

## PENJADWALAN PERAWATAN DI PT. STEEL PIPE INDUSTRY OF INDONESIA

Antonius Lukmandani<sup>1)</sup>, Hadi Santosa<sup>2)</sup>, Anastasia Lidya Maukar<sup>2)</sup>  
E-mail : antoniuslukmandani@yahoo.com

### ABSTRAK

PT. SPINDO (*Steel Pipe Industry of Indonesia*) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri penghasil produk pipa besi, tiang besi, dan pipa stainless steel. PT. SPINDO mengalami kesulitan dikarenakan seringnya terjadi kerusakan pada mesin ERW/Mill. Untuk mengatasi hal ini, PT. SPINDO telah membuat dan melakukan penjadwalan perawatan mesin pada ERW/Mill. Kerusakan pada mesin memang tidak dapat diketahui secara pasti kapan terjadinya sehingga perawatan mesin yang telah dibuat tidak selalu berjalan tiap 3 dan 4 bulan sekali, sehingga perlu dilakukan perbaikan penjadwalan perawatan mesin. Data waktu kerusakan yang diolah menjadi waktu antar kerusakan dicari distribusinya dengan menggunakan software statfit.

Dari software tersebut, fungsi keandalan dan MTTF dapat diketahui. Interval jadwal pergantian dicari berdasarkan tingkat downtime yang minimum. Dengan diketahuinya interval pergantian yang optimal, maka jadwal perawatan untuk mesin ERW 3, jadwal pergantian untuk submesin uncoiler adalah sebagai berikut: komponen air cylinder diganti setiap 129 hari, komponen bearing dan as diganti setiap 18 hari, komponen solenoid valve diganti 201 hari, komponen rem diganti 170 hari. Dengan adanya preventive maintenance, terjadi penghematan biaya pada submesin uncoiler adalah sebagai berikut: air cylinder penghematan biayanya 41,48%, bearing dan as penghematan biayanya 94,62%, solenoid valve penghematan biayanya 7,45%, rem penghematan biayanya tidak ada.

Kata Kunci: *preventive maintenance*, manajemen perawatan, penghematan biaya

### PENDAHULUAN

Perawatan merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk memelihara atau menjaga suatu barang / peralatan yang dirawat agar tetap dapat berfungsi dengan baik. Perawatan terhadap mesin–mesin produksi sangat penting untuk menjaga kelancaran proses produksi agar dapat berjalan dengan normal dan menghemat biaya produksi, sehingga *demand* dapat terpenuhi tepat pada waktunya. Apabila perawatan dilakukan terlambat, maka akan menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Salah satu hal yang dapat menyebabkan proses produksi berhenti adalah kerusakan yang terjadi pada mesin. Umumnya kerja mesin selalu berurutan dan apabila salah satu komponen menjadi masalah maka akan menimbulkan masalah dengan komponen lain.

Menurut *Dhillon* (1997)<sup>[1]</sup> manajemen perawatan dapat digunakan untuk membuat sebuah kebijakan mengenai aktivitas perawatan, dengan melibatkan aspek teknis dan pengendalian manajemen ke dalam sebuah program perawatan. Semakin tingginya aktivitas perbaikan dalam sebuah sistem, kebutuhan akan manajemen dan pengendalian di perawatan menjadi semakin penting. Perawatan adalah semua tindakan yang penting dengan tujuan untuk menghasilkan hasil yang baik atau untuk mengembalikan keadaan yang memuaskan. *Preventive maintenance* merupakan salah satu jenis

perawatan yang banyak digunakan oleh kebanyakan perusahaan manufaktur dan jasa, metode ini bertujuan untuk mencegah kerusakan peralatan yang sifatnya mendadak.

PT. SPINDO (*Steel Pipe Industry of Indonesia*) merupakan salah satu perusahaan besar di Indonesia yang bergerak di bidang industri penghasil produk pipa besi, tiang besi, pipa *stainless steel*. PT. SPINDO mengalami kesulitan dikarenakan seringnya terjadi kerusakan pada mesin ERW/Mill yang mengakibatkan berkurangnya jumlah waktu yang digunakan untuk memproduksi barang. Dengan sering terjadinya kerusakan ini, juga mengakibatkan penjadwalan produksi yang sudah dibuat harus direvisi karena tidak bisa digunakan.

Untuk mengatasi hal ini, PT. SPINDO telah membuat dan melakukan penjadwalan perawatan mesin pada ERW/Mill yang dilakukan pada tiap 3 dan 4 bulan sekali tergantung pada jenis mesinnya. Kerusakan pada mesin memang tidak dapat diketahui secara pasti kapan terjadinya sehingga perawatan mesin yang telah dibuat tidak selalu berjalan tiap 3 dan 4 bulan sekali dan apabila ada pesanan dilakukan perawatan dahulu sebelum melakukan produksi, sehingga perlu dilakukan perbaikan penjadwalan perawatan mesin.

Untuk itu metode *preventive maintenance* digunakan untuk merancang jadwal komponen

<sup>1)</sup> Mahasiswa di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Industri Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

<sup>2)</sup> Staf pengajar di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Industri Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

kritis yang sangat diperlukan sehingga hal-hal yang tidak diinginkan dapat dihindari. Perancangan jadwal ini nantinya akan digunakan perusahaan sebagai acuan jam kerja, waktu pemeriksaan komponen dan pergantian komponen sehingga diharapkan akan membantu perusahaan dalam masalah perawatan yang selama ini sudah tersusun dan diharapkan dapat membuat mesin tidak mengalami kerusakan, terutama pada saat jam produksi.

*FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)* merupakan seperangkat pedoman, proses dan format untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan masalah penting yaitu kegagalan. Metode *FMEA* digunakan untuk mencari komponen kritis dari mesin ERW/Mill.

**TINJAUAN PUSTAKA**

**Fungsi Waktu Kerusakan**

Fungsi waktu kerusakan (*failure function*) adalah probabilitas suatu kegagalan yang terjadi antara waktu  $t_x$  dan  $t_y$  adalah<sup>[2]</sup>:

$$\int_{t_x}^{t_y} f(t)dt ; f(t) \text{ adalah fungsi probabilitas}$$

waktu kerusakan.

Karakteristik kegagalan pada suatu peralatan tidak sama untuk:

- Peralatan yang tidak sama
- Peralatan yang sama tapi dioperasikan dalam lingkungan yang berbeda

1) Distribusi *Exponential*

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{1}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \tag{2}$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \tag{3}$$

2) Distribusi *Hyper-Exponential*

$$f(t) = 2k^2 \lambda e^{-2k\lambda t} + 2\lambda(1-k)^2 e^{-(2(1-k)\lambda t)} \tag{4}$$

$$R(t) = k \exp(-2k\lambda t) + (1-k) \exp(-2(1-k)\lambda t) \tag{5}$$

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \tag{6}$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \tag{7}$$

3) Distribusi Weibull

$$f(t) = k \lambda^k t^{k-1} e^{-(\lambda t)^k} \tag{8}$$

$$R(t) = e^{-(\lambda t)^k} \tag{9}$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda k} \Gamma\left(\frac{1}{k}\right) \tag{10}$$

Keterangan:

$\alpha$  : parameter *scale*

K : parameter *shape*

$\Gamma$  : fungsi gamma

t: waktu

4) Distribusi Gamma

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(k)} (\lambda t)^{k-1} e^{-\lambda t} \tag{11}$$

$$R(t) = 1 - I(k, \lambda t) = \frac{1}{\Gamma(k)} \int_0^{\lambda t} \tau^{k-1} e^{-\tau} d\tau \tag{12}$$

$$MTTF = \frac{k}{\lambda} \tag{13}$$

Keterangan:

$\alpha$  : parameter *scale*

K : parameter *shape*

$\lambda$  : parameter *threshold*

$\Gamma$  : fungsi gamma

t : waktu

5) Distribusi Erlang

$$f(t) = \frac{\lambda^n}{(n-1)!} (\lambda t)^{n-1} e^{-\lambda t} \tag{14}$$

6) Distribusi Lognormal

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\log t - \mu}{\sigma}\right)^2} \tag{15}$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\log t - \mu}{\sigma}\right) \tag{16}$$

$$MTTF = \mu \tag{17}$$

7) Distribusi Normal

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)^2} \tag{18}$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \tag{19}$$

$$MTTF = \mu \tag{20}$$

8) Distribusi Uniform

$$f(t) = \frac{1}{b - a} \tag{21}$$

$$R(t) = \frac{b - t}{b - a} \tag{22}$$

$$MTTF = \frac{b + a}{2} \tag{23}$$

**Keputusan penggantian**

Di dalam keputusan penggantian, variabel keputusan dapat berupa waktu penggantian (umur peralatan) maupun interval penggantian<sup>[3]</sup>. Tujuan optimasi keputusan penggantian dapat berupa:

1. Minimum total biaya perawatan

2. Maksimum keuntungan
3. Minimum *downtime*
4. Maksimum *availability*

Untuk menyusun jadwal perawatan ada bermacam-macam model penggantian dengan tujuan yang berbeda-beda. Diantaranya bertujuan meminimasi biaya maupun minimasi *downtime*.

