

PERENCANAAN PEMELIHARAAN MESIN BOILER FEED PUMP UNTUK MENURUNKAN BIAYA PEMELIHARAAN MENGUNAKAN METODE MARKOV CHAIN (STUDI KASUS: PT.PJB SERVICE BOLOK, KUPANG, NTT)

Ivan Boy Oswaldo Ria¹⁾, Ellysa Nursanti²⁾, Heksa Galuh³⁾

^{1,3)} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

²⁾ Program Studi Teknik Industri S-2, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Nasional Malang

Email : BoyIvan75@gmail.com

Abstrak, PLTU Bolok merupakan PLTU pertama di Nusa Tenggara Timur, yang berlokasi di Desa Bolok, Kecamatan Kupang Barat, Kabupaten Kupang, dan dioperasikan oleh PT. PJB Service. PLTU Bolok mempunyai mesin yang bekerja secara terus menerus pada saat produksi sehingga terkadang menyebabkan beberapa mesin mengalami kerusakan saat beroperasi dan menimbulkan pengeluaran yang besar pada perusahaan. Untuk mengurangi biaya pengeluaran tersebut perlu adanya perencanaan pemeliharaan mesin agar dapat menurunkan biaya pemeliharaan. Pada penelitian ini menggunakan metode *Markov Chain* untuk menyelesaikan masalah tersebut. Mesin Boiler Feed Pump merupakan salah satu mesin terpenting dalam produksi uap menjadi energi listrik. Penelitian akan berfokus pada mesin Boiler Feed Pump, karena biaya perawatan pada mesin tersebut pada saat terjadi kerusakan memakan biaya yang cukup besar yaitu sebesar Rp.240.000.000 dari perhitungan biaya downtime selama 6 bulan adalah Rp.75.000.000. Dengan menggunakan metode *Markov Chain* dibandingkan biaya pemeliharaan sebelumnya mengalami penurunan sebesar 47%.

Kata kunci : *Markov Chain*

PENDAHULUAN

Energi listrik memegang peranan penting dalam kehidupan masyarakat dimana menjadi sumber energi yang selalu digunakan dalam banyak kegiatan baik di rumah tangga, instansi, maupun industri. Aktivitas masyarakat dalam menggunakan energi listrik selalu meningkat dari waktu ke waktu. Terjadi gangguan pasokan energi listrik berdampak pada kegiatan masyarakat khususnya ekonomi.

PLTU Bolok Kupang merupakan salah satu pembangkit di NTT, dalam proses menghasilkan listrik, di PLTU Bolok melibatkan beberapa mesin, seperti *ship unloader, Conveyor, crusher tower, coal feeder, coal crusher, primary air fan, secondary air fan, return fan, super heater, biler, induced draft fan, electro static precepirator, fly ash pneumatic transport system, fly ash silo, chimney, steam drum, carculating water pum, pipe pre pump, sea water transfer pump, water treatment pump, boiler feed pump, vacuum pump, turbin uap, generator, condenser, lp heater, derator, HP heater, Denin Water Tank, High Speed Diesel Storage Tank, Unit Auxiliary Transformer, Main Transformator.*

Dalam pelaksanaan, sering ditemui beberapa masalah yang sering muncul seperti mesin yang mengalami kerusakan yang untuk perbaikannya memakan biaya yang sangat besar salah satunya pada *boiler feed pump* yang beberapa kali sering mengalami kerusakan yang menyebabkan perusahaan mengeluarkan biaya yang cukup besar, sekitar Rp.295.000.000,-. Perawatan dilakukan pada *mech seal* pompa dan *bearing* motor, untuk itulah diperlukan perencanaan perawatan mesin yang efektif agar dapat mencapai biaya perawatan mesin yang optimal dan juga menurunkan biaya perawatan mesin tersebut.

METODE

Metode yang dilakukan dalam penelitian untuk penyusunan adalah menggunakan deskriptif dan studi analitik. Metode deskriptif ini bertujuan untuk menggambarkan sesuatu proses yang tengah berlangsung pada saat penelitian sedang dilakukan dan untuk menguraikan sifat-sifat atau karakteristik dari suatu keadaan dengan tujuan memperoleh hasil yang lebih baik dari sebelumnya. Sedangkan studi analitik yaitu mengelola data-data yang ada dalam perusahaan.

Sumber Data

Sumber Data diperoleh dari PT. PJB Service, dimana sumber data tersebut sebagian besar diperoleh dari bagian *maintenance* yang ada di perusahaan tersebut. Adapun data-data yang diperoleh antara lain:

- Data jenis mesin
- Data mesin yang mengalami perubahan status
- Data jumlah mesin yang berada pada status bagi, kerusakan ringan, kerusakan sedang, dan kerusakan berat
- Data waktu kerusakan mesin *boiler feed pump*
- Data waktu pemeliharaan pada mesin *boiler feed pump*
- Data biaya down time.

