

PERENCANAAN PERAWATAN MESIN DENGAN METODE MARKOV CHAIN GUNA MENURUNKAN BIAYA PERAWATAN

M. Hartono¹, Ilyas Mas'udin²

ABSTRACT

Problem often faced by a fertilizer bagging machine unit is the irregularity of machine maintenance in which the machine is operated continuously until it damages and can not be operated any longer. It will result in relatively high down time cost. To solve this problem we propose a machine maintenance planing based upon data acquired by using Markov Chain Method. There are four types of maintenance we propose, they are:

1. Maintenance planing with corrective maintenance for high level of damage condition and preventive maintenance for medium level of damage condition.
2. Maintenance planing with corrective maintenance