

# Analisis Perencanaan Perawatan Mesin Producer Extrude Dengan Pendekatan Metode *Markov Chain* Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan

## (Studi Kasus: PT. Jembo Cable Company TBK)

**Anthon Rudy W**

<sup>1,2)</sup> Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang

Jl. Witana harja No.18B, Pamulang barat, Kec. Pamulang, Kota Tangerang selatan, Banten 15147

Email: [dosen00919@unpam.ac.id](mailto:dosen00919@unpam.ac.id)

### ABSTRAK

*Jembo Cable Company* Tbk sebagai salah satu produsen berbagai macam kabel yang mengutamakan kepuasan pelanggan, Efektifitas dan produktivitas mesin-mesin sebagai poros utama produksi suatu perusahaan haruslah ditunjang dengan sistem perawatan yang baik. Kerusakan yang terjadi pada salah satu jenis mesin akan mengakibatkan terputusnya rantai proses produksi, karena antara satu mesin dengan mesin lainnya saling berhubungan satu sama lain. Hal ini dapat berdampak pada terjadinya kerugian bagi perusahaan dan kemungkinan membahayakan pekerja. masih kesulitan dalam memperhatikan pentingnya perawatan mesin produksinya. Kerusakan mesin dapat terjadi karena berbagai faktor diantaranya yaitu adanya human error dan kurang baiknya manajemen perawatan mesin. Perawatan mesin merupakan kegiatan pendukung yang menjamin kelangsungan mesin dan peralatan sehingga pada saat dibutuhkan akan dapat dipakai sesuai dengan yang diharapkan. Kegiatan perawatan merupakan seluruh rangkaian aktivitas yang dilakukan untuk mempertahankan unit-unit pada kondisi operasional dan aman, dan apabila terjadi kerusakan maka dapat dikendalikan pada kondisi operasional yang handal dan aman. Dan jika ada kerusakan, PT. *Jembo Cable Company* Tbk harus menghentikan proses produksi sebentar lalu memperbaiki mesin yang rusak terlebih dahulu. Dengan permasalahan tersebut, perencanaan pemeliharaan mesin produksi akan dilakukan dengan menggunakan metode *Markov Chain* dengan harapan dapat meminimalisir biaya perawatan. Belum optimalnya proses perawatan membuat tingginya nilai kerugian perusahaan. Dari permasalahan tersebut maka dibuat usulan untuk melakukan penelitian guna menganalisa apakah pelaksanaan perawatan mesin tersebut sudah maksimal. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa penghematan biaya perawatan yang diperoleh perusahaan adalah Mesin Producer memperoleh penghematan sebesar Rp 14.530.862,- atau 35,5% dari biaya perawatan perusahaan.

**Kata kunci:** Perawatan Mesin; Pemeliharaan Preventif; *Markov Chain*; Efektivitas Mesin; Biaya Perawatan; Produktivitas Produksi

### ABSTRACT

*Jembo Cable Company* Tbk, a manufacturer of various types of cables, prioritizes customer satisfaction. The effectiveness and productivity of its machines, the mainstay of a company's production, must be supported by a proper maintenance system. Damage to any single machine will disrupt the production chain, as each machine is interconnected. This can result in losses for the company and potentially endanger workers. However, many companies still struggle to prioritize the importance of maintaining their production machines. Machine failures can occur due to various factors, including human error and poor maintenance management. Machine maintenance is a supporting activity that ensures the continuity of machines and equipment so that they can be used as expected when needed. Maintenance encompasses the entire series of activities carried out to maintain units in operational and safe condition. If damage occurs, PT. *Jembo Cable Company* Tbk must temporarily halt production and repair the damaged machine. Given these challenges, PT. *Jembo Cable Company* Tbk will implement maintenance planning for production machines using the *Markov Chain* method in the hope of minimizing maintenance costs. Suboptimal maintenance processes result in high company losses. Based on these issues, a proposal was made to conduct research to analyze whether the machine's maintenance implementation was optimal. The results showed that the company achieved maintenance cost savings of Rp 14,530,862, or 35.5% of the company's maintenance costs.

**Keywords:** Machine Maintenance; Preventive Maintenance; *Markov Chain*; Machine Effectiveness; Maintenance Cost; Production Productivity

## Pendahuluan

Efektifitas dan produktivitas mesin [1], [2] merupakan faktor utama dalam menjaga kelancaran proses produksi pada industry manufaktur. Pada industry kabel yang bersifat *continuous process* [3] keandalan mesin produksi menjadi sangat krusial karena gangguan pada satu mesin dapat menyebabkan terhentinya seluruh rangkaian proses produksi [4], [5]. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya *downtime*, penurunan output, serta kerugian biaya dan potensi risiko keselamatan kerja [6],[7].

PT. Jembo Cable Company Tbk sebagai salah satu produsen kabel nasional masih menghadapi pemasalahan dalam pengelolaan perawatan mesin produksinya. Pelaksanaan perawatan yang belum optimal menyebabkan terjadinya kerusakan mesin secara berulang, sehingga Perusahaan harus menghentikan proses produksi untuk melakukan perbaikan. Akibatnya, biaya perawatan meningkat dan kinerja produksi menjadi tidak stabil, khususnya pada mesin producer extruder yang berperan penting dalam proses produksi kabel.

Pemasalahan tersebut berkontribusi terhadap berbagai kerugian operasional yang dikenal sebagai *six big losses*, seperti; *breakdown losses*, *set up and adjustment losses*, serta penurunan kecepatan operasi dan munculnya produk cacat. Kerugian – kerugian ini menunjukkan bahwa strategi perawatan yang diterapkan belum mampu mengendalikan kondisi mesin secara efektif dari sisi keandalan maupun biaya [4],[5].

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat *research gap* berupa belum diterapkannya perencanaan perawatan mesin yang mempertimbangkan perubahan kondisi mesin secara probabilistik dan dampaknya terhadap biaya perawatan. Pendekatan perawatan yang digunakan sebelumnya cenderung bersifat reaktif dan belum memberikan dasar pengambilan keputusan yang optimal dalam menentukan kebijakan perawatan yang paling ekonomis.

Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode Markov Chain [8], [9] untuk memodelkan transisi kondisi mesin producer extruder dan mengevaluasi biaya perawatan pada setiap kondisi. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan strategi perawatan yang lebih sistematis dan ekonomis, sehingga dapat meminimalkan biaya perawatan [10] dan meningkatkan keandalan mesin produksi di PT. Jembo Cable Company Tbk.