Model yang akan digunakan dalam pengolahan data adalah interval atau umur penggantian pencegahan yang optimal pada peralatan dari kerusakan dengan tujuan minimasi *downtime*. Model ini bertujuan untuk menentukan waktu penggantian pencegahan yang optimal agar dapat meminimumkan total *downtime* per satuan waktu. Interval atau umur penggantian pencegahan yang optimal pada peralatan dari kerusakan dengan tujuan minimasi *downtime* dapat dimodelkan sebagai berikut<sup>[2]</sup>:

$T_p$  = Total waktu yang dibutuhkan untuk *preventif maintenance*

$T_f$  = Total waktu yang dibutuhkan untuk *failure maintenance*

$H(t_p)$  = ekspektasi jumlah kegagalan dalam interval (0,  $t_p$ )

$t_p$  = panjang interval

$D(t_p)$  = Total Downtime pada saat ke  $t_p$

Metode *preventive maintenance* berdasarkan interval yaitu metode yang digunakan dengan melihat data-data kerusakan dan dapat diketahui interval untuk pergantian komponen. Untuk menghitung  $D(t_p)$  dapat menggunakan rumus sebagai berikut (berdasarkan interval):

$$D(t_p) = \frac{T_p + T_f \times H(t_p)}{t_p + T_p} \quad (24)$$

#### **Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)**

*FMEA* merupakan seperangkat pedoman, proses dan format untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan masalah penting yaitu kegagalan. Kegagalan adalah ketidaksesuaian produk atau proses berada di luar batas spesifikasi yang ditetapkan dan mengganggu fungsi dari mesin.

Langkah kerja menerapkan *FMEA* diantaranya<sup>[4]</sup>,

1. Mengidentifikasi proses dan produk.
2. Mendaftar masalah potensial yang muncul.
3. Memberi skala pada masalah (dengan cara *brainstorming*) berdasarkan tingkat keparahan kegagalan (*severity*), tingkat

kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*) dan tingkat kemampuan mendeteksi kegagalan (*detection*).

4. Menghitung *Risk Priority Number* (RPN) dan memprioritaskan tindakan dimulai dari masalah yang nilai RPN-nya terbesar. Nilai RPN dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Risk Priority Number (RPN)} = \text{Severity (S)} \times \text{Occurrence (I)} \times \text{Detection (D)}$$

5. Melakukan tindakan untuk mengurangi resiko.

#### **Efisiensi Perawatan**

Perawatan yang baik akan dilakukan dalam rentang waktu tertentu dan pada waktu proses produksi sedang tidak berjalan. Semakin sering perawatan dilakukan maka akan meningkatkan biaya perawatan. Namun jika perawatan tidak dilakukan maka justru akan mengurangi performa kerja dari mesin tersebut dan akan meningkatkan biaya produksi pula. Pola *maintenance* yang optimal perlu untuk dicari dengan tujuan agar biaya perawatan dengan biaya kerusakan dapat seimbang pada *total cost* yang terkecil.

*Preventive cost* merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan sebelumnya. Sedangkan *failure cost* merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan yang tidak terduga dan menyebabkan mesin berhenti beroperasi pada saat proses produksi sedang berjalan. Secara matematis *total cost* untuk menentukan interval waktu perawatan ini dapat dinotasikan sebagai:

$$C(tp) = \frac{C_p + C_f \cdot H(tp)}{tp} \quad (25)$$

$$H(tp) = \int_0^{tp} h(t) dt \quad (26)$$

Keterangan:

$C_p$  = biaya satu siklus *preventive*.  
 =(biaya tenaga kerja/jam x waktu perbaikan *preventive*) + harga komponen + biaya kehilangan produksi/jam.

$C_f$  = biaya satu siklus *failure*.  
 = (biaya tenaga kerja/jam x waktu perbaikan *corrective*) + harga komponen + biaya kehilangan produksi/jam.

$H(tp)$  = ekspektasi laju kerusakan selama interval  $tp$  (*cummulative hazard function* selama  $tp$ ).

$h(tp)$  = laju kerusakan saat  $tp$ .

$tp$  = interval *preventive replacement*.

## METODE PENELITIAN

Penyusunan dari penelitian ini dilakukan sesuai dengan langkah-langkah penelitian yang telah disusun menjadi *flowchart* sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

### Pengamatan atau Observasi di Perusahaan

Merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melihat dan mengamati permasalahan yang terjadi di perusahaan, serta keadaan yang terjadi di perusahaan. Dari obsevasi tersebut dinilai apakah layak dijadikan topik untuk Skripsi.

Permasalahan-permasalahan yang terjadi di perusahaan dapat diketahui melalui pengamatan secara langsung di lapangan yaitu di pabrik itu sendiri dan melakukan wawancara dengan beberapa staf perusahaan dan pekerja bagian *maintenance*.

### Identifikasi Masalah dan Tujuan Penelitian

Dari hasil pengamatan yang dilakukan, dapat diketahui permasalahan apa yang terjadi dalam suatu perusahaan, sehingga dapat diangkat menjadi topik Skripsi. Permasalahan yang terjadi adalah sering terganggunya proses produksi apabila terjadi *breakdown* pada mesin produksi.

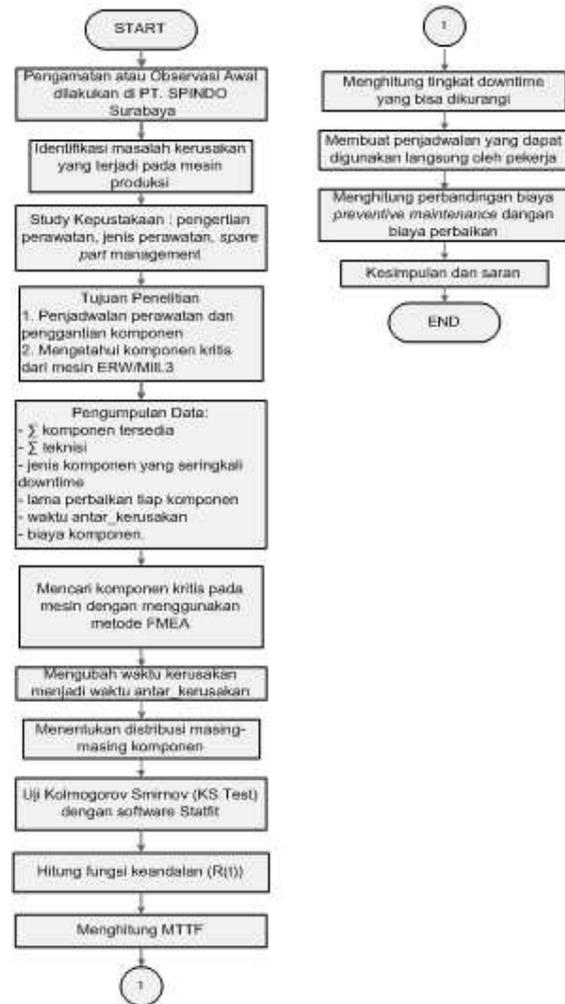
Salah satu penyebabnya yaitu perusahaan belum memiliki jadwal perawatan mesin yang baik. Perusahaan menerapkan sistem *preventive maintenance*, yaitu perawatan yang dilakukan sebelum peralatan rusak dengan tujuan mencegah kerusakan peralatan yang sifatnya mendadak.

Setelah mengetahui permasalahan yang menjadi topik Skripsi maka tujuan dari penelitian menjadi lebih jelas. Adapun tujuan dari Skripsi ini adalah sebagai berikut:

- (1). Mengetahui komponen kritis dari mesin ERW/Mil.3
- (2). Membuat penjadwalan penggantian komponen untuk meminimasi terjadinya *breakdown*

### Studi Kepustakaan

Peneliti mencari dan menentukan teori-teori yang sesuai dengan permasalahan yang terjadi dalam perusahaan sehingga permasalahan tersebut dapat dipecahkan. Studi Kepustakaan yang dipakai antara lain teori tentang Manajemen Perawatan. Pada Manajemen Perawatan akan dijelaskan tentang



Gambar 1. Langkah-langkah metodologi penelitian

pentingnya perawatan, pengertian perawatan, bentuk-bentuk perawatan, fungsi waktu kerusakan, fungsi keandalan, perhitungan *mean time to failure*, *cumulative hazard function*, dan keputusan penggantian. Inti dari manajemen perawatan adalah membuat suatu penjadwalan komponen sehingga bisa meminimalkan *downtime* perusahaan.