Metode pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan cara studi lapangan yaitu penelitian secara langsung dan melakukan pengambilan data dari objek yang diamati pada perusahaan. Adapun teknik – teknik pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

- Observasi
Mengamati dan mencatat kejadian-kejadian langsung pada objek di lapangan
- Wawancara
Melakukan tanya jawab secara langsung dengan pihak-pihak yang berkepentingan terhadap masalah yang diteliti
- Dokumentasi
Pengumpulan data melalui dokumen-dokumen serta catatan-catatan perusahaan yang berhubungan dengan objek yang diteliti.

Pengolahan Data

Adapun langkah-langkah pengelolaan data dengan metode *Markov Chain* adalah:

- Menghitung probabilitas transisi yang dihitung dari proporsi jumlah mesin yang mengalami transisi status.
- Membentuk matriks transisi awal kegiatan pemeliharaan dan usulan.
- Membentuk probabilitas status mesin dan keadaan steady state.
- Biaya penyelenggaraan pembelajaran pencegahan (C_{1i}).

$$C_{1i} = \text{Waktu rata-rata pemeliharaan pencegahan} \times \text{biaya down time}$$

- Menghitung biaya penyelenggaraan pemeliharaan korektif (C_{2i})

$$C_{2i} = \text{Waktu rata-rata kerusakan} \times \text{biaya down time}$$

- Menghitung biaya rata-rata ekspektasi pemeliharaan

$$E = \sum_{i=1}^m cik\pi_t$$

Keterangan:

C_{ik} : Biaya pemeliharaan berdasarkan keputusan k yang dibuat untuk masing-masing item-i

π_t : Probabilitas status jangka panjang dan status mapan (*steady state*)

- Menghitung penghematan biaya pemeliharaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

• Data Jenis Mesin

Berikut ini merupakan data jenis dan jumlah mesin yang diperoleh dari PT. Karyamitra Budisentosa, yaitu :

Tabel 1. Data Jenis Mesin dan Jumlah Mesin

Nama Mesin	Jumlah (Unit)
<i>Boiler feed pump</i>	2

(Sumber: PT. PJB Service Bolok)

• Data mesin yang mengalami transisi Transisi status yang terjadi dinyatakan dengan notasi sebagai berikut :

- (B/B) : Kondisi baik ke kondisi baik
- (B/Kr) : Kondisi baik ke kerusakan ringan
- (B/Ks) : Kondisi baik ke kerusakan sedang
- (B/Kb) : Kondisi baik ke kerusakan berat
- (Kr/Kr) : Kondisi kerusakan ringan ke kerusakan ringan
- (Kr/Ks) : Kondisi kerusakan ringan ke kerusakan sedang
- (Kr/Kb) : Kondisi kerusakan ringan ke kerusakan berat
- (Ks/Ks) : Kondisi kerusakan

- sedang ke kerusakan
 sedang
- i. **(Ks/Kb)** : Kondisi kerusakan
- sedang ke kerusakan
 berat
- j. **(Kb/B)** : Kondisi kerusakan berat ke kondisi baik

Tabel 2. Transisi Status Mesin *Boiler Feed Pump*

Bulan	Status									
	B/B	B/Kr	B/Ks	B/Kb	Kr/Kr	Kr/Ks	Kr/Kb	Ks/Ks	Ks/Kb	Kb/B
Jun '19	1	2	2	1	0	0	0	1	1	1
Jul '19	2	1	0	1	1	1	0	0	2	1
Ags '19	2	2	1	0	1	0	1	2	1	1
Sep '19	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1
Okt '19	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1

(Sumber : PT. PJB Service)

• **Pengelompokan Status Mesin**

Dari data di atas mesin *Boiler Feed Pump* dikelompokkan berdasarkan statusnya, sehingga didapat jumlah mesin yang berada

pada status baik, status kerusakan ringan, status kerusakan sedang, dan status kerusakan berat per bulannya

Tabel 3. Pengelompokan Status Mesin

Bulan	Kondisi			
	Baik	Ringan	Sedang	Berat
Jun '19	6	0	2	1
Jul '19	4	2	2	1
Ags '19	5	2	3	1
Sep '19	3	2	0	1
Okt '19	2	2	1	1
Nov '19	3	2	2	2
Ket	(B/B+B/Kr...B/Kb)	(Kr/Kr+...+Kr/Kb)	(Ks/Ks+Ks/Kb)	(Kb/B)

(Sumber : PT. PJB Service Bolok)

• **Data Waktu Pemeliharaan Pencegahan ($\sum W_{1i}$), Waktu Kerusakan ($\sum W_{2i}$), dan Biaya *Down Time* pada Mesin**

Data waktu pemeliharaan pencegahan (*preventive*), waktu kerusakan, dan biaya *down time* pada mesin *Boiler Feed Pump* yang diperoleh dari PT. PJB Service Bolok adalah sebagai berikut :

Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat bahwa total waktu pemeliharaan pencegahan (*preventive*) mesin *Boiler Feed Pump* selama 6 bulan adalah 36 jam. Sedangkan total waktu kerusakan mesin *Boiler Feed Pump* selama 6 bulan adalah 96 jam. Dan untuk biaya *down time* mesin *Boiler Feed Pump* sebesar Rp 2.500.000/jam.

