan.

Occurrence : probabilitas atau frekuensi kegagalan yang terjadi

Detection : kegagalan dapat terdeteksi sebelum terjadi.

Kemudian ketiga faktor ini digabungkan dalam satu nilai yang disebut *Risk Priority Number* (RPN) dengan rumus:

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Penentuan Distribusi Data TTR dan TTF

Ada beberapa fungsi distribusi statistik yang digunakan untuk menguraikan kerusakan peralatan. Adapun fungsi distribusi tersebut adalah:

Fungsi Distribusi Normal

a. *Probability density function*:

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

b. *Cumulative distribution function*:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (3)$$

c. *Reliability function*:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

d. *Failure rate function*:

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{\sigma R(t)} \quad (5)$$

e. *Mean time to failure* (MTTF):

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

Fungsi Distribusi Lognormal

a. *Probability density function*

$$f(t) = \frac{1}{st\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2s^2}\left(\ln\frac{t}{t_{med}}\right)^2} \quad (7)$$

b. *Cumulative distribution function*

$$F(t) = \Phi\left(\frac{1}{s}\ln\frac{t}{t_{med}}\right) \quad (8)$$

c. *Reliability function*:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (9)$$

d. *Failure rate function*

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{stR(t)} \quad (10)$$

e. *Mean time to failure* (MTTF)

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\left(\frac{s^2}{2}\right)} \quad (11)$$

f. *Variance*

$$\sigma^2 = t_{med}^2 e^{s^2} [e^{s^2} - 1] \quad (12)$$

Fungsi Distribusi Eksponensial

a. *Probability density function*

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (13)$$

b. *Cumulative distribution function*

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (14)$$

c. *Reliability function*:

$$R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (15)$$

d. *Failure rate function*

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad (16)$$

e. *Mean time to failure* (MTTF)

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (17)$$

f. *Variance*

$$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (18)$$

Fungsi Distribusi Weibull

a. *Cumulative distribution function*

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (19)$$

b. *Reliability function*

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (20)$$

c. *Failure Rate Function*

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (21)$$

d. *Mean time to failure* (MTTF)

$$MTTF = (\theta)\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (22)$$

$$\Gamma(x) = (x-1)\Gamma(x-1) \quad (23)$$

e. Variance

$$\sigma^2 = (\theta)^2 \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \left[\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]^2 \right\} \tag{24}$$

Penentuan distribusi yang sesuai melalui nilai *p-value* dan *Andersen Darling* (AD) dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 = Data sesuai untuk distribusi tertentu

H_1 = Data tidak sesuai untuk distribusi tertentu

Nilai α yang digunakan adalah 0,05 dengan dasar pengambilan keputusan sebagai berikut:

Perhitungan MTTR dan MTTF

Waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan mulai dari komponen tersebut mengalami kerusakan sampai dengan perbaikan dan mesin tersebut berfungsi kembali disebut dengan *mean time to repair* (MTTR) sedangkan *mean time to failure* (MTTF) adalah waktu rata-rata antar kerusakan dari sejak mesin berjalan sampai terjadinya mesin rusak kembali [16].

Penentuan Interval Penggantian Komponen

Reliability

Penggantian komponen dilakukan berdasarkan nilai *reliability* yang optimal. Nilai *reliability* dapat dihitung dengan rumus:

$$R(t) = 1 - F(t) \tag{25}$$

Downtime

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp) + Tf.(1-R(tp))}{(tp+Tp).R(tp) + (M(tp)+Tf).(1-R(tp))} \tag{26}$$

Availability

$$A = 1 - D(tp) \tag{27}$$

Maintainability

$$M(tp) = \frac{MTTF}{F(tp)} \tag{28}$$

Analisis Biaya yang Ditimbulkan oleh Perbaikan Mesin

Rumus yang digunakan dalam perhitungan biaya sebelum penjadwalan adalah:

$$Cf = p + (d \times u) + (pc \times d \times pl) \tag{29}$$

Rumus yang digunakan dalam perhitungan biaya sesudah penjadwalan adalah:

$$Cp = p + (wp \times u) + (pc \times wp \times pl) \tag{30}$$

Usulan Penjadwalan pada Mesin Produksi Kertas 2

Rekomendasi jadwal penggantian berdasarkan analisis interval penggantian komponen berdasarkan tingkat *reliability* optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Observasi Awal

Penentuan mesin yang akan dijadikan objek penelitian dilakukan dengan memilih mesin yang mempunyai frekuensi kerusakan terbanyak. Hasil perbandingan *downtime* ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan *Downtime* dari Enam Mesin Produksi