### Proses Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data merupakan proses awal dalam melakukan penelitian dan kemudian dilakukan perhitungan-perhitungan dan analisis untuk mendapatkan solusi yang terbaik bagi perusahaan.

Data yang diperlukan untuk membuat tugas akhir ini adalah:

- (1). Data komponen yang ada di mesin (nama komponen, fungsi dari komponen, akibat jika komponen rusak dan cara mengatasi jika terjadi kerusakan komponen)
- (2). Data *breakdown* tiap mesin
- (3). Data komponen dari mesin yang mempunyai tingkat *breakdown* terbesar
- (4). Data waktu kerusakan komponen

- (5). Data waktu perbaikan (penggantian komponen)
- (6). Data biaya komponen mesin
- (7). Data yang berhubungan dengan perawatan (tindakan apa yang selama ini dilakukan oleh teknisi)
- (8). Jadwal perbaikan yang telah ada saat ini (membandingkan jadwal yang dibuat oleh pihak perusahaan dengan jadwal yang dibuat dengan *preventive maintenance*)

### Pengolahan Data dan Analisis Hasil

Dengan bantuan teori yang didapat melalui studi kepustakaan dan data yang telah didapat dari perusahaan maka dapat dilakukan pengolahan data untuk membuat suatu jadwal perawatan mesin yang optimal. Penjadwalan akan dapat menyelesaikan masalah yang terjadi pada perusahaan dalam hal pergantian komponen pada kapal. Penjadwalan sangat penting bagi perusahaan sehingga dengan penjadwalan dapat dilakukan untuk memenuhi *demand*. Langkah-langkah yang dilakukan adalah:

- (1). Mencari komponen-komponen mesin yang mempunyai tingkat *breakdown* terbesar pada mesin untuk ERW 3 dengan menggunakan metode *FMEA*.
- (2). Data waktu kerusakan mesin diolah menjadi data waktu antar kerusakan.
- (3). Pencarian distribusi kerusakan mesin dengan program atau *software* Statfit dengan metode Kolmogorov Smirnov *Test* (KS *Test*).
- (4). Menentukan fungsi keandalan  $R(t)$  sesuai dengan distribusi yang dipilih.
- (5). Menghitung *MTTF* (*Mean Time To Failure*) masing-masing komponen.
- (6). Menentukan jadwal perawatan komponen mesin.
- (7). Menghitung perbandingan biaya *preventive maintenance* dengan biaya perbaikan

### Menyusun Kesimpulan dan Saran

Peneliti akan mengambil kesimpulan dari hasil pengolahan data dan melakukan analisis serta memberikan saran yang berguna bagi perusahaan. Adanya saran ini diharapkan akan membantu perusahaan sehingga perusahaan akan tetap terpercaya oleh *customer* dan tetap eksis dalam manufaktur.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Data Perbaikan Komponen Mesin

Data perbaikan merupakan data yang berisi waktu yang dibutuhkan operator untuk melakukan pergantian komponen. Data tersebut didapat dengan melakukan wawancara dengan

**Tabel 1.** Waktu perbaikan (Tp) untuk tiap-tiap mesin pada Mill/ERW 3

Sub Mesin	Part	Komponen	TP (menit)
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	45
		Bearing dan As	60
		Solenoid Valve	30
		Rem	30
Forming dan Sizing	DC Motor		60
	Gear box	Chain coupling, Sprocket, Spey	60
Welding	Bead Winder		30
	Current Transformer		45
	Oscilation Panel	AC	45
		Choke	45
		Panel	30
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator	90
Potensio		10	
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	60
		Coupling Pompa	30
		Tozen Klep	20
	HF Cooling System	Pompa HF	30
		Pipa Sabaran Air dan Slang HF	45
Cutting	Motor		30
	Cutting	Air Cylinder	45
		As	30
		Bearing As	60
		Solenoid Valve	30
	Operation Panel		30
	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder	45
		Bearing	90
	Cekam	Air Cylinder	45
		Solenoid Valve	30
Limit Switch		35	
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	90
		Flange / Pillow Block	45
	Gear Box		35
Pelempar	Solenoid Valve		20
Panel	Operation Panel		15
	Control Panel DC Motor		30

karyawan bagian lapangan yang sudah biasa melakukan proses perbaikan pada mesin. Berikut ini merupakan data perbaikan untuk masing mesin ERW 3 :

### Penentuan Komponen Kritis

Langkah kerja menerapkan *FMEA* diantaranya:

1. Mengidentifikasi proses dan produk.
2. Mendaftar masalah potensial yang muncul.
3. Memberi skala dimulai dari angka 1 hingga 10 pada masalah berdasarkan tingkat keparahan kegagalan (*severity*), tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan (*occurrence*) dan tingkat kemampuan mendeteksi kegagalan (*detection*). Dalam penentuan *severity*, *occurrence*, dan *detection* dihasilkan dari wawancara

dengan pekerja lapangan yang mengerti akan komponen mesin. Nilai tersebut berdasarkan pada tingkat pengaruh, probabilitas kejadian dan deteksi yang dinilai oleh pekerja berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan saat bekerja.

- Menghitung *Risk Priority Number* (RPN) dan memprioritaskan tindakan dimulai dari masalah yang nilai RPN-nya terbesar. Nilai RPN dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Risk\ Priority\ Number\ (RPN) = Severity\ (S) \times Occurrence\ (O) \times Detection\ (D)$$

- Melakukan tindakan untuk mengurangi resiko.

Hasil analisis *FMEA* pada mesin ERW 3 didapatkan total RPN sehingga dapat diurutkan *ranking*nya. Berikut ini tabel hasil perhitungan *FMEA* berdasarkan urutan dari nilai yang tertinggi sampai yang terendah:

**Pemilihan Distribusi Data**

Berdasarkan data waktu kerusakan masing-masing komponen maka dilakukan pengujian untuk mengetahui distribusi kerusakan tiap komponen. Pengujian untuk mencari distribusi menggunakan *software* statfit dengan menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov *Test* (*KS Test*). Distribusi yang terdapat di statfit yaitu: Distribusi Beta, Erlang, Exponential, Gamma, Inverse Gaussian, Log-Logistic, Lognormal, Pareto, Pearson 5, Pearson 6, Triangular, Uniform dan Weibull.

Penentuan distribusi yang akan dipilih dilakukan dengan membandingkan *ranking* tertinggi dari masing-masing distribusi. *Ranking* yang terbesar lah yang akhirnya akan dipilih untuk proses perhitungan selanjutnya.

Misalkan Lognormal *ranking* 1, Weibull *ranking* 2, maka distribusi Lognormal yang akan dipilih untuk proses perhitungan selanjutnya

**Fungsi Keandalan dan Perhitungan MTTF**

Fungsi keandalan merupakan probabilitas suatu peralatan agar tetap handal atau berfungsi paling sedikit setelah waktu *t*, sehingga dapat dinyatakan sebagai

**Tabel 2.** Urutan Komponen Berdasarkan *Ranking*

Sub Mesin	Part	Komponen	Rank	Total RPN
Welding	Oscilation Panel	Panel	1	1172
Cooling System	HF Cooling System	Pipa Saluran Air dan Slang HF	2	950
Cutting	Operation Panel		3	930
	Limit Switch		4	905
	Cutting	Air Cylinder	5	870
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	6	800
Welding	Inductor Voltage Regulator		7	720
Cutting	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder	8	700
Cooling System	HF Cooling System	Pompa HF	9	640
Uncoiler	Uncoiler	Bearing dan As	10	630
Cutting	Cekam	Solenoid Valve	11	610
Panel	Control Panel DC Motor		12	580
Cutting	Cekam	Air Cylinder	13	570
Forming dan Sizing	Gear Box		14.5	500
Cutting	Cutting	Solenoid Valve	14.5	500
Forming dan Sizing	DC Motor		16.5	480
Cutting	Cutting	Bearing As	16.5	480
Welding	Current Transformer		18.5	420
	Oscilation Panel	Choke	18.5	420
	Inductor Voltage Regulator	Potensio	20	408
Cooling System	Water Cooling System	Tozen Klep	21	360
Cutting	Cutting	As	22	320
Welding	Bead Winder		23.5	300
Conveyor	Roll Conveyor	Flange / Pillow Block	23.5	300
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	25.5	240
		Rem	25.5	240
		Solenoid Valve	28	200
Cutting	Motor		28	200
Conveyor	Gear Box		28	200
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	30	180
Cooling System	Water Cooling System	Coupling Pompa	32.5	160
Cutting	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Bearing	32.5	160
Pelepang	Solenoid Valve		32.5	160
Panel	Operation Panel		32.5	160
Welding	Oscilation Panel	AC	35	150

dengan baik sampai komponen tersebut rusak. Keandalan pada masing-masing komponen dapat dihitung dengan menggunakan distribusi yang terpilih (distribusi dengan *ranking* yang terbesar) untuk mengetahui seberapa lama komponen dapat berfungsi dinyatakan sebagai fungsi dari waktu, *R(t)*, di mana  $0 \leq R(t) \leq 1$ . Jadi keandalan digunakan