Tabel 4. Waktu Pemeliharaan Pencegahan, Waktu Kerusakan, dan Biaya *Down Time* Mesin *Boiler Feed Pump*

$(\sum W_{1i})$ per 6 Bulan	$(\sum W_{2i})$ 6 Bulan	\sum Biaya <i>Down Time</i> / Jam
24 jam	96 jam	Rp 2.500.000

(Sumber: PT. PJB Service)

• **Pengolahan Data**

➤ **Perhitungan Probabilitas Status Mesin *Boiler Feed Pump***

Dalam menentukan probabilitas status akan ditentukan dahulu besarnya probabilitas transisi yang dapat dihitung dari proporsi jumlah yang masing - masing mengalami transisi status, selanjutnya dibentuk matrik transisi awal yang merupakan pemeliharaan yang

dilakukan oleh perusahaan (P₀), yaitu sebagai berikut:

$$P = \frac{P_{bulan1} \cdot P_{bulan2} \cdot P_{bulan3} \cdot \dots \cdot n}{n}$$

Keterangan :

P = Probabilitas Transisi

n = Bulan ke-

Tabel 5. Transisi Status Mesin *Boiler Feed Pump*

Bulan	Status									
	P11	P12	P13	P14	P22	P23	P24	P33	P34	P41
Jun '19	1/6	2/6	2/6	1/6	0	0	0	1/2	1/2	1/1
Jul '19	2/4	1/4	0	1/4	1/2	1/2	0	0	2/2	1/1
Ags '19	2/5	2/5	1/5	0	1/2	0	1/2	2/3	1/3	1/1
Sep '19	1/3	1/3	0	1/3	1/2	0	1/2	0	0	1/1
Okt '19	0	1/2	0	1/2	0	1/2	1/2	0	1/1	1/1
Nov '19	2/3	1/3	0	0	2/2	0	0	0	2/2	2/2
Σ/n	0,344	0,358	0,088	0,208	0,417	0,167	0,25	0,194	0,639	1

(Sumber: Pengolahan Data)

Matrik transisi mesin *Boiler Feed Pump* yang merupakan pemeliharaan mesin yang dilakukan oleh perusahaan (pemeliharaan korektif pada status 4), yaitu :

Tabel 6. Matrik Probabilitas Transisi Awal Mesin *Boiler Feed Pump*

I \ J	1	2	3	4
1	0,344	0,358	0,088	0,208
2	0	0,417	0,167	0,25
3	0	0	0,194	0,639
4	1	0	0	0

Dengan menggunakan persamaan serta hasil matrik transisi tersebut, maka probabilitas status jangka panjang dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$[\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 0 & 0,417 & 0,167 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0,194 & 0,639 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4]$$

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$$

Maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ 0,344\pi_1 + 0 + 0 + \pi_4 &= \pi_1 \\ 0,358\pi_1 + 0,417\pi_2 + 0 + 0 &= \pi_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,088\pi_1 + 0,167\pi_2 + 0,1 + 0 &= \pi_3 \\ 0,208\pi_1 + 0,25\pi_2 + 0,6 + 0 &= \pi_4 \end{aligned}$$

Penyelesaian persamaan di atas adalah :

- $0,344\pi_1 + \pi_4 = \pi_1$
 $\pi_4 = \pi_1 - 0,344\pi_1$
 $\pi_4 = 0,998\pi_1 - 0,344\pi_1$
 $\pi_4 = 0,654\pi_1$
- $0,358\pi_1 + 0,471\pi_2 = \pi_2$
 $0,358\pi_1 = \pi_2 - 0,417\pi_2$
 $0,358\pi_1 = 0,834\pi_2 - 0,417\pi_2$
 $0,358\pi_1 = 0,417\pi_2$
 $\frac{0,358}{0,417}\pi_1 = \pi_2$
 $0,858\pi_1 = \pi_2$
- $0,088\pi_1 + 0,167\pi_2 + 0,194\pi_3 = \pi_3$
 $0,088\pi_1 + 0,167(0,858\pi_1) = \pi_3 - 0,194\pi_3$
 $0,088\pi_1 + 0,143286\pi_1 = 0,833\pi_3 - 0,194\pi_3$
 $0,231\pi_1 = 0,639\pi_3$
 $\frac{0,231}{0,639}\pi_1 = \pi_3$
 $0,361\pi_1 = \pi_3$
- $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$
 $\pi_1 + 0,858\pi_1 + 0,361\pi_1 + 0,654\pi_1 = 1$
 $2,873\pi_1 = 1$
 $\pi_1 = \frac{1}{2,873}$
 $\pi_1 = 0,348$

Sehingga diperoleh :

$$\pi_1 = 0,348, \pi_2 = 0,858, \pi_3 = 0,361, \pi_4 = 0,654$$

➤ *Perencanaan Pemeliharaan Usulan pada Mesin Boiler Feed Pump*

Untuk mendapatkan pemeliharaan yang lebih baik sehingga bisa

mengurangi biaya pemeliharaan, maka diusulkan 4 perencanaan pemeliharaan mesin (P₁, P₂, P₃, P₄) yang didapatkan dari perubahan matrik transisi awal sesuai dengan tindakan yang dilakukan. Dari keempat usulan tersebut yang akan dipilih adalah usulan yang mempunyai biaya rata - rata ekspektasi terkecil.

