

Implementasi *Markov Chain* Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan Mesin *Spiral* Menggunakan Enumerasi Sempurna

Tedjo Sukmono¹, Mukhammad Surya Lesmana²

^{1,2)} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Raya Gelam 250 Candi, Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia

Email: thedjoss@umsida.ac.id, mukhammadsuryalesmana2@gmail.com

ABSTRAK

Biaya perawatan dengan pengeluaran yang membutuhkan dana besar perlu ditangani pada sebuah industri manufaktur. Perlunya solusi alternatif dengan tujuan meminimumkan biaya serta menjaga fungsionalitas perusahaan untuk meminimalisir kerusakan. Fokus riset dijalankan pada bidang industri pipa baja, dalam proses pembuatan pipa sering kali terjadi kerusakan pada mesin khususnya mesin *spiral* dengan komponen berat pada hidrolis, sistem kontrol, *Trafo Welding* dan *Gearbox Milling* yang mempengaruhi kelancaran proses produksi, adapun presentase *downtime* terbesar terjadi pada sistem kontrol mesin senilai 51,12%, *Cutting Plasma* sebesar 49,91% dan sikat *Gram Milling* sebesar 25,85%. Semakin lama terjadinya *downtime* maka akan semakin besar pula biaya perbaikan dari mesin tersebut. Perusahaan mengeluarkan biaya yang cukup signifikan untuk melakukan perawatan mesin spiral ini yaitu dengan biaya awal Rp.206.793.450. Maka metode yang tepat untuk melakukan pengukuran kinerja mesin ini dengan pendekatan enumerasi sempurna didapatkan status ke-6 dan diperlukan *overhaul* pada *state* ke-1 dan 2 sebagai solusi alternatif *state* pada perawatan mesin serta implementasi menggunakan metode *markov chain* dimana perusahaan bisa menghemat biaya perawatannya, pada metode ini didapatkan biaya penghematan untuk jenis perawatan mesin spiral menggunakan kebijakan usulan tiga yaitu sebesar Rp168.493.139, dengan tingkat penghematan biaya sebesar Rp.38.300.311 dengan persentase 18,52%. sebagai usulan perbaikan terbaik dalam implementasi biaya perawatan mesin.

Kata Kunci : Perawatan, *Markov Chains*, Enumerasi Sempurna, Biaya, Probabilitas, Transisi.

ABSTRACT

Maintenance costs with expenses that require large funds need to be handled in a manufacturing industry. The need for alternative solutions to minimize costs and maintain company functions to minimize damage The focus of the research was carried out on companies engaged in the steel pipe industry. In the pipe manufacturing process, damage often occurs to machines, especially spiral machines with heavy components in hydraulics, control systems, welding transformers, and milling gearboxes that affect smooth production. while the largest percentage of downtime occurred in the machine control system at 51.12%, plasma cutting at 49.91%, and gram milling brushes at 25.85%. The longer the downtime occurs, the greater the cost of repairing the machine. The company spends quite a lot of money to maintain this spiral machine, with an initial cost of IDR 206,793,450. So that the right method for measuring the performance of this machine with a perfect enumeration approach gets the 6th status and needs to be overhauled in the 1st and 2nd states as an alternative state solution in maintaining and implementing the machine used the Markov chain method, where companies can save costs. maintenances. In this method, the cost savings obtained for this type of spiral machine maintenance using the three proposed policies amounted to IDR 168,493,139, with a cost savings rate of IDR 38,300,311 and a percentage of 18.52%. as the best improvement proposal in the implementation of machine maintenance costs.

Keywords : Maintenance, *Markov Chains*, Perfect Enumeration, Cost, Probability, Transition.

Pendahuluan

Saat ini, kemajuan teknologi yang berkembang sangat signifikan dalam dunia manufaktur, perubahan yang dihasilkan dari perkembangan ini yaitu hadirnya mesin-mesin yang dapat mempermudah manusia dalam melakukan proses produksi untuk menciptakan produk akhir yang lebih baik[1]. Proses produksi yang tidak ada kendala adalah harapan perusahaan agar tidak menimbulkan kerugian sendiri, seperti kerusakan mesin produksi

yang bisa mendukung proses produksi agar berjalan lancar pada perusahaan. Perusahaan ini menjunjung tinggi apa yang diinginkan dari *customernya*[2]. Dalam operasional produksi diharapkan proses berjalan dengan lancar, tanpa hambatan yang berarti, sehingga mesin harus selalu dalam keadaan siap pakai dan kehandalan yang tinggi. Jika terjadi gangguan pada mesin maka produksi juga harus terhenti sehingga produksi produk tidak maksimal dan merugikan perusahaan[3]. Kerusakan mesin dapat terjadi, antara lain human error, keadaan darurat, kurang perawatan, dll. Untuk menilai kondisi mesin, diperlukan analisis yang memungkinkan peningkatan produktivitas pada setiap mesin[4]. Produksi produk industri melibatkan banyak mesin dengan spesifikasi dan karakteristik yang berbeda[5]. Intensitas penggunaan mesin dalam waktu yang lama menyebabkan kinerja mesin menurun dan terkadang mesin mengalami masalah yang menghambat proses produksi[6]. Prosedur perawatan yang kurang optimal menyebabkan nilai downtime yang tinggi dan perbaikan yang lama.[7] Berdasarkan permasalahan tersebut, diusulkan untuk melakukan penelitian untuk menganalisis apakah pelaksanaan pengobatan sudah optimal atau masih kurang optimal.

Pada proses pembuatan pipa sering kali terjadi kerusakan pada mesin khususnya mesin *spiral*, mesin yang digunakan di industri pipa baja pada saat ini sudah cukup tua sekitar umur 10-20 tahun, dan mesin yang sering rusak adalah mesin *spiral*, mesin *spiral* ini berfungsi untuk meleukukan plat baja menjadi pipa permasalahan yang terjadi terutama di bagian panel, panel merupakan komponen penting dari mesin *spiral* yang bertugas untuk menjalankan semua peralatan pada mesin *spiral*. Jika panel itu rusak, mesin akan otomatis berhenti berproduksi dan kerusakan tersebut akan menimbulkan *downtime* yang cukup tinggi. Rata-rata *Downtime* untuk mesin *spiral* adalah 19,4% per bulan, dibandingkan dengan target yang direkomendasikan sebesar 15,5%. Semakin lama terjadinya *downtime*, semakin tinggi pula biaya mesin untuk dilakukannya perbaikan. Melihat permasalahan diatas itu perusahaan disarankan untuk mengambil keputusan yang tepat agar resiko kerugian biaya yang ditimbulkan pada perawatan mesin *spiral* ini bisa diminimumkan serendah mungkin, maka metode yang mampu menyelesaikan masalah di atas yakni dengan menggunakan metode *markov chain* (rantai *markov*)[8] dengan menggunakan enumerasi sempurna. Kelebihan metode rantai *markov* ini bisa memprediksi atau meramalkan kapan mesin itu harus melakukan perbaikan atau tidak dengan menentukan perpindahan pola dari mesin tersebut, perpindahan pola biasanya tersedia dalam wujud matriks dan enumerasi sempurna untuk mengetahui biaya optimum yang harus dikeluarkan oleh perusahaan sehingga perusahaan bisa menekan seminimal mungkin pengeluaran untuk dapat melakukan perawatan mesin spiral ini.