**Tabel 3.** Distribusi Kerusakan Pada Komponen Mesin ERW 3

Sub Mesin	Part	Komponen	Distribusi	Parameter
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	Uniform	a=-77,404 b=195,4
		Bearing dan As	Uniform	a=-5.0353 b=44.235
		Solenoid Valve	Normal	$\sigma=118.08 \mu=201$
		Rem	Uniform	a=-90.833 b=249.63
Forming dan Sizing	DC Motor			$\alpha=0,47298 \beta=129,67$
	Gear Box		Uniform	a=-68.791 b=342.39
Welding	Bead Winder		Uniform	a=-167,3 b=498,9
	Current Transformer		Exponential	$\lambda=0,01418$
		AC	Gamma	$\alpha=0.38717 \beta=430.3$
	Oscillation Panel	Choke	Gamma	$\alpha=0,54181 \beta=66,444$
		Panel	Lognormal	$\sigma=1.3503 \mu=3.7726$
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator	Lognormal	$\sigma=1.7513 \mu=2.7896$
		Potensio	Gamma	$\alpha=0,61156 \beta=112,83$
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	Gamma	$\alpha=0.90746 \beta=260.25$
		Coupling Pompa	Gamma	$\alpha=0,25316 \beta=834,27$
		Tozen Klep	Gamma	$\alpha=0,53652 \beta=117,93$
	HF Cooling System	Pompa HF	Lognormal	$\sigma=0.13983 \mu=5.2211$
		Pipa Saluran Air dan Slang HF	Uniform	a=-71.882 b=310.17
Cutting	Motor		Uniform	a=-10.461 b=381.66
	Cutting	Air Cylinder	Lognormal	$\sigma=1,3097 \mu=3,6728$
		As	Gamma	$\alpha=0,40968 \beta=160,23$
		Bearing As	Lognormal	$\sigma=1,5988 \mu=4,0749$
		Solenoid Valve	Gamma	$\alpha=0,67503 \beta=103,7$
	Operation Panel		Gamma	$\alpha=0,96254 \beta=69,767$
	Penarik / Pendorong	Air Cylinder	Normal	$\sigma=154.98 \mu=141.67$
		Bearing	Lognormal	$\sigma=0.08867 \mu=5.4901$
	Cekam	Air Cylinder	Uniform	a=-100.06 b=511.66
		Solenoid Valve	Uniform	a=-107.82 b=471.82
Limit Switch		Exponential	$\lambda=0.01389$	
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	Gamma	$\alpha=0.60155 \beta=316.52$
		Flange / Pillow Block	Uniform	a=-53.597 b=254.8
	Gear Box		Uniform	a=-89.086 b=307.09
Pelempar	Solenoid Valve		Gamma	$\alpha=0.48431 \beta=94.568$
Panel	Operation Panel		Gamma	$\alpha=1.5012 \beta=91.072$
	Control Panel DC Motor		Gamma	$\alpha=0.38106 \beta=333.28$

**Data Rata-Rata Waktu Perbaikan (MTTR)**

Data kerusakan merupakan data waktu proses perbaikan saat mesin mengalami kerusakan (*breakdown*). Data *downtime* ini didapat dari mean rata-rata lama proses "downtime" suatu komponen. Untuk masing-masing komponen dicari dulu distribusinya dengan menggunakan statfit. Data perbandingan waktu perbaikan bila terjadi kerusakan dengan waktu pergantian komponen berfungsi untuk melihat penghematan waktu yang terjadi. Waktu perbaikan didapat dari hasil perhitungan *MTTR* (*Mean Time To Repair*) sebelumnya. Perbandingan antara waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dengan waktu yang

dibutuhkan untuk *preventive maintenance* pada mesin ERW 3

**Rancangan Jadwal Perawatan**

Dalam perhitungan "downtime" didapat  $T_p$  yang optimal sehingga jadwal perawatan akan dapat dirancang. Pemilihan  $T_p$  optimal didapat dengan melihat "downtime" yang paling minimum yang kemudian mengalami kenaikan maka  $T_p$  yang terpilih adalah "downtime" yang paling minimum tersebut. Apabila "downtime" tersebut mengalami penurunan terus-menerus maka kriteria  $T_p$  optimal menggunakan *MTTF*. Metode pada pembuatan jadwal dibagi menjadi 2 yaitu metode *preventive maintenance* interval dan metode *preventive maintenance* umur. Metode *preventive maintenance* interval yaitu metode yang digunakan dengan melihat data-data kerusakan dan dapat diketahui interval waktu pergantian komponen, sedangkan metode *preventive maintenance* umur yaitu metode yang menjelaskan dimana komponen dapat terjadi kerusakan sebelum interval waktu yang telah dicari dengan menggunakan metode *preventive maintenance* interval. Metode yang digunakan yaitu metode *preventive maintenance* interval, dikarenakan metode ini sudah mewakili jadwal yang dibuat dan dapat digunakan untuk mengetahui jadwal pergantian komponen sesuai dengan interval dari komponen berdasarkan data kerusakan. Dengan adanya jadwal pergantian komponen, dapat dilakukan penggabungan pergantian komponen. Penggabungan jadwal dilakukan pada mesin ERW. Tujuan dari penggabungan ini yaitu untuk mengurangi jadwal mesin berhenti (untuk perbaikan) untuk meminimalkan kehilangan jam operasi mesin.

Selain itu, kerja dari karyawan yang ada dilapangan dalam perbaikan mesin lebih efisien karena karyawan tidak secara terus-menerus (setiap hari melakukan pergantian) melakukan proses bongkar pasang mesin. Berikut ini langkah-langkah algoritma dalam penggabungan jadwal pergantian komponen yaitu:

1. Masukkan data hasil  $T_p$  optimal dari perhitungan *downtime* yang paling minimum.
2. Menghitung berapa kali melakukan pergantian submesin atau *part* berdasarkan tanggal kerusakan terakhir ( $T_p$  optimal).

**Tabel 4. Fungsi Keandalan dan Perhitungan MTTF Mesin ERW 3**

Sub Mesin	Part	Komponen	Distribusi	Parameter	MTTF
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	Uniform	a=-77,404 b=195,4	136.402
		Bearing dan As	Uniform	a=-5.0353 b=44.235	24.63515
		Solenoid Valve	Normal	$\sigma=118.08 \mu=201$	201
		Rem	Uniform	a=-90.833 b=249.63	170.2315
Forming dan Sizing	DC Motor		Gamma	$\alpha=0,47298 \beta=129,67$	61.33132
	Gear Box		Uniform	a=-68.791 b=342.39	205.5905
Welding	Bead Winder		Uniform	a=-167,3 b=498,9	333.1
	Current Transformer		Exponential	$\lambda=0,01418$	70.52186
		AC	Gamma	$\alpha=0,38717 \beta=430,3$	166.5993
	Oscillation Panel	Choke	Gamma	$\alpha=0,54181 \beta=66,444$	36.00002
		Panel	Lognormal	$\sigma=1.3503 \mu=3.7726$	108.2296
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator	Lognormal	$\sigma=1.7513 \mu=2.7896$	39.0659
		Potensio	Gamma	$\alpha=0,61156 \beta=112,83$	69.00231
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	Gamma	$\alpha=0,90746 \beta=260,25$	236.1665
		Coupling Pompa	Gamma	$\alpha=0,25316 \beta=834,27$	211.2038
		Tozen Klep	Gamma	$\alpha=0,53652 \beta=117,93$	63.2718
	HF Cooling System	Pompa HF	Lognormal	$\sigma=0.13983 \mu=5.2211$	186.9565
		Pipa Saluran Air dan Slang HF	Uniform	a=-71.882 b=310.17	191.026
Cutting	Motor		Uniform	a=-10.461 b=381.66	196.0605
	Cutting	Air Cylinder	Lognormal	$\sigma=1,3097 \mu=3,6728$	92.80097
		As	Gamma	$\alpha=0,40968 \beta=160,23$	67.24533
		Bearing As	Lognormal	$\sigma=1,5988 \mu=4,0749$	211.237
		Solenoid Valve	Gamma	$\alpha=0,67503 \beta=103,7$	70.00061
	Operation Panel		Gamma	$\alpha=0,96254 \beta=69,767$	67.15353
	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder	Normal	$\sigma=154.98 \mu=141.67$	141.67
		Bearing	Lognormal	$\sigma=0.08867 \mu=5.4901$	242.2814
	Cekam	Air Cylinder	Uniform	a=-100.06 b=511.66	305.86
		Solenoid Valve	Uniform	a=-107.82 b=471.82	289.82
Limit Switch		Exponential	$\lambda=0.01389$	71.99424	
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	Gamma	$\alpha=0.60155 \beta=316.52$	190.4026
		Flange / Pillow Block	Uniform	a=-53.597 b=254.8	154.1985
	Gear Box		Uniform	a=-89.086 b=307.09	198.088
Pelempar	Solenoid Valve		Gamma	$\alpha=0.48431 \beta=94.568$	45.80023
Panel	Operation Panel		Gamma	$\alpha=1.5012 \beta=91.072$	136.7173
	Control Panel DC Motor		Gamma	$\alpha=0.38106 \beta=333.28$	126.9997