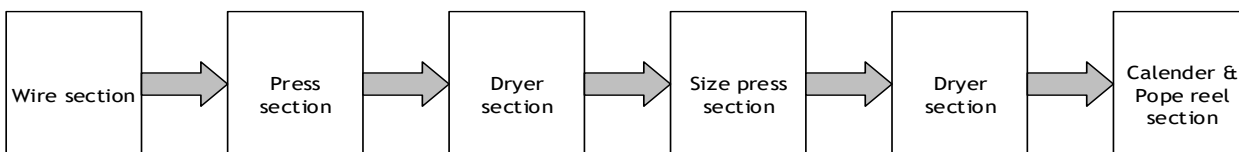
No.	Mesin	Downtime (jam)	Frekuensi	Persentase
1	Paper machine 1	179,73	47	18%
2	Paper machine 2	271,1	70	27%
3	Paper machine 3	80,8	35	13%
4	Paper machine 5	81,08	31	12%
5	Paper machine 7	171,93	52	20%
6	Paper machine 8	95,3	29	11%
Total		879,94	264	100%

Downtime yang terjadi pada *Paper machine 2* pada tahun 2017 telah melebihi target pencapaian (batas maksimum) tahunan yang direncanakan perusahaan dan melebihi pencapaian *downtime* pada tahun sebelumnya (2016) yaitu 135,67 jam. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang akan dijadikan sebagai usulan dalam perawatan *Paper Machine 2*.

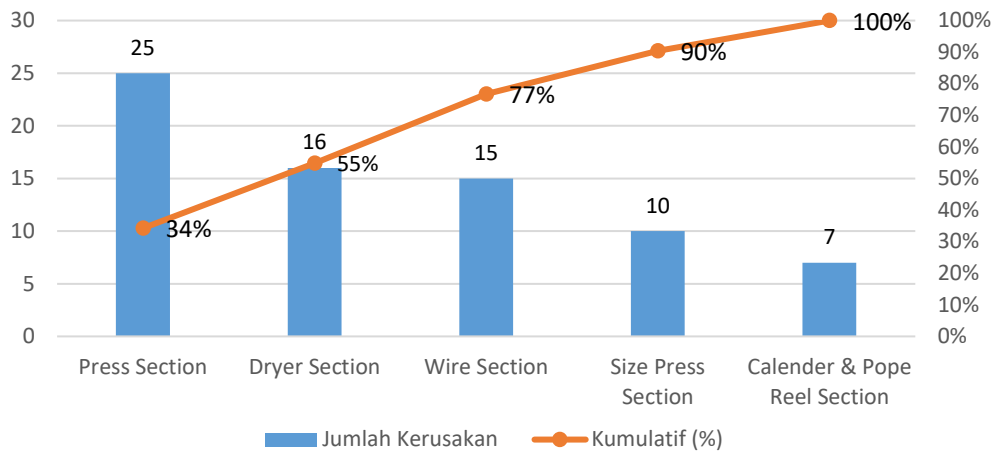
Analisis Functional Block Diagram

Dengan *Functional Block Diagram* (FBD) dapat diketahui bahwa mesin produksi kertas memiliki beberapa bagian atau sub sistem yang sesuai dengan fungsinya masing masing untuk menjalankan sebuah sistem yaitu mesin produksi kertas. Dengan analisa FBD dapat diketahui fungsi-fungsi yang harus dipertahankan oleh sistem. Mesin produksi kertas berfungsi untuk mengolah buburan kertas menjadi lembaran kertas melalui tahapan-tahapan yang melewati sejumlah sub sistem mesin kertas, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2. Fungsi dari masing-masing bagian dalam gambar FBD dapat dijelaskan sebagai berikut:

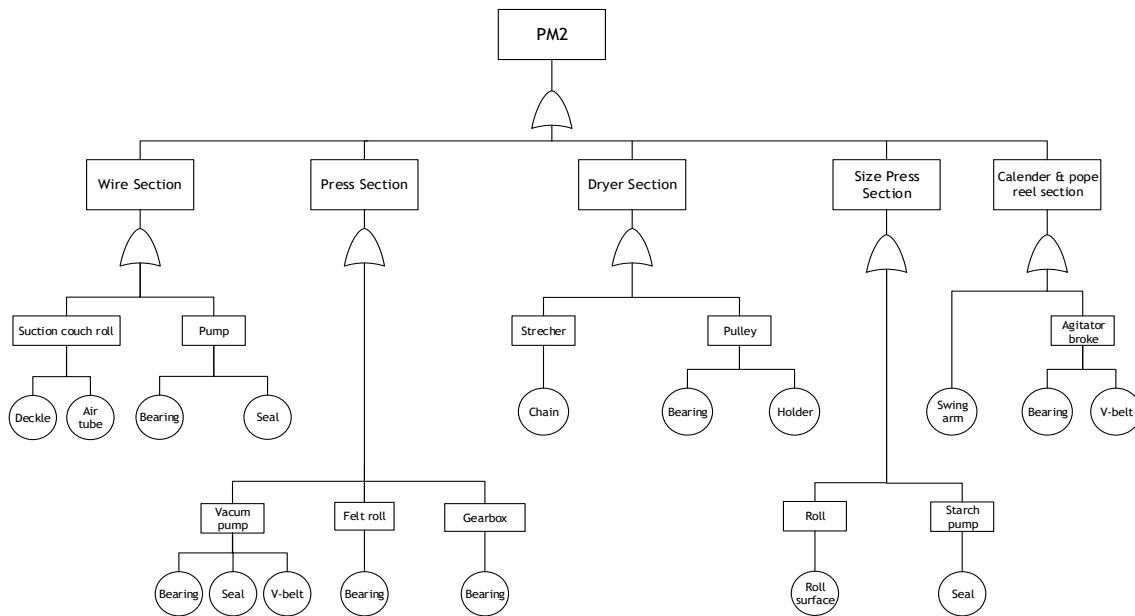
- Wire section*: merupakan proses dimana bubur kertas pertama kali didistribusikan ke mesin produksi kertas lalu dibentuk menjadi lembaran kertas yang masih basah.
- Press section*: bagian mesin yang fungsinya untuk mengeluarkan atau mengurangi kadar air pada lembaran kertas yang telah melewati *wire section*.
- Dryer section*: bagian mesin yang berfungsi mengeringkan kertas sampai kadar yang diinginkan.
- Size press section*: pada bagian mesin ini berfungsi untuk menutupi pori-pori atau lubang pada kertas serta ukuran pada kertas setelah melalui proses sebelumnya yaitu pada proses pengeringan atau penguapan melewati *dryer section*
- Calender & Pope rell section*: berfungsi untuk mengontrol ketebalan dan kehalusan permukaan dari kertas kemudian kertas digulung menjadi jumbo roll.



Gambar 2. *Functional Block Diagram Paper Machine 2*



Gambar 3. Diagram Pareto Tingkat Kerusakan Pada Mesin Produksi Kertas 2



Gambar 4. Fault Tree Analysis pada Mesin Produksi Kertas

Analisis Penentuan Mesin Kritis

Di dalam menentukan bagian mesin kritis pada mesin produksi kertas digunakan analisis pareto seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Dari diagram tersebut dapat diketahui bagian mesin mana yang memiliki tingkat kerusakan tertinggi pada mesin produksi kertas.

FTA

Berdasarkan data kerusakan mesin yang terjadi pada *Paper machine 2* yang diperoleh dari pengumpulan data maka disusun FTA yang diperlihatkan pada Gambar 4. Dengan FTA dapat diketahui konsekuensi dari masing masing part. Kerusakan atau kegagalan yang menjadi *Top Event* juga dapat ditelusuri penyebab masalahnya dan dapat dilakukan perbaikan secara tepat.

FMEA

Tabel 2 merupakan hasil analisis FMEA pada mesin kritis (*Press Section*).

Penentuan Parameter TTR dan TTF

Untuk menentukan jenis distribusi yang sesuai, maka dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai *p-value* dan Andersen Darling dengan memanfaatkan software MiniTab. Tabel 3 memperlihatkan pola distribusi TTR dan Tabel 4 menunjukkan pola distribusi TTF.

Perhitungan Nilai MTTR dan MTTF

Dari hasil penentuan distribusi dapat diketahui parameter dari setiap data baik TTR maupun TTF yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan MTTR dan MTTF dengan menggunakan rumus, yang dijelaskan hasilnya di Tabel 5.