Metode Penelitian

A. Fungsi Perawatan

Tugas dan aktivitas pemeliharaan di hakikatnya dilaksanakan buat mempertahankan kondisi sistem produksi supaya permanen bisa melaksanakan operasinya secara optimal. serta tugas ini dapat menjadi mekanisme pada aktivitas maintenance. dan sebelum memasuki pada tugas-tugasnya, terlebih dahulu mengartikan kegiatan maintenance[9]. Aktivitas pemeliharaan (maintenance) ini mempunyai beberapa kategori dan dua bagian inti pokok [10] meliputi:

a. Penilaian terhadap kerusakan dan perlunya perbaiki meliputi:

- 1). Perawatan secara rutin .
- 2). Melakukan penghematan dengan cara optimalisasi menjadi penghematan yang paling optimum
- 3). Biaya perawatan awal.
- 4). Standar yang dilakukan benar secara operasional.

b. Penyebab terjadinya rusak dan perlu dilakukan perawatan dikarenakan:

- 1.) Menyelaraskan agar produksi berjalan secara optimal
- 2). Baiaya perawatan yang rumit dan sulit serta lama diselesaikan.
- 3). Tidak adanya cadangan di dalam peralatan dan kurangnya konfigurasi perawatan secara rutin

Setip kelompok staf yg sudah ditunjuk di pemeliharaan harus secara cepat cepat, efektif serta bebas dari kesalahan paling baik yang dicapai. Bila mekanisme logis serta formal diikuti di setiap kesempatan[11]. endekatan asal-asalan berdasarkan pendapat subyektif berasal teknisi pemeliharaan, meskipun kadang-kadang membuat jalan pintas yg spektakuler, tidak mungkin menggambarkan metode yang lebih baik dalam jangka panjang. mekanisme formal jua memastikan bahwa kalibrasi dan investigasi krusial tidak dihilangkan, bahwa penaksiran selalu mengikuti urutan logis[11] serta didesain buat mencegah deteksi kesalahan yang tidak benar atau tak lengkap, bahwa indera uji yg benar dipergunakan buat setiap tugas (kerusakan kemungkinan terjadi Bila indera uji yang keliru dipergunakan) dan bahwa praktik berbahaya dihindar[12]. mekanisme perawatan yang benar dijamin hanya dengan manual yang akurat serta lengkap serta pelatihan menyeluruh.

B. Metode Markov Chain

Markov chain adalah teknik matematis yang umumnya digunakan dalam melakukan pembuatan contoh bermacam macam sistem serta proses bisnis. Teknik ini dapat dipergunakan buat memperkirakan perubahan-perubahan pada saat yang akan datang[13,14] dengan nilai yang berdasar dengan kerusakan berdasarkan waktu lalu[15].

Dalam matriks probabilitas transisi keadaan transisi artinya perubahan asal suatu keadaan (state) ke state lainnya pada periode berikutnya, dimana pada keadaan transisi ini artinya suatu proses secara acak serta dinyatakan dalam bentuk probabilitas. Maka probabilitas ini dinamakan menggunakan probabilitas transisi yang dipergunakan buat memilih probabilitas keadaan atau periode berikutnya menggunakan teorima matriks sifat transisi:

$$P = [p_{ij}]_{N \times N} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

Berdasarkan $1/P = [1/p_{i,j}]$ menjadikan nilai transisi $N/2 \times 2/N$ dengan DTMC $X_{N,1}$, $n, 1 \geq 0$ dengan state jarak pada $S = \{1, 2, \dots, N\}$ sehingga :

$$1. p_{ij} \geq 0, 1 \leq i, j \leq N \tag{1}$$

$$2. \sum_{j=1}^N p_{ij} = 1, 1 \leq i \leq N, \text{ dengan nilai } P=Q \tag{2}$$

Probabilitas perpindahan *n-step* dapat disederhanakan, dan dapat disebut *Chapman Kolmogorov*:

$$1/p_{ij}^{(n+m)} = \sum_{k=1}^N 1/p_{i,k}^{(n)} p_{k,j}^{(m)} \tag{3}$$

Dari persamaan diatas dapat dinyatakan menjadi $Q = Q^{(n)} * Q^{(m)}$. $Q = Q^{(n)} * Q$

dengan $n=kosong$ dihasilkan persamaan:

$$Q = Q^{(0)} * Q \tag{4}$$

$$Q^{(2)} = Q^{(1)} * Q = Q^{(0)} * Q * Q = Q^{(0)} * Q^{(2)} \tag{5}$$

$$Q^{(n)} = Q^{(n-1)} * Q = \dots = Q^{(0)} * Q^{(n)}$$

Dari formula rekursif diatas sehingga dapat diperoleh persamaan:

$$Q^{(n+1)} = Q^0 * Q^{(n+1)}$$

Formula rekursif tersebut dapat dicapai ramalan yang berdasarkan interpretasi sistem dinamik. Pada *transient behaviour of discrete-time markov chains*[16]. Jika Q merupakan probabilitas dan π_0 sebagai titik acuan, maka nilai π_n bisa didapat dengan rumus:

$$1/\pi_n = (1/\pi_{(n-1)} Q)$$

$$1/\pi_{(n-1)} = \pi_{(n-2)} Q; \pi_{(n-2)} = (1/\pi_{(n-3)} Q)[17] \tag{6}$$

Adanya pengulangan terhadap solusi paling optimum dihasilkan:

$$1/\pi_n = (1/\pi_0 Q_n) \tag{7}$$

Matrik transisi satu langkah item-i[18] yang merupakan pemeliharaan yang dilakukan oleh perusahaan adalah :

Tabel 1. Prosedur Perawatan Menggunakan *Markov Chain*

J I	1	2	3	4	5
1	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15
2	0	Q22	Q23	Q24	Q25
3	0	0	Q33	Q34	Q35
4	0	0	1	Q44	Q45
5	Q51	0	0	0	Q55

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

$$Q(t) = \begin{bmatrix} Q_{00}(t) & Q_{01}(t) & Q_{02}(t) & Q_{03}(t) & Q_{04}(t) \\ Q_{10}(t) & Q_{11}(t) & Q_{12}(t) & Q_{13}(t) & Q_{14}(t) \\ Q_{20}(t) & Q_{21}(t) & Q_{22}(t) & Q_{23}(t) & Q_{24}(t) \\ Q_{30}(t) & Q_{31}(t) & Q_{32}(t) & Q_{33}(t) & Q_{34}(t) \\ Q_{40}(t) & Q_{41}(t) & Q_{42}(t) & Q_{43}(t) & Q_{44}(t) \end{bmatrix}$$