**Tabel 5. Perhitungan MTTR Pada Mesin ERW 3**

Sub Mesin	Part	Komponen	Distribusi	Parameter	MTTR	
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	Exponential	$\lambda=0.01073$	93.19664	
		Bearing dan As	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=58.337 \mu=1065.2 \gamma=149.81$	1215.01	
		Solenoid Valve	Pearson 5	$\alpha=20.143 \beta=847.52$	44.2731	
		Rem	Uniform	a=24.281 b=86.519	31.119	
Forming dan Sizing	DC Motor		Lognormal (3P)	$\sigma=1.1846 \mu=3.7295 \gamma=6.4766$	90.50363	
Welding	Gear Box		Erlang	m=80 $\beta=0.84559$	67.6472	
		Bead Winder		Pearson 5 (3P)	$\alpha=11.351 \beta=580.19 \gamma=-22.788$	33.26359
	Current Transformer			Gamma (3P)	$\alpha=0.55591 \beta=44.836 \gamma=41.0$	65.92478
		Oscillation Panel	AC	Pearson 5 (3P)	$\alpha=2.0084 \beta=64.362 \gamma=6.1898$	70.01566
			Choke	Gamma (3P)	$\alpha=0.40753 \beta=324.6 \gamma=45.0$	177.2842
	Panel		Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=7.8459 \mu=35.658 \gamma=13.16$	48.818	
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator		Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=95.873 \mu=198.01 \gamma=-1.515$	196.495
		Potensio		Uniform	a=9.7781 b=35.422	12.82195
	Cooling System	Water Cooling System	Pompa	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=20.152 \mu=57.006 \gamma=25.661$	82.667
			Coupling Pompa		Erlang	m=8 $\beta=5.7658$
Tozen Klep				Normal	$\sigma=15.691 \mu=45.273$	45.273
HF Cooling System		Pompa HF		Gamma	$\alpha=3.7752 \beta=10.066$	38.00116
		Pipa Saluran Air dan Slang HF		Inv. Gaussian	$\lambda=175.47 \mu=64.571$	64.571
Cutting	Motor			Inv. Gaussian	$\lambda=55.884 \mu=56$	56
		Air Cylinder		Lognormal	$\sigma=0.47569 \mu=3.8295$	51.55455
	Cutting	As		Gamma (3P)	$\alpha=0.69256 \beta=179.6 \gamma=26.0$	150.3838
		Bearing As		Gamma	$\alpha=2.8417 \beta=109.53$	311.2514
		Solenoid Valve		Pearson 5 (3P)	$\alpha=268.88 \beta=69063.0 \gamma=-216.74$	41.0732
		Operation Panel		Gamma	$\alpha=2.0823 \beta=19.357$	40.30708
	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder		Inv. Gaussian	$\lambda=198.52 \mu=128.33$	128.33
		Bearing		Lognormal	$\sigma=0.45157 \mu=4.9194$	136.9204
	Cekam	Air Cylinder		Pearson 5 (3P)	$\alpha=1.3014 \beta=7.9098 \gamma=23.683$	49.92653
		Solenoid Valve		Pearson 5	$\alpha=8.0025 \beta=379.07$	54.13352
Limit Switch			Lognormal (3P)	$\sigma=0.99432 \mu=3.4506 \gamma=6.6663$	58.33934	
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll		Pearson 5 (3P)	$\alpha=1.8792 \beta=271.18 \gamma=-31.646$	276.7935
		Flange / Pillow Block		Pearson 5 (3P)	$\alpha=4.4937 \beta=279.25 \gamma=-1.0581$	78.87149
	Gear Box			Pearson 5 (3P)	$\alpha=1.5467 \beta=85.737 \gamma=-5.4651$	151.3613
Pelempar	Solenoid Valve			Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=6.6144 \mu=366.92 \gamma=18.276$	385.196
Panel	Operation Panel			Normal	$\sigma=12.433 \mu=28.286$	28.286
	Control Panel DC Motor			Gamma (3P)	$\alpha=0.4853 \beta=767.43 \gamma=20.0$	392.4338

**Tabel 6.** Perbandingan waktu *preventive maintenance* dengan waktu perbaikan kerusakan komponen mesin ERW 3

Sub Mesin	Part	Komponen	Waktu pergantian komponen <i>preventive maintenance</i> (Tp) (menit)	Waktu perbaikan bila terjadi kerusakan (Tf) (menit)
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	45	93.1966
		Bearing dan As	60	1215.0100
		Solenoid Valve	30	44.2731
		Rem	30	31.1190
Forming dan Sizing	DC Motor		60	90.5036
	Gear box	Chain coupling, Sprocket, Spey	60	67.6472
Welding	Bead Winder		30	33.2636
	Current Transformer		45	65.9248
	Oscillation Panel	AC	45	70.0157
		Choke	45	177.2842
		Panel	30	48.8180
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator	90	196.4950
Potensio		10	12.8220	
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	60	82.6670
		Coupling Pompa	30	46.1264
		Tozen Klep	20	45.2730
	HF Cooling System	Pompa HF	30	38.0012
		Pipa Sahan Air dan Slang HF	45	64.5710
Cutting	Motor		30	56.0000
	Cutting	Air Cylinder	45	51.5546
		As	30	150.3838
		Bearing As	60	311.2514
		Solenoid Valve	30	41.0732
	Operation Panel		30	40.3071
	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder	45	128.3300
		Bearing	90	136.9204
	Cekam	Air Cylinder	45	49.9265
		Solenoid Valve	30	54.1335
	Limit Switch		35	58.3393
	Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	90
Flange / Pillow Block			45	78.8715
	Gear Box		35	151.3613
Pelembar	Solenoid Valve		20	385.1960
Panel	Operation Panel		15	28.2860
	Control Panel DC Motor		30	392.4338

**Tabel 7.** Hasil Perhitungan Tp Optimal pada ERW 3

Sub Mesin	Part	Komponen	Tp (hari)
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	129
		Bearing dan As	18
		Solenoid Valve	201
		Rem	170
Forming dan Sizing	DC Motor		61
	Gear box	Chain coupling, Sprocket, Spey	206
Welding	Bead Winder		333
	Current Transformer		71
	Oscillation Panel	AC	167
		Choke	36
		Panel	108
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator	39
Potensio		69	
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	236
		Coupling Pompa	211
		Tozen Klep	63
	HF Cooling System	Pompa HF	152
		Pipa Sahan Air dan Slang HF	191
Cutting	Motor		196
	Cutting	Air Cylinder	93
		As	67
		Bearing As	211
		Solenoid Valve	70
	Operation Panel		67
	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder	142
		Bearing	207
	Cekam	Air Cylinder	306
		Solenoid Valve	290
Limit Switch		72	
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	190
		Flange / Pillow Block	154
	Gear Box		176
Pelembar	Solenoid Valve		46
Panel	Operation Panel		137
	Control Panel DC Motor		127

