

ANALISIS APLIKASI MARKOV CHAIN GUNA MENGHEMAT BIAYA PEMELIHARAAN SARANA PRODUKSI

Sunyoto

Abstrak: Sarana produksi yang terlibat langsung dalam proses produksi akan mengalami penurunan kualitas seiring dengan berjalannya waktu pemakaian dan bahkan seringkali terjadi kerusakan pada saat sedang beroperasi. Oleh karena itu perlu diadakan kegiatan pemeliharaan terhadap sarana produksi untuk menjaga tingkat kesiapan sarana produksi yang menunjang kelancaran suatu proses produksi. Kegiatan pemeliharaan yang belum dilakukan secara optimal, berdampak pada kelangsungan proses produksi, serta menyebabkan meningkatnya biaya pemeliharaan. Untuk itu penulis perlu mengusulkan perencanaan pemeliharaan sarana produksi dengan menggunakan aplikasi Markov Chain. Ada empat usulan pemeliharaan yaitu: (1) Perencanaan pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan berat dan pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan sedang. (2) Perencanaan pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan sedang dan berat serta pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan. (3) Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan berat dan pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan dan sedang. (4) Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan sedang dan berat. Dari keempat usulan pemeliharaan tersebut dipilih perencanaan pemeliharaan dengan biaya terkecil. Total penghematan biaya yang terjadi sebesar 15.32% yang terdiri atas: Pompa Vertical Turbine sebesar 4,3%, Pompa Centrifugal sebesar 41,61%, Instalasi Listrik sebesar 14,72%, dan Genset sebesar 13,78%.

Kata kunci: markov chain, menghemat biaya, pemeliharaan sarana produksi

Masalah pemeliharaan merupakan hal penting yang perlu diperhatikan oleh perusahaan. Kurangnya perhatian perusahaan pada bidang pemeliharaan membuat kegiatan pemeliharaan menjadi kurang teratur dan pemeliharaan baru diingat setelah mesin-mesin dan peralatan yang dimiliki rusak dan tidak dapat berjalan sama sekali. Oleh karena itu kegiatan pemeliharaan harus dapat menjamin keberlangsungan proses selama produksi dan terhindar dari kemacetan-kemacetan yang disebabkan oleh sarana produksi yang pasti dapat menimbulkan kerugian-kerugian seperti buruh menganggur, produksi terhenti, biaya spare part atau komponen yang terdapat pada sarana produksi, dan kekecewaan konsumen.

Pemeliharaan sarana produksi yang baik berfungsi agar perusahaan tetap bekerja, produk dapat diproduksi dan diserahkan pada konsumen tepat pada waktunya, serta menjaga agar sarana produksi dapat bekerja secara efisien serta mengurangi kerusakan-kerusakan sekecil mungkin. Sehingga Kegiatan produksi pada suatu perusahaan terutama terkait kelancaran atau kemacetan produksi dan volume produksi sangat dipengaruhi oleh system pemeliharaan yang baik. Untuk itu dalam penelitian ini peneliti tertarik membuat perencanaan pemeliharaan sarana produksi yang optimal agar produksi tetap berjalan lancar dan perhitungan biaya pemeliharaan berdasarkan pada *down time* sarana produksi untuk mendapatkan biaya pemeliharaan yang lebih rendah dari sebelumnya (Suardika, 2009).

Pemeliharaan merupakan kegiatan memelihara atau menjaga fasilitas/peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan-perbaikan untuk mendapatkan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan (Assauri dalam Pudji dan Ilma, 2012). Dari pengertian di atas dapat diambil kesimpulan bahwa pemeliharaan adalah suatu kegiatan pemeliharaan mesin atau fasilitas sehingga mesin atau fasilitas dapat digunakan untuk menghasilkan produksi sesuai dengan rencana perusahaan. Menurut Sofyan Assauri dalam Martono dan Ilyas Mas'udin, (2002) Kegiatan pemeliharaan pada

suatu perusahaan dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Pemeliharaan Pencegahan

Pemeliharaan pencegahan merupakan kegiatan dengan maksud untuk mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan yang mengakibatkan kegiatan produksi terlambat. Dalam pemeliharaan ini terdapat penggolongan fasilitas produksi atau peralatan yang disebut "*Critical Unit*" yaitu :

- a. Kerusakan peralatan yang dapat merusak kesehatan dan membahayakan keselamatan para pekerja.
- b. Kerusakan peralatan yang dapat mempengaruhi kualitas produksi.
- c. Kerusakan peralatan yang dapat menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
- d. Modal atau harga dari peralatan cukup mahal atau besar.