Adapun langkah lebih lanjut terkait transformatif alokasi dari persamaan selanjutnya didapatkan :
 Probabilitas transisi dari i ke j

$$[\pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4 \ \pi_5] \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & Q_{14} & Q_{15} \\ 0 & Q_{22} & Q_{23} & Q_{24} & Q_{25} \\ 0 & 1 & Q_{33} & Q_{34} & Q_{35} \\ 0 & 0 & 1 & Q_{44} & Q_{45} \\ Q_{51} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \pi_1 \ \pi_2 \ \pi_3 \ \pi_4 \ \pi_5$$

Dengan pendefinisian : $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 = 1$, [18] dimana hasil definisi nilai didapatkan persamaan sebagai berikut :

- Nilai dari : $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 = 1$
- Nilai dari : $Q_{11} \cdot \pi_1 + 0 + 0 + 0 + P_{51} = \pi_1$
- Nilai dari : $Q_{12} \cdot \pi_1 + Q_{22} \cdot \pi_2 + 1 + 0 + 0 = \pi_2$
- Nilai dari : $Q_{13} \cdot \pi_1 + Q_{23} \cdot \pi_2 + Q_{33} \cdot \pi_3 + 1 + 0 = \pi_3$
- Nilai dari : $Q_{14} \cdot \pi_1 + Q_{24} \cdot \pi_2 + Q_{34} \cdot \pi_3 + Q_{44} \cdot \pi_4 + 0 = \pi_4$
- Nilai dari : $Q_{15} \cdot \pi_1 + Q_{25} \cdot \pi_2 + Q_{35} \cdot \pi_3 + Q_{45} \cdot \pi_4 + 0 = \pi_5$

C. Perkiraan Pengeluaran

pada menentukan porto pemeliharaan disini mencakup preventif maintenance serta juga corrective maintenance yg dilakukan saat mesin tidak beroperasi dan hanya menitikberatkan biaya di ketika downtime.

D. Pengeluaran Down Time

Pengeluaran dari hasil kinerja mesin yang tidak berfungsi seperti saat down

E. Pengeluaran pada perawatan mesin

C_{1i} = Average Maintenance Time

F. Pencegahan x Pengeluaran Downtime

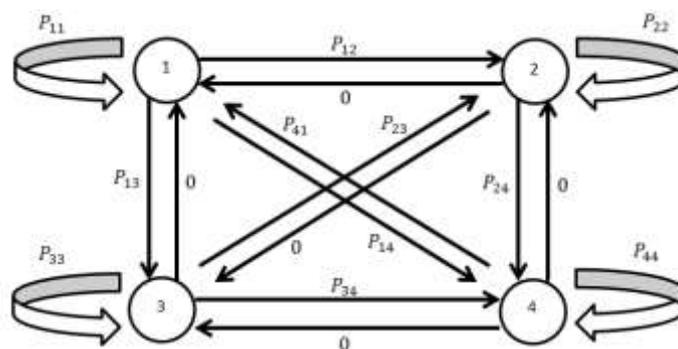
Perlunya pemeliharaan secara berkala dimana pengeluaran pada perawatan ini disimbolkan nilai C_{2i} pada setiap item-i maka dapat dinyatakan C_{2i} = Waktu rata-rata pemeliharaan perbaikan x perawatan *downtime*

G. Pengeluaran Cost Average

Pada kasus penilaian mesin secara downtime serta pencegahan pada mesin yang kurang menguntungkan didapatkan biaya pengeluaran yang disimbolkan $E(C)$.

H. Fungsi Premi asuransi

Fungsi dalam rangka pengembalian status dari kerusakan dan diharapkan penemuan terbaru dengan pemberian solusi alternatif dalam rangka peningkatan nilai sesuai dengan kondisi barang awal bisa dijelaskan pada Gambar 1 yaitu perpindahan *state* $P=Q$.



Gambar 1. Perpindahan State

Analisis perhitungan probabilitas perpindahan tiap variabel (), menggunakan perhitungan sederhana dan masih umum dengan nilai peluang bersyarat [19] pada ketentuan :

$$\mu = \begin{bmatrix} 1/\mu_{00} & 1/\mu_{01} & 1/\mu_{02} & 1/\mu_{03} & 1/\mu_{04} \\ 1/\mu_{10} & 1/\mu_{11} & 1/\mu_{12} & 1/\mu_{13} & 1/\mu_{14} \\ 1/\mu_{20} & 1/\mu_{21} & 1/\mu_{22} & 1/\mu_{23} & 1/\mu_{24} \\ 1/\mu_{30} & 1/\mu_{31} & 1/\mu_{32} & 1/\mu_{33} & 1/\mu_{34} \\ 1/\mu_{40} & 1/\mu_{41} & 1/\mu_{42} & 1/\mu_{43} & 1/\mu_{44} \end{bmatrix}$$



$$\mu_{ij}(t) = \lim_{t \rightarrow u} P_{ij} \frac{1}{\mu \cdot t} \frac{(t,u) - (\delta_{ij})}{\mu \cdot t} \text{ dengan } \delta_{ij} \text{ kronecker delta [20] dengan } \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (8)$$

implementasi solusi terbaik dalam optimalisasi peluang transisi dengan matriks infinitesimal generator (matriks pembuatan), yaitu mengarahkan matriks diagonal (D), matriks vektor *eigen* (A), dan *invers* dari matriks A (C) didapatkan rincian:

$$P_{ij}(t) = \sum_k^4 a_{ik} c_{kj} e^{d_k t} \quad (9)$$

Implementasi densitas dari variabel acak() dengan:

$$f_{T(x)}(t) = P_{ij}(t) \mu_{ij} \quad (10)$$

Lanjut dengan perhitungan premi bersih sehingga mendapatkan:

$$\bar{A}_{x:\overline{m}|} = \sum_{k=0}^4 \frac{1}{(\delta - d_k)} (1 - e^{-(\delta - d_k)m}) a_{ik} c_{kj} \mu_{ij} \quad (11)$$

- a) Analisis biaya
- b) Biaya *downtime*
- c) Biaya penyelenggaraan *preventive maintenance*
- d) Pencegahan x biaya *downtime*

I. Proses Skokastik

Proses stokastik $X=\{X(t),t \in T\}$ adalah suatu koleksi (gugus, himpunan, atau kumpulan) dari peubah acak yang memetakan suatu ruang contoh (*sample space*) S. Untuk setiap t pada gugus (himpunan) indeks T, $X(t)$ adalah suatu peubah acak. Dimana t sebagai waktu (meskipun dalam berbagai penerapannya t tidak selalu menyatakan waktu), dan $X(t)$ sebagai *state* (keadaan) dari proses pada waktu t [21]. Jadi analisis ini bukan suatu teknik optimasi melainkan suatu teknik deskriptif[22]. Jika pada waktu t proses stokastik $\{Xt, t=0,1,\dots\}$ berada pada *state* i , maka kita tuliskan kejadian ini sebagai $Xt=i$. Terdapat suatu peluang tetap P_{ij} yang bersifat bebas terhadap waktu maka berlaku. $P\{Xt=1=j|X0=i, \dots, Xt-1=it-1, Xt=i\}=p\{Xt+1=j|Xt=i\}$ [23], Dengan $i = \text{state ke- } i; j = \text{state ke- } j, t = \text{waktu } i0, \dots, it-1, i, j \text{ dan semua } t \geq 0$ [24]