- a. Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3.

Tabel 7. Matrik Probabilitas Transisi Usulan 1

I \ J	1	2	3	4
1	0,344	0,358	0,088	0,208
2	0	0,417	0,167	0,25
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0

Dengan menggunakan persamaan serta hasil matrik transisi tersebut, maka probabilitas status jangka panjang dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut:

Catatan : $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ 0,344\pi_1 + 0 + 0 + \pi_4 &= \pi_1 \\ 0,358\pi_1 + 0,417\pi_2 + \pi_3 + 0 &= \pi_2 \\ 0,088\pi_1 + 0,167\pi_2 + 0 + 0 &= \pi_3 \\ 0,208\pi_1 + 0,25\pi_2 + 0 + 0 &= \pi_4 \end{aligned}$$

Penyelesaian persamaan di atas adalah ;

- $0,344\pi_1 + \pi_4 = \pi_1$
 $\pi_4 = \pi_1 - 0,344\pi_1$
 $\pi_4 = 0,998\pi_1 - 0,344\pi_1$
 $\pi_4 = 0,654\pi_1$
- $0,208\pi_1 + 0,25\pi_2 = \pi_4$
 $0,208\pi_1 + 0,25\pi_2 = 0,654\pi_1$
 $0,25\pi_2 = 0,654\pi_1 - 0,208\pi_1$
 $0,25\pi_2 = 0,446\pi_1$
 $\pi_2 = \frac{0,446}{0,25}\pi_1$
 $\pi_2 = 1,784\pi_1$
- $0,088\pi_1 + 0,167\pi_2 = \pi_3$
 $0,088\pi_1 + 0,167(1,784\pi_1) = \pi_3$
 $0,088\pi_1 + 0,297\pi_1 = \pi_3$

$$\begin{aligned} 0,385\pi_1 &= \pi_3 \\ 4. \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ \pi_1 + 1,784\pi_1 + 0,385\pi_1 + 0,654\pi_1 &= 1 \\ 3,823\pi_1 &= 1 \\ \pi_1 &= \frac{1}{3,823} \\ \pi_1 &= 0,261 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh :

$$\pi_1 = 0,654, \pi_2 = 1,784, \pi_3 = 0,385, \pi_4 = 1,823$$

- b. Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 serta pemeliharaan pencegahan pada status 2

Tabel 8. Matrik Probabilitas Transisi Usulan 2

I \ J	1	2	3	4
1	0,344	0,358	0,088	0,208
2	1	0	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0	0	0

Dengan menggunakan persamaan serta hasil matrik transisi tersebut, maka probabilitas status jangka panjang dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ = [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \end{aligned}$$

Catatan : $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ 0,344\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= \pi_1 \\ 0,358\pi_1 + 0 + 0 + 0 &= \pi_2 \\ 0,088\pi_1 + 0 + 0 + 0 &= \pi_3 \\ 0,208\pi_1 + 0 + 0 + 0 &= \pi_4 \end{aligned}$$

Penyelesaian persamaan di atas adalah :

- $0,358\pi_1 = \pi_2$
- $0,088\pi_1 = \pi_3$
- $0,208\pi_1 = \pi_4$
- $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$
- $\pi_1 + 0,358\pi_1 + 0,088\pi_1 + 0,208\pi_1 = 1$
 $1,654\pi_1 = 1$
 $\pi_1 = \frac{1}{1,654}$

$$\pi_1 = 0,604$$

Sehingga diperoleh:
 $\pi_1 = 0,604, \pi_2 = 0,358, \pi_3 = 0,088, \pi_4 = 0,208$

- c. Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3.

Tabel 9. Matrik Probabilitas Transisi Usulan 3

I \ J	1	2	3	4
1	0,344	0,358	0,088	0,208
2	1	0	0	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0

Dengan menggunakan persamaan serta hasil matrik transisi tersebut, maka probabilitas status jangka panjang dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$[\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4]$$

Catatan : $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ 0,344\pi_1 + 0 &+ \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = \pi_1 \\ 0,358\pi_1 + 0,417\pi_2 &+ 0 + 0 = \pi_2 \\ 0,088\pi_1 + 0,167\pi_2 &+ 0 + 0 = \pi_3 \\ 0,208\pi_1 + 0,25\pi_2 &+ 0 + 0 = \pi_4 \end{aligned}$$

Penyelesaian persamaan di atas adalah :

1. $0,208\pi_1 = \pi_4$
2. $0,088\pi_1 = \pi_3$
3. $0,358\pi_1 + \pi_3 = \pi_2$
 $0,358\pi_1 + 0,088\pi_1 = \pi_2$
 $0,446\pi_1 = \pi_2$
4. $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$
 $\pi_1 + 0,446\pi_1 + 0,088\pi_1 + 0,208\pi_1 = 1$
 $1,742\pi_1 = 1$
 $\pi_1 = \frac{1}{1,742}$
 $\pi_1 = 0,574$

Sehingga diperoleh:
 $\pi_1 = 0,574, \pi_2 = 0,446, \pi_3 = 0,088, \pi_4 = 0,208$

- d. Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4.