2. Pemeliharaan Korektif

Pemeliharaan korektif atau perbaikan merupakan kegiatan pemeliharaan/perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan fasilitas produksi. Pemeliharaan yang termasuk dalam pemeliharaan korektif antara lain seluruh peralatan listrik, mekanik dan kegiatan pembongkaran peralatan, mengganti komponen yang rusak berat, memasangkan kembali peralatan dan memeriksa kembali peralatan yang sudah diperbaiki atau diganti (Pudji W dan Ilma, 2012).

Dalam pelaksanaan pemeliharaan korektif dibagi dalam dua bagian :

1. *Mayors (emergency) repairs*, yaitu reparasi atau perbaikan yang memakan waktu lama.
2. *Minor repairs*, yaitu reparasi yang membutuhkan hanya beberapa menit atau beberapa jam saja.

Rantai Markov (*Markov Chain*) dalam Hartanto (2014) merupakan suatu teknik matematika yang biasa digunakan untuk membuat berbagai model pada suatu sistem dan proses bisnis. Teknik ini merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan meramalkan/memperkirakan perubahan di waktu yang akan datang atas dasar perubahan di waktu masa lalu, maupun untuk menganalisa kejadian-kejadian di waktu mendatang secara matematis (Handoko, 2000).

Karena metode *Markov Chain* merupakan kejadian khusus dari proses stokastik (Martono dan Ilyas Mas'udin, 2002), maka proses stokastik dapat dikatakan sebagai proses *Markov Chain* apabila perkembangannya dapat disebut sebagai deretan peralihan-peralihan diantara nilai-nilai tertentu yang disebut sebagai status probabilitas yang mempunyai sifat bahwa bila diketahui proses berada pada status tertentu maka kemungkinan berkembangnya proses dimasa yang akan datang hanya tergantung pada status saat ini (waktu) dan tidak tergantung dari cara-cara bagaimana proses itu mencapai status tersebut.

Probabilitas bersyarat $P\{ X_{t+1} = j \mid X_t = i \}$ disebut sebagai probabilitas transisi. Jika masing-masing i dan j , $P(X_{t+1} = j \mid X_t = i) = P(X_1 = j \mid X_0 = i)$, untuk $t = 0, 1, 2, \dots$, maka disebut probabilitas transisi (satu langkah) dan biasanya dilambangkan oleh P_{ij} . Dimana P_{ij} harus memenuhi syarat sebagai berikut :

$$P_{ij} \geq 0, \text{ untuk semua } i \text{ dan } j$$

$$\sum P_{ij} = 1, \text{ untuk semua } i$$

Kegunaan Probabilitas dan Keputusan Markov

Di dalam operasinya suatu sistem akan mengalami beberapa kemungkinan perubahan dari status ke status yang lain. Bila dalam rentang yang hamper bersamaan terdapat empat kemungkinan, maka untuk mengubah kondisi status yang dialami dilakukan beberapa tindakan yang sesuai dengan kondisi status (Pudji W dan Ilma,

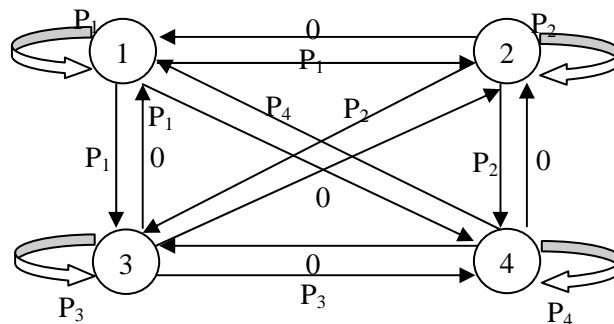
2012). Sebagai contoh, jika perbaikan sarana produksi baru dilakukan setelah sarana produksi tersebut mengalami kerusakan berat (status 4). Namun jika ada perubahan kebijakan pemeliharaan dilakukan apabila sarana produksi berada pada status 2, 3 dan 4 sehingga menjadi status 1 itupun juga bisa dilakukan.

Policy	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

P₀ adalah pemeliharaan yang dilakukan oleh perusahaan, yang merupakan matrik awal. P₁, P₂, P₃, dan P₄ merupakan usulan pemeliharaan yang didapat dari perubahan pada matrik awal sesuai dengan tindakan yang dilakukan.