Tabel 2. FMEA Press Section

Sub Sistem	Equipment Part	Function	Function Failure	Failure Mode	Failure Effect	S	O	D	RPN	
Press Section	Vacum Pump	Bearing	1 Sebagai bantalan putar <i>vacum pump</i>	A <i>Bearing</i> rusak / macet	1 <i>Roll suction</i> tidak dapat mengurangi kadar air pada kertas	Kertas menjadi gampang putus dalam proses produksi dan Q2	8	8	6	384
		seal	2 Menjaga tingkatan <i>vacum</i> sesuai yang diharapkan.	A <i>Seal</i> bocor	1 Tingkatan <i>vacum</i> menurun	Penggantian <i>bearing</i> 7 jam Kertas menjadi mudah putus dalam proses produksi dan Q2	6	6	5	180
		V-belt	3 Penghubung yang memindahkan putaran dari motor ke <i>vacum pump</i>	A <i>V-belt</i> putus	1 sistem <i>vacum</i> tidak bekerja	penggantian <i>seal (gland packing)</i> 2 jam Kertas menjadi mudah putus dalam proses produksi dan Q2	7	8	6	336
	Felt Roll	Bearing	1 sebagai bantalan putar rol yang berfungsi memutar <i>felt</i>	A <i>Bearing</i> rusak / macet	1 <i>Roll</i> tidak dapat memutar <i>felt</i>	Kertas menjadi mudah putus dalam proses produksi dan Q2	8	7	8	448
	Gearbox	Bearing	1 Sebagai bantalan putar <i>gearbox</i> yang mengkonversi potaran motor terhadap <i>roll</i>	A <i>Bearing</i> rusak / macet	1 <i>gerabox</i> tidak dapat memutar <i>roll - roll</i>	penggantian <i>v-belt</i> 3 jam Kerusakan akan semakin parah dan biaya perbaikan semakin besar dan penggantian <i>bearing</i> 3 jam Kertas menjadi mudah putus dalam proses selanjutnya dan penggantian bearing 5 jam & 12 jam jika mengganti dengan <i>gearbox spare</i>	8	9	9	648

Table 3. Pola Distribusi TTR Press Section

Table 4. Pola Distribusi TTF Press Section

Sub Sistem	No	Part	Anderson Darling	P-Value	Distribusi	Result	Sub Sistem	No	Part	Anderson Darling	P-Value	Distribusi	Result
Press section	1	Bearing Vacum pump	0,381	0,243	Normal	OK	Press section	1	Bearing Vacum pump	0,286	0,404	Normal	OK
			1,663	0,013	Eksponensial	NOK				0,673	0,224	Eksponensial	OK
			0,48	0,205	Weibull	OK				0,394	0,25	Weibull	OK
			0,369	0,264	Lognormal	OK				0,332	0,29	Lognormal	OK
	2	Seal Vacum pump	0,225	0,686	Normal	OK		2	Seal Vacum pump	0,301	0,419	Normal	OK
			1,64	0,015	Eksponensial	NOK				0,826	0,146	Eksponensial	OK
			0,262	0,25	Weibull	OK				0,333	0,25	Weibull	OK
	3	V-belt	0,166	0,889	Lognormal	OK		3	V-belt	0,255	0,542	Lognormal	OK
			0,158	0,89	Normal	OK				0,258	0,491	Normal	OK
			1,84	0,008	Eksponensial	NOK				1,034	0,072	Eksponensial	OK
	4	Bearing Felt roll	0,205	0,25	Weibull	OK		4	Bearing Felt roll	0,302	0,25	Weibull	OK
			0,162	0,884	Lognormal	OK				0,341	0,272	Lognormal	OK
			0,27	0,453	Normal	OK				0,259	0,387	Normal	OK
	5	Bearing Gearbox	1,563	0,015	Eksponensial	NOK		5	Bearing Gearbox	0,558	0,304	Eksponensial	OK
			0,34	0,25	Weibull	OK				0,383	0,25	Weibull	OK
0,26			0,484	Lognormal	OK	0,323	0,228			Lognormal	OK		
			0,34	0,322	Normal	OK				0,471	0,103	Normal	OK
			1,52	0,019	Eksponensial	NOK				0,257	0,832	Eksponensial	OK
			0,396	0,25	Weibull	OK				0,244	0,25	Weibull	OK
			0,257	0,535	Lognormal	OK				0,18	0,781	Lognormal	OK

Tabel 5. Perhitungan Nilai MTTR dan MTTF pada *Press Section*

Sub Sistem	Equipment Part	Distribusi Terpilih (TTR)	Parameter TTR	Nilai MTTR (Jam)	Distribusi Terpilih (TTF)	Parameter TTF	Nilai MTTF (Jam)	
Press Section	Bearing	LOGNORMAL	t med	5,53	5,62	NORMAL	μ	1693,74
			s	0,18			σ	808,02
	Vacum Pump seal	LOGNORMAL	t med	0,99	1,02	LOGNORMAL	t med	1036
			s	0,26			s	0,5
	V-belt	NORMAL	μ	2,01	2,01	NORMAL	μ	1778,75
			α	0,24			σ	547,48
	Felt Roll Bearing	LOGNORMAL	t med	2,39	2,4	NORMAL	μ	1710,32
			s	0,1			σ	836,74
	Gearbox Bearing	LOGNORMAL	t med	9,12	9,34	LOGNORMAL	t med	748,38
			s	0,22			s	1,3