Tabel 10. Matrik Probabilitas Transisi Usulan 4

I \ J	1	2	3	4
0	0,344	0,358	0,088	0,208
0	0	0,167	0,25	0
1	0	0	0	1
1	0	0	0	1

Dengan menggunakan persamaan serta hasil matrik transisi tersebut, maka probabilitas status jangka panjang dan dalam keadaan mapan (*steady state*) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$[\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4] \begin{bmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4]$$

Catatan : $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ 0,344\pi_1 + \pi_2 + 0 + \pi_4 &= \pi_1 \\ 0,358\pi_1 + 0 + \pi_3 + 0 &= \pi_2 \\ 0,088\pi_1 + 0 + 0 + 0 &= \pi_3 \\ 0,208\pi_1 + 0 + 0 + 0 &= \pi_4 \end{aligned}$$

Penyelesaian persamaan di atas adalah :

1. $0,358\pi_1 + 0,417\pi_2 = \pi_2$
 $0,358\pi_1 = 0,834\pi_2 - 0,417\pi_2$
 $0,358\pi_1 = 0,417\pi_2$
 $\frac{0,358}{0,417}\pi_1 = \pi_2$
 $0,858\pi_1 = \pi_2$
2. $0,088\pi_1 + 0,167\pi_2 = \pi_3$
 $0,088\pi_1 + 0,167(0,858\pi_1) = \pi_3$
 $0,088\pi_1 + 0,143\pi_1 = \pi_3$
 $0,231\pi_1 = \pi_3$
3. $0,208\pi_1 + 0,25\pi_2 = \pi_4$
 $0,208\pi_1 + 0,25(0,858\pi_1) = \pi_4$
 $0,208\pi_1 + 1,108\pi_1 = \pi_4$
 $1,316\pi_1 = \pi_4$
4. $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$
 $\pi_1 + 0,858\pi_1 + 0,231\pi_1 + 1,316\pi_1 = 1$
 $3,405\pi_1 = 1$
 $\pi_1 = \frac{1}{3,405}$
 $\pi_1 = 0,293$

Sehingga diperoleh :
 $\pi_1 = 0,293, \pi_2 = 0,858, \pi_3 = 0,231, \pi_4 = 1,316$

Tabel 11. Probabilitas *steady state* mesin *Boiler Feed Pump*

Jenis Mesin	Kegiatan Pemeliharaan	Probabilitas			
		Baik (π_1)	Kerusakan Ringan (π_2)	Kerusakan Sedang (π_3)	Kerusakan Berat (π_4)
<i>Boiler Feed Pump</i>	P ₁	0,654	1,784	0,385	1,823
	P ₂	0,604	0,358	0,446	0,858
	P ₃	0,574	0,446	0,088	0,208
	P ₄	0,293	0,858	0,231	1,316

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 11 merupakan probabilitas *steady state* mesin *Boiler Feed Pump* dimana P₁ adalah kegiatan pemeliharaan korektif pada status kondisi kerusakan berat dan pemeliharaan pencegahan pada status kondisi kerusakan sedang. P₂ adalah kegiatan pemeliharaan korektif pada status kondisi kerusakan sedang dan kondisi kerusakan berat serta pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan. P₃ adalah kegiatan pemeliharaan korektif pada status kondisi kerusakan berat serta pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan dan kondisi kerusakan sedang. P₄ adalah kegiatan pemeliharaan korektif pada status kondisi kerusakan sedang dan kondisi kerusakan berat.

- Pada kegiatan pemeliharaan usulan yang pertama (P₁), probabilitas mesin dalam kondisi baik sebesar 27,1%; probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan ringan sebesar 48,8%; probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan sedang sebesar 13,8%; dan probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan berat sebesar 17,8%.
- Pada kegiatan pemeliharaan usulan

yang pertama (P₂), probabilitas mesin dalam kondisi baik sebesar 61,5%; probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan ringan sebesar 22%; probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan sedang sebesar 36%; dan probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan berat sebesar 12,8%.

- Pada kegiatan pemeliharaan usulan yang pertama (P₃), probabilitas mesin dalam kondisi baik sebesar 59,9%; probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan ringan sebesar 24,4%; probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan sedang sebesar 3%; dan probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan berat sebesar 12,4%.
- Pada kegiatan pemeliharaan usulan yang pertama (P₄), probabilitas mesin dalam kondisi baik sebesar 45,7%; probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan ringan sebesar 28,1%; probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan sedang sebesar 9,6%; dan probabilitas mesin mengalami kondisi kerusakan berat sebesar 16,5%.