J. Peluang Transisi n-step

Jika sebuah rantai *markov* $\{Xt, t=0,1,2,\dots\}$ dengan ruang *state* $\{0,1,\dots,M\}$, maka peluang sistem itu dalam *state* i pada suatu *state* j pada pengamatan sebelumnya dilambangkan dengan **P** pada peluang transisi *n-step* $P_{ij}(n)$ adalah peluang bersyarat suatu sistem yang berada pada *state* i akan berada pada *state* j setelah proses mengalami n transisi[14]. Jadi, $P_{ij}(n)=Xn=j|X0=i, i, j \in \{0,1,2,\dots\}$ Untuk setiap $n=1,2,\dots$ Tentunya $P_{ij}(1)=Pi,j$. Nilai pi,j diatas menyatakan bahwa, jika proses tersebut berada pada *state* i [25], maka berikutnya akan beralih ke *state* j . Karena nilai peluang adalah tak negatif dan karena proses tersebut harus mengalami transisi ke suatu *state*, maka:

i. $Pi,j \geq 0$, untuk semua $i, j \in \{0,1,2,\dots\}$ (12)

ii. $\sum pi,j \infty j=0=1$, untuk semua $i \in \{0,1,2,\dots\}$ (13)

K. Persamaan Chapman-Kolmogorov

Persamaan *Chapman-Kolmogorov* merupakan sebuah metode untuk menghitung peluang transisi dalam *n-step*. Persamaan *Chapman-Kolmogorov* memberikan metode untuk menentukan transisi *n-step*.

$$P_{ij}(n) = \sum P_{ik}(m) M_{kj}(n-m) \quad (14)$$

L. Vektor Keadaan (State Vector)

State atau keadaan pada rantai *markov* yang ditulis dalam bentuk vektor yang dinamakan vektor *state* (*state vector*). Vektor *state* untuk sebuah pengamatan pada suatu rantai *markov* dengan $X(t)$ *state* adalah vektor baris x , dapat dituliskan

$x=[x1,x2,\dots,xi]$. Jika **P** merupakan matriks transisi rantai *markov* dan $x(n)$ adalah vektor *state* pada pengamatan ke- n , maka $x(n)=Pn x0$, dimana $x0$ merupakan matriks kejadian $x=[x1,x2,\dots,xi]$ (15)



Tabel 2. Data Komponen Berat Kerusakan Komponen Mesin Spiral

No	Komponen Kerusakan <i>Spiral Pipe Machine</i>	<i>Downtime</i> Jam /Bulan (2021)	<i>Downtime</i> Jam /Bulan (2022)	<i>Persentase</i> %
1	Hidrolis	72.85	78,9	7.66%
2	Sistem Kontrol	12.61	25.80	51.12%
3	<i>Trafo Welding</i>	17.84	19.71	9.49%
4	Bongkar <i>Roll Hold Down</i>	72.61	83.72	13.27%
5	<i>WireFeeder</i>	38.84	40.44	3.96%
6	<i>Cutting Plasma</i>	17.34	34.62	49.91%
7	Elektro Macet	69.19	78.90	12.30%
8	Motor / <i>Gearbox Milling</i>	88.16	91.23	3.36%
9	<i>Conveyor Milling</i>	27.34	33.18	17.60%
10	Sikat <i>Gram Milling</i>	61.17	82.5	25.85%
	Total <i>Downtime</i>	477.95	569	-

M. Peluang *Steady State*

proses *markov* akan menuju *steady state* (keseimbangan) artinya setelah proses berjalan beberapa periode, peluang status akan selalu tetap. Analisis rantai *markov* saat ini banyak dikembangkan juga dalam bentuk model *markov* tersembunyi (HMM). Peluang peralihan di masa depan yang tidak bergantung pada keadaan awal. Dimana peluang ini adalah peluang peralihan yang sudah mencapai keseimbangan sehingga tidak akan berubah terhadap perubahan waktu yang terjadi. Prinsip ini digunakan untuk mengamati berapa *state* untuk menuju titik seimbang. Sehingga didapat n-langkah yang akan menjadi *steady state*[26]. Syarat-syarat *steady state* adalah distribusi stasioner, bersifat ergodik, dan *interlinked property of state*[27]

Berdasarkan metodologi penelitian, langkah-langkah aplikasi rantai *Markov* antara lain:

1. Dapat menampilkan dan menggunakan data awal (data yang sudah ada).
2. Pembentukan interval dan *state*, menentukan probabilitas *state* dan probabilitas transisi, dan menulis *state* matriks probabilitas transisi dengan tranfer *state*.
3. Melakukan simulasi dan menganalisis hasil dari simulasi.

Hasil Dan Pembahasan

Pengumpulan data pada total waktu pada setiap komponen berat yang mengalami kerusakan pada mesin *spiral* pada tahun 2021 dan tahun 2022 dapat dilihat dengan adanya kenaikan persentase jumlah kerusakan mesin, perlunya identifikasi dalam setiap komponen mesin untuk melihat tingkat kerusakan pada mesin spiral tersebut.

A. Jumlah Komponen Kerusakan Mesin

Tabel 3. Data jumlah komponen kerusakan mesin

No	Type Komponen	Jumlah
1	Hidrolis	3
2	Sistem Kontrol	4
3	<i>Trafo Welding</i>	4
4	Bongkar <i>Roll Hold Down</i>	1
5	<i>Wire Feeder</i>	2
6	<i>Cutting Plasma</i>	2
7	Elektro Macet	6
8	Motor / <i>Gearbox Milling</i>	5
9	<i>Conveyor Milling</i>	8
10	Sikat <i>Gram Milling</i>	3

B. Data Waktu Pemeliharaan *Preventif*

Data waktu pemeliharaan pada komponen mesin setiap bulan.

Tabel 4. Data Waktu Pemeliharaan *Preventive*

No	Mesin	Jumlah	Waktu	Total Waktu	Total waktu	Total Waktu
(1)	(2)	(3)	Mesin	Mesin / Bulan (5)	(Jam/bulan)	(Jam/tahun)



(4)						
1	Hidrolis	3	24.28	72.85	1.21	14.52
2	Sistem Kontrol	4	3.15	12.61	0.21	2.52
3	Trafo Welding	4	4.46	17.84	0.29	3.48
4	Bongkar Roll Hold Down	1	72.61	72.61	1.21	14.52
5	Wirefeeder	2	19.42	38.84	0.64	7.68
6	Cutting Plasma	2	8.67	17.34	0.28	3.36
7	Elektrode Macet	6	11.53	69.19	1.15	13.80
8	Motor / Gearbox Milling	5	17.63	88.16	1.46	17.52
9	Conveyor Milling	8	3.41	27.34	0.45	5.40
10	Sikat Gram Milling	3	20.39	61.17	1.01	12.12

C. Data Biaya Downtime

Berikut disampaikan data biaya perbaikan pemeliharaan pada perusahaan yaitu biaya *downtime* yang perlu dianalisa lebih lanjut sehingga menghasilkan nilai optimalisasi data[28] yang diperlukan dalam rangka memberikan penilaian yang ada.