Penentuan Interval Penggantian Komponen

Hasil dari perhitungan MTTF dapat dijadikan acuan interval kerusakan komponen yang terjadi saat ini dan diketahui kondisi *reliability* komponen tersebut, interval penjadwalan penggantian komponen selanjutnya ditentukan dengan menghitung *reliability* optimal dengan *trial* dan *error* pada tingkatan waktu tertentu sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Interval Penggantian Part pada *Bearing Vacum pump*

T(jam)	F(t)	R(tp)	M(tp)	D(tp)	A(tp)
1300	0,313027	0,686973	5430,844	0,000257	0,999743
1350	0,335269	0,664731	5070,552	0,000283	0,999717
1400	0,358105	0,641895	4747,216	0,000311	0,999689
1450	0,381459	0,618541	4456,569	0,000342	0,999658
1500	0,405254	0,594746	4194,9	0,000376	0,999624
1550	0,429404	0,570596	3958,974	0,000413	0,999587
1600	0,453822	0,546178	3745,965	0,000453	0,999547
1650	0,478415	0,521585	3553,401	0,000498	0,999502
1700	0,503091	0,496909	3379,112	0,000546	0,999454

Cat.: F(t), R(t), M(t), D(t), A(t) dijelaskan dalam nomenklatur.

Berikut ini contoh perhitungan interval penggantian pada *Bearing vacum pump*. Dari data time to repair diperoleh nilai MTTR sebesar 5,62 jam dimana nilai $MTTR = T_f = T_p$. Dari data *time to failure* diperoleh nilai – nilai sebagai berikut:

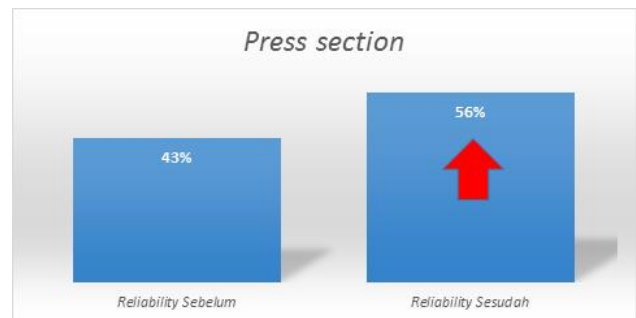
- MTTF = 1693,74 jam
- μ = 1693,74
- σ = 808,022
- t = tp (contoh 1450 jam)
- Tf = Tp = MTTR = 170

Dari Tabel 6 diperoleh interval waktu penggantian *Bearing vacum pump* adalah 1450 jam berdasarkan nilai *reliability* diatas 60%. Hasil tersebut didapat dengan *trial* dan *error* dengan tingkatan waktu tertentu. Perhitungan R(tp), M(tp), D(tp) dan A(tp) menggunakan rumus yang terdapat pada uraian. Tabel 7 adalah hasil penentuan interval waktu penggantian komponen pada mesin kritis.

Table 7. *Reliability* Sebelum dan Sesudah Penjadwalan

Equipment Part	Sebelum penjadwalan		Sesudah Penjadwalan		
	T (Jam)	R(t)	T (Jam)	R(t)	
Vacum pump	Bearing	1700	50%	1450	62%
	seal	1175,1162	40%	800	70%
	V-belt	1780	50%	1600	63%
Felt roll	Bearing	1710	50%	1450	62%
Gearbox	Bearing	1735,263	26%	1750	26%
Rata - Rata		Sebelum	43%	Sesudah	56%

Terjadi peningkatan *reliability* sebesar 9% dari sebelumnya 43% menjadi 56% sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Keandalan

Perhitungan Biaya Sebelum dan Sesudah Penjadwalan

Berikut ini adalah data pendukung dalam perhitungan biaya sebelum dan sesudah penjadwalan:

- a. Aktual output pada *Paper machine 2* dalam 1 shift 400 ton dibagi 8 jam yaitu 50 ton/jam
- b. Biaya *production loss* jika terjadi keruakan mesin Rp 5.600.000/ton
- c. Harga tiap-tiap komponen :
 - *Bearing vacum pump* Rp 7.958.326
 - *Seal vacum pump* Rp 505.900
 - *V-belt vacum pump* Rp 570.123
 - *Bearing felt roll* Rp 1.941.600
 - *Bearing gearbox* Rp 230.300
- d. Gaji karyawan mekanik Rp 3.950.000 (UMK daerah) dalam 1 bulan, diasumsikan 1 bulan 26 hari kerja dimana dalam

