

MACHINE MAINTENANCE PLANNING USING THE MARKOV CHAIN METHOD TO MINIMIZE COST

PERENCANAAN PERAWATAN MESIN DENGAN METODE MARKOV CHAIN UNTUK MEMINIMUMKAN BIAYA

Dedy Nanda Novariawan¹, Atikha Sidhi Cahyana^{*2}

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: atikhasidhi@umsida.ac.id

Abstract, *PT.XYZ is one of the producers of paper for cardboard raw materials for the manufacture of cardboard packaging in Indonesia. The company's problem was that the machine experienced down time resulting in an increase in machine maintenance costs. For pepper machines, the initial maintenance cost was IDR 6,527,400/month, and for rewinder/finishing machines, the initial maintenance costs IDR 10,160,641/month. The purpose of this research is to minimize the cost of maintaining the machine or maintenance, cost planning using the Markov Chain method. By using the markov chain method, both preventive maintenance and corrective maintenance. From the results of the study, it was found that the savings for each machine obtained by the company For Peper Machines the average expectation is Rp.4,257,000, - which lies in the maintenance of proposed P2, namely corrective maintenance on status 3 and 4 and preventive maintenance on status 2. For Rewinder Machines /Finishing the average expectation of IDR 3,290,700, - which lies in the maintenance of proposed P2, namely corrective maintenance on status 3 and 4 and preventive maintenance on status 2.*

Keywords: *Markov Chain, machines maintenance, the cost of maintenance.*

Abstrak, *PT. XYZ merupakan salah satu produsen kertas berbahan baku karton untuk pembuatan kardus kemasan di Indonesia. Masalah perusahaan adalah mesin mengalami down time sehingga mengakibatkan pembengkakan biaya perawatan mesin untuk peper mesin biaya pemeliharaan awal Rp 6.527.400,-/bulan, dan untuk mesin rewinder/finishing biaya pemeliharaan awal Rp 10.160.641,-/bulan. Tujuan dari penelitian ini untuk meminimalkan biaya pemeliharaan mesin atau maintenance, perencanaan biaya menggunakan metode Markov Chain. Dengan menggunakan metode markov chain, baik pemeliharaan preventif maupun pemeliharaan korektif. Dari hasil penelitian diperoleh penghematan tiap mesin yang didapatkan oleh perusahaan untuk Peper Mesin rata-rata ekspektasi sebesar Rp.4.257.000,- yang terletak pada pemeliharaan usulan P₂ yaitu pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2. Untuk Mesin Rewinder/Finishing rata-rata ekspektasi sebesar Rp.3.290.700,- yang terletak pada pemeliharaan usulan P₂ yaitu pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 serta pemeliharaan pencegahan pada status 2.*

Kata kunci : *Markov Chain, perawatan mesin, biaya perawatan*

I.PENDAHULUAN

Dalam suatu perusahaan seringkali kita jumpai, masalah pemeliharaan mesin atau *maintenance* kurang mendapat perhatian khusus sehingga pemeliharaan mesin tidak teratur. Biasanya kegiatan pemeliharaan mesin dilakukan setelah kondisi mesin mengalami kerusakan dan tidak dapat dioperasikan lagi. Jika hal tersebut terus terjadi maka akan sangat merugikan perusahaan karena menimbulkan biaya – biaya yang cukup besar seperti biaya *down time* serta biaya perbaikan [1].

PT. XYZ merupakan salah satu produsen kertas berbahan baku karton untuk pembuatan kardus kemasan di Indonesia. Yang sering terjadi masalah di perusahaan adalah mengakibatkan mesin mengalami *down time* sehingga pembengkakan biaya perawatan peper mesin sebesar 75% dan untuk mesin *rewinder/finishing* sebesar 25%. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan biaya pemeliharaan mesin atau *maintenance*. Perencanaan biaya kerusakan mesin pada perusahaan, mesin produksi menggunakan metode *Markov Chain*. Dengan menggunakan metode *markov chain*, dapat ditentukan kebijakan terbaik yang dapat menurunkan biaya pemeliharaan, baik pemeliharaan preventif maupun pemeliharaan korektif.

A. Perawatan mesin

Perawatan mesin merupakan fungsi yang penting dalam suatu perusahaan, yaitu untuk menjamin kelancaran proses produksinya. Adanya bagian perawatan mesin dalam suatu pabrik merupakan sesuatu yang dibutuhkan [2]. Dengan adanya fasilitas pemeliharaan yang baik, maka akan dapat dicegah timbulnya kerusakan (*breakdown*) sebelum kerusakan itu terjadi. Mesin-mesin dan peralatan yang digunakan secara terus menerus pada suatu saat akan mengalami kerusakan, sehingga terjadi penurunan tingkat kesiapan dan kualitas performansinya. Maka dari itu, kegiatan pemeliharaan sangat diperlukan untuk memperpanjang usia kegunaan mesin dan peralatan tersebut. Kegiatan pemeliharaan ini meliputi tindakan pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Sedangkan pada umumnya perusahaan hanya melakukan tindakan perawatan yang bersifat perbaikan (*corrective maintenance*)[3].

B. Biaya Perawatan

Biaya perawatan adalah biaya hilangnya profit perusahaan yang diakibatkan oleh system yang tidak produktif. Elemen-elemen biaya yang menentukan biaya down time adalah biaya operator mesin, hilangnya sebagian output produksi, atau umumnya dinyatakan dalam profit per satuan waktu yang hilang[4].

C. Markov Chain

Markov chain adalah contoh matematika yang merepresentasikan sebuah sistem antara kerusakan korektif dan periode preventif. Metode ini dipakai buat memprediksi kesediaan dan sistem probabilitas sistem. Proses ini memperkirakan perubahan-perubahan pada saat yang akan datang, menurut perubahan-perubahan pada saat yang lalu. Markov mencapai status keadaan permanen ditandai menggunakan pemanfaatan pada jangka panjang yang nir bergantung dalam status awal menurut sistemnya [5].

Rantai Markov ini sebenarnya suatu kasus khusus dari proses Markov yang digunakan untuk mempelajari perilaku suatu sistem *stochastic* tertentu [6]. Proses Markov adalah suatu sistem *stochastic* yang mempunyai karakter bahwa terjadinya suatu *state* pada suatu saat bergantung pada dan hanya pada *state* sebelumnya [7]. Maka apabila $t_0 < t_1 < \dots < t_n$, untuk $n = 0, 1, \dots$ menyatakan titik-titik waktu, kumpulan variabel random $\{ x(t_n) \}$ adalah suatu proses Markov jika memenuhi sifat berikut ini :

$$\begin{aligned} P \{ x(t_n) = x_n \mid x(t_{n-1}) = x_{n-1}, \dots, x(t_0) = x_0 \} = \\ P \{ x(t_n) = x_n \mid x(t_{n-1}) = x_{n-1} \} \end{aligned} \quad (1) [1]$$

untuk seluruh harga $x(t_0), x(t_1), \dots, x(t_n)$ [2]

Probabilitas $P_{ij} = P\{x(t_n) = j \mid X(t_{n-1}) = i\}$ disebut sebagai probabilitas transisi dari *state* i pada t_{n-1} ke *state* j pada saat t_n , dan asumsikan bahwa probabilitas ini tetap sepanjang waktu. Maka probabilitas transisi dari *state* s_i ke *state* s_j ini akan lebih mudah jika disusun dalam suatu bentuk matrik sebagai berikut :

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} & \dots \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \end{bmatrix} \quad (\text{Sumber : [3]})$$

Matriks ini disebut sebagai transisi homogen atau matriks *Stochastic* karena seluruh probabilitas transisi P_{ij} berharga tetap dan independen terhadap waktu. Probabilitas P_{ij} ini harus memenuhi kondisi berikut :

$$\sum_j P_{ij} = 1, \text{ untuk semua } i \quad (2) [8]$$

$$P_{ij} \geq 0, \text{ untuk seluruh } i \text{ dan } j. \quad (3) [9]$$

D. Steady State

Kondisi suatu sistem (proses) yaitu kondisi *steady state* dimana *variable* tidak tergantung waktu atau nilai variabel tidak berubah selama parameter tersebut tidak dirubah, dan kondisi transien (dinamis) *variable* yang berubah waktu[10].

Kegunaan Probabilitas dan Keputusan Markov

Dalam proses operasinya suatu item akan mengalami beberapa kemungkinan transisi status yang berubah dari satu status ke status yang lain. Bila dikatakan bahwa dalam selang yang cukup pendek terdapat 4 kemungkinan status, maka untuk mengubah kondisi status yang dialami dilakukan beberapa tindakan yang sesuai dengan kondisi

status [10]. Keputusan-keputusan yang diambil dalam menentukan perawatan dapat di lihat pada tabel 1.

Tabel 1. Keputusan Pemeliharaan

<i>Policy</i>	Keterangan	d₁(p)	d₂(P)	d₃(P)	d₄(P)
P ₀	Pemeliharaan korektif pada status 4	1	1	1	3
P ₁	Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3	1	1	2	3
P ₂	Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4, serta pemeliharaan pencegahan pada status 2	1	2	3	3
P ₃	Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3	1	2	2	3
P ₄	Pemeliharaan korektif pada status 3 dan status 4	1	1	3	3

Misalnya, jika perbaikan item baru dilakukan setelah item tersebut mengalami kerusakan berat, dengan kata lain untuk status 1, 2 dan 3 tetap dibiarkan saja. Tetapi seandainya kebijaksanaan itu dirubah dimana pemeliharaan dilakukan apabila item berada pada status 2, 3 dan 4 sehingga menjadi status 1 juga bisa dilakukan [11]. Status dan kondisi kerusakan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Status dan Kondisi Kerusakan

Status	Kondisi
1	Baik
2	Kerusakan ringan
3	Kerusakan sedang
4	Kerusakan berat

Tabel 2 Untuk menghitung nilai probabilitas transisi dari suatu proses markov dalam masalah ini, maka sistem mesin akan dikelompokkan sesuai dengan kondisi kerusakannya. Kondisi disini adalah tingkat kesiapan mesin saat dilakukan pemeliharaan periodik terhadap mesin tersebut.

Tabel 3. Probabilitas Transisi Item i

Bulan	Status									
	P₁₁	P₁₂	P₁₃	P₁₄	P₂₂	P₂₃	P₂₄	P₃₃	P₃₄	P₄₁
1										
2										
3										
.										
.										
N										
Jumlah										

Keterangan : P = Probabilitas Transisi

Pada tabel 3 untuk menentukan probabilitas status, terdapat pada tabel 2, yang akan dihitung terlebih dahulu besarnya probabilitas transisinya dari jumlah masing-masing keadaan mesin melalui transisi diagram.

Matrik transisi satu langkah item-i yang merupakan pemeliharaan yang dilakukan oleh Perusahaan. Dapat terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Matrik Probabilitas Transisi Awal

	J	1	2	3	4
I					

1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}
2	0	P_{22}	P_{23}	P_{24}
3	0	0	P_{33}	P_{34}
4	P_{41}	0	0	0

Perencanaan Pemeliharaan yang Diusulkan

Untuk mendapatkan pemeliharaan yang lebih baik sehingga bisa mengurangi biaya pemeliharaan, maka diusulkan 4 (empat) perencanaan pemeliharaan mesin yang didapat 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 [12].

Berikut adalah pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3, apabila di masukkan ke dalam tabel matrik probabilitas maka akan didapatkan matrik transisi satu langka, dapat di lihat pada tabel 5.

Tabel 5. Matrik Probabilitas Usulan 1

	J	1	2	3	4
I					
$P_1 =$	1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}
	2	0	P_{22}	P_{23}	P_{24}
	3	0	0	P_{33}	P_{34}
	4	P_{41}	0	0	0

Dengan probabilitas jangka panjang dan dalam keadaan *steady state*. Maka probabilitas transisi dari status i ke status j ini akan lebih mudah jika disusun dalam suatu bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \pi_1 & \pi_2 & \pi_3 & \pi_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ 0 & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pi_1 & \pi_2 & \pi_3 & \pi_4 \end{bmatrix} \quad [4]$$

$$\text{Maka : } \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1 \quad [5]$$

Berikut adalah pemeliharaan korektif status pada 3 dan 4 serta pemeliharaan pencegahan status pada 2, apabila di masukkan ke dalam tabel matrik probabilitas maka akan didapatkan matrik transisi satu langka, dapat di lihat pada tabel 6.

Tabel 6. Matrik Probabilitas Usulan 2

	J	1	2	3	4
I					
$P_2 =$	1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}
	2	1	0	0	0
	3	1	0	0	0
	4	1	0	0	0

Dengan probabilitas jangka panjang dan dalam keadaan *steady state*. Dengan probabilitas transisi dari status i ke status j ini akan lebih mudah jika disusun dalam suatu bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \pi_1 & \pi_2 & \pi_3 & \pi_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pi_1 & \pi_2 & \pi_3 & \pi_4 \end{bmatrix}$$

$$\text{maka : } \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$$

Berikut adalah pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2, apabila di masukkan ke dalam tabel matrik probabilitas maka akan didapatkan matrik transisi satu langka, dapat di lihat pada tabel 7.

Tabel 7. Matrik Probabilitas Usulan 3

	J	1	2	3	4
I					
P ₃ =		P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄
	1	1	0	0	0
	2	0	1	0	0
	3	0	0	1	0
	4	1	0	0	0

Dengan probabilitas jangka panjang dan dalam keadaan mapan (*steady state*). Maka probabilitas transisi dari status i ke status j ini akan lebih mudah jika disusun dalam suatu bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \pi_1 & \pi_2 & \pi_3 & \pi_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pi_1 & \pi_2 & \pi_3 & \pi_4 \end{bmatrix}$$

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

Berikut adalah data pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3, apabila di masukkan ke dalam tabel matrik probabilitas maka akan didapatkan matrik transisi satu langka, dapat di lihat pada tabel 8.

Tabel 8. Matrik Probabilitas Usulan 4

	J	1	2	3	4
I					
P ₄ =		P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄
	1	0	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄
	2	1	0	0	0
	3	1	0	0	0
	4	1	0	0	0

Dengan probabilitas jangka panjang dan dalam keadaan mapan (*steady state*). Maka probabilitas transisi dari status i ke status j ini akan lebih mudah jika disusun dalam suatu bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \pi_1 & \pi_2 & \pi_3 & \pi_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ 1 & P_{22} & P_{22} & P_{24} \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pi_1 & \pi_2 & \pi_3 & \pi_4 \end{bmatrix}$$

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

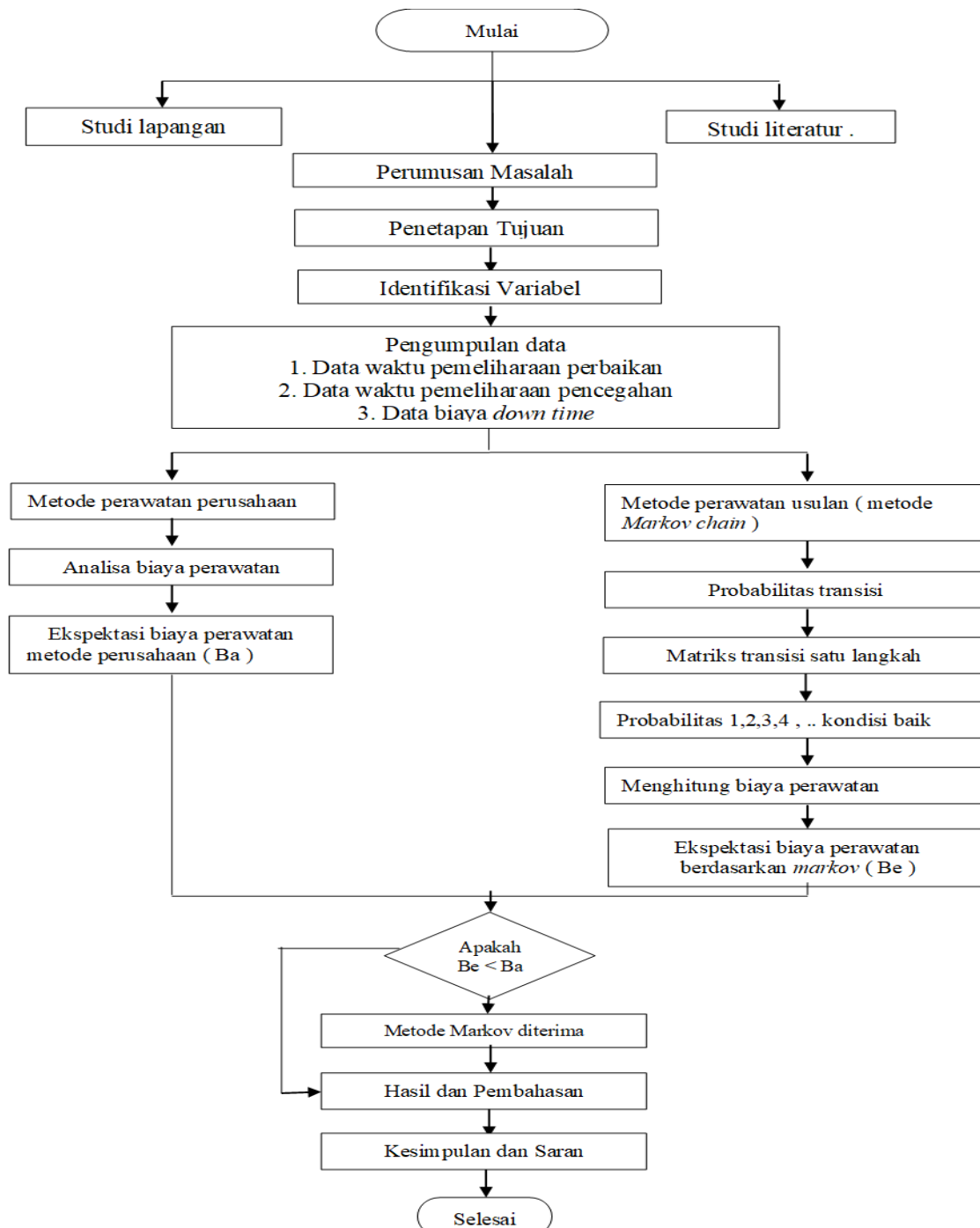
II.METODE

Penelitian ini dilakukan PT. XYZ di Dusun Sebani, Tanjung Rono, Kecamatan Ngoro, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Adapun pelaksanaan penelitian dilakukan selama 6 bulan.

Studi lapangan pengumpulan data dilakukan dengan cara penelitian secara langsung dan melakukan pengambilan data dari obyek yang diamati pada perusahaan. Adapun teknik – teknik pengumpulan data dilakukan sebagai berikut : (a). Observasi, mencatat dan mengamati kejadian - kejadian pada obyek di lapangan secara langsung, sehingga bisa mendapatkan data kondisi mesin . (b)Wawancara, melakukan tanya jawab secara langsung dengan pemimpin perusahaan, staf, dan karyawan, untuk mendapatkan data riil perusahaan. (c). Pengumpulan data melalui dokumen –

dokumen serta catatan – catatan perusahaan yaitu untuk merencanakan perawatan mesin secara teratur, dan menentukan biaya perawatan yang minimum.

Diagram alir penelitian terlihat pada gambar 1



Gambar 1. Diagram alir Penelitian.

Setelah dilakukan pengumpulan data (data jenis mesin, jumlah mesin, transisi status mesin, status mesin, waktu pemeliharaan pencegahan, dan biaya *down time*), kemudian dilakukan pengolahan dan analisis data [13]. Adapun langkah-langkah pengolahan dan analisa data dari pada suatu *Markov Chain* tersebut adalah sebagai berikut: (a). Menghitung probabilitas transisi yang dihitung dari proporsi jumlah mesin yang mengalami transisi status. (b). Membentuk matriks transisi awal kegiatan pemeliharaan dan usulan. (c). Menghitung probabilitas kondisi mesin

dalam keadaan steady state. (d). Menghitung biaya penyelenggaraan pemeliharaan preventive (C_{1i} = waktu rata-rata pemeliharaan pencegahan (W_{1i}) x Biaya *down time*). (e). Menghitung biaya penyelenggaraan pemeliharaan *korektive* (C_{2i} C_{2i} = waktu rata-rata kerusakan (W_{2i}) x Biaya *down time*). (f). Menghitung biaya rata-rata ekspektasi pemeliharaan. (g). Menghitung penghematan biaya pemeliharaan [14].

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Jenis Mesin dan Jumlah Mesin Yang Mengalami Kerusakan

Adapun jenis mesin pada bagian produksi yang akan sering kali mengalami kerusakan dapat dilihat dari tabel 9.

Tabel 9. Jenis Mesin dan Jumlah Mesin Yang Mengalami Kerusakan

No	Mesin	Jumlah
1	Peper Mesin	3
2	Mesin Rewinder/ finishing	5

Sumber : Data PT. XYZ

B. Data Mesin yang Mengalami Transisi Status

(1). Transisi status yang terjadi pada mesin potong, mesin tekuk, dan mesin plong mengalami perubahan status kondisi selama periode November 2019 sampai Mei 2020. Transisi status tersebut adalah : (a). Kondisi baik ke kondisi baik. (b). Kondisi baik ke kerusakan ringan. (c). Kondisi baik ke kerusakan sedang. (d). Kondisi baik ke kerusakan berat. (e). Kondisi kerusakan ringan ke kerusakan ringan. (f). Kondisi kerusakan ringan ke kerusakan sedang. (g). Kondisi kerusakan ringan ke kerusakan berat. (h). Kondisi kerusakan sedang ke kerusakan sedang. (i). Kondisi kerusakan sedang ke kerusakan berat. (j). Kondisi kerusakan berat ke kondisi baik.

(2). Data transisi status untuk setiap mesin.

Perubahan kondisi tiap jenis mesin terlihat pada tabel 10.

Tabel 10. Transisi Status Peper Mesin

Bulan/ Tahun	Status									
	B/B	B/Kr	B/Ks	B/Kb	Kr/Kr	Kr/Ks	Kr/Kb	Ks/Ks	Ks/Kb	Kb/B
Nov'19	2	0	0	1	*	*	*	0	1	*
Des'19	3	0	0	0	*	*	*	*	*	1
Jan'20	3	0	0	0	0	1	0	*	*	*
Feb'20	2	1	0	0	*	*	*	1	0	*
Mar'20	2	0	0	0	1	0	0	*	*	1
Apr'20	2	1	0	0	0	0	1	*	*	*
Mei'20	3	0	0	0	*	*	*	*	*	1
Juni'20	3	0	0	0	*	*	*	1	0	*
Juli'20	2	1	0	0	1	0	0	*	*	*
Ags'20	3	0	1	0	*	*	*	*	*	*
Sep'20	2	0	0	1	*	*	*	1	0	*
Okt'20	3	0	0	0	0	1	0	*	*	*

Sumber : data PT. XYZ

Berikut adalah perubahan kondisi tiap jenis mesin untuk transisi status mesin *Rewinder/Finishing* terlihat pada tabel 11.

Tabel 11. Transisi Status Mesin *Rewinder/Finishing*

Bulan/ Tahun	Status									
	B/B	B/Kr	B/Ks	B/Kb	Kr/Kr	Kr/Ks	Kr/Kb	Ks/Ks	Ks/Kb	Kb/B
Nov'19	2	0	0	1	*	*	*	*	*	*
Des'19	2	0	0	0	*	*	*	1	0	*
Jan'20	1	0	1	0	*	*	*	0	1	*
Feb'20	1	0	0	0	0	1	0	*	*	1
Mar'20	1	0	0	0	1	0	0	1	0	*
Apr'20	2	0	0	0	0	1	0	*	*	*
Mei'20	0	1	0	0	0	0	1	1	0	*
Juni'20	2	0	0	0	0	1	0	*	*	*
Juli'20	1	0	0	0	0	1	0	1	0	*
Ags'20	1	0	0	0	0	0	1	0	1	*
Sep'20	2	0	0	0	1	0	0	*	*	*
Okt'20	2	0	0	0	0	1	0	*	*	*

Sumber : Data PT. XYZ

Keterangan :

- B/B = Kondisi baik ke kondisi baik
- B/Kr = Kondisi baik ke kondisi kerusakan ringan
- B/Ks = Kondisi baik ke kondisi kerusakan sedang
- B/Kb = Kondisi baik ke kondisi kerusakan berat
- Kr/Kr = Kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan ringan
- Kr/Ks = Kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan sedang
- Kr/Kb = Kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan berat
- Ks/Ks = Kondisi kerusakan sedang ke kondisi kerusakan sedang
- Ks/Kb = Kondisi kerusakan sedang ke kondisi kerusakan berat
- Kb/B = Kondisi kerusakan berat ke kondisi baik

(3). Data Waktu Pemeliharaan Pencegahan

Data waktu pemeliharaan pencegahan pada masing –masing mesin tiap bulan oleh perusahaan terlihat pada tabel 12.

Tabel 12. Waktu Pemeliharaan Pencegahan Tiap Mesin

No.	Mesin	Jumlah	Waktu (menit/bulan)	Total Waktu (menit/bulan)	Total Waktu (jam/bulan)	Total Waktu (jam/tahun)
1.	Peper Mesin	3	20	60	1	12
2.	Mesin Rewinder/ finishing	5	15	75	1,25	15

Sumber : Data PT. XYZ

(4). Pengisian dan Analisis Biaya Perawatan Pada Kondisi Riil Perusahaan

Dari pengumpulan dan pengolahan data maka didapat waktu pemeliharaan preventif dan korektif terlihat pada tabel 13 Data Waktu Pemeliharaan dan Biaya *Down Time*.

Tabel 13. Biaya Perawatan Pada Kondisi Riil

Jenis Perawatan	Biaya Perawatan Mesin	
	Peper Mesin	Mesin Rewinder/Finishing
<i>Preventive</i>	25.800.000	26.250.000
<i>Corective</i>	45.150.000	24.150.000
Total Biaya Perawatan	70.950.000	50.400.000

Sumber : Data PT. XYZ

(5). Perhitungan Biaya Ekspektasi Termurah

Biaya-biaya pemeliharaan untuk masing-masing item 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 masing-masing pemeliharaan. Dari keempat pemeliharaan mesin yang diusulkan dan 1 (satu) pemeliharaan mesin yang telah dilakukan oleh perusahaan akan dipilih perencanaan pemeliharaan mesin yang mempunyai biaya rata-rata ekspektasi termurah [15]. Biaya rata-rata ekspektasi yang paling murah yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah terlihat pada tabel 14.

Tabel 14. Ekspektasi Biaya Perawatan Masing-masing Mesin

No	Mesin	Ekspektasi Biaya Perawatan (Rp)				
		P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
1	Peper Mesin	6.527.400	6.869.251	4.257.000	4.269.900	5.237.400
3	Rewinder/Finishing	10.160.641	12.894.000	3.290.700	4.127.551	2.825.550

$$P_0 = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 \times \text{Total biaya perawatan} \quad [6]$$

$$P_1 = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 \times (\text{Biaya preventive}) + \pi_4 \times (\text{Biaya corective}) \quad [7]$$

$$P_2 = \pi_1 + \pi_2 \times (\text{Biaya preventive}) + \pi_3 (\text{Biaya corective}) + \pi_4 \times (\text{Biaya corective}) \quad [8]$$

$$P_3 = \pi_1 + \pi_2 \times (\text{Biaya preventive}) + \pi_3 (\text{Biaya preventive}) + \pi_4 \times (\text{Biaya corective}) \quad [9]$$

$$P_4 = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 \times (\text{Biaya corective}) + \pi_4 \times (\text{Biaya corective}) \quad [10]$$

Keterangan :

P₀ = Pemeliharaan mesin yang dilakukan oleh perusahaan.

P₁ = Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan berat dan pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan sedang.

P₂ = Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan sedang dan berat serta pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan.

P₃ = Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan berat dan pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan dan sedang.

P₄ = Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan sedang dan berat.

(6). Penghematan Biaya Perawatan Mesin

Penghematan dari biaya usulan perencanaan pemeliharaan mesin yang dipilih tiap-tiap item adalah :

$$P_0(\text{Biaya perawatan pada kondisi steady state}) - P_2(\text{Biaya rata-rata ekspektasi}) = \text{Biaya ekspektasi terendah} \quad [11]$$

a). Peper Mesin

$$(\text{Rp } 6.527.400,-) - (\text{Rp } 4.257.000,-) = \text{Rp } 2.270.400,-$$

$$(\text{Rp } 2.270.400,- \div \text{Rp } 6.527.400,-) \times 100\% = 34\%$$

Biaya pemeliharaan awal Rp 6.527.400,-

Biaya pemeliharaan usulan termurah Rp 2.270.400,-

Dari perhitungan biaya pemeliharaan awal – biaya pemeliharaan usulan termurah diperoleh biaya sebesar Rp 2.270.400,- = 34%, artinya terdapat penghematan sebesar Rp 2.270.400,- atau 34%.

b). Mesin Rewinder/Finishing

$$(\text{Rp } 10.160.641,-) - (\text{Rp } 3.290.700,-) = \text{Rp } 6.869.941,-$$

$$(\text{Rp } 6.869.941,- \div \text{Rp } 10.160.641,-) \times 100\% = 67\%$$

Biaya pemeliharaan awal Rp 10.160.641,-

Biaya pemeliharaan usulan termurah Rp 6.869.941,-

Dari perhitungan biaya pemeliharaan awal – biaya pemeliharaan usulan termurah diperoleh biaya sebesar Rp 6.869.941,- = 67%, artinya terdapat penghematan sebesar Rp 6.869.941,- atau 67%.

C. Pembahasan

Biaya awal pemeliharaan pada Peper mesin selama per 6 bulan sebesar Rp 6.527.400,- dan untuk biaya ekspektasi penghematan perawatan termurah di peroleh biaya sebesar Rp 2.270.400,- sehingga di peroleh 34%, sedangkan Biaya awal pemeliharaan pada Mesin Rewinder/Finishing selama per 6 bulan sebesar Rp 10.160.641,- dan untuk biaya

ekspetasi penghematan perawatan termurah di peroleh biaya sebesar Rp 6.869.941,- sehingga di peroleh 67%.

IV.SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut : (a). Perencanaan perawatan mesin yang dapat meminimumkan biaya perawatan di PT. XYZ adalah dengan melakukan pemeliharaan perbaikan saat mesin mengalami kerusakan sedang dan kerusakan berat, serta melakukan pemeliharaan pencegahan saat mesin mengalami kerusakan ringan. (b). Biaya Ekspektasi dan penghematan tiap mesin yang didapatkan oleh perusahaan adalah Peper Mesin, biaya ekspektasi usulan termurah pertahun adalah Rp 2.270.400,- atau 34%. Mesin *Rewinder/Finishing*, biaya ekspektasi usulan termurah pertahun adalah Rp 6.869.941,- 67%.

Penelitian ini dilakukan hanya mempertimbangkan hanya 2 mesin saja, sehingga dengan menggunakan metode yang sama dapat ditambah dengan mesin-mesin yang lain sehingga minimalisasi biaya bisa diketahui secara menyeluruh pada setiap prosesnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada UMSIDA dan PT. XYZ yang telah mengijinkan untuk dilakukannya penelitian di perusahaan.

REFERENSI

- [1] Adi Candra. JITMI p – ISSN : 2620 – 5793, e – ISSN : 2685 – 6123 Vol.3 No.1, Maret (2020). Perencanaan Analisa Pemeliharaan Mesin Menggunakan Pendekatan *Markov Chain* di PT. CARDSINDO TIGA PERKASA.
- [2] Desmira, Didik Aribowo, Rozeff Pramana. Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan ISSN 2615-6334 (Online) ISSN 2087-5347 (Print) Vol. 09, No. 02, hal. 67-74, Oktober (2020). Sistem Pengukuran Volume Cairan Pada Tangki Pembuburan Kertas (Study Kasus di PT Indah Kiat Pulp and Paper).
- [3] Dimas Surya Maulana. Jurna Valtech Vol.2 No. 2 (2019). Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Menggunakan *Metode Markov Chain* di PT. KARYAMITRA BUDISENTOSA PANDAAN.
- [4] Fatimah N Masuku., Yohanes A. R. Langi & Charles Mongi. *Jurnal Ilmiah Sains* Vol. 18 No. 2, Oktober (2018). *Analisis Rantai Markov Untuk Memprediksi Perpindahan Konsumen Maskapai Penerbangan Rute Manado - Jakarta*.
- [5] Heinrich Rakuasa, Melianus Salakory, Philia Christi Latue. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan Vol 9 No 2: 285-295, 2022 e-ISSN:2549-9793, doi: 10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.9. Analisis dan Prediksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Model *Celular Automata-Markov Chain* di Das Wae Ruhu Kota Ambon.
- [6] Hery Hamdi Azwir, Arri Ismail Wicaksono, Hirawati Oemar. Jurnal Optimasi Sistem Industri ISSN (Print) 2088-4842, ISSN (Online) 2442-8795 - Vol. 19 No. 1 (2020) 12-21. Manajemen Perawatan Menggunakan Metode RCM Pada Mesin Produksi Kertas.
- [7] Indra Irdianto, Suhartini. *Journal Of Industrial and Systems Optimization*. ISSN 2622-8971 online Volume 2, Nomor 1, Bulan (2019), 11-17 ISSN 2522-898X print. Penggunaan Metode *Markov Chain* Dalam Penjadwalan Perawatan Mesin Untuk Meminimalkan Biaya Kerusakan Mesin dan Perawatan Mesin Mill 303 di PT. STEEL PIPE INDUSTRY OF INDONESIA UNIT 3.
- [8] Ivan Boy Oswaldo Ria , Ellysa Nursanti , Heksa Galuh. Jurnal Valtech (Jurnal Mahasiswa Teknik Industri) E-ISSN : 2614-8382, Vol. 4 No. 2 (2021). Perencanaan Pemeliharaan Mesin Boiler Feed Pump Untuk Menurunkan Biaya Pemeliharaan Menggunakan Metode *Markov chain* (Studi Kasus: PT.PJB SERVICE BOLOK, KUPANG, NTT).
- [9] Joko Sungkono, Kriswianti Nugrahaningsih. ABSIS: *Mathematics Education Journal* ISSN 2686-0104 (print), 2686-0090 (online) Vol. 2., No. 1. Mei (2020), pp. 1-10. Pembelajaran Teori Probabilitas Menggunakan R.
- [10] Martiyadi Nurhidayat, Hardy Adiluhung. SISTEMIK (Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik) P-ISSN: 2337-3636 || E-ISSN: 2527-6425, Vol. 09 No. 02, Desember (2021). Eksplorasi Kertas Karton Dalam Produk Kemasan Tahan Air.
- [11] Mokhammad Sugeng Purwo Hadi. MAJAPAHIT TECHNO, Agustus (2018), Hal 1-10. Analisa Kerusakan *Knife Gate Valve Pneumatik* di Area *Stock Preparation* PT. MEKABOX INTERNATIONAL.
- [12] Mige Rosyidin Akbar, Wiwin Widiasih. Jurnal SENOPATI. Halaman: 32-45, 30 September (2022). Analisis Perawatan Mesin Bubut Dengan Metode Preventive Maintenance Guna Menghindari Kerusakan Secara Mendadak dan Untuk Menghitung Biaya Perawatan.
- [13] Nurtriana Hidayati, Prind Triajeng Pungkasanti, Nur Wakhidah. Jurnal Sains dan Informatika p-ISSN: 2460-173X Volume 7, Nomor 1, Juni 2021. Prediksi Bencana Alam di Kota Semarang Menggunakan Algoritma

Markov Chains.

- [14] Sanusi, Tommy Saputra, Hendri Hidayat. Jurnal Teknik Ibnu Sina JT-IBSI E-ISSN: 2541-2647 Vol. 5 No. 2 DOI: 10.3652/jt-ibsi.v5i02.253, Oktober (2020). Perencanaan Perawatan Mesin Menggunakan Metode *Markov Chain* untuk Meminimumkan Biaya Perawatan di PT Mencast Offshore and Marine Batam
- [15] Setya Adi Pratama, Boy Isma Putra. Seminar Nasional Inovasi Teknologi e-ISSN: 2549-7952, p-ISSN: 2580-3336, UN PGRI Kediri, 23 Juli (2022). *Analysis Of Machine Maintenance Using Markov Chain Method For Reducing Maintenance Cost.*
- [16] Tedjo Sukmono, Mukhammad Surya Lesmana. Jurnal Teknik Industri Vol. 9, No. 1, (2023). Implementasi *Markov Chain* Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan Mesin Spiral Menggunakan Enumerasi Sempurna.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