**Tabel 8.** Penggabungan jadwal pergantian komponen mesin ERW 3

Bulan	Penggabungan
Januari	Tanggal 11, 16 digabung pada tanggal 10
	Tanggal 25, 28 digabung pada tanggal 24
Februari	Tanggal 3, 6 digabung pada tanggal 1
Maret	Tanggal 4 digabung pada tanggal 1
	Tanggal 9 digabung pada tanggal 8
	Tanggal 14 digabung pada tanggal 19
April	Tanggal 21, 23, 24, dan 27 digabung pada tanggal 19
	Tanggal 29 dan 1 digabung pada tanggal 28
Mei	Tanggal 7 digabung pada tanggal 6
	Tanggal 14, 15, dan 16 digabung pada tanggal 11
	Tanggal 10, 12 digabung pada tanggal 9
Juni	Tanggal 20, 22 digabung pada tanggal 18
	Tanggal 27 digabung pada tanggal 25
	Tanggal 3 digabung pada tanggal 30
Juli	Tanggal 10 digabung pada tanggal 9
	Tanggal 19 digabung pada tanggal 17
	Tanggal 8, 9 digabung pada tanggal 5
Agustus	Tanggal 15 digabung pada tanggal 14
	Tanggal 24 digabung pada tanggal 23
	Tanggal 26, 27, dan 31 digabung pada tanggal 25
September	Tanggal 10, 11, dan 14 digabung pada tanggal 8
	Tanggal 17, 20 digabung pada tanggal 16
	Tanggal 28 digabung pada tanggal 27
Oktober	Tanggal 9, 11 digabung pada tanggal 8
	Tanggal 18 digabung pada tanggal 15
	Tanggal 21, 22, dan 23 digabung pada tanggal 19
November	Tanggal 1 digabung pada tanggal 26
	Tanggal 6 digabung pada tanggal 3
	Tanggal 13, 15 digabung pada tanggal 11
Desember	Tanggal 21 digabung pada tanggal 17
	Tanggal 28 digabung pada tanggal 25
	Tanggal 2, 4 digabung pada tanggal 31 oktober
	Tanggal 12 digabung pada tanggal 8
	Tanggal 3, 4 digabung pada tanggal 30 november
	Tanggal 7, 10 digabung pada tanggal 6
	Tanggal 14, 15, dan 17 digabung pada tanggal 12
	Tanggal 31 digabung pada tanggal 26

3. Merekap data tanggal pergantian submesin atau *part*.
4. Penentuan penggabungan jadwal pergantian komponen.

Selisih optimal dalam satu submesin dan part untuk melakukan penggabungan adalah 6 hari dalam minggu yang sama. Hal ini dikarenakan submesin dan part satu dengan yang lainnya merupakan satu arah rangkaian mesin.

## Analisis data hasil penelitian

### Perbandingan Biaya Antara *Preventive Maintenance* dan Perbaikan (*Service*)

Saat ini perusahaan sudah memiliki penjadwalan perawatan pada mesin ERW 3, tetapi penjadwalan perawatan yang dilakukan tidak sesuai dengan umur dari komponen itu sendiri. *Preventive maintenance* akan mengakibatkan terjadinya penghematan biaya di mana akan sangat menguntungkan bagi perusahaan dibandingkan bila melakukan perbaikan komponen. Karena adanya jadwal tersebut maka saat terjadi kerusakan, tindakan yang dilakukan adalah melalui perbaikan komponen (*servis*).

*Preventive maintenance* dibagi menjadi 2 macam yaitu untuk pergantian komponen dan perbaikan komponen. Sebelum ada *preventive maintenance*, untuk mengatasi kerusakan pada suatu komponen dilakukan perbaikan (*service*). Hal ini dikarenakan, pembelian komponen dilakukan melalui pemesanan terlebih dahulu (pemesanan tergantung jenis komponen dan tepat dilakukan pemesanan).

Perbandingan biaya antara *preventive maintenance* berupa pergantian komponen dan perbaikan (*service*) dapat dilakukan perhitungan. Untuk pergantian komponen, perhitungannya dengan menjumlahkan total pendapatan *loss* (dilihat dari lamanya

pergantian komponen dan didapatkan berapa lama mesin tidak melakukan produksi, dimana setiap produksi akan menghasilkan suatu pendapatan) ditambahkan dengan harga dari komponen. Untuk perbaikan, perhitungan dengan menjumlahkan total pendapatan *loss* (dilihat dari lamanya perbaikan komponen dan didapatkan berapa lama mesin tidak melakukan produksi) ditambahkan dengan ongkos dari perbaikan.

Hal ini menyimpulkan bahwa dengan *preventive maintenance* untuk pergantian komponen layak dilakukan karena dengan *preventive maintenance* akan menghasilkan pengurangan biaya. Dengan *preventive maintenance*, perusahaan dapat menghemat biaya untuk setiap kerusakannya. Dengan jadwal ini, diharapkan akan membantu perusahaan untuk penjadwalan pada tiap-tiap komponen.

Setelah dilakukan perhitungan, data penghematan yang terjadi dapat diketahui. Data penghematan dihasilkan untuk setiap kerusakan yang terjadi sehingga jumlah penghematan dari bulan Januari sampai bulan Desember dapat dihitung. Perhitungan penghematan setelah Perhitungan penghematan setelah diadakan penggabungan penjadwalan pergantian komponen lainnya dapat dilihat dibawah ini. Total dari proses penggabungan jadwal yaitu Rp. 1.114.279.371. Dari hasil perhitungan diatas, penggabungan jadwal untuk *preventive*

**Tabel 9.** Hasil Perhitungan *Preventive Maintenance* dan Perbaikan Komponen

Nama sub mesin	Part	Komponen	Total Perhitungan Pergantian Komponen Rp (juta)	Total Perhitungan Perbaikan Komponen Rp (juta)	Pengurangan Biaya (per kerusakan) Rp (juta)	Persentase Pengurangan Biaya (per kerusakan) (persen)
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	7.125	12.175	5.05	41.48
		Bearing dan As	8.2	152.52625	144.32625	94.62
		Solenoid Valve	6.25	5.784138	0.465862	7.45
		Rem	0	0	0	0
Forming dan Sining	DC Motor		82.5	11.512954	70.987046	86.04
	Gear box	Chain coupling Sprocket, Spey	8.5	8.7309	0.2309	2.64
Welding	Bead Winder		4.2	4.207949	0.007949	0.19
	Current Transformer		6	8.290597	2.290597	27.63
	Oscilation Panel	AC	7.625	9.051957	1.426958	15.76
		Choke	0	0	0	0
		Panel	5.4	6.25225	0.85225	13.63
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator	15.25	25.061875	9.811875	39.15
	Inductor Voltage Regulator	Potensio	1.325	1.652743	0.327744	19.83
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	15	11.433375	3.566625	23.78
		Coupling Pompa	0	0	0	0
		Tozen Klep	0	0	0	0
	HF Cooling System	Pompa HF	13.75	5.950145	7.799855	56.73
	Pipa Sakuran Air dan Slang HF	0	0	0	0	
Cuming	Motor		8.75	8	0.75	8.57
	Cuming	Air Cylinder	7.125	6.744319	0.380681	5.34
		As	4.25	19.447972	15.197972	78.15
		Bearing As	0	0	0	0
		Solenoid Valve	6.25	5.38415	0.86585	13.85
	Operaton Panel		4.08	5.188385	1.108385	21.36
	Penarik / Pendorong Kereta Cuming	Air Cylinder	7.125	16.34125	9.21625	56.4
		Bearing	0	0	0	0
	Cekam	Air Cylinder	7.125	6.540816	0.584184	8.2
		Solenoid Valve	6.25	7.01669	0.76669	10.93
Limit Switch		5.375	7.392417	2.017417	27.29	
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	11.55	34.799186	23.399186	66.81
		Flange / Pillow Block	6.745	10.058936	3.313936	32.95
	Gear Box		19.375	19.320164	0.000054836	0.28
Pelempar	Solenoid Valve		5	48.3495	43.3495	89.66
	Operaton Panel		2.5	3.68575	1.18575	32.17
Panel	Control Panel DC Motor		3.95	49.404222	45.454222	92

Tabel 10. Perhitungan *Preventive Maintenance*

Sub Mesin	Part	Komponen	Jumlah Pergantian Komponen (Januari-Desember)	Total Pengurangan biaya (Jumlah pergantian x pengurangan biaya)	Sub Mesin	Part	Komponen	Jumlah Pergantian Komponen (Januari-Desember)	Total Pengurangan biaya (Jumlah pergantian x pengurangan biaya)	
			<i>Preventive Maintenance</i> (Pergantian Komponen) (Unit)	<i>Preventive Maintenance</i> (Pergantian Komponen) (Rp)				<i>Preventive Maintenance</i> (Pergantian Komponen) (Unit)	<i>Preventive Maintenance</i> (Pergantian Komponen) (Rp)	
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	3	21,937,521	Cutting	Motor		2	17,810,583	
		Bearing dan As	20	165,357,350		Cutting	Air Cylinder	4	29,223,702	
		Solenoid Valve	2	12,649,304			As	5	22,209,162	
		Rem	2	7,810,286			Bearing As	2	15,888,877	
Forming dan Sising	DC Motor		6	496,797,858		Cutting	Solenoid Valve	6	38,518,722	
	Gear box	Chain coupling, Sprocket, Spey	1	8,674,013			Operation Panel		6	25,129,060
Welding	Bead Winder		1	4,308,007		Conveyor	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder	2	14,433,513
	Current Transformer		5	30,667,972			Cutting	Bearing	1	11,453,530
	Oscillation Panel	AC	3	23,360,653				Cekam	Air Cylinder	1
		Choke	10	58,182,518			Solenoid Valve		1	6,432,875
		Panel	3	16,543,610	Limit Switch			5	27,788,551	
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator		9	139,181,639		Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	2
Potensio			5	7,079,310	Flange / Pillow Block			2	13,820,328	
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	1	15,211,160	Pelempar	Gear Box		2	39,323,932	
		Coupling Pompa	1	4,046,052		Solenoid Valve		8	41,462,625	
		Tozen Klep	6	15,688,538	Panel	Operation Panel		3	7,803,627	
	HF Cooling System	Pompa HF	2	27,535,252		Control Panel DC Motor		3	12,336,847	
		Pipa Saburan Air dan Slang HF	2	11,900,922						