Tabel 5. Data Biaya Downtime

No	Komponen mesin	Jumlah	Biaya <i>down time</i> /jam	Total Biaya <i>Downtime</i>
1	Hidrolis	3	Rp.2.432.000	Rp.7.296.600
2	Sistem Kontrol	4	Rp.12.712.000	Rp.50.848.000
3	Trafo Welding	4	Rp.1.268.730	Rp.5.074.920
4	Bongkar Roll Hold Down	1	Rp.4.711.600	Rp. 4.711.600
5	Wirefeeder	2	Rp.1.430.000	Rp.2.860.000
6	Cutting Plasma	2	Rp.3.424.300	Rp.6.848.600
7	Elektrode Macet	6	Rp.3.568.200	Rp.21.409.200
8	Motor / Gearbox Milling	5	Rp.8.331.000	Rp.41.655.000
9	Conveyor Milling	8	Rp.2.480.152	Rp.19.841216
10	Sikat Gram Milling	3	Rp.936.000	Rp.2.808.000

D. Pengolahan Data

Untuk menentukan peluang status akan ditentukan terlebih dahulu besarnya probabilitas transisi yang dapat dihitung berdasarkan proporsi jumlah masing masing status yang dialami[29], untuk selanjutnya dibuat matriks awal yang merupakan pemelhraan yang dilaksanakan perusahaan. Berikut diuraikan hasil awal matrik berdasarkan tabel probabilitas transisi komponen mesin type A hingga J maka didapatkan nilai probabilitas dari kondisi komponen type A hingga J[7,]. Berdasarkan tabel probabilitas transisi pada komponen mesin maka didapatkan nilai probabilitas dari kondisi semua komponen mesin *spiral* dengan klasifikasi komponen mesin *spiral pipe* dengan pengklasifikasian sebagai berikut:

Tabel 6. Data Transisi Status Mesin Spiral.

A	Kondisi Baik ke Baik
B	Kondisi Baik ke Ringan
C	Kondisi Baik ke Sedang
D	Kondisi Baik ke Berat
E	Kondisi Ringan ke Ringan
F	Kondisi Ringan ke Sedang
G	Kondisi Ringan ke Berat
H	Kondisi Sedang ke Sedang
I	Kondisi Sedang ke Berat
J	Kondisi Berat ke Baik

Selanjutnya pengimplementasian transisi status:

Tabel 7. Transisi Status

Bulan/ Tahun	Transisi Status									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Januari	1	0	0	0	0	3	*	*	2	1
Februari	0	0	0	*	*	*	*	*	*	1
Maret	0	0	0	0	*	0	*	4	*	*
April	0	0	0	*	2	*	1	*	0	*

Mei	1	0	0	1	*	*	0	*	0	*
Juni	0	0	0	0	*	*	1	0	0	*
Juli	0	0	2	0	*	*	2	0	5	*
Agustus	0	2	1	0	*	*	*	1	0	0
September	1	1	1	0	*	2	*	0	0	0
Oktober	0	0	*	0	*	*	1	0	1	0
November	0	1	*	0	*	*	0	*	0	0
Desember	0	1	*	0	*	1	1	1	0	0

Kondisi Baik

1. Kondisi Baik ke Baik = 0,818
2. Kondisi Baik ke Ringan = 0,081
3. Kondisi Baik ke Sedang = 0,01
4. Kondisi Baik ke Berat = 0,056

Kondisi Rusak Ringan

1. Kondisi Ringan ke Ringan = 0,216
2. Kondisi Ringan Ke Sedang = 0,041
3. Kondisi Ringan ke Berat = 0,013

Kondisi Rusak Sedang

1. Kondisi Sedang ke sedang= 0,333
2. Kondisi Sedang ke Berat = 0,25

Kondisi Rusak Berat

1. Kondisi Berat ke Berat= 0,38

Tabel 8. Output Matrik Komponen Mesin Spiral

J I	1 (j)	2(j)	3(j)	4(j)
	Baik	Ringan	Sedang	Berat
Baik	0	0	1	0
Ringan	0,63	0,25	0	0,12
Sedang	0	1	0	0
Berat	1	0	0	0

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[30] juga bisa dilakukan. Status dan kondisi kerusakan (status 1 adalah kondisi baik, status 2 adalah kondisi rusak ringan, status 3 kondisi rusak sedang, dan status 4 adalah kondisi rusak berat)[31]

Tabel 9. Status Tindakan dan Kategori Policy

Keputusan	Tindakan yang dilakukan	Policy	Keterangan	d ₁ (P)	d ₂ (P)	d ₃ (P)	d ₄ (P)
1	Tidak dilakukan tindakan	P ₀	Pemeliharaan korektif pada status 4	1	1	1	3
2	Dilakukan pemeliharaan pencegahan (sistem kembali ke status sebelumnya)	P ₁	Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3	1	1	2	3
3	Pemeliharaan korektif (sistem kembali ke status 1)	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, serta pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3	1	2	2	3
		P ₄	Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4	1	1	3	3

Probabilitas status kerusakan mesin secara keseluruhan menggunakan persamaan linear, diperoleh probabilitas setiap status sebagai berikut: X₁= 0,08; X₂= 0,67; X₃= 0,17; X₄= 0,08 dengan ekspektasi



biaya perawatan dari probabilitas setiap status yang telah diperoleh, kemudian ditentukan estimasi biaya perawatan yang didapatkan dengan acuan biaya ekspektasi paling minimum pada status biaya perawatan dari total komponen mesin

$$\begin{array}{r}
 \text{Rp.0} \\
 \text{Rp.50.848.000} \\
 \text{Rp.65.074.920} \\
 \text{Rp.90.870.530} \\
 \hline
 [0,8 \ 0,67 \ 0,17 \ 0,08] \text{ Rp.206.793.450}
 \end{array}$$

Biaya ekspektasi paling minimum dari tiap komponen mesin diperoleh hasil berikut:

$$[0,8 \ 0,67 \ 0,17 \ 0,08] \cdot \begin{bmatrix} 0,087 \\ 0,115 \\ 0,065 \\ 0,182 \\ 0,079 \\ 0,158 \\ 0,072 \\ 0,117 \\ 0,052 \\ 0,073 \end{bmatrix} = \text{Rp. 174.707.874} \cdot \begin{bmatrix} \text{Rp. 14211723} \\ \text{Rp. 18785611} \\ \text{Rp. 10617954} \\ \text{Rp. 29730272} \\ \text{Rp. 12904898} \\ \text{Rp. 25809797} \\ \text{Rp. 11761426} \\ \text{Rp. 19112318} \\ \text{Rp. 8494363} \\ \text{Rp. 11924779} \end{bmatrix}$$

Sehingga ekspektasi biaya perawatan pada komponen-komponen mesin spiral pada usulan kebijakan 1 adalah sebesar Rp. 174.707.874 dan dapat di transformasikan pada tiap komponen mesin spiral.