Tabel 12. Biaya pemeliharaan pencegahan (*preventive*) mesin *Boiler Feed Pump* per 6 bulan

Jenis Mesin	$\sum W_{1i}$ (Jam/6Bln)	$\sum W_{2i}$ (Jam/6Bln)	Biaya Down Time (Rp)	$C_{1i} = \sum W_{1i} \times$ Biaya Down Time (Rp / 6Bln)	$C_{2i} = \sum W_{2i} \times$ Biaya Down Time (Rp / 6Bln)
<i>Boiler Feed Pump</i>	24	96	2.500.000	60.000.000	240.000.000

Keterangan :

- $\sum W_{1i}$ = Waktu pemeliharaan pencegahan (*preventive*)
 $\sum W_{2i}$ = Rata - rata waktu kerusakan
 C_{1i} = Biaya pemeliharaan pencegahan (*preventive*)
 C_{2i} = Biaya pemeliharaan korektif (*corrective*)

pada status 2)

$$E^2 = \pi_1(0) + \pi_2(C_{1i}) + \pi_3(C_{2i}) + \pi_4(C_{2i})$$

$$E^2 = 0,604(0) + 0,358(Rp.60.000.000) + 0,088(Rp. 240.000.000) + 0,208(Rp. 240.000.000)$$

$$E^2 = Rp. 21.480.00 + Rp. 21.120.00 + Rp. 49.920.000$$

$$E^2 = Rp. 92.520.000$$

Berdasarkan tabel 12, biaya pemeliharaan pencegahan (*preventive*) mesin *Boiler Feed Pump* per 6 bulan adalah sebesar Rp 60.000.000, Sedangkan biaya pemeliharaan korektif (*corrective*) mesin *Boiler Feed Pump* per 6 bulan adalah sebesar Rp 240.000.000.

➤ Perhitungan Biaya Rata - Rata Ekspektasi Mesin *Boiler Feed Pump*

Berdasarkan biaya pemeliharaan mesin, maka dapat dihitung biaya rata - rata ekspektasi mesin *Boiler Feed Pump* sebagai berikut :

1. P_0 (*Pemeliharaan korektif pada status 4*)
 $E^0 = \pi_1(0) + \pi_2(0) + \pi_3(0) + \pi_4(C_{2i})$
 $E^0 = 0,348(0) + 0,858(0) + 0,361(0) + 0,654(Rp. 240.000.000)$
 $E^0 = Rp. 156.960,000$
2. P_1 (*Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3*)
 $E^1 = \pi_1(0) + \pi_2(0) + \pi_3(C_{1i}) + \pi_4(C_{2i})$
 $E^1 = 0,654(0) + 1,784(0) + 0,385(Rp. 60.000.000) + 1,823(Rp. 240.000.000)$
 $E^1 = Rp. 23.100.000 + Rp. 437.520.000$
 $E^1 = Rp. 460.620.000$
3. P_2 (*Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 dan pemeliharaan pencegahan*

4. P_3 (*Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3*)

$$E^3 = \pi_1(0) + \pi_2(C_{1i}) + \pi_3(C_{1i}) + \pi_4(C_{2i})$$

$$E^3 = 0,574(0) + 0,446(Rp. 60.000.000) + 0,088(Rp. 60.000.000) + 0,208(Rp. 240.000.000)$$

$$E^3 = Rp. 26.760.000 + Rp. 5.280.000 + Rp. 49.920.000$$

$$E^3 = Rp. 81.960.000$$

5. P_4 (*Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4*)

$$E^4 = \pi_1(0) + \pi_2(0) + \pi_3(C_{2i}) + \pi_4(C_{2i})$$

$$E^4 = 0,293(0) + 0,858(0) + 0,231(Rp. 240.000.000) + 1,316(Rp. 240.000.000)$$

$$E^4 = Rp. 55.440.000 + Rp. 315.840.000$$

$$E^4 = Rp. 371.280.000$$

Keterangan :

- E : Ekspektasi
- π_1 : Probabilitas Kondisi Baik
- π_2 : Probabilitas Kondisi Kerusakan Ringan
- π_3 : Probabilitas Kondisi Kerusakan Sedang
- π_4 : Probabilitas Kondisi Kerusakan Berat
- C_{1i} : Biaya Pemeliharaan Pencegahan
- C_{2i} : Biaya Pemeliharaan Korektif

Tabel 13. Hasil Perhitungan Biaya Rata-Rata Ekspektasi Mesin *Boiler Feed Pump*

Jenis Mesin	Biaya Rata-Rata Ekspektasi Kegiatan Pemeliharaan (Rp/6Bln)				
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
<i>Boiler Feed Pump</i>	156.960.000	460.620.000	92.520.000	81.960.000	371.280.000

(Sumber: Pengolahan Data)

Dari perhitungan di atas diperoleh biaya rata - rata ekspektasi yang paling

minimum terletak pada pemeliharaan usulan P_3 yaitu pemeliharaan korektif

pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3 sebesar Rp 46.200.000 / 6 bulan.