*maintenance* dapat dihitung biaya total yang dikeluarkan perusahaan untuk proses pergantian komponen. Perhitungan tersebut dibandingkan dengan *preventive maintenance* tanpa penggabungan. Perhitungan perbandingan biaya total *preventive maintenance* setelah dilakukan penggabungan jadwal dengan *preventive maintenance* tanpa penggabungan dapat dilihat dibawah ini. Dengan adanya penggabungan jadwal maka terjadi penghematan biaya yaitu dari Rp. 1,421,394,842 juta menjadi Rp. 1,361,693,014 juta. Dengan adanya penggabungan jadwal ini, biaya dan pekerjaan menjadi lebih efisien dan membantu karyawan dalam mempermudah pekerjaannya untuk proses pergantian komponen sesuai dengan jadwal yang telah disusun. Dengan adanya penggabungan jadwal untuk *preventive*

*maintenance*, perbandingan biaya antara *corrective maintenance* dapat dilakukan.

Dari hasil tabel merupakan tabel perbandingan *preventive maintenance* dan *corrective maintenance* dari bulan Januari sampai bulan Desember. Pada mesin ERW 3 terjadi penghematan sebesar Rp. 1,489,131,414. Faktor-faktor yang mempengaruhi penghematan biaya yaitu sebelum adanya penjadwalan, komponen yang mengalami kerusakan dilakukan perbaikan terlebih dahulu. Proses perbaikan membutuhkan waktu yang lama sehingga mesin akan kehilangan banyak jam produksi. Dengan adanya jadwal pergantian komponen, waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan mesin lebih cepat sehingga mesin tidak kehilangan keuntungan yang besar.

**Tabel 11.** Perbandingan *Preventive Maintenance* Tanpa Penggabungan dan Penggabungan Jadwal

Sub Mesin	Part	Komponen	Jumlah Pergantian Komponen (Januari-Desember)		Total Biaya (Jumlah pergantian x biaya)	
			<i>Preventive Maintenance</i> (Tanpa Penggabungan) (Unit)	<i>Preventive maintenance</i> (Penggabungan Jadwal) (Unit)	<i>Preventive Maintenance</i> (Tanpa Penggabungan) Rp (Juta)	<i>Preventive maintenance</i> (Penggabungan Jadwal) Rp (Juta)
<i>Uncoiler</i>	<i>Uncoiler</i>	<i>Air Cylinder</i>	3	1	21,937,521	7,312,507
		<i>Bearing dan As</i>	20	14	165,357,350	115,750,145
		<i>Solenoid Valve</i>	2	0	12,649,304	0
		<i>Rem</i>	2	0	7,810,286	0
<i>Forming dan Sizing</i>	DC Motor		6	2	496,797,858	165,599,286
	<i>Gear box</i>	<i>Chain coupling, Sprocket, Spey</i>	1	0	8,674,013	0
<i>Welding</i>	<i>Lead Winder</i>		1	1	4,308,007	4,308,007
	<i>Current Transformer</i>		5	2	30,667,972	12,267,189
	<i>Oscillation Panel</i>	AC	3	2	23,360,653	15,573,768
		<i>Choke</i>	10	6	58,182,518	34,909,511
		Panel	3	1	16,543,610	5,514,537
	<i>Inductor Voltage Regulator</i>	<i>Inductor Voltage Regulator</i>	9	6	139,181,639	92,787,759
<i>Fotensio</i>		5	3	7,079,310	4,247,586	
<i>Cooling System</i>	<i>Water Cooling System</i>	Pompa	1	0	15,211,160	0
		<i>Coupling Pompa</i>	1	1	4,046,052	4,046,052
		Tozen Klep	6	1	15,688,538	2,614,756
	<i>HF Cooling System</i>	Pompa HF	2	0	27,535,252	0
		Pipa Saluran Air dan Slang HF	2	0	11,900,322	0
<i>Cutting</i>	Motor		2	0	17,810,583	0
	<i>Cutting</i>	<i>Air Cylinder</i>	4	0	29,223,702	0
		<i>As</i>	5	1	22,209,162	4,441,832
		<i>Bearing As</i>	2	0	15,888,877	0
		<i>Solenoid Valve</i>	6	6	38,518,722	38,518,722
	<i>Operation Panel</i>		6	2	25,129,060	8,376,353
	Penarik / Pendorong Kereta <i>Cutting</i>	<i>Air Cylinder</i>	2	1	14,433,513	7,216,757
		<i>Bearing</i>	1	1	11,453,530	11,453,530
	Cekam	<i>Air Cylinder</i>	1	0	7,269,648	0
		<i>Solenoid Valve</i>	1	0	6,432,875	0
	<i>Limit Switch</i>		5	2	27,788,551	11,115,421
<i>Conveyor</i>	<i>Roll Conveyor</i>	<i>As Fcoil</i>	2	0	23,557,296	0
		<i>Flange / Pillow Block</i>	2	2	13,820,328	13,820,328
	<i>Gear Box</i>		2	1	39,323,932	19,661,966
Pelempar	<i>Solenoid Valve</i>		8	5	41,462,625	25,914,141
Panel	<i>Operation Panel</i>		3	1	7,803,627	2,601,209
	<i>Control Panel DC Motor</i>		3	1	12,336,847	4,112,282
Total Penggabungan Jadwal					-	749,529,371
<b>Total</b>					<b>1,421,394,842</b>	<b>1,361,693,014</b>

Berikut ini tabel perbandingan total biaya antara penjadwalan awal dengan penjadwalan usulan. Dari hasil tabel diatas, terjadi penghematan biaya sebesar Rp. 56,812,862. Dengan adanya penjadwalan usulan ini perusahaan dapat menambah keuntungan dari selisih penjadwalan awal dengan usulan. mengalami kerusakan dilakukan perbaikan terlebih dahulu. Proses perbaikan membutuhkan waktu yang lama sehingga mesin akan kehilangan banyak jam produksi. Dengan adanya jadwal pergantian komponen, waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan mesin lebih cepat sehingga mesin tidak kehilangan keuntungan yang besar. Berikut ini tabel perbandingan total biaya antara penjadwalan awal dengan penjadwalan usulan. Dari hasil tabel diatas, terjadi penghematan biaya sebesar Rp. 56,812,862. Dengan adanya penjadwalan usulan ini perusahaan dapat menambah

keuntungan dari selisih penjadwalan awal dengan usulan.

#### KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dan analisis maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil pemilihan komponen kritis dengan metode *FMEA* pada mesin ERW 3 adalah sebagai berikut:
  - Mesin *Uncoiler* Komponen yang terpilih adalah *Air cylinder*, *Bearing* dan as, *Solenoid Valve*, Rem. Komponen yang terpilih adalah *Air cylinder*, *Bearing* dan as, *Solenoid Valve*, Rem.
  - Mesin *Forming dan Sizing*. Komponen yang terpilih adalah DC Motor, *Gear Box*, *Chain Coupling*, Sprocket, Spey.