Enumerasi Sempurna

Pada keputusan mempunyai sebuah *S Stationary Policy* , bahwa nilai P (Probabilitas) dan R adalah matriks transisi (satu langkah)[32] dan matriks pendapatan yang berkaitan dengan *policy* ke- k[33] , dengan $S = 1,2,3,\dots,m$, S. dengan langkah enumerasi dengan penentuan harga V_i^s yang merupakan satu langkah pada *state* $I = 1,2,3,\dots,m$, dan dilanjutkan dengan nilai :

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0,63 & 0,25 & 0,12 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} 7 & 6 & 3 \\ 0 & 5 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Sehingga nilai V_i^k :

Tabel 10. Status Kerusakan Mesin Spiral

Stationary Policy	V_i^s			Berdasarkan kondisi kerusakan mesin spiral			
	1	2	3	π_1^s	π_2^s	π_3^s	E^s
1	0	0	3	0	0	1	3
2	0	1,25	0,12	$\frac{6}{59}$	$\frac{31}{59}$	$\frac{22}{59}$	0,071
3	0	0	-1	0	0	1	-1
4	0	1,25	-1	0	0	1	-1
5	0	0	0,12	$\frac{5}{154}$	$\frac{69}{154}$	$\frac{80}{154}$	0,06
6	1	1,25	0,3	$\frac{6}{59}$	0	1	3,10
7	0	0	0,12	$\frac{5}{137}$	$\frac{62}{137}$	$\frac{70}{137}$	0,061
8	0	1,25	0,12	$\frac{12}{135}$	$\frac{69}{135}$	$\frac{54}{135}$	0,69

Perhitungan probabilitas *stationary policy* nya digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\pi^s \cdot P^s = \pi^s \tag{16}$$

$$\pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_n = 1 \tag{17}$$

Pada hasil diatas dapat diketahui bahwa nilai enumerasi untuk solusi optimum terbaik yang direkomendasikan terhadap kondisi kerusakan menggunakan solusi nomer 6 menuju *state* 7 yaitu solusi optimum yang paling berpengaruh terjadi pada mesin *cutting plasma* yang perlu dilakukan perubahan. Pada pengujian *markov chain* tiap komponen didapatkan nilai probabilitas perencanaan pemeliharaan fasilitas sepuluh komponen mesin produksi berdasarkan kegiatan pemeliharaan (P), status kerusakan () p1 dan probabilitas transisi dalam keadaan *steady state* (mapan) [34] untuk masing-masing komponen, yaitu:



Tabel 11. Biaya Perawatan dan Probabilitas Transisi Komponen Mesin Spiral

No	Komponen mesin	Biaya perawatan					Probabilitas Transisi					
		P1	P2	P3	P4	Biaya	P1	P2	P3	P4	Biaya	
1	Hidrolis	P1	0,536	0,107	0,236	0,121	28133511	0,768	0,148	0,058	0,026	12878711
		P2	0,702	0,114	0,158	0,026	18273685	0,381	0,212	0,318	0,089	39489579
		P3	0,529	0,081	0,078	0,312	38396685	0,112	0,129	0,265	0,494	70552363
		P4	0,447	0,113	0,342	0,098	33.269071	0,114	0,054	0,321	0,511	72749422
2	Sistem Kontrol	P1	0,452	0,117	0,356	0,232	51499825	0,118	0,431	0,120	0,331	58293569
		P2	0,322	0,104	0,417	0,157	48032182	0,187	0,356	0,111	0,346	55834108
		P3	0,408	0,128	0,432	0,032	38281274	0,435	0,098	0,157	0,310	44375910
		P4	0,213	0,321	0,390	0,076	47945929	0,032	0,084	0,123	0,761	84095242
3	Trafo Welding	P1	0,525	0,123	0,236	0,116	32539658	0,115	0,123	0,671	0,091	60071338
		P2	0,289	0,435	0,124	0,152	41808943	0,221	0,231	0,128	0,042	22810903
		P3	0,457	0,157	0,030	0,356	40503737	0,081	0,078	0,312	0,529	74876841
		P4	0,435	0,032	0,435	0,098	40558374	0,113	0,342	0,098	0,447	63886728
4	Bongkar Roll Hold Down	P1	0,089	0,381	0,212	0,318	61213472	0,081	0,078	0,312	0,471	69390041
		P2	0,494	0,112	0,129	0,265	38803042	0,113	0,342	0,098	0,533	72022328
		P3	0,300	0,157	0,187	0,356	57507531	0,356	0,134	0,191	0,681	83374018
		P4	0,435	0,032	0,435	0,098	40558374	0,452	0,112	0,078	0,642	70962114
5	Wirefeeder	P1	0,511	0,113	0,231	0,145	34504764	0,134	0,218	0,227	0,421	64903324
		P2	0,090	0,432	0,157	0,321	59933970	0,321	0,234	0,400	0,045	41919115
		P3	0,032	0,321	0,061	0,586	73580417	0,044	0,435	0,120	0,401	65089431
		P4	0,043	0,071	0,576	0,310	71999375	0,096	0,543	0,099	0,262	55191011
6	Cutting Plasma	P1	0,076	0,123	0,390	0,411	71030770	0,901	0,021	0,303	0,075	28832358
		P2	0,087	0,056	0,076	0,781	81539993	0,453	0,098	0,122	0,327	43578630
		P3	0,080	0,165	0,564	0,056	51231991	0,761	0,065	0,108	0,066	16491478
		P4	0,032	0,061	0,632	0,518	95090288	0,076	0,032	0,302	0,590	77960750
7	Elektrode Macet	P1	0,450	0,231	0,145	0,134	32682479	0,543	0,157	0,187	0,356	55353812
		P2	0,301	0,057	0,321	0,321	54905819	0,565	0,032	0,435	0,098	40558374
		P3	0,393	0,098	0,452	0,435	76475670	0,489	0,113	0,231	0,145	34504764
		P4	0,239	0,145	0,134	0,231	37364642	0,081	0,432	0,057	0,321	53061170
8	Motor-Gearbox Milling	P1	0,435	0,098	0,452	0,356	69002270	0,356	0,134	0,851	0,361	98462498
		P2	0,623	0,145	0,134	0,098	24782842	0,452	0,112	0,637	0,073	55553666
		P3	0,213	0,321	0,321	0,145	49731097	0,134	0,218	0,430	0,078	46407308
		P4	0,761	0,082	0,044	0,113	17277999	0,231	0,145	0,134	0,510	63758042
9	Conveyor Milling	P1	0,400	0,321	0,145	0,134	36594369	0,218	0,321	0,076	0,615	77354737
		P2	0,611	0,044	0,113	0,232	31625944	0,145	0,044	0,087	0,276	34001416
		P3	0,625	0,321	0,321	0,021	38000697	0,028	0,114	0,218	0,360	53993765
		P4	0,015	0,452	0,435	0,098	58813863	0,011	0,019	0,081	0,111	16893412
10	Sikat Gram Milling	P1	0,114	0,753	0,016	0,117	44897332	0,232	0,022	0,021	0,275	28414528
		P2	0,696	0,056	0,032	0,216	25066961	0,115	0,033	0,157	0,695	77971656
		P3	0,132	0,549	0,054	0,265	52642844	0,021	0,019	0,453	0,493	78597428
		P4	0,043	0,462	0,064	0,431	65252230	0,011	0,065	0,021	0,097	13444742