- Penghematan Biaya Pemeliharaan
 Penghematan biaya usulan perencanaan pemeliharaan mesin *Boiler Feed Pump* adalah sebagai berikut :

$$\text{Penghematan biaya} = \frac{\text{pemeliharaan awal-usulan}}{\text{pemeliharaan awal}} 100\%$$

- Pembahasan

- Probabilitas Transisi Status

Berdasarkan matrik transisi awal pemeliharaan mesin *Boiler Feed Pump* yang dilakukan oleh perusahaan (P_0), maka diusulkan 4 (empat) macam rencana kegiatan pemeliharaan yang selanjutnya dapat dinyatakan dalam bentuk matrik transisi sebagai berikut:

$$P_0 = \begin{vmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 1 & 0,417 & 0,167 & 0,25 \\ 1 & 0 & 0,194 & 0,639 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$P_1 = \begin{vmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 0 & 0,417 & 0,167 & 0,25 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$P_2 = \begin{vmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$P_3 = \begin{vmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$P_4 = \begin{vmatrix} 0,344 & 0,358 & 0,088 & 0,208 \\ 0 & 0 & 0,167 & 0,25 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Matrik probabilitas transisi pada mesin *Boiler Feed Pump* di atas terbentuk karena adanya perencanaan pemeliharaan usulan yang ditentukan seperti berikut ini :

- Jika dilakukan tindakan “Pemeliharaan Korektif”, maka sistem akan menuju ke status baik.
- Jika tindakan yang dilakukan adalah “Pemeliharaan Pencegahan”, maka sistem akan kembali ke status sebelumnya

- **Probabilitas Status Mesin *Boiler Feed Pump* pada Keadaan *Steady State***

Berdasarkan analisa di atas, probabilitas mesin berada pada kondisi baik, kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat dalam keadaan mapan (*steady state*) untuk jangka panjang pada mesin *Boiler Feed Pump* adalah sebagai berikut :

Tabel 14. Probabilitas *Steady State* Mesin *Boiler Feed Pump*

Kegiatan Pemeliharaan	Probabilitas			
	Baik (π_1)	Kerusakan Ringan (π_2)	Kerusakan Sedang (π_3)	Kerusakan Berat (π_4)
P_1	0,654	1,784	0,385	1,823
P_2	0,604	0,358	0,088	0,208
P_3	0,574	0,446	0,088	0,208
P_4	0,293	0,858	0,231	1,316

(Sumber: Pengolahan Data)

Dilihat dari Tabel 14 artinya pada kegiatan pemeliharaan usulan yang pertama (P_1), probabilitas mesin dalam kondisi baik adalah sebesar 65,4%; peluang mesin mengalami kerusakan

ringan sebesar 178,4%; peluang mesin mengalami kerusakan sedang sebesar 38,5% dan peluang mesin mengalami kerusakan berat adalah sebesar 182,3%.

a. Artinya pada kegiatan pemeliharaan

usulan yang kedua (P_2), probabilitas mesin dalam kondisi baik adalah sebesar 60,4%; peluang mesin mengalami kerusakan ringan sebesar 35,8%; peluang mesin mengalami kerusakan sedang sebesar 8,8% dan peluang mesin mengalami kerusakan berat adalah sebesar 20,8%.

- b. Artinya pada kegiatan pemeliharaan usulan yang ketiga (P_3), probabilitas mesin dalam kondisi baik adalah sebesar 59,9%; peluang mesin mengalami kerusakan ringan sebesar 24,4%; peluang mesin mengalami kerusakan sedang sebesar 3% dan peluang mesin mengalami kerusakan berat adalah sebesar 12,4%.
- c. Artinya pada kegiatan pemeliharaan usulan yang keempat (P_4), probabilitas mesin dalam kondisi baik adalah sebesar 57,4%; peluang mesin mengalami kerusakan ringan sebesar 44,6%; peluang mesin mengalami kerusakan sedang sebesar 8,8% dan peluang mesin mengalami kerusakan berat adalah sebesar 20,8%.
- d. Artinya pada kegiatan pemeliharaan usulan yang keempat (P_4), probabilitas mesin dalam kondisi baik adalah sebesar 29,3%; peluang mesin mengalami kerusakan ringan sebesar 85,8%; peluang mesin mengalami kerusakan sedang sebesar 23,1% dan peluang mesin mengalami kerusakan berat adalah sebesar 131,6%.

➤ **Analisa Biaya Rata - Rata Ekspektasi**

Biaya pemeliharaan untuk mesin *Boiler Feed Pump* apabila dikalikan dengan probabilitas status dalam keadaan mapan (*steady state*) pada jangka panjang, maka akan didapatkan biaya rata - rata ekspektasi (biaya rata-rata yang diharapkan) untuk setiap kegiatan pemeliharaan. Dari keempat kegiatan pemeliharaan yang diusulkan

Tabel 16. *Penghematan Biaya Pemeliharaan Mesin Boiler Feed Pump*

Jenis Mesin	Biaya Pemeliharaan Awal (Rp)	Biaya Pemeliharaan Usulan (Rp)	Penghematan Biaya Pemeliharaan (Rp)	Penghematan Biaya Pemeliharaan (%)
-------------	------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

dan satu kegiatan pemeliharaan yang telah dilakukan oleh pihak perusahaan, akan dipilih perencanaan kegiatan pemeliharaan yang memiliki biaya rata - rata ekspektasi termurah.

Tabel 15. *Biaya Rata - Rata Ekspektasi yang Termurah Mesin Boiler Feed Pump*

Jenis Mesin	Biaya Rata-Rata Ekspektasi Termurah (Rp)	Pemeliharaan yang diusulkan
<i>Boiler Feed Pump</i>	81.960.000	P_3

(Sumber: Pengolahan Data)

Keterangan :

P_3 = Pemeliharaan Korektif pada status kerusakan berat, pemeliharaan pencegahan pada status kerusakan ringan dan sedang.