**Tabel 12.** Perbandingan *Preventive Maintenance* Tanpa Penggabungan dan Penggabungan Jadwal

Sub Mesin	Part	Komponen	Komponen (Jamaari-Desember)		Total Pengurangan biaya (Jumlah penggantian x pengurangan biaya)		Total Perbandingan (Perbaikan - Penggantian Komponen) Rp (juta)
			<i>Preventive Maintenance</i> (Pergantian Komponen) (Unit)	<i>Corrective Maintenance</i> (Perbaikan Komponen) (Unit)	<i>Preventive Maintenance</i> (Pergantian Komponen) Rp (Juta)	<i>Corrective Maintenance</i> (Perbaikan Komponen) Rp (Juta)	
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	1	1	7,312,507	12,175,000	4,862,493
		Bearing dan As	14	14	115,750,145	2,135,367,500	2,019,617,355
		Solenoid Valve	0	0	0	0	0
		Rem	0	0	0	0	0
Forming dan Sising	DC Motor		2	2	165,599,286	23,025,908	-142,573,378
	Gear box	Chain coupling Sprocket, Spey	0	0	0	0	0
Welding	Bead Winder		1	1	4,308,007	4,207,949	-100,058
	Current Transformer		2	2	12,267,189	16,581,194	4,314,005
Welding	Oscilation Panel	AC	2	2	15,573,768	18,103,914	2,530,146
		Choke	6	6	34,909,511	34,350,000	-559,511
		Panel	1	1	5,514,537	6,252,250	737,713
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator	6	6	92,787,759	150,371,250	57,583,491
		Potensio	3	3	4,247,586	4,958,229	710,643
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	0	0	0	0	0
		Coupling Pompa	1	1	4,046,052	3,900,000	-146,052
		Tozen Klep	1	1	2,614,756	2,550,000	-64,756
	HF Cooling System	Pompa HF	0	0	0	0	0
		Pipa Sahrans Air dan Slang HF	0	0	0	0	0
Cutting	Motor		0	0	0	0	0
	Cutting	Air Cylinder	0	0	0	0	0
		As	1	1	4,441,832	19,447,972	15,006,140
		Bearing As	0	0	0	0	0
		Solenoid Valve	6	6	38,518,722	32,304,900	-6,213,822
	Operation Panel		2	2	8,376,353	10,376,770	2,000,417
	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder	1	1	7,216,757	16,341,250	9,124,493
		Bearing	1	1	11,453,530	11,450,000	-3,530
	Cekam	Air Cylinder	0	0	0	0	0
		Solenoid Valve	0	0	0	0	0
Limit Switch		2	2	11,115,421	14,784,834	3,669,413	
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	0	0	0	0	0
		Flange / Pillow Block	2	2	13,820,328	20,117,872	6,297,544
	Gear Box		1	1	19,661,966	19,320,164	-341,802
Pelempar	Solenoid Valve		5	5	25,914,141	241,747,500	215,833,359
Panel	Operation Panel		1	1	2,601,209	3,685,750	1,084,541
	Control Panel DC Motor		1	1	4,112,282	49,404,222	45,291,940
<b>TOTAL</b>					<b>1,361,693,014</b>	<b>2,850,824,428</b>	<b>1,489,131,414</b>

**Tabel 13.** Perbandingan biaya antara penjadwalan awal dengan usulan

Sub Mesin	Part	Komponen	Total Biaya Preventive Maintenance	
			Penjadwalan Awal	Penjadwalan Usulan
Uncoiler	Uncoiler	Air Cylinder	29,030,768	7,312,507
		Bearing dan As	41,538,460	115,750,145
		Solenoid Valve	38,146,152	0
		Rem	19,338,460	0
Forming dan Sising	DC Motor		331,034,768	165,599,286
	Gear box	Chain coupling Sprocket, Spey	51,946,152	0
Welding	Bead Winder		17,110,768	4,308,007
	Current Transformer		24,530,768	12,267,189
	Oscilation Panel	AC	31,030,768	15,573,768
		Choke	29,038,460	34,909,511
		Panel	21,930,768	5,514,537
	Inductor Voltage Regulator	Inductor Voltage Regulator	61,730,768	92,787,759
Potensio		5,630,768	4,247,586	
Cooling System	Water Cooling System	Pompa	60,830,768	0
		Coupling Pompa	16,030,768	4,046,052
		Tozen Klep	13,138,460	2,614,756
	HF Cooling System	Pompa HF	56,030,768	0
		Pipa Sahrans Air dan Slang HF	23,730,768	0

**Tabel 13.** Perbandingan biaya antara penjadwalan awal dengan usulan (lanjutan)

Sub Mesin	Part	Komponen	Total Biaya Preventive Maintenance	
			Penjadwalan Awal	Penjadwalan Usulan
Cutting	Motor		35,830,768	0
	Cutting	Air Cylinder	29,030,768	0
		As	17,630,768	4,441,832
		Bearing As	39,288,460	0
		Solenoid Valve	25,630,768	38,518,722
	Operation Panel		16,750,768	8,376,353
	Penarik / Pendorong Kereta Cutting	Air Cylinder	29,030,768	7,216,757
		Bearing	46,330,768	11,453,530
	Cekam	Air Cylinder	29,030,768	0
		Solenoid Valve	25,630,768	0
Limit Switch		33,346,152	11,115,421	
Conveyor	Roll Conveyor	As Roll	58,788,460	0
		Flange / Pillow Block	34,463,460	13,820,328
Gear Box		78,530,768	19,661,966	
Pelempar	Solenoid Valve		20,630,768	25,914,141
Panel	Operation Panel		10,430,768	2,601,209
	Control Panel DC Motor		16,330,768	4,112,282
Total Penggabungan Jadwal			-	749,529,371
<b>Total</b>			<b>1,418,505,876</b>	<b>1,361,693,014</b>

(iii) Mesin *Welding*. Komponen yang terpilih adalah *Bead winder*, *Current Transformer*, *AC*, *Choke*, *Panel*, *Inductor Voltage Regulator*, dan *Potensio*.

- (iv).Mesin *Cooling Tank*. Komponen yang terpilih adalah Pompa *Water, Coupling* Pompa, Tozen Klep, Pompa HF, Pipa Saluran air, dan Slang HF.
- (v). Mesin *Cutting*. Komponen yang terpilih adalah Motor, *Air Cylinder Cutting, As Cutting, Bearing As, Solenoid Valve Cutting, Operation Panel Cutting, Air Cylinder* Penarik/Pendorong Kereta, *Bearing* Penarik/Pendorong Kereta, *Air cylinder* Cekam, *Solenoid Valve* Cekam, dan *Limit Switch*.
- (vi).Mesin *Conveyor*. Komponen yang terpilih adalah *As Roll, Flange/Pillow Block*, dan *Gear Box*.
- (vii).Mesin Pelempar. Komponen yang terpilih adalah *Solenoid Valve*.
- (viii).Panel. Komponen yang terpilih adalah *Operation Panel*, dan *Control Panel DC Motor*.
2. Rancangan jadwal pergantian komponen dilakukan melalui tahap-tahap sebagai berikut:
- (a). Perhitungan dan analisis kerusakan berdasarkan waktu kerusakan atau *MTTF (Mean Time To Failure)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen *choke* pada submesin *welding* yang paling cepat mengalami kerusakan, yang ditunjukkan oleh *MTTF* sebesar 36 hari.
- (b). Perhitungan dan analisis kerusakan berdasarkan waktu perbaikan atau *MTTR (Mean Time To Repair)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen *potensio* pada bagian *inductor voltage regulator* merupakan komponen dengan waktu perbaikan tercepat, yang ditunjukkan oleh *MTTR* sebesar 12,822 menit.
- (c). Perhitungan *downtime*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen *bearing* dan *as* pada submesin *uncoiler* merupakan komponen dengan interval waktu pergantian komponen yang paling cepat yaitu 18 hari.
- (d). Simulasi penjadwalan  
Simulasi penjadwalan dapat dibuat berdasarkan dari interval waktu yang dihasilkan dengan menambahkan interval waktu tersebut dengan waktu terakhir terjadinya kerusakan pada suatu komponen. Dengan cara ini akan didapatkan waktu pergantian komponen dalam interval-interval yang sesuai dengan umur dari komponen.
- (e). Perbandingan biaya  
Dari penjadwalan yang telah dibuat, perbandingan biaya antara pergantian komponen (*preventive maintenance*) dengan perbaikan komponen (servis) dapat dicari. Perhitungan biaya dari *preventive maintenance* dilakukan dengan melihat berapa lama mesin berhenti untuk pergantian komponen (mesin akan kehilangan penghasilan) ditambahkan dengan harga komponen. Untuk perbaikan komponen (servis), perhitungan dilakukan dengan melihat berapa lama mesin berhenti untuk proses perbaikan ditambahkan dengan biaya untuk perbaikan. Dengan perbandingan ini, penjadwalan pergantian komponen akan diketahui layak atau tidaknya. Jika biaya pergantian komponen lebih besar dari pada perbaikan, penjadwalan pergantian komponen tersebut tidak layak dilakukan. Penghematan biaya pada mesin ERW 3 yang terbesar adalah komponen *Bearing* dan *As* penghematan biayanya 94.62%. Penghematan biaya terkecil adalah komponen *Bead Winder* penghematan biayanya 0.19%. Untuk lebih jelasnya, hasil dari penghematan biaya untuk *preventive maintenance* dan proses perbaikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dhillon, B.S., *Reliability Engineering in System Design and Operation*, Hlm. 12-25, Van Nostrand Reinhold Company, Inc., Singapore, 1997
- [2] Jardine, A.K.S. and Tsang, A. H. C., *Maintenance, Replacement, and Reliability*, Hlm. 35-150, Pitman Publishing Corporation, Canada, 2006
- [3] Corder, A.S., *Teknik Manajemen Pemeliharaan*, Hlm. 5-42, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988
- [4] Gaspersz, V., *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi Dengan ISO 9001:2000, MBNQA, Dan HCCP*