sehari adalah 8 jam kerja. Jadi gaji mekanik per jam adalah Rp18.990

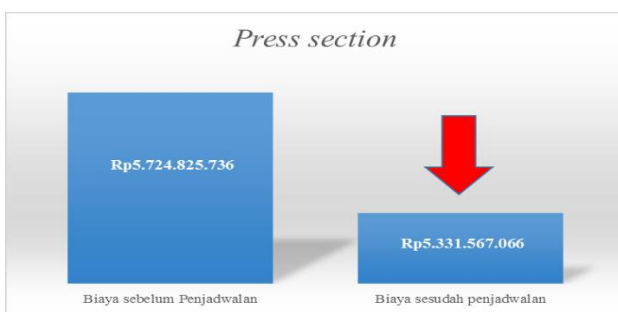
e. Waktu *downtime* adalah nilai MTTR masing-masing *part*.

Dengan menggunakan rumus (29) untuk menghitung biaya sebelum penjadwalan dan rumus (30) untuk menghitung biaya sesudah penjadwalan, maka didapatkan hasil sebagaimana yang diperlihatkan dalam Tabel 8. Dalam perhitungan biaya setelah penjadwalan diasumsikan waktu untuk penggantian part sudah berkurang karena persiapan yang lebih baik seperti pengadaan *spare part* dan persiapan peralatan kerja yang akan digunakan. Tabel 8 memperlihatkan hasil perhitungan biaya setelah penjadwalan pada mesin kritis.

Table 8. Perbandingan Biaya Sebelum dan Sesudah Penjadwalan

Part	Biaya sebelum Penjadwalan	Biaya sesudah penjadwalan	Penurunan biaya	
<i>Bearing vacum pump</i>	1.582.337.098	1.408.053.278	174.283.820	11,01%
<i>Seal vacum pump</i>	287.497.363	280.524.890	6.972.473	2,43%
<i>V-belt vacum pump</i>	563.408.294	560.608.104	2.800.190	0,50%
<i>Bearing felt roll</i>	74.659.223	561.979.581	112.679.642	16,70%
<i>Bearing gearbox</i>	2.616.923.759	2.520.401.213	96.522.546	3,69%
Total biaya	5.724.825.736	5.331.567.066	393.258.670	6,87%

Penurunan biaya jika penjadwalan hanya dilakukan pada *press section* adalah sebesar Rp 393.258.670 atau 6,8% seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Biaya

Usulan Penjadwalan pada Mesin Produksi Kertas 2

Hasil dari penentuan interval penggantian komponen yang telah dilakukan maka diperoleh waktu yang akan dijadikan usulan penggantian komponen mesin produksi kertas 2 dengan ketentuan komponen yang memiliki waktu kerusakan yang berdekatan dijadikan menjadi 1 kelompok waktu penggantian. Tabel 9 adalah tabel interval penggantian komponen pada mesin produksi kertas 2.

Table 9. Jadwal Penggantian Komponen Pada Mesin Produksi Kertas

Jam Part	ke	1050	1450	1750	2950	3700
<i>Deckle & Air Tube</i>						X
<i>Bearing pump</i>				X		
<i>Seal pump</i>			X			
<i>Bearing vacum pump</i>			X			
<i>Seal vacum pump</i>		X				
<i>V-belt vacum pump</i>				X		
<i>Bearing felt roll</i>			X			
<i>Bearing gearbox</i>				X		
<i>Chain strecher</i>		X				
<i>Bearing pulley</i>		X				
<i>Holder pulley</i>		X				
<i>Roll Surface</i>		X				
<i>Seal starch pump</i>			X			
<i>Bearing agitator</i>					X	
<i>V-belt agitator</i>			X			

Dari Tabel 9 data dapat di plot ke dalam kalender penggantian komponen mesin kertas 2 seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 10.

Table 10. Kalender Penggantian Komponen Mesin Kertas 2






Hari	Jan-18				
Minggu		7	14	21	28
Senin	1	8	15	22	29
Selasa	2	9	16	23	30
Rabu	3	10	17	24	31
Kamis	4	11	18	25	
Jumat	5	12	19	26	
Sabtu	6	13	20	27	
Hari	Feb-18				
Minggu		4	11	18	25
Senin		5	12	19	26
Selasa		6	13	20	27
Rabu		7	14	21	28
Kamis	1	8	15	22	
Jumat	2	9	16	23	
Sabtu	3	10	17	24	
Hari	Mar-18				
Minggu		4	11	18	25
Senin		5	12	19	26
Selasa		6	13	20	27
Rabu		7	14	21	28
Kamis	1	8	15	22	29
Jumat	2	9	16	23	30
Sabtu	3	10	17	24	31