## Metode Penelitian

Rantai markov (*markov chain*) adalah suatu metode yang mempelajari sifat-sifat suatu variabel pada masa sekarang yang didasarkan pada sifat-sifatnya di masa lalu dalam usaha menaksir sifat-sifat variabel tersebut di masa yang akan datang [11],[12], [13]. Teknik ini dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan-perubahan di waktu yang akan datang dalam variable-varia bel dinamis atas dasar perubahan-perubahan varia bel-varia bel dinamis tersebut di masa lalu. Proses Markov adalah suatu sistem stochastic yang mempunyai karakter bahwa terjadinya suatu state pada suatu saat bergantung pada dan hanya pada state sebelumnya. Secara umum proses Markov Chain adalah suatu proses saat ini, maka masa depan proses tidak tergantung pada proses masa lalunya tetapi hanya tergantung pada proses saat ini. Dalam penelitian ini, kondisi mesin [14], [15] *producer extrude* diklasifikasikan ke dalam empat *state* berdasarkan tingkat keparahan kerusakan dan kebutuhan tindakan perawatan, yaitu:

- **State 1 ( $\pi_1$  – Kondisi Normal)**  
Mesin beroperasi secara normal tanpa gangguan dan tidak memerlukan tindakan perbaikan.
- **State 2 ( $\pi_2$  – Kerusakan Ringan)**  
Mesin mengalami gangguan ringan yang tidak menghentikan operasi secara total dan dapat ditangani dengan perawatan minor.
- **State 3 ( $\pi_3$  – Kerusakan Sedang)**  
Mesin mengalami kerusakan yang menyebabkan penurunan kinerja dan memerlukan penghentian sementara untuk perbaikan.
- **State 4 ( $\pi_4$  – Kerusakan Berat)**  
Mesin mengalami kerusakan serius yang menyebabkan penghentian operasi dan membutuhkan perbaikan besar dengan biaya tinggi.

Klasifikasi state ini disesuaikan dengan kondisi aktual mesin dan kebijakan perawatan yang diterapkan oleh perusahaan [9]. Suatu proses stokastik dikatakan sebagai proses *Markov Chain* bila perkembangannya dapat disebut sebagai deretan peralihan-peralihan diantara nilai-nilai tertentu yang disebut sebagai status probabilitas [16] yang mempunyai sifat bahwa bila diketahui proses berada pada status tertentu, maka kemungkinan berkembangnya proses dimasa yang akan datang hanya bergantung pada status saat ini dan tidak tergantung dari cara bagaimana proses itu mencapai status tersebut. Suatu proses stokastik dikatakan memiliki sifat markovian jika memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P\{X_{t-1} = j | X_t = i\} &= \\ P\{X_{t-1} = j | X_t = i, X_{t-1} = i_1, X_{t-2} = \dots, X_0 = i_1\} \\ P\{X_{t-1} = j | X_t = i\}, \text{ dimana } t = 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$

Secara umum suatu proses Markov Chain adalah proses stokastik dimana setiap variabel random  $X_t$  hanya tergantung pada variable yang mendahulunya yaitu  $X_{t-1}$ , dan hanya mempengaruhi variable random berikutnya yaitu  $X_t$ , sehingga istilah Chain disini adalah menyatakan adanya kaitan (mata rantai) antara variabel-variabel random yang saling berdekatan [16],[17], [18]

Probabilitas bersyarat  $P\{X_{t-1}=j | X_t=i\}$  disebut sebagai probabilitas transisi. Jika untuk masing-masing  $i$  dan  $j$   $P\{X_{t-1}=j | X_t=i\} = P\{X_t=j | X_0=i\}$  untuk  $t = 0, 1, 2, \dots$ , probabilitas ini biasanya dilambangkan dengan  $P_{ij}^{(n)}$  dan disebut sebagai probabilitas transisi  $n$  Langkah. Jadi  $P_{ij}^{(n)}$  adalah probabilitas bersyarat bahwa random  $X(1)$ , yang dimulai dari status  $i$  akan berada pada status  $j$  setelah  $n$  langkah. Untuk  $n=0$ ,  $P_{ij}^{(n)}$  maka  $P\{X_0=j | X_0=i\}$  sehingga mengakibatkan bernilai 1 jika  $i=j$  dan 0 ketika  $i \neq j$ . dimana  $P_{ij}^{(n)}$  harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$P_{ij}^{(n)} \geq 0$ , untuk semua  $i$  dan  $j$ , dan  $n = 0, 1, 2, \dots$

$\sum P_{ij}^{(n)} = 1$ , untuk semua  $i$  dan  $n = 0, 1, 2, \dots$

Probabilitas transisi dinyatakan dalam bentuk matrik seperti pada **Tabel 1**

**Tabel 1. Matrik Markov Chain**

Status	0	1	M
0	$P_{00}(n)$	.....	$P_{0M}(n)$
1	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
M	$P_{M0}(n)$	.....	$P_{MM}(n)$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.

(Sumber: Diambil dari [19])

Matrik  $P$  ini dikatakan suatu peralihan yang homogen atau matrik stokastik, karena probabilitas transisi  $P_{ij}$  adalah konstan dan tidak tergantung pada waktu .

Sifat *markov chain* dalam jangka panjang, probabilitasnya menjadi status mapan (*steady state*). Untuk *Markov Chain ergodic* (positif dan terjadi berulang-ulang) dan tak dapat diperkecil lagi maka  $\lim_{n \rightarrow \infty} P_{ij}^n$  nyata dan tidak tergantung pada  $i$ . selain dari pada itu,  $\lim_{n \rightarrow \infty} P_{ij}^n = \pi_j$ , dimana  $j \geq 0$ , merupakan status  $j$  yang memenuhi persyaratan *steady state*.

Dalam menentukan probabilitas status, akan ditentukan dulu besarnya probabilitas transisi yang dapat dihitung dari jumlah masing-masing keadaan mesin melalui transisi diagram. Selanjutnya dapat dibuat matrik transisi awal yang merupakan pemeliharaan yang dilakukan perusahaan seperti pada **Table 2**

**Tabel 2. Probabilitas Transisi Item i**

Bulan	P11	P12	P13	P14	P22	P23	P33	P34	P41
1									
2									
3									
n									
<b>Jumlah</b>									

(Sumber: Diambil dari [16], [20])

Keterangan:  $P$  = Probabilitas Transisi

Matrik transisi satu langkah item-i yang merupakan pemeliharaan yang dilakukan oleh perusahaan seperti **Table 3**;

**Tabel 3. Matrik Probabilitas Transisi Awal**

J I	1	2	3	4
1	P11	P12	P13	P14
2	0	P22	P23	P24
3	0	1	P33	P34
4	P41	0	0	0

(Sumber: Diambil dari [19])