Sarana produksi yang berada pada status kerusakan dalam kategori ringan dan kategori kerusakan sedang, tidak akan mengalami transisi ke status baik, dengan kata lain bahwa suatu sarana produksi berada pada status kerusakan ringan dan sedang akan tetap berada pada status kerusakan ringan dan sedang atau hanya akan beralih ke status kerusakan berat. Demikian juga pada sarana produksi yang berada status kerusakan berat akan tetap berada pada status kerusakan berat.

Dari uraian tersebut dapat dibuat skematis himpunan tertutup (*Close Set*) dan peralihan status sebagai berikut :



Gambar Transisi Diagram Sebelum Perbaikan (Pudji W dan Ilma, 2012)

Pada gambar diatas nomor 1 (status 1) menyatakan dalam kondisi baik, nomor 2 (status 2) menyatakan dalam kondisi kerusakan ringan, nomor 3 (status 3) menyatakan dalam kondisi kerusakan sedang dan nomor 4 (status 4) menyatakan dalam kondisi kerusakan berat. Sehingga berdasarkan asumsi di atas dapat diungkapkan dalam persamaan probabilitas transisi P_{ij}, yang menyatakan bahwa suatu sarana produksi berada pada status i, maka selang waktu berikutnya akan beralih pada status j. Dalam bentuk matrik, probabilitas-probabilitas transisi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

Tabel Matrik Probabilitas Transisi

i \ j	1	2	3	4
1	P11	P12	P13	P14
2	0	P22	P23	P24
3	0	0	P33	P34
4	P41	0	0	0

METODE

Penelitian dapat dilaksanakan dengan baik bila peneliti memiliki suatu desain penelitian yang sesuai dengan metode yang digunakan. Adapun metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode deskriptif, yaitu suatu studi untuk perbaikan terhadap suatu keadaan. Penelitian dilakukan terhadap suatu permasalahan yang ada pada pemeliharaan pompa di PDAM Kabupaten Trenggalek, dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari yang sebelumnya. Pengumpulan data dilakukan dengan cara terjun langsung ke lapangan untuk mendapatkan data jenis sarana produksi, data waktu pemeliharaan, waktu kerusakan sarana produksi diambil dari pengamatan selama penelitian berlangsung dan catatan-catatan atau laporan kerja dan laporan harian.

Data yang digunakan dalam memecahkan masalah ini terdiri dari :

1. Jenis sarana produksi yang ada, yaitu:
 - a. Pompa Vertical Turbine sebanyak 8 unit.
 - b. Pompa Centrifugal sebanyak 4 unit
 - c. Instalasi Listrik sebanyak 12 unit
 - d. Genset sebanyak 3 unit
2. Sarana produksi yang mengalami transisi untuk setiap sarana produksi.
3. Sarana produksi yang berada pada status yang baik (kerusakan ringan, sedang, dan berat untuk masing-masing sarana produksi.
4. Waktu pemeliharaan pencegahan.
5. Waktu kerusakan sarana produksi.
6. Biaya *Down time*.

PEMBAHASAN

Perhitungan Probabilitas Status

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

1. Probabilitas Transisi Pompa Vertical Turbin

Dengan mengolah data transisi status sarana produksi dan data status sarana produksi, maka dapat disusun suatu tabel probabilitas transisi sebagai berikut :

Tabel Probabilitas Transisi Pompa Vertical Turbine

Bulan	Status									
	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{33}	P_{34}	P_{41}
1	6/7	1/7	0	0	*	*	*	0	1/1	*
2	6/7	0	1/7	0	*	*	*	*	*	1/1
3	5/6	0	0	1/6	0	1/1	0	*	*	1/1
4	5/6	1/6	0	0	1/2	0	1/2	*	*	*
5	6/6	0	0	0	1/1	0	0	1/1	0	*
6	5/6	0	1.6	0	*	*	*	1/2	1/2	*
	0.869	0.052	0.052	0.027	0.5	0.333	0.167	0.5	0.5	1

Sumber : Data Diolah

Keterangan :

* = Tidak ada sarana produksi

0 = Tidak ada perubahan transisi

2. Probabilitas Transisi Pompa Centrifugal

Dengan mengolah data transisi status sarana produksi dan data status sarana produksi, maka dapat disusun suatu tabel probabilitas transisi sebagai berikut :

Tabel Probabilitas Transisi Pompa Centrifugal

Bulan	Status									
	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{33}	P_{34}	P_{41}
1	1/2	0	1/2	0	0	1/1	0	1/1	0	*
2	2/3	1/3	0	0	0	0	1/1	*	*	*
3	2/2	0	0	0	0	1/1	0	0	1/1	*
4	2/4	0	1/4	1/4	*	*	*	*	*	*
5	3/3	0	0	0	*	*	*	*	*	1/1
6	2/3	1/3	0	0	0	1/1	0	*	*	*
	0.722	0.111	0.125	0.042	0.25	0.5	0.25	0.5	0.5	1