Table 10. Kalender Penggantian Komponen Mesin Kertas 2 (Lanjutan 1)

Hari	Apr-18				
Minggu	1	8	15	22	29
Senin	2	9	16	23	30
Selasa	3	10	17	24	
Rabu	4	11	18	25	
Kamis	5	12	19	26	
Jumat	6	13	20	27	
Sabtu	7	14	21	28	
Hari	Mei-18				
Minggu		6	13	20	27
Senin		7	14	21	28
Selasa	1	8	15	22	29
Rabu	2	9	16	23	30
Kamis	3	10	17	24	31
Jumat	4	11	18	25	
Sabtu	5	12	19	26	
Hari	Jun-18				
Minggu		3	10	17	24
Senin		4	11	18	25
Selasa		5	12	19	26
Rabu		6	13	20	27
Kamis		7	14	21	28
Jumat	1	8	15	22	29
Sabtu	2	9	16	23	30
Hari	Jul-18				
Minggu	1	8	15	22	29
Senin	2	9	16	23	30
Selasa	3	10	17	24	31
Rabu	4	11	18	25	
Kamis	5	12	19	26	
Jumat	6	13	20	27	
Sabtu	7	14	21	28	
Hari	Agu-18				
Minggu		5	12	19	26
Senin		6	13	20	27
Selasa		7	14	21	28
Rabu	1	8	15	22	29
Kamis	2	9	16	23	30
Jumat	3	10	17	24	31
Sabtu	4	11	18	25	
Hari	Sep-18				
Minggu		2	9	16	23
Senin		3	10	17	24
Selasa		4	11	18	25
Rabu		5	12	19	26
Kamis		6	13	20	27
Jumat		7	14	21	28
Sabtu	1	8	15	22	29

Table 10. Kalender Penggantian Komponen Mesin Kertas 2 (Lanjutan 2)

Hari	Okt-18				
Minggu		7	14	21	28
Senin	1	8	15	22	29
Selasa	2	9	16	23	30
Rabu	3	10	17	24	31
Kamis	4	11	18	25	
Jumat	5	12	19	26	
Sabtu	6	13	20	27	
Hari	Nov-18				
Minggu		4	11	18	25
Senin		5	12	19	26
Selasa		6	13	20	27
Rabu		7	14	21	28
Kamis	1	8	15	22	29
Jumat	2	9	16	23	30
Sabtu	3	10	17	24	
Hari	Des-18				
Minggu		2	9	16	23
Senin		3	10	17	24
Selasa		4	11	18	25
Rabu		5	12	19	26
Kamis		6	13	20	27
Jumat		7	14	21	28
Sabtu	1	8	15	22	29