Berdasarkan tabel 15, diketahui bahwa biaya rata - rata ekspektasi mesin *Boiler Feed Pump* yang termurah adalah sebesar Rp 46.200.000 / 6 bulan. Sedangkan untuk pemeliharaan yang diusulkan berada di P_3 yaitu pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan berat (status 4) serta pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan dan kondisi kerusakan sedang (status 2 dan 3).

➤ **Penghematan Biaya Pemeliharaan Mesin Boiler Feed Pump**

Penghematan biaya usulan perencanaan pemeliharaan mesin *Boiler Feed Pump* yang dipilih adalah :

Boiler Feed Pump	156.960.000	81.960.000	75.000.000	47
-------------------------	-------------	------------	------------	----

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel 16 di atas, perencanaan pemeliharaan mesin *Boiler Feed Pump* dengan menggunakan metode *markov chain* dapat menghemat biaya pemeliharaan sebesar Rp 75.000.000 atau 47% dari biaya pemeliharaan perusahaan yaitu dari Rp 156.960.000 / 6 bulan menjadi Rp 81.960.000 / 6 bulan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa metode *Markov Chain* dapat diterapkan untuk mengurangi biaya pemeliharaan mesin di PT. PJB Service sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Perencanaan penjadwalan pemeliharaan usulan mesin *Boiler Feed Pump* di PT. PJB Service terletak pada pemeliharaan usulan P₃ yaitu pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan berat (status 4) dan pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan (status 2) dan kondisi kerusakan sedang (status3).
2. Biaya penghematan pemeliharaan pada mesin *Boiler Feed Pump* sebesar Rp 26.040.000 atau 36% dari biaya pemeliharaan yang dilakukan perusahaan yaitu Rp 72.240.000 / 6 bulan menjadi Rp 46.200.000 / 6 bulan.

Saran

Berdasarkan pada kesimpulan di atas, maka saran untuk perusahaan adalah sebagai berikut :

1. Agar sistem pemeliharaan mesin pada perusahaan dapat lebih baik, maka sebaiknya perusahaan yang bersangkutan membuat jadwal pemeliharaan mesin secara teratur yang bertujuan untuk mengurangi tingkat kerusakan mesin.
2. Apabila ada mesin yang mengalami kerusakan maka hendaknya segera diperbaiki tanpa harus menunggu sampai rusak berat, karena dapat menimbulkan biaya pemeliharaan yang cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Sofyan, Assuari. 1999. *Manajemen produksi dan operasi*. Edisi Revisi, LPFEUI. Jakarta.
- M. Hartono & Ilyas, M. 2002. *Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode Markov Chain Guna Menurunkan Biaya Perawatan*.
- Pangestu, Subagyo – Marwan, A. dan T. Hani Handoko. 1999. *Dasar-Dasar Operation Research*.
- Tjutju, T. Dimiyati, Ahmad, Dimiyati. 2002. *Operation Research*.
- Sheldon, M. Ross. 1985. *Introduction to Probability Models*.
- Tjuju, T. Dimiyati, Ahmad, Dimiyati. 2003. *Operations Research Model Pengambilan Keputusan*.
- Rr., Ruchmoeljati. 2013. *Perencanaan Perawatan Mesin Menggunakan Metode Markov Chain untuk Meminimumkan Biaya Perawatan*.
- Assauri, S. 1999. *Managemen Produksi*. Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- Hartono, M. dan Ilyas Mas'udin. 2002. *Perencanaan Perawatan Mesin dengan Menggunakan Metode Markov Chain Guna Menurunkan Biaya Perawatan*. Jurnal Optimum, Vol. 3, No. 2, Hal. 173-184.
- Hartanto, Rudi T. 2014. *Perencanaan Pemeliharaan Mesin Pompa Gilingan Saus dengan Metode Markov Chain untuk Minimasi Biaya Pemeliharaan*. Naskah publikasi. UMS.
- Pudji, Endang W., Ilma, Fahma. 2012. *Perencanaan Pemeliharaan Mesin dengan Menggunakan Metode Markov Chain untuk Mengurangi Biaya Pemeliharaan di PT. Philips Indonesia*. Prosiding SNAST, Periode III, ISSN: 1979-911X, Yogyakarta.
- Sudjanah. 2005. *Metode Statistik*. Edisi ke-6. Penerbit Tarsito, Bandung.
- Suardika, Ida Bagus. 2009. *Penerapan Metoda Markov Chain untuk meminimumkan biaya pemeliharaan berdasarkan pada biaya Down Time di perusahaan AYA*

Gresik. Jurnal Transmisi, Volume V, Edisi 1, Unmer Malang.
Kurniawan, Fajar. 2013. *Manajemen Perawatan Industri: Teknik dan Aplikasi Implementasi Total Productive*

Maintenance (TPM), Preventive Maintenance dan Reability Centered Maintenance (RCM). Graha Ilmu, Yogyakarta.