Sumber : Data Diolah

3. Probabilitas Transisi Instalasi Listrik

Dengan mengolah data transisi status sarana produksi dan data status sarana produksi, maka dapat disusun suatu tabel probabilitas transisi sebagai berikut :

Tabel Probabilitas Transisi Instalasi Listrik

Bulan	Status									
	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{33}	P_{34}	P_{41}
1	10/12	1/12	0	1/12	*	*	*	*	*	*
2	9/10	0	1/10	0	1/1	0	0	1/1	0	0
3	8/11	1/11	1/11	1/11	0	1/1	0	0	0	0
4	8/9	0	0	1/9	0	0	1/1	0	1/1	1/1
5	9/10	0	1/10	0	1/1	0	0	1/1	0	0
6	10/11	1/11	0	0	*	*	*	*	*	1/1
	0.860	0.044	0.049	0.047	0.5	0.25	0.25	0.667	0.333	1

Sumber : Data Diolah

4. Probabilitas Transisi Genset

Dengan mengolah data transisi status sarana produksi dan data status sarana produksi, maka dapat disusun suatu tabel probabilitas transisi sebagai berikut :

Tabel Probabilitas Transisi Genset

Bulan	Status									
	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{33}	P_{34}	P_{41}
1	1/2	0	0	1/2	1/1	0	0	*	*	*
2	1/2	1/2	0	0	0	1/1	0	*	*	*
3	1/2	0	0	1/2	0	0	1/1	*	*	*
4	1/2	0	1/2	0	*	*	*	0	1/1	*
5	1/1	0	0	0	0	1/1	0	1/1	0	*
6	1/2	1/2	0	0	*	*	*	*	*	1/1
	0.583	0.167	0.083	0.167	0.25	0.5	0.25	0.5	0.5	1

Sumber : Data Diolah

Probabilitas Transisi Status

Berdasarkan pengolahan data maka didapat probabilitas transisi pada pemeliharaan sarana produksi yang dilakukan perusahaan (P_o) untuk masing-masing sarana produksi, dan selanjutnya dinyatakan dalam bentuk matrik transisi sebagai berikut :

1. Pompa Vertical Turbine

$$P_o = \begin{bmatrix} 0.869 & 0.052 & 0.052 & 0.027 \\ 0 & 0.5 & 0.333 & 0.167 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2. Pompa Centrifugal

$$P_o = \begin{bmatrix} 0.722 & 0.111 & 0.125 & 0.042 \\ 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. Instalasi Listrik

$$P_0 = \begin{bmatrix} 0.860 & 0.044 & 0.049 & 0.047 \\ 0 & 0.5 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0.667 & 0.333 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4. Genset

$$P_0 = \begin{bmatrix} 0.583 & 0.167 & 0.083 & 0.167 \\ 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Pada masing-masing matrik terdapat nilai 0.869; 0.722; 0.860 dan 0.583 yang menunjukkan bahwa probabilitas sarana produksi berstatus baik, setelah sebelumnya berstatus baik. Dan juga terdapat nilai 0.027; 0.042; 0.047 dan 0.167 yang menunjukkan bahwa probabilitas sarana produksi yang berada pada status kerusakan berat, setelah sebelumnya berstatus baik.

Nilai satu (1) yang terdapat disetiap matrik di atas dikarenakan setiap sarana produksi yang berstatus kerusakan berat langsung diperbaiki tidak menunggu selang periode pemeliharaan berikutnya, sedangkan nilai nol (0) dikarenakan sebagai berikut :

- Status kerusakan ringan tidak akan pernah berubah ke status baik.
- Status kerusakan sedang tidak akan pernah berubah ke status baik dan kerusakan ringan.
- Status kerusakan berat tidak akan pernah berubah ke status kerusakan ringan dan kerusakan sedang.