Komponen *Hidrolis* : Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1=0,536$; $\pi_2 = 0,107$; $\pi_3 = 0,236$; $\pi_4 =0,121$ dan setelah dianalisa maka dipilih P1 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,748$; $\pi_2= 0,148$; $\pi_3= 0,058$; $\pi_4 =0,026$. Pada Sistem Control : Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1= 0,435$; $\pi_2 =0,098$; $\pi_3 =0,157$; $\pi_4 =0,310$; dan setelah dianalisa



maka dipilih P3 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,428$ $\pi_2 = 0,128$; $\pi_3 = 0,432$ $\pi_4 = 0,032$; *Trafo Welding*: Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1 = 0,525$; $\pi_2 = 0,123$; $\pi_3 = 0,236$; $\pi_4 = 0,116$ dan setelah dianalisa maka dipilih P2 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,221$ $\pi_2 = 0,231$; $\pi_3 = 0,128$; $\pi_4 = 0,042$; Bongkar *Roll Hold Down*: Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1 = 0,081$; $\pi_2 = 0,078$; $\pi_3 = 0,312$; $\pi_4 = 0,471$ dan setelah dianalisa maka dipilih P2 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,494$; $\pi_2 = 0,112$; $\pi_3 = 0,129$; $\pi_4 = 0,265$; *Wirefeeder*: Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1 = 0,321$; $\pi_2 = 0,234$; $\pi_3 = 0,400$; $\pi_4 = 0,045$; dan setelah dianalisa maka dipilih P1 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,511$; $\pi_2 = 0,113$; $\pi_3 = 0,231$; $\pi_4 = 0,145$; *Cutting Plasma*: Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1 = 0,080$; $\pi_2 = 0,165$; $\pi_3 = 0,564$; $\pi_4 = 0,056$; dan setelah dianalisa maka dipilih P3 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,761$; $\pi_2 = 0,065$; $\pi_3 = 0,108$; $\pi_4 = 0,066$; *Elektrode macet*: Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1 = 0,450$; $\pi_2 = 0,231$; $\pi_3 = 0,145$; $\pi_4 = 0,134$ dan setelah dianalisa maka dipilih P3 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,489$; $\pi_2 = 0,113$; $\pi_3 = 0,231$; $\pi_4 = 0,145$; *Motor/gearBox milling*: Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1 = 0,761$; $\pi_2 = 0,082$; $\pi_3 = 0,044$; $\pi_4 = 0,113$; dan setelah dianalisa maka dipilih P3 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,134$; $\pi_2 = 0,218$; $\pi_3 = 0,430$; $\pi_4 = 0,078$. *Conveyor Milling*: Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1 = 0,611$; $\pi_2 = 0,044$; $\pi_3 = 0,113$; $\pi_4 = 0,232$ dan setelah dianalisa maka dipilih P4 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,011$; $\pi_2 = 0,019$; $\pi_3 = 0,081$; $\pi_4 = 0,111$. Sikat *Gram Milling*: Untuk pemeliharaan awal atau yang dilakukan perusahaan nilai $\pi_1 = 0,696$; $\pi_2 = 0,056$; $\pi_3 = 0,032$; $\pi_4 = 0,216$ dan setelah dianalisa maka dipilih P4 hasil probabilitas $\pi_1 = 0,011$; $\pi_2 = 0,065$; $\pi_3 = 0,021$; $\pi_4 = 0,097$.

Simpulan

Biaya awal perawatan perusahaan pada mesin spiral Rp.206.793.450 dan didapatkan perawatan usulan 1 sebesar Rp.174.707.874, sehingga menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp.32.085.576. atau dalam persentase sebesar 15,52% dibanding biaya perawatan awal. Pada biaya perawatan usulan 2 sebesar Rp.177.020.697, sehingga menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp.29.772.753 atau dalam persentase sebesar 14,40% dibanding biaya perawatan awal. Sedangkan biaya perawatan usulan 3 sebesar Rp.168.493.139, sehingga menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp.38.300.311. atau dalam persentase sebesar 18,52% dibanding biaya perawatan awal. Implementasi yang didapat dari perhitungan metode *markov chain* pada perawatan mesin spiral yang diusulkan paling minimum menggunakan kebijakan perawatan usulan 3 dengan pemeliharaan pencegahan pada status ringan dan pemeliharaan korektif pada status sedang dan berat, dengan melakukan *overhaul* pada *state 1* atau 2 dalam *stationary policy S* ke 6.

Daftar Pustaka

- [1] A. Z. Arsyad, Muhammad ; Sultan, *Manajemen Perawatan*. Yogyakarta: CV Budi Utama, 2018.
- [2] G. C. Firmansyah, A. S. Herlambang, and W. Sumarmi, "Peran Sirkular Sampah Produk Untuk Meningkatkan Produktivitas Usaha Masyarakat Desa Bagorejo," *J. Pemberdaya. Masy.*, vol. 9, no. 2, p. 172, Dec. 2021, doi: 10.37064/jpm.v9i2.9769.
- [3] G. C. F. Candra, "Analisis Produktivitas Styrofoam Di Masa Pandemi Covid-19 Menggunakan Metode Cobb Douglas Di PT KCS," *Ind. Inov. J. Tek. Ind.*, vol. 11, no. 2, pp. 123–132, Sep. 2021, doi: 10.36040/industri.v11i2.3694.
- [4] A. Sudrajat, *Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*. Bandung: Retika Aditama, 2011.
- [5] S. A. Pratama, B. I. Putra, T. Industri, F. Sains, and U. M. Sidoarjo, "Analysis Of Machine Maintenance Using *Markov*," pp. 208–214, 2022.
- [6] A & D. Ni'mah, "Penerapan Preventive Maintenance Untuk Meningkatkan Kinerja Fasilitas Praktikum Laboratorium Prodi Pendidikan Teknik Mesin Undara," *J. Teknol.*, no. January 2015, pp. 1693–9522, 2015.
- [7] U. Nurhasan, A. Dyah Fatmawati, and B. Harijanto, "Implementasi Metode Fuzzy Time Series *Markov Chain* untuk Prediksi Harga Telur Puyuh," *Inform. Mulawarman J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 16, no. 2, p. 80, Oct. 2021, doi: 10.30872/jim.v16i2.5251.
- [8] Rr.Rochmoeljati, "Perencanaan Perawatan Mesin Menggunakan Metode *Markov Chain* Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan," *J. Prodi Tek. Ind. FTI-UPNV Jatim*, pp. 63–74, 2012.
- [9] A. Candra, "Perencanaan Analisa Pemeliharaan Mesin Menggunakan Pendekatan *Markov Chain* Di PT. Cardsindo Tiga Perkasa," *JITMI (Jurnal Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.32493/jitmi.v3i1.y2020.p1-6.