Keterangan	Warna
1050 jam	
1450 jam	
1750 jam	
2950 jam	
3700 jam	

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* maka diperoleh informasi terkait *Paper machine 2* seperti bagian-bagian penyusun mesin beserta fungsi dari bagian mesin tersebut (FBD), hubungan antara tiap-tiap bagian mesin (FTA), efek jika terjadi kerusakan pada salah satu bagian mesin (FMEA), dan bagian kritis pada mesin yang perlu dilakukan perbaikan yaitu *press section* (Pareto chart). Berdasarkan data yang didapatkan, diketahui bahwa *press section* merupakan bagian kritis dari PM2 yang memiliki kontribusi terbesar terhadap kerusakan mesin yaitu sebesar 35,7 %. Setelah dilakukan penjadwalan perbaikan mesin sub sistem *press section* yang ada pada mesin produksi kertas 2 meningkat dari awalnya hanya 43 % menjadi 56%, sedangkan biaya perbaikan akan berkurang sebesar Rp 393.258.670 dari awalnya Rp 5.724.825.736 menjadi Rp 5.331.567.066. Setelah analisis menggunakan metode RCM dilakukan maka diperoleh usulan jadwal penggantian komponen Mesin Kertas 2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Moubray, *Reliability-centred Maintenance*. Butterworth-Heinemann, 1997.
- [2] B. S. Dhillon, *Engineering Maintenance: A Modern Approach*, 0 ed. CRC Press, 2002. <https://doi.org/10.1201/9781420031843>.
- [3] N. Y. Hidayah and N. Ahmadi, "Analisis Pemeliharaan Mesin Blowmould Dengan Metode RCM Di PT. CCAI," *J. Optimasi Sist. Ind.*, vol. 16, no. 2, p. 167, Oct. 2017. <https://doi.org/10.25077/josi.v16.n2.p167-176.2017>.
- [4] D. A. Kurniawati and M. L. Muzaki, "Analisis Perawatan Mesin dengan Pendekatan RCM dan MVSM," *J. Optimasi Sist. Ind.*, vol. 16, no. 2, p. 89, Oct. 2017. <https://doi.org/10.25077/josi.v16.n2.p89-105.2017>.
- [5] D. P. Sari and M. F. Ridho, "Evaluasi Manajemen Perawatan Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II Pada Mesin Blowing I Di Plant I PT. Pisma Putra Textile," *Jti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 11, no. 2, p. 73, Jun. 2016. <https://doi.org/10.14710/jati.11.2.73-80>.
- [6] I. B. Pamungkas, H. Rachmat, and A. Kurniawati, "Pengembangan Program Preventive Maintenance Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM II) Dan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di Plant Ammonia PT Pupuk Kujang IA," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 1, no. 1, p. 99, 2014.
- [7] U. T. Kirana and J. Alhilman, "Perencanaan Kebijakan Perawatan Mesin Corazza FF100 Pada Line 3 PT XYZ Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) II," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. 1, p. 47, 2016. <https://doi.org/10.25124/jrsi.v3i01.41>.
- [8] A. D. Susanto and H. H. Azwir, "Perencanaan Perawatan Pada Unit Kompresor Tipe Screw Dengan Metode RCM di Industri Otomotif," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 17, no. 1, p. 21, Jul. 2018. <https://doi.org/10.23917/jiti.v17i1.5380>.
- [9] R. A. Kurniawan and H. M. Kholik, "Usulan Perawatan Mesin Stitching Dengan Metode Reliability Centered Maintenance," *J. Tek. Ind.*, vol. 16, no. 2, p. 83, May 2017. <https://doi.org/10.22219/JTIUMM.Vol16.No2.83-91>
- [10] H. Rachman, A. K. Garside, and H. M. Kholik, "Usulan Perawatan Sistem Boiler dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)," *J. Tek. Ind.*, vol. 18, no. 1, p. 86, Aug. 2017. <https://doi.org/10.22219/JTIUMM.Vol18.No1.86-93>.
- [11] D. S. Dhamayanti, J. Alhilman, and N. Athari, "Usulan Preventive Maintenance Pada Mesin Komori LS440 Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM II) Dan Risk Based Maintenance (RBM) Di PT ABC," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 3, no. 2, p. 31, 2016. <https://doi.org/10.25124/jrsi.v3i02.29>.
- [12] S. Moradi, V. Vahidinasab, M. Kia, and P. Dehghanian, "A mathematical framework for Reliability-centered maintenance in microgrids," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 29, no. 1, p. e2691, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1002/etep.2691>.
- [13] M. Sana, U. Saleem, M. Farooq, A. Qamar, M. M. A. Bhutta, and S. Zafar, "Identification of Failure Modes on Electrostatic Chuck through Reliability Centered Maintenance: A Case Study," *Proc. Pak. Acad. Sci. Phys. Comput. Sci.*, vol. 55, no. 2, pp. 21–32, 2018.
- [14] M. Ben-Daya, Ed., *Handbook of maintenance management and engineering*. Dordrecht ; New York: Springer, 2009.
- [15] C. E. Ebeling, *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw-Hill, 1997.
- [16] A. K. S. Jardine and A. H. C. Tsang, *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications*, 2nd ed. CRC Press, 2013. <https://doi.org/10.1201/b14937>.

NOMENKLATUR

S	arti dari <i>Severity</i>
O	arti dari <i>Occurrence</i>
D	arti dari <i>Detection</i>
t	arti dari Waktu
μ	arti dari <i>Mean of Data</i>
σ	arti dari Standar Deviasi
e	arti dari Natural Logarithm ($e = 2,71828$)
tmed	arti dari Waktu Median dari data
s	arti dari <i>Scale Parameter</i>
π	arti dari <i>Mean of the Data</i>
λ	arti dari <i>Rate Parameter</i>
F(t)	arti dari <i>Cumulative Distribution Function (CDF)</i>
R(t)	arti dari Fungsi <i>Reliability</i>
T_p	arti dari Interval waktu pencegahan
T_f	arti dari Interval waktu perbaikan
f(t)	makna Fungsi distribusi interval antar kerusakan yang terjadi
R(tp)	arti dari <i>Reliability</i> pada saat tp
M(tp)	arti dari Waktu rata-rata terjadinya kerusakan jika penggantian dilakukan
A(tp)	arti dari <i>Avaibility</i> pada saat tp
p	arti dari harga part
d	arti dari downtime
u	arti dari upah per jam
pc	kapasitas produksi
pl	<i>production loss</i>
wp	waktu pengganti