Matrik Transisi Untuk Perencanaan Pemeliharaan Yang Diusulkan

berdasarkan matrik transisi awal (pemeliharaan sarana produksi yang dilakukan perusahaan), maka diusulkan empat macam rencana pemeliharaan sarana produksi yang selanjutnya dapat dinyatakan dalam bentuk matrik transisi (P_1, P_2, P_3, P_4) sebagai berikut :

1. Probabilitas transisi usulan untuk pompa vertical turbine

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0.869 & 0.052 & 0.052 & 0.027 \\ 0 & 0.5 & 0.333 & 0.167 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 0.869 & 0.052 & 0.052 & 0.027 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 0.869 & 0.052 & 0.052 & 0.027 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 0.869 & 0.052 & 0.052 & 0.027 \\ 0 & 0.5 & 0.333 & 0.167 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2. Probabilitas transisi usulan untuk pompa centrifugal

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0.722 & 0.111 & 0.125 & 0.042 \\ 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 0.722 & 0.111 & 0.125 & 0.042 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 0.722 & 0.111 & 0.125 & 0.042 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 0.722 & 0.111 & 0.125 & 0.042 \\ 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3. Probabilitas transisi usulan untuk instalasi listrik

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0.860 & 0.044 & 0.049 & 0.047 \\ 0 & 0.5 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 0.860 & 0.044 & 0.049 & 0.047 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 0.860 & 0.044 & 0.049 & 0.047 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 0.860 & 0.044 & 0.049 & 0.047 \\ 0 & 0.5 & 0.25 & 0.25 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4. Probabilitas transisi usulan untuk genset

$$P_1 = \begin{bmatrix} 0.583 & 0.167 & 0.083 & 0.167 \\ 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_2 = \begin{bmatrix} 0.583 & 0.167 & 0.083 & 0.167 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_3 = \begin{bmatrix} 0.583 & 0.167 & 0.083 & 0.167 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_4 = \begin{bmatrix} 0.583 & 0.167 & 0.083 & 0.167 \\ 0 & 0.25 & 0.5 & 0.25 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matrik-matrik transisi yang terbentuk karena adanya perencanaan pemeliharaan usulan di atas ditentukan sebagai berikut : Jika dilakukan tindakan - Pemeliharaan Korektif - maka sistem akan menuju ke status satu (baik), tetapi jika dilakukan tindakan - Pemeliharaan Pencegahan - maka sistem akan kembali ke status sebelumnya.

Probabilitas Status Sarana Produksi Pada Keadaan Mapan

Berdasarkan analisa tersebut, probabilitas terjadinya kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat dalam keadaan mapan untuk jangka panjang pada setiap sarana produksi adalah sebagai berikut :

1. Pompa Vertical Turbine

Tabel Probabilitas Status Pompa Vertical Turbine

Kegiatan Pemeliharaan	Probabilitas			
	Baik	Kerusakan Ringan	Kerusakan Sedang	Kerusakan Berat
P ₀	0.710	0.074	0.123	0.093
P ₁	0.497	0.309	0.129	0.065
P ₂	0.884	0.046	0.046	0.024
P ₃	0.845	0.088	0.044	0.023
P ₄	0.810	0.084	0.070	0.036

Sumber : Data Diolah

2. Pompa Centrifugal

Tabel Probabilitas Status Pompa Centrifugal

Kegiatan Pemeliharaan	Probabilitas			
	Baik	Kerusakan Ringan	Kerusakan Sedang	Kerusakan Berat
P ₀	0.548	0.081	0.218	0.152
P ₁	0.355	0.334	0.212	0.099
P ₂	0.782	0.087	0.098	0.033
P ₃	0.713	0.168	0.089	0.030
P ₄	0.701	0.104	0.139	0.055

Sumber : Data Diolah

3. Instalasi Listrik

Tabel Probabilitas Status Instalasi Listrik

Kegiatan Pemeliharaan	Probabilitas			
	Baik	Kerusakan Ringan	Kerusakan Sedang	Kerusakan Berat
P ₀	0.694	0.061	0.148	0.097
P ₁	0.604	0.225	0.086	0.085
P ₂	0.877	0.039	0.043	0.041
P ₃	0.841	0.078	0.041	0.039
P ₄	0.814	0.072	0.058	0.056

Sumber : Data Diolah

4. Genset

Tabel Probabilitas Status Genset

Kegiatan Pemeliharaan	Probabilitas			
	Baik	Kerusakan Ringan	Kerusakan Sedang	Kerusakan Berat
P ₀	0.493	0.109	0.191	0.206
P ₁	0.333	0.333	0.194	0.139
P ₂	0.706	0.118	0.058	0.118
P ₃	0.667	0.167	0.055	0.111
P ₄	0.609	0.136	0.119	0.136

Sumber : Data Diolah

Analisa Biaya

Dengan merencanakan biaya pemeliharaan pencegahan dan pemeliharaan korektif maka akan didapatkan biaya-biaya pemeliharaan untuk masing-masing sarana biaya pemeliharaan tersebut dikalikan dengan probabilitas status dalam keadaan mapan (*steady state*) pada jangka panjang untuk mendapatkan biaya-biaya ekspektasi (biaya rata-rata yang diharapkan) masing-masing pemeliharaan. Dari keempat pemeliharaan sarana produksi yang telah diusulkan dan satu pemeliharaan sarana produksi yang telah dilakukan oleh perusahaan akan dipilih perencanaan pemeliharaan sarana produksi yang mempunyai biaya rata-rata ekspektasi terkecil.

Sebelum menghitung biaya pemeliharaan masing-masing sarana produksi, perlu diketahui waktu rata-rata pemeliharaan pencegahan (*preventif*) dan waktu rata-rata perbaikan sarana produksi, dimana jumlah waktu rata-rata pemeliharaan pencegahan (*preventif*) per semester dilambangkan dengan ΣW_{1i} dan jumlah waktu rata-rata pemeliharaan korektif per semester dilambangkan dengan ΣW_{2i} . Melalui perhitungan dengan biaya down time yang didapat dari perusahaan, sebesar :

- Pompa Vertical Turbine = Rp. 2.450.000,00 / jam

- Pompa Centrifugal = Rp. 950.000,00 / jam
- Instalasi Listrik = Rp. 675.000,00 / jam
- Genset = Rp. 1.150.000,00 / jam

Biaya Rata-rata Ekspektasi Pompa Vertical

Berdasarkan biaya pemeliharaan sarana produksi, maka dapat dihitung biaya rata-rata ekspektasi untuk pompa vertical turbine adalah sebagai berikut :

Tabel Biaya Pemeliharaan Pompa Vertical Turbine

Keputusan	Status	Biaya pemeliharaan (Rp. / semester)
1. Tidak melakukan tindakan pemeliharaan.	1,2,3,4	0
2. Pemeliharaan Pencegahan.	1,2,3	Rp.176.400.000
3. Pemeliharaan Korektif.	3,4	Rp.352.800.000

Sumber : Data Diolah

Sehingga didapatkan perbandingan biaya rata-rata ekspektasi pemeliharaan yang dilakukan oleh perusahaan dengan pemeliharaan usulan adalah sebagai berikut :

1. P₀ (Pemeliharaan korektif pada status 4)
 $E^0 = 0.710 (0) + 0.074 (0) + 0.123 (0) + 0.093 (Rp. 352.800.000)$
 = Rp. 32.810.400
2. P₁ (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3)
 $E^1 = 0.497 (0) + 0.309 (0) + 0.129 (Rp. 176.400.000) + 0.065 (Rp. 352.800.000)$
 = Rp. 45.687.600
3. P₂ (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 serta pemeliharaan pencegahan pada status 2)
 $E^2 = 0.884 (0) + 0.046 (Rp. 176.400.000) + 0.046 (Rp. 352.800.000) + 0.024 (Rp. 352.800.000)$
 = Rp. 32.810.400
4. P₃ (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3)
 $E^3 = 0.845 (0) + 0.088 (Rp. 176.400.000) + 0.044 (Rp. 176.400.000) + 0.023 (Rp. 352.800.000)$
 = Rp. 31.399.200
5. P₄ (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4)
 $E^4 = 0.810 (0) + 0.084 (0) + 0.070 (Rp. 352.400.000) + 0.036 (Rp. 352.400.000)$
 = Rp. 37.354.400

Dari perhitungan di atas diperoleh biaya rata-rata ekspektasi yang paling minimum terletak pada pemeliharaan usulan P₃ yaitu “Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3”.

Biaya Rata-rata Ekspektasi Pompa Centrifugal

Berdasarkan biaya pemeliharaan sarana produksi, maka dapat dihitung biaya rata-rata ekspektasi untuk pompa centrifugal adalah sebagai berikut :

Tabel Biaya Pemeliharaan Pompa centrifugal

Keputusan	Status	Biaya pemeliharaan (Rp./semester)
1. Tidak melakukan tindakan pemeliharaan.	1,2,3,4	0
2. Pemeliharaan Pencegahan.	1,2,3	Rp. 22.800.000
3. Pemeliharaan Korektif.	3,4	Rp. 99.750.000

Sumber : Data Diolah

Sehingga didapatkan perbandingan biaya rata-rata ekspektasi pemeliharaan yang dilakukan oleh perusahaan dengan pemeliharaan usulan adalah sebagai berikut :

1. P_0 (Pemeliharaan korektif pada status 4)
 $E^0 = 0.548 (0) + 0.081 (0) + 0.218 (0) + 0.152 (Rp. 99.750.000)$
 $= Rp. 15.162.000$
2. P_1 (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3)
 $E^1 = 0.355 (0) + 0.334 (0) + 0.212 (Rp. 22.800.000) + 0.099 (Rp. 99.750.000)$
 $= Rp. 14.708.850$
3. P_2 (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 serta pemeliharaan pencegahan pada status 2)
 $E^2 = 0.782 (0) + 0.087 (Rp. 22.800.000) + 0.098 (Rp. 99.750.000) + 0.033 (Rp. 99.750.000)$
 $= Rp. 15.050.000$
4. P_3 (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3)
 $E^3 = 0.713 (0) + 0.168 (Rp. 22.800.000) + 0.089 (Rp. 22.800.000) + 0.030 (Rp. 99.750.000)$
 $= Rp. 8.825.100$
5. P_4 (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4)
 $E^4 = 0.710 (0) + 0.104 (0) + 0.139 (Rp. 99.750.000) + 0.055 (Rp. 99.750.000)$
 $= Rp. 19.351.000$

Dari perhitungan di atas diperoleh biaya rata-rata ekspektasi yang paling minimum terletak pada pemeliharaan usulan P_3 yaitu “Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3”.

Biaya Rata-rata Ekspektasi Instalasi Listrik

Berdasarkan biaya pemeliharaan sarana produksi, maka dapat dihitung biaya rata-rata ekspektasi untuk instalasi listrik adalah sebagai berikut :

Tabel Biaya Pemeliharaan Instalasi Listrik

Keputusan	Status	Biaya pemeliharaan (Rp. / semester)
1. Tidak melakukan tindakan pemeliharaan.	1,2,3,4	0
2. Pemeliharaan Pencegahan.	1,2,3	Rp. 24.300.000
3. Pemeliharaan Korektif.	3,4	Rp. 66.150.000

Sumber : Data Diolah

Sehingga didapatkan perbandingan biaya rata-rata ekspektasi pemeliharaan yang dilakukan oleh perusahaan dengan pemeliharaan usulan adalah sebagai berikut :

1. P_0 (Pemeliharaan korektif pada status 4)
 $E^0 = 0.694 (0) + 0.061 (0) + 0.148 (0) + 0.097 (Rp. 66.150.000)$
 $= Rp. 6.416.550$
2. P_1 (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 3)
 $E^1 = 0.604 (0) + 0.225 (0) + 0.086 (Rp. 24.300.000) + 0.085 (Rp. 66.150.000)$
 $= Rp. 7.712.550$
3. P_2 (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 serta pemeliharaan pencegahan pada status 2)
 $E^2 = 0.877 (0) + 0.039 (Rp. 24.300.000) + 0.043 (Rp. 66.150.000) + 0.041 (Rp. 66.150.000)$
 $= Rp. 6.504.300$

4. P₃ (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3)

$$E^3 = 0.841 (0) + 0.078 (\text{Rp. } 24.300.000) + 0.041 (\text{Rp. } 24.300.000) + 0.039 (\text{Rp. } 66.150.000) \\ = \text{Rp. } 5.471.550$$

5. P₄ (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4)

$$E^4 = 0.814 (0) + 0.072 (0) + 0.058 (\text{Rp. } 66.150.000) + 0.056 (\text{Rp. } 66.150.000) \\ = \text{Rp. } 7.541.100$$

Dari perhitungan di atas diperoleh biaya rata-rata ekspektasi yang paling minimum terletak pada pemeliharaan usulan P₃ yaitu “Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3”.

Biaya Rata-rata Ekspektasi Genset

Berdasarkan biaya pemeliharaan sarana produksi, maka dapat dihitung biaya rata-rata ekspektasi untuk genset adalah sebagai berikut :

Tabel Biaya Pemeliharaan Genset

Keputusan	Status	Biaya pemeliharaan (Rp. / semester)
1. Tidak melakukan tindakan pemeliharaan.	1,2,3,4	0
2. Pemeliharaan Pencegahan.	1,2,3	Rp. 31.050.000
3. Pemeliharaan Korektif.	3,4	Rp. 103.500.000

Sumber : Data Diolah

Sehingga didapatkan perbandingan biaya rata-rata ekspektasi pemeliharaan yang dilakukan oleh perusahaan dengan pemeliharaan usulan adalah sebagai berikut :

1. P₀ (Pemeliharaan korektif pada status 4)

$$E^0 = 0.493 (0) + 0.109 (0) + 0.191 (0) + 0.206 (\text{Rp. } 103.500.000) \\ = \text{Rp. } 21.321.000$$

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

$$E^1 = 0.333 (0) + 0.333 (0) + 0.194 (\text{Rp. } 31.050.000) + 0.139 (\text{Rp. } 103.500.000) \\ = \text{Rp. } 20.410.200$$

3. P₂ (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4 serta pemeliharaan pencegahan pada status 2)

$$E^2 = 0.706 (0) + 0.118 (\text{Rp. } 31.050.000) + 0.058 (\text{Rp. } 103.500.000) + 0.118 (\text{Rp. } 103.500.000) \\ = \text{Rp. } 21.879.900$$

4. P₃ (Pemeliharaan korektif pada status 4 dan pemeliharaan pencegahan pada status 2 dan 3)

$$E^3 = 0.667 (0) + 0.167 (\text{Rp. } 31.050.000) + 0.055 (\text{Rp. } 31.050.000) + 0.111 (\text{Rp. } 103.500.000) \\ = \text{Rp. } 18.381.600$$

5. P₄ (Pemeliharaan korektif pada status 3 dan 4)

$$E^4 = 0.609 (0) + 0.136 (0) + 0.119 (\text{Rp. } 103.500.000) + 0.136 (\text{Rp. } 103.500.000) \\ = \text{Rp. } 26.392.500$$

Dari perhitungan di atas diperoleh biaya rata-rata ekspektasi yang paling minimum terletak pada pemeliharaan usulan.

Penghematan Biaya Pemeliharaan Sarana Produksi

Penghematan biaya dari usulan perencanaan pemeliharaan sarana produksi yang dilakukan adalah: Biaya pemeliharaan sarana produksi yang dilakukan perusahaan – Biaya pemeliharaan sarana produksi usulan.

maka :

- a. Pompa Vertical Turbine = Rp. 32.810.400 – Rp. 31.399.200 = Rp. 1.411.200
- b. Pompa Centrifugal = Rp. 15.162.000 – Rp. 8.852.100 = Rp. 6.309.900
- c. Instalasi Listrik = Rp. 6.416.550 – Rp. 5.471.550 = Rp. 945.000
- d. Genset = Rp. 21.321.000 – Rp. 18.381.600 = Rp. 2.939.400

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa perencanaan pemeliharaan sarana produksi yang diusulkan ada empat, yaitu :

- a. Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan berat dan pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan sedang.
- b. Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan sedang dan kerusakan berat serta pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan.
- c. Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan berat dan pemeliharaan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan dan kerusakan sedang.
- d. Pemeliharaan korektif pada kondisi kerusakan sedang dan kerusakan berat.

Perencanaan pemeliharaan sarana produksi yang optimal adalah pemeliharaan korektif pada kondisi sarana produksi mengalami kerusakan berat dan pemeliharaan pencegahan pada saat sarana produksi mengalami kerusakan ringan maupun kerusakan sedang. Sehingga penghematan biaya setelah diterapkan usulan perencanaan pemeliharaan sarana produksi didapat sebesar 15.32% yaitu 4.3% untuk pompa Vertical Turbine, 41.61% untuk pompa Centrifugal, 14.72% untuk instalasi Listrik dan sebesar 13.78% untuk genzet.

DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, S. 1999. *Management Produksi*: Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia
- Handoko, Hani, T., 1999, *Dasar – dasar Manajemen Produksi dan Operasi Edisi I*, Penerbit BPFE, Yogyakarta.
- Hartono, M. dan Ilyas Mas'udin, 2002, *Perencanaan Perawatan Mesin dengan Menggunakan Metode Markov Chain Guna Menurunkan Biaya Perawatan*, Jurnal Optimum. Vol. 3. No. 2. Hal.173-184.
- Hartanto, Rudi T. 2014. *Perencanaan Pemeliharaan Mesin Pompa Gilingan Saus dengan Metode Markov Chain untuk Minimasi Biaya Pemeliharaan*. Naskah publikasi. UMS
- Pudji, Endang w, Ilma, Fahma. 2012. *Perencanaan Pemeliharaan Mesin dengan Menggunakan Metode Markov Chain untuk Mengurangi Biaya Pemeliharaan di PT. Philips Indonesia*. Prosiding SNAST Periode III ISSN: 1979-911X Yogyakarta,
- Suardika, Ida Bagus. 2009. *Penerapan Metoda Markov Chain untuk Meminimumkan Biaya Pemeliharaan berdasarkan pada Biaya Down Time di Perusahaan A "YA" Gresik*. Jurnal Transmisi, Volume V Edisi 1, Unmer Malang