- [10] J. F. Andry, "Implementasi Penerapan *Markov* Chain Pada Database Marketing Studi Kasus Pelanggan E-Commerce," *J. Syarikah*, vol. 5, no. 1, pp. 94–108, 2015.
- [11] S. Ross, *Introduction To Probability Models 9th Edition*. San Diego: Hartcourt Academic Press, 2016.
- [12] P. Optimasi, P. Produk, and F. Dan, "Jurnal PASTI Volume X No 3, 320 - 341 Perencanaan Optimasi Produksi Produk Freezer Dan Showcase Di PT FPS Jasan Supratman," vol. X, no. 3, pp. 320–341, 2014.
- [13] I. Irdianto and S. Suhartini, "Penggunaan Metode *Markov* Chain Dalam Penjadwalan Perawatan mesin Untuk Meminimalkan Biaya Kerusakan Mesin Dan Perawatan ...," *JISO J. Ind. ...*, vol. 2, no. September 2017, pp. 11–17, 2019, [Online]. Available: <https://e-journal.umaha.ac.id/index.php/jiso/article/view/430>.
- [14] F. N. Masuku, Y. A. R. Langi, and C. Mongi, "Analisis Rantai *Markov* Untuk Memprediksi Perpindahan Konsumen Maskapai Penerbangan Rute Manado-Jakarta Analysis of *Markov* Chain To Predict Consumer Movement of Airline Route Manado-Jakarta," *Ilm. Sains*, vol. 18, no. 2, pp. 1–5, 2018.
- [15] H. A. Taha, *Operations Research: An Introduction*. America: Prentice-Hall, 2002.
- [16] M. Muchlasin, "Analisis Kinerja Mesin Spiral Pipe Machine (SPM) Produksi Pipa Baja AWWA C 200 Dengan Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dan Fault Three Analysis (FTA) di PT. Indal Steel Pipe," *Eprints Univ. Muhammadiyah Gresik*, vol. 5, no. 3, pp. 248–253, 2020.
- [17] Sudjana, *Metode Statistik*, vi. Bandung: Tarsito, 2005.
- [18] T. I. Kusanti, Jani ; Tjendrowarsono, "Metode *Markov* Chain Untuk Prediksi Probing Terhadap Kinerja Promotor Pada Penjualan Oppo," *Infotekmesin*, vol. 11, no. 02, pp. 22–34, 2020.
- [19] M. N. Andriani, F. Firdaniza, and I. Irianingsih, "Reliabilitas Suatu Mesin Menggunakan Rantai *Markov* (Studi Kasus: Mesin Proofer Di Pabrik Roti Super Jam Banten)," *J. Mat. Integr.*, vol. 13, no. 1, p. 43, 2017, doi: 10.24198/jmi.v13i1.11414.
- [20] I. Kasse, D. Didiharyono, and M. Maulidina, "Metode *Markov* Chain untuk Menghitung Premi Asuransi pada Pasien Penderita Penyakit Demam Berdarah Dengue," *Al-Khwarizmi J. Pendidik. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 7, no. 2, pp. 151–160, 2020, doi: 10.24256/jpmipa.v7i2.1251.
- [21] F. Kurniawan, *Manajemen Perawatan Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [22] A. J. Hetzel, J. S. Liew, and K. E. Morrison, "The Probability that a Matrix of Integers Is Diagonalizable," *Am. Math. Mon.*, vol. 114, no. 6, pp. 491–499, Jun. 2007, doi: 10.1080/00029890.2007.11920438.
- [23] R. Manzini, A. Regattieri, H. Pham, and E. Ferrari, *Maintenance for Industrial Systems*. London: Springer London, 2010.
- [24] R. Rochmoeljati, "Perencanaan Perawatan Mesin Menggunakan Metode *Markov* Chain Untuk Meminimumkan Biaya Perawatan," *Tekmapro*, vol. 8, no. 01, 2016, [Online]. Available: <http://www.ejournal.upnjatim.ac.id/index.php/tekmapro/article/view/561>.
- [25] Assauri Sofyan., *Manajemen produksi dan operasi*, 1st ed. Jakarta, 2004.
- [26] M. I. Anshori, Nachnul, Mustajib, *Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)*, 01 ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [27] L. Peng, L. Wen, L. Qiang, D. Yue, D. Min, and N. Y. Ying, "Research on Complexity Model of Important Product Traceability Efficiency Based on *Markov* Chain," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 166, pp. 456–462, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.02.065.
- [28] P. D. T. Y. Handayani, *Teknik Pemeliharaan Dan Perbaikan Sistem Elektronika*, Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar Dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional., 2018.
- [29] F. Kusuma, *Penjadwalan Perawatan Mesin Di Industri Menggunakan Metode Markov Chain*. 2018.
- [30] I. B. O. Ria, E. Nursanti, and H. Galuh, "Perencanaan Pemeliharaan Mesin Boiler Feed Pump Menggunakan Metode *Markov* Chain (Studi Kasus : PT.PJB Service Bolok, Kupang, NTT)," vol. 4, no. 2, pp. 226–237, 2021.
- [31] M. Eartono' . Ilvas Mas'udin', "Perencanaan Perawatan Mesin Dengan Metode *Markov* Chain Guna Menurunkan Biaya Perawatan," *J. Tek. Ind.*, vol. 3, no. 02, pp. 173–184, 2022.
- [32] D. Haryadi, "Pengaruh Pemeliharaan Dan Pengendalian Kualitas Terhadap Tingkat Produk Gagal Di PT.Granesia (Studi Kasus Pada Divisi Produksi Buku Percetakan)," *Sosiohumanitas*, vol. 21, no. 2, pp. 166–175, 2020, doi: 10.36555/sosiohumanitas.v21i2.1306.
- [33] T. and A. D. Dimiyati, *Operations Research*. Bandung: Sinar Baru Algesindo, 1999.
- [34] R. Prasyayudha, S. Setyawidayat, and F. Hunaini, "Effectiveness of Minor Overhaul Elimination on Decreasing Cost of Production in Hydroelectric Power Plant," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 71–88, 2021, doi: 10.21070/jeeeu.v5i1.1228.