Maka probabilitas transisi dari status  $i$  ke status  $j$  ini akan lebih mudah jika disusun dalam suatu bentuk matrik sebagai berikut:

$$[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ 0 & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ 0 & 0 & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4]$$

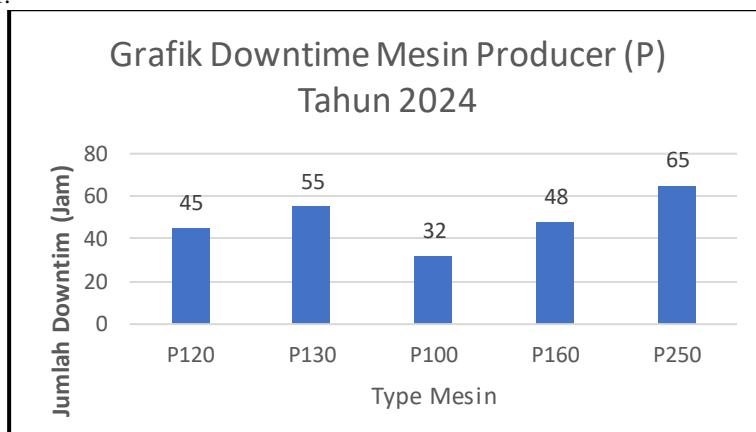
Catatan:  $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$

Maka akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ P_{11}\pi_1 + 0 + 0 + P_{41}\pi_4 &= \pi_1 \\ P_{12}\pi_1 + P_{22}\pi_2 + 0 + 0 &= \pi_2 \\ P_{13}\pi_1 + P_{23}\pi_2 + P_{33}\pi_3 + 0 &= \pi_3 \\ P_{14}\pi_1 + P_{24}\pi_2 + P_{34}\pi_3 + 0 &= \pi_4 \end{aligned}$$

## Hasil Dan Pembahasan

Dalam proses produksinya PT Jembo Cable Company Tbk. menggunakan mesin ekstruder untuk pembuatan varian laminasi kabel listrik. Intensitas pemakaian mesin yang lama dan terus menerus menyebabkan performa mesin mengalami penurunan sehingga menghambat jalannya proses produksi. Belum optimalnya proses perawatan membuat tingginya nilai kerugian perusahaan. Dari permasalahan tersebut maka dibuat usulan untuk melakukan penelitian guna menganalisa apakah pelaksanaan perawatan mesin tersebut sudah maksimal. Berikut adalah data jumlah downtime mesin ekstruder tahun 2024, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Downtime mesin producer tahun 2024

Dari semua mesin yang ada di PT. Jembo Cable Company Tbk, ada beberapa mesin utama yang sering mengalami kerusakan. Jenis mesin pada bagian produksi yang akan diteliti adalah Mesin Producer yang terletak di *Plant A* yang terdiri dari 5 unit, yaitu: P120, P130, P100, P160, P250. Pemeliharaan Mesin Ekstruder pengecekan kondisi Dies, pengecekan heater, pengecekan bearing, pengecekan kondisi panel control dan kelistrikan, penambahan oli hidrolis, pengecekan belt caterpillar, pengecekan canvas.

### Data Waktu Pemeliharaan Perbaikan

Data waktu pemeliharaan pencegahan dan biaya pada masing-masing mesin tiap bulan ditetapkan oleh perusahaan seperti pada Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 4. Waktu Pemeliharaan dan biaya Perbaikan Mesin Produser

Mesin	Jumlah	Waktu		Biaya downtime tiap mesin (Rp/Jam)	Biaya downtime total mesin
		Menit/tahun	Jam/tahun		
	1	2	3 = 1 x 2	4	5 = 1x4
<b>Mesin Produser</b>	<b>5</b>	<b>1260</b>	<b>6300</b>	<b>110</b>	<b>550</b>

Tabel 5. Waktu pemeliharaan perbaikan mesin produser (p)

No	Bulan	Waktu perbaikan rata-rata		Waktu perbaikan total (Jam/Bulan)x(5menit)
		Menit/Bulan	Jam/Bulan	
1	Jan	384,6	6,41	32,05
2	Feb	278,4	4,64	23,2
3	Mar	330,0	5,5	27,5

4	Apr	195,0	3,25	16,25
5	May	267,6	4,46	22,3
6	Jun	133,2	2,22	11,1
7	Jul	168,6	2,81	14,05
8	Aug	327,0	5,45	27,25
9	Sep	198,0	3,3	16,5
10	Oct	288,6	4,81	24,05
11	Nov	231,0	3,85	19,25
12	Dec	181,8	3,03	15,15
Jumlah				248,65

#### Perhitungan Probabilitas Awal Status Mesin

Dalam menentukan probabilitas status akan ditentukan dahulu besamya 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.

Probabilitas Transisi Mesin Ekstruder dengan mengelola data transisi status mesin dan data status mesin, maka dapat disusun tabel probabilitas transisi seperti pada Tabel 6

**Tabel 6.** Probabilitas transisi mesin ekstruder

No	Bulan	Status Kondisi									
		Baik				Rusak Ringan			Rusak Sedang		Rusak Berat
		P11	P12	P13	P14	P22	P23	P24	P33	P34	P41
1	Jan	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3
2	Feb	0	0	0	1	0	1	0	0	1	2
3	Mar	0	0	0	0	1	0	0	1	0	3
4	Apr	0	0	0	0	1	0	0	1/2	1/2	0
5	May	0	1/2	1/2	0	0	0	1	0	0	2
6	Jun	0	0	0	1	1/3	1/3	1/3	0	0	1
7	Jul	0	0	0	0	1/2	0	1/2	2/3	1/3	0
8	Aug	0	0	0	0	0	1	0	2/3	1/3	2
9	Sep	0	0	0	0	0	0	1	1/2	1/2	2
10	Oct	1	0	0	0	0	0	1	1/2	1/2	1
11	Nov	1	0	0	0	0	1/2	1	0	0	1
12	Dec	0	1/2	1/2	0	0	0	1	0	1	1
<b>Total</b>		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3,83</b>	<b>2,83</b>	<b>5,83</b>	<b>4,84</b>	<b>4,16</b>	<b>18</b>
<b>Average</b>		<b>0,167</b>	<b>0,083</b>	<b>0,083</b>	<b>0,167</b>	<b>0,319</b>	<b>0,236</b>	<b>0,486</b>	<b>0,403</b>	<b>0,347</b>	<b>1,50</b>

Berdasarkan harga probabilitas transisi di atas, apabila dimasukkan ke dalam tabel matriks probabilitas maka akan didapatkan matriks transisi satu langkah mesin ekstruder. Dimana, matrik transisi satu langkah ini merupakan pemeliharaan mesin ekstruder yang dilakukan oleh perusahaan, yaitu:

**Tabel 7.** Matrik probabilitas transisi awal mesin ekstruder

I	J			
	1	2	3	4
1	0.167	0.083	0.083	0.167
2	0	0.319	0.236	0.486
3	0	0	0.403	0.347
4	1.5	0	0	0

(Sumber: Hasil Pengolahan Data Transisi dan Status Mesin)

Berdasarkan Tabel 3.4 diatas, maka probabilitas status jangka panjang dan dalam keadaan mapan (steady state) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] \begin{bmatrix} 0,167 & 0,083 & 0,083 & 0,167 \\ 0 & 0,319 & 0,236 & 0,486 \\ 0 & 0 & 0,403 & 0,347 \\ 1,5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4]$$

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

Maka didapat persamaan sebagai berikut:

- a.  $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1$   
 b.  $0,167 \pi_1 + 0 + 0 + 1,5 \pi_4 = \pi_1$   
 c.  $0,083 \pi_1 + 0,319 \pi_2 + 0 + 0 = \pi_2$   
 d.  $0,083 \pi_1 + 0,236 \pi_2 + 0,403 \pi_3 + 0 = \pi_3$   
 e.  $0,167 \pi_1 + 0,486 \pi_2 + 0,347 \pi_3 + 0 = \pi_4$

Penyelesaian persamaan diatas adalah :

Untuk urutan baris ke 2 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 0,167 \pi_1 + 1,5 \pi_4 &= \pi_1 \\ 1,5 \pi_4 &= \pi_1 - 0,167 \pi_1 \\ 1,5 \pi_4 &= 0,833 \pi_1 \\ \pi_4 &= 0,833/1,5 \pi_1 \\ &= 0,555 \pi_1 \end{aligned}$$

Untuk urutan baris ke 3 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 0,083 \pi_1 + 0,319 \pi_2 &= \pi_2 \\ 0,083 \pi_1 &= \pi_2 - 0,319 \pi_2 \\ 0,083 \pi_1 &= 0,681 \pi_2 \\ \pi_2 &= 0,083/0,681 \pi_1 \\ \pi_2 &= 0,122 \pi_1 \end{aligned}$$

Untuk urutan baris ke 4 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 0,083 \pi_1 + 0,236 \pi_2 + 0,403 \pi_3 &= \pi_3 \\ 0,083 \pi_1 + 0,236 (0,122) \pi_1 &= \pi_3 - 0,403 \pi_3 \\ 0,111 \pi_1 &= 0,597 \pi_3 \\ \pi_3 &= 0,111/0,597 \times \pi_1 = 0,188 \pi_1 \end{aligned}$$

Untuk urutan baris ke 1 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 &= 1 \\ \pi_1 + 0,122 \pi_1 + 0,188 \pi_1 + 0,555 \pi_1 &= 1 \\ 1,865 \pi_1 &= 1 \\ \pi_1 &= 1/1,865 \\ \pi_1 &= 0,536 \end{aligned}$$

$$\pi_3 = 0,188 \pi_1 = 0,188 \times 0,536 = 0,101$$

$$\pi_2 = 0,122 \pi_1 = 0,122 \times 0,536 = 0,065$$

$$\pi_4 = 0,555 \pi_1 = 0,555 \times 0,536 = 0,297$$

Sehingga diperoleh nilai probabilitas mesin produser :

$$\pi_1 = 0,536 \pi_2 = 0,065 \pi_3 = 0,101 \pi_4 = 0,297$$

### Biaya Perawatan Perusahaan Pada Kondisi Riil

Berikut ini akan diberikan perhitungan tentang biaya perawatan tiap mesin yang mengalami kerusakan.

### Biaya Perawatan Mesin Ekstruder

Dari pengumpulan dan pengolahan data maka didapat waktu pemeliharaan preventif dan korektif sebagai berikut:

**Tabel 8.** Data Pemeliharaan dan Biaya Down time Mesin Ekstruder

No	Jenis Pemeliharaan	Waktu (Jam/tahun)	Biaya Downtime per jam (Rp)
1	Pemeliharaan Pencegahan	105	550.000
2	Pemeliharaan Perbaikan	250,25	550.000

(Sumber: PT. Jembo Cable Company Tbk )

Dengan memasukkan ke dalam persamaan biaya perawatan, maka akan didapat :

Biaya perawatan pencegahan (C1i) = Waktu pemeliharaan pencegahan (W1i) x biaya down time

$$(C1i) = 105 \text{ jam/1 th} \times \text{Rp } 550.000,- / \text{jam}$$

$$= \text{Rp } 57.750.000,- / 1\text{th}$$

Biaya perawatan pencegahan (C2i) = Waktu pemeliharaan pencegahan (W2i) x Biaya down time

$$(C2i) = 250,25 \times \text{Rp } 550.000,- / \text{jam}$$

$$= \text{Rp } 137.637.500,- / 1\text{th}$$

Total Biaya perawatan Mesin Ekstruder = (C1i) Mesin Ekstruder + (C2i) Mesin Ekstruder Adalah :

$$\text{Rp } 57.750.000,- + \text{Rp } 137.637.500,- = \text{Rp } 195.387.500,-/\text{th}$$

### Total Biaya Perawatan Perusahaan Pada Saat Ini

Total Biaya = C1 = Rp 195.387.500,-

Perhitungan biaya rata-rata ekspektasi metode perusahaan berdasarkan biaya pemeliharaan mesin perusahaan dan probabilitas awal status mesin, maka dapat dihitung biaya rata-rata ekspektasi perawatan perusahaan dengan cara mengalikan biaya perawatan dengan probabilitas awal mesin.

a. Biaya Rata-rata Ekspektasi Mesin Ekstruder

**Tabel 9.** Biaya Pemeliharaan Mesin Ekstruder

No	Keputusan	Biaya Perawatan (Rp)
1	Pemeliharaan	57.750.000
2	Pemeliharaan Korektif	137.637.500

**Tabel 10.** Probabilitas Status Mesin Ekstruder

Kegiatan Pemeliharaan	Probabilitas			
	Baik	Kerusakan Ringan	Kerusakan Sedang	Kerusakan Berat
	( $\pi_1$ )	( $\pi_2$ )	( $\pi_3$ )	( $\pi_4$ )
P0	0.0536	0.065	0.101	0.297

Sehingga didapatkan biaya rata-rata ekspektasi dengan pemeliharaan perusahaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P0 & \text{ Mesin Ekstruder (Pemeliharaan korektif pada status 4)} \\
 E_0 & = \text{Biaya Perawatan} \times \text{Probabilitas transisi awal} \\
 & = 0,536(0) + 0,065(0) + 0,101(0) + 0,297(\text{Rp } 137.637.500,-) \\
 & = \text{Rp} 40.878.337,- / 5 \text{ mesin}
 \end{aligned}$$

Maka untuk biaya pemeliharaan per 1 mesin adalah sebesar Rp 8.175.667,-

b. Total Biaya Ekspektasi Perusahaan

$$E = \text{Rp } 40.878.337,- \text{ untuk 5 mesin selama 1 tahun}$$

### Perencanaan Perawatan Mesin Menggunakan Metode Markov Chain

#### 1. Perencanaan Pemeliharaan Usulan Pada Mesin Producer Ekstruder

Empat usulan perencanaan pemeliharaan mesin yang didapat dari perubahan matrik transisi awal adalah sebagai berikut :

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

**Tabel 11.** Matrik Probabilitas Transisi Usulan 1 Pada Mesin Producer Ekstruder

J		1	2	3	4
I	1	0.167	0.083	0.083	0.167
2	0	0.319	0.236	0.486	
3	0	1	0	0	
4	1	0	0	0	

di peroleh:

$$\pi_1 = 0,277; \pi_2 = 1,370(0,277) = 0,379; \pi_3 = 0,406(0,277) = 0,112; \pi_4 = 0,833(0,277) = 0,231$$

Jadi nilai probabilitas Mesin Ekstruder usulan 1 dengan metode markov chain untuk  $\pi_1$  adalah sebesar 0,277 , untuk  $\pi_2$  sebesar 0,379 , untuk  $\pi_3$  sebesar 0,122 dan untuk  $\pi_4$  sebesar 0,231.

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

**Tabel 12.** Matrik Probabilitas Transisi Usulan 2 Pada Mesin Ekstruder

J		1	2	3	4
I	1	0.167	0.083	0.083	0.167
2	1	0	0	0	
3	1	0	0	0	
4	1	0	0	0	

Sehingga diperoleh :

$$\pi_1 = 0,750; \pi_2 = 0,083(0,750) = 0,062; \pi_3 = 0,083(0,750) = 0,062; \pi_4 = 0,167(0,750) = 0,125$$

Jadi nilai probabilitas Mesin Ekstruder usulan 2 dengan metode markov chain untuk  $\pi_1$  adalah sebesar 0,750 , untuk  $\pi_2$  sebesar 0,062 , untuk  $\pi_3$  sebesar 0,062 dan untuk  $\pi_4$  sebesar 0,125.

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

**Tabel 13.** Matrik Probabilitas Transisi Usulan 3 Pada Mesin Producer Ekstruder

I	J	1	2	3	4
1	0.167	0.083	0.083	0.167	
2	1	0	0	0	
3	0	1	0	0	
4	1	0	0	0	

Sehingga diperoleh :

$$\pi_1 = 0,706; \quad \pi_2 = 0,166(0,706) = 0,117; \quad \pi_3 = 0,083(0,706) = 0,058; \quad \pi_4 = 0,167(0,706) = 0,118$$

Jadi nilai probabilitas Mesin Ekstruder usulan 3 dengan metode markov chain untuk  $\pi_1$  adalah sebesar 0,706 ,untuk  $\pi_2$  sebesar 0,117 , untuk  $\pi_3$  sebesar 0,058 dan untuk  $\pi_4$  sebesar 0,118

d. Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4

**Tabel 14.** Matrik Probabilitas Transisi Usulan 4 Pada Mesin Producer Ekstruder

I	J	1	2	3	4
1	0.167	0.083	0.083	0.167	
2	0	0.319	0.236	0.486	
3	1	0	0	0	
4	1	0	0	0	

Sehingga diperoleh :

$$\pi_1 = 0,685; \quad \pi_2 = 0,122(0,685) = 0,083; \quad \pi_3 = 0,112(0,685) = 0,076; \quad \pi_4 = 0,226(0,685) = 0,155;$$

Jadi nilai probabilitas Mesin Ekstruder usulan 4 dengan metode markov chain untuk  $\pi_1$  adalah sebesar 0,685, untuk  $\pi_2$  sebesar 0,083 , untuk  $\pi_3$  sebesar 0,112 dan untuk  $\pi_4$  sebesar 0,155.

Berdasarkan analisa di atas, probabilitas terjadinya kerusakan sedang dan kerusakan berat dalam keadaan mapan (steady state) untuk jangka panjang pada setiap mesin adalah sebagai berikut :

Dari hasil hitungan probabilitas mesin ekstruder dari P0 hingga P4 dapat dilihat pada Tabel 3.15 di bawah ini:

**Tabel 15.** Probabilitas Status Mesin Ekstruder

Kegiatan Pemeliharaan	Baik ( $\pi_1$ )	Kerusakan Ringan ( $\pi_2$ )	Kerusakan Sedang ( $\pi_3$ )	Kerusakan Berat ( $\pi_4$ )
P0	0.0536	0.065	0.101	0.297
P1	0.277	0.379	0.112	0.231
P2	0.750	0.062	0.062	0.125
P3	0.706	0.117	0.058	0.118
P4	0.685	0.083	0.076	0.155

Berdasarkan biaya pemeliharaan mesin perusahaan dan probabilitas transisi status mesin besdasarkan usulan pemeliharaan, maka dapat dihitung biaya rata-rata ekspektasi dengan metode Markov Chain untuk Mesin Producer Ekstruder sebagai berikut : Biaya Rata-Rata Ekspektasi Mesin Ekstruder

**Tabel 16.** Biaya Pemeliharaan Mesin Ekstruder

No	Keputusan	Biaya Perawatan (Rp)
1	Pemeliharaan	57.750.000
2	Pemeliharaan Korektif	137.637.500

(Sumber: Dolah Peneliti)

- P1 (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3)  

$$E_{11} = 0,277 (0) + 0,379 (0) + 0,112 (Rp 57.750.000,-) + 0,231 (Rp 137.637.500,-)$$

$$= Rp 6.468.000,- + Rp 31.794.262,- = Rp 38.262.262,-$$
- P2 (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 serta pemeliharaan pencegahan pada status 2)  

$$E_{12} = 0,750 (0) + 0,062 (Rp 57.750.000,-) + 0,062 (Rp 137.637.500,-) + 0,125 (Rp 137.637.500,-) = Rp 3.580.500,- + Rp 8.533.525,- + Rp 17.204.687,- = Rp 29.318.712,-$$
- P3 (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3)  

$$E_{13} = 0,706 (0) + 0,117 (Rp 57.750.000,-) + 0,058 (Rp 57.750.000,-) + 0,118 (Rp 137.637.500,-) = Rp 6.756.750,- + Rp 3.349.500,- + Rp 16.241.225,- = Rp 26.347.475,-$$
- P4 (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4)  

$$E_{14} = 0,685 (0) + 0,083 (0) + 0,076 (Rp 137.637.500,-) + 0,155 (Rp 137.637.500,-)$$

= Rp 10.460.450,- + Rp 21.333.812,- = Rp 31.794.262,-

### Biaya Ekspektasi Perawatan Usulan Paling Minimum

Dari keempat pemeliharaan mesin yang diusulkan akan dipilih perencanaan pemeliharaan mesin yang mempunyai biaya rata-rata ekspektasi termurah. Biaya rata-rata ekspektasi yang paling murah yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

**Tabel 17.** Ekspektasi Biaya Perawatan Mesin

No	Mesin	Ekspektasi Biaya Perawatan (Rp)			
		P1	P2	P3	P4
1	Mesin Produser	38.262.262	29.318.712	26.347.475	31.749.262

dapatkan total biaya perawatan paling minimum adalah usulan kebijakan perawatan P3, yaitu sebesar Rp 26.347.475,- dan berdasarkan perhitungan biaya perawatan, didapatkan perbandingan antara biaya perawatan perusahaan dengan biaya perawatan usulan adalah:

**Tabel 18.** Perbandingan Biaya Perawatan Dengan Biaya Perawatan Usulan Termurah

No	Jenis Biaya Perawatan	Biaya (Rp)
1	Biaya Ekspektasi Perawatan Perusahaan	40.878.337
2	Perawatan usulan P3 berdasarkan metode Markov Chain	26.347.475

Berdasarkan Tabel 19. diatas, dapat diketahui bahwa biaya perawatan usulan P3 memiliki nilai jauh lebih rendah dibandingkan biaya perawatan perusahaan. Penghematan dari biaya usulan perencanaan pemeliharaan mesin yang minimum (P3) adalah:

$$(Rp\ 40.878.337,-) - (Rp\ 26.347.475,-) = Rp\ 14.530.862,-$$

$$(Rp\ 14.530.862,-) / (Rp\ 40.878.337,-) \times 100\% = 35.5\%$$

Biaya ekspektasi pemeliharaan awal Rp 40.878.337,-

Biaya pemeliharaan usulan termurah Rp 26.347.475,-

Dari perhitungan biaya pemeliharaan awal – biaya pemeliharaan usulan termurah diperoleh penghematan biaya sebesar Rp 14.530.862,- = 35.5%

### Perencanaan Penjadwalan Pemeliharaan Mesin Menggunakan Metode Markov Chain

Pemeliharaan mesin produksi yang diidentifikasi berdasarkan kondisi riil perusahaan dan pemeliharaan usulan P3 (biaya perawatan paling minimum) menggunakan metode *markov chain* selama 1 tahun memerlukan waktu sebagaimana berikut:

Perencanaan jadwal pemeliharaan untuk Mesin Ekstruder

$$= \frac{\sum \text{Biaya Pemeliharaan Pencegahan}}{\sum \text{Biaya Pemeliharaan Korektif}} \times \sum \text{Waktu Pemeliharaan Korektif}$$

$$= \frac{Rp\ 26.347.475}{Rp\ 40.878.337} \times 250,25 \text{ jam} = 161 \text{ jam}$$

Jadi pemeliharaan mesin ekstruder membutuhkan waktu 161 Jam dengan biaya sebesar Rp 26.347.475,-

Perencanaan Pemeliharaan dilakukan pada setiap mesin ekstruder:

#### 1. Perencanaan jadwal pemeliharaan untuk mesin EX-60

$$= \frac{\text{Waktu Pemeliharaan Korektif tiap mesin}}{\sum \text{Waktu Pemeliharaan Korektif}} \times \sum \text{Waktu Pemeliharaan}$$

$$= \frac{44,5 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 161 \text{ jam} = 28,6 \text{ jam}$$

Jadi pemeliharaan dilakukan setiap:

$$= \frac{28,6 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 12 \text{ bulan} = 1,37 \text{ bulan}$$

#### 2. Perencanaan jadwal pemeliharaan untuk mesin EX-65A

$$= \frac{\text{Waktu Pemeliharaan Korektif tiap mesin}}{\sum \text{Waktu Pemeliharaan Korektif}} \times \sum \text{Waktu Pemeliharaan}$$

$$= \frac{55,2 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 161 \text{ jam} = 35,5 \text{ jam}$$

Jadi pemeliharaan dilakukan setiap:

$$= \frac{35,5 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 12 \text{ bulan} = 1,7 \text{ bulan}$$

#### 3. Perencanaan jadwal pemeliharaan untuk mesin EX-80B

$$= \frac{\text{Waktu Pemeliharaan Korektif tiap mesin}}{\sum \text{Waktu Pemeliharaan Korektif}} \times \sum \text{Waktu Pemeliharaan}$$

$$= \frac{33,4 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 161 \text{ jam} = 21,48 \text{ jam}$$

Jadi pemeliharaan dilakukan setiap:

$$\frac{21,48 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 12 \text{ bulan} = 1,03 \text{ bulan}$$

**4. Perencanaan jadwal pemeliharaan untuk mesin EX-90F**

$$= \frac{\text{Waktu Pemeliharaan Korektif tiap mesin}}{\sum \text{Waktu Pemeliharaan Korektif}} \times \sum \text{Waktu Pemeliharaan}$$

$$\frac{48,55 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 161 \text{ jam} = 31,23 \text{ jam}$$

Jadi pemeliharaan dilakukan setiap:

$$\frac{31,23 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 12 \text{ bulan} = 1,5 \text{ bulan}$$

**5. Perencanaan jadwal pemeliharaan untuk mesin EX-120TD**

$$= \frac{\text{Waktu Pemeliharaan Korektif tiap mesin}}{\sum \text{Waktu Pemeliharaan Korektif}} \times \sum \text{Waktu Pemeliharaan}$$

$$\frac{66,4 \text{ Jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 161 \text{ jam} = 42,7 \text{ jam}$$

Jadi pemeliharaan dilakukan setiap:

$$\frac{42,7 \text{ jam}}{250,25 \text{ Jam}} \times 12 \text{ bulan} = 2,04 \text{ bulan}$$

### Analisa Hasil Pembahasan

Hasil pengolahan dari data-data yang ada, maka dapat diketahui biaya pemeliharaan metode perusahaan dan metode *Markov Chain* bulan Januari 2024 - Desember 2024 sesuai dengan **Tabel 18 di atas**

**Tabel 19.** Perencanaan Penjadwalan Pemeliharaan Mesin

No	Nama Mesin	Perencanaan Pemeliharaan	Pembulatan dalam bulan	Pemeliharaan dalam setahun
1	P120	1.37		1 12 kali
2	P130	1.7		2 6 kali
3	P100	1.03		1 12 kali
4	P160	1.5		1 12 kali
5	P250	2.04		2 6 kali

1. Dari kondisi riil perusahaan, biaya yang dikeluarkan untuk melakukan perawatan yang didasarkan atas biaya *down time corrective* dan biaya *preventive* pada periode Januari 2024 - Desember 2024 adalah sebesar Rp 40.878.337,- terdiri dari biaya perawatan Mesin Ekstruder untuk 5 mesin.
2. Dari pemeliharaan usulan termurah ( $P_2$ ) menggunakan metode *Markov Chain*, dapat diketahui total biaya perawatan sebesar Rp 26.347.475,- terdiri dari biaya perawatan Mesin Ekstruder untuk 5 mesin, dengan perencanaan perawatan setiap EX-60 satu bulan sekali, EX-65A dua bulan sekali, EX-80B satu bulan sekali, EX-90F satu bulan sekali, EX-120TD dua bulan sekali.

Setelah melakukan perhitungan dan pembahasan dari data diatas, metode *Markov Chain* dapat diterapkan sebagai respon teknis rencana jadwal waktu perawatan mesin ekstruder yang lebih efektif yang juga berpengaruh untuk menekan biaya pemeliharaan yang didasarkan atas biaya *down time corrective* dan biaya *preventive* pada PT. Jembo Cable Company Tbk. Hasil analisis menunjukkan bahwa pendekatan *Markov Chain* mampu mengidentifikasi probabilitas mesin berada pada setiap kondisi secara lebih akurat, sehingga tindakan perawatan dapat difokuskan pada kondisi kerusakan yang berpotensi berkembang menjadi kerusakan berat. Dibandingkan dengan kebijakan periodik, pendekatan ini lebih efektif dalam menekan transisi menuju kondisi rusak berat yang memiliki biaya perawatan tinggi. Oleh karena itu, penghematan biaya perawatan sebesar **35,5%** yang diperoleh dalam penelitian ini dapat diterima secara konseptual, meskipun tidak dilakukan perbandingan numerik langsung dengan kebijakan periodik.

Kebijakan perawatan yang dihasilkan dari pendekatan *Markov Chain* menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi *preventive maintenance* pada kondisi kerusakan ringan lebih ekonomis dibandingkan dengan dominasi *corrective maintenance* pada kondisi kerusakan berat. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pengalihan fokus perawatan dari bersifat reaktif menuju preventif merupakan strategi yang paling efisien untuk mesin *producer extrude*.

Dalam hal ini saya sebagai penulis penelitian ini menyadari memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan :

1. Penelitian hanya dilakukan pada satu jenis mesin, yaitu mesin *producer extrude*, dan pada satu perusahaan, sehingga hasil penelitian belum tentu dapat digeneralisasikan ke jenis mesin atau industri lain.

2. Model *Markov Chain* yang digunakan dalam penelitian ini mengasumsikan probabilitas transisi yang bersifat homogen sepanjang waktu, sehingga belum mempertimbangkan perubahan kondisi operasional atau beban kerja mesin yang bersifat dinamis.
3. Data yang digunakan masih bersifat historis dan belum terintegrasi dengan data kondisi mesin secara real-time.

Oleh karena itu untuk ke depan penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menerapkan model *Markov Chain* pada beberapa jenis mesin kritis dan lintas perusahaan untuk meningkatkan generalisasi hasil. Selain itu, integrasi pendekatan ini dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) atau *Condition-Based Maintenance* (CBM) dapat memberikan kerangka perawatan yang lebih komprehensif.

## Simpulan

Berdasarkan penelitian perencanaan perawatan mesin dengan menggunakan metode *Markov Chain* di PT. Jembo Cable Company Tbk, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Perencanaan pemeliharaan terhadap mesin ekstruder dilakukan setiap 1 bulan sekali untuk mesin EX-60, 2 bulan sekali untuk mesin EX-65A, 1 bulan sekali untuk mesin EX-80B, 1 bulan sekali untuk mesin EX 90F, dan 2 bulan sekali untuk mesin EX-120TD untuk mencegah terjadinya kerusakan. Apabila dilakukan sesuai dengan perencanaan, diharapkan proses produksi berjalan lancar dengan total biaya pemeliharaan dari perusahaan sebesar Rp. 40.878.337,- sedangkan total biaya pemeliharaan mesin dengan metode *Markov Chain* sebesar Rp 26.347.475,- sehingga dapat menghemat biaya pemeliharaan sebesar Rp 14.530.862,- atau 35.5%. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan metode *Markov Chain* dapat memberikan kontribusi yang sangat signifikan kepada perusahaan karena dapat menghemat biaya perawatan mesin.

## Daftar Pustaka

- [1] A. Z. M. Kom And S. E. F. Ekawati, *Penerapan Artificial Intelligence (Ai) Pada Peralatan Militer*. Books.Google.Com, 2025. [Online]. Available: <Https://Books.Google.Com/Books?Hl=En&Lr=&Id=Ak2reqaaqbaj&Oi=Fnd&Pg=Pa1&Dq=Pera watan +Mesin+Pemeliharaan+Preventif+Markov+Chain+Efektivitas+Mesin+Biaya+Pera watan+Produktivitas+Produksi&Ots=O6atbsfenz&Sig=Gyjl7jtvok70mxudzfp3mdur-Xu>
- [2] W. N. Cahyo, *Analisa Manajemen Pemeliharaan Peralatan Induce Draft Fan (Idf) Pltu Dengan Pendekatan Life Cycle Cost*. Dspace.Uii.Ac.Id, 2020. [Online]. Available: <Https://Dspace.Uii.Ac.Id/Handle/123456789/29201>
- [3] S. E. M. Silvestre, V. D. P. Chaicha, J. C. A. Merino, And S. Nallusamy, "Implementation Of A Lean Manufacturing And Slp-Based System For A Footwear Company," *Production*, Vol. 32, 2022, Doi: 10.1590/0103-6513.20210072.
- [4] S. J. Aji, "Pengaruh Keandalan Alat Produksi Mekanik Terhadap Produktivitas Kapal Isap Produksi Timah 07," 2025, *Repository.Polman-Babel.Ac.Id*. [Online]. Available: <Http://Repository.Polman-Babel.Ac.Id/Id/Eprint/1846/1/TaJefriAji Saputra Done-1.Pdf>
- [5] K. Nisak, E. Nursanti, And T. Priyasmunu, "Analisis Tingkat Keandalan Dan Penentuan Interval Waktu Pemeliharaan Mesin Pompa Air Di Perumda Air Minum Tugu Tirta Kota Malang," 2022. [Online]. Available: <Https://Mail.Ejournal.Itn.Ac.Id/Index.Php/Valtech/Article/Download/5644/3625>
- [6] A. Surahman, *Analisis Maintenance Equipment Scheduling Pada Mesin Ply Cutting Dengan Metode Markov Chain Dan Fmeca Di Pt. Maxxis*. Repository.Ubpkarawang.Ac.Id, 2022. [Online]. Available: <Http://Repository.Ubpkarawang.Ac.Id/Id/Eprint/2552/>
- [7] A. Candra, "Analisa Reliability Centered Maintenance (Rcm) Mesin Sablon Digital," *Tekmapro*, 2022, [Online]. Available: <Https://Tekmapro.Upnjatim.Ac.Id/Index.Php/Tekmapro/Article/View/314>
- [8] S. Mutmainah, S. Kom, And M. Kom, "Bab 5 Pemrosesan Bahasa Alami (Nlp)," ... *Mesin Dan Kecerdasan Buatan* ..., 2024, [Online]. Available: <Https://Books.Google.Com/Books?Hl=En&Lr=&Id=9z0oeqaaqbaj&Oi=Fnd&Pg=Pa66&Dq=Pera watan +Mesin+Pemeliharaan+Preventif+Markov+Chain+Efektivitas+Mesin+Biaya+Pera watan+Produktivitas+Produksi&Ots=Hgmiwl4dj&Sig=Bdx2ifl5gsk7lgpq4hkssvqzwai>
- [9] R. C. Rumambi, "Kebijakan Dan Regulasi Transportasi Jalan Raya," *Manaj. Transp. Jalan Raya*, 2025, [Online]. Available: <Https://Books.Google.Com/Books?Hl=En&Lr=&Id=Oiwxeqaaqbaj&Oi=Fnd&Pg=Pa36&Dq=Pera watan+Mesin+Pemeliharaan+Preventif+Markov+Chain+Efektivitas+Mesin+Biaya+Pera watan+Produktivitas+Produksi&Ots=S3vq1ygtja&Sig=Kmd28rekgihdacqgpdyh1on2gy>
- [10] I. A. Wibowo And M. Kom, *Ai (Artificial Intelligent) Pada Perusahaan*. Books.Google.Com, 2025.

- [Online]. Available: <Https://Books.Google.Com/Books?Hl=En&Lr=&Id=Yb6zeqaaqbaj&Oi=Fnd&Pg=Pp1&Dq=Pera watan+Mesin+Pemeliharaan+Preventif+Markov+Chain+Efektivitas+Mesin+Biaya+Pera watan+Produktivitas+Produksi&Ots=3jzkgycan8&Sig=Gfpmsy9mpmorpraszjgan96xb8g>
- [11] D. Saputra, ... *Perawatan Mesin Screw Press Menggunakan Metode Rantai Markov Enumerasi Sempurna Guna Untuk Meminimumkan Biaya* .... Repository.Uin-Suska.Ac.Id, 2025. [Online]. Available: <Http://Repository.Uin-Suska.Ac.Id/87070/>
- [12] S. K. Nasib, R. Hasan, I. Djakaria, M. R. F. Payu, And ..., "Analisis Peluang Jangka Panjang Mesin Penggilingan Padi Menggunakan Rantai Markov," *Euler J. Ilm.* ..., 2024, [Online]. Available: <Https://Ejurnal.Ung.Ac.Id/Index.Php/Euler/Article/View/25280>
- [13] N. Nazaruddin And S. Sarbaini, "Evaluasi Perubahan Minat Pemilihan Mobil Dan Market Share Konsumen Di Showroom Pabrikan Honda," *J. Teknol. Dan Manaj.* ..., 2022, [Online]. Available: <Http://Jurnal-Tmit.Com/Index.Php/Home/Article/View/27>
- [14] A. Amin, R. T. Ardiansyah, K. Khambali, Y. Al Amien, And ..., *Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan*. Books.Google.Com, 2024. [Online]. Available: <Https://Books.Google.Com/Books?Hl=En&Lr=&Id=Hdgneqaaqbaj&Oi=Fnd&Pg=Pa1&Dq=Pera watan+Mesin+Pemeliharaan+Preventif+Markov+Chain+Efektivitas+Mesin+Biaya+Pera watan+Produktivitas+Produksi&Ots=B2mq8pfvnl&Sig=Xkvqdfcnrrzzromwhtqhy0-Rexbo>
- [15] T. Saputra And H. Hidayat, "Perencanaan Perawatan Mesin Menggunakan Metode Markov Chain Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan Di Pt Mecast Offshore And Marine Batam," *J. Tek. Ibnu Sina*, 2020, [Online]. Available: <Https://Ojs3.Lppm-Uis.Org/Index.Php/Jt-Ibsi/Article/View/253>
- [16] Y. A. Prasetyo, *Perencanaan Perawatan Mesin Menggunakan Metode Markov Chain Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan Di Pt. Gjtl*. Repository.Umt.Ac.Id, 2024. [Online]. Available: [Http://Repository.Umt.Ac.Id/Id/Eprint/798/3/Abstrak\\_Yoga Agus Prasetyo.Pdf](Http://Repository.Umt.Ac.Id/Id/Eprint/798/3/Abstrak_Yoga Agus Prasetyo.Pdf)
- [17] G. B. Laksono And A. E. Wahyu, "Implementasi Total Productive Maintenance (Tpm) Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (Oee) Pada Mesin Threser Di Koperasi Karel," *J. Teknol. Dan* ..., 2023, [Online]. Available: <Https://Ojs.Ejournalunigoro.Com/Jkti/Article/View/567>
- [18] A. Candra, "Perencanaan Analisa Pemeliharaan Mesin Menggunakan Pendekatan Markov Chain Di Pt. Cardsindo Tiga Perkasa," 2020, *Core.Ac.Uk.* [Online]. Available: <Https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/337611108.Pdf>
- [19] A. Novianti, N. L. Humairoh, R. N. Harahap, And ..., "Analisis Peluang Naiknya Kasus Covid-19 Provinsi Di Pulau Jawa Dengan Pendekatan Rantai Markov: Analisis Peluang Naiknya Kasus Covid-19," *J. Stat. Dan* ..., 2021, [Online]. Available: <Https://Journal.Unj.Ac.Id/Unj/Index.Php/Statistika/Article/View/23615>
- [20] F. Fitriyani, "Markov Chain Analysis In Predicting Consumer Price Index For The Food, Beverage And Tobacco Sector In Jambi City," *J. Sintak*, 2023, [Online]. Available: <Https://Journal.Iteba.Ac.Id/Index.Php/Jurnalsintak/Article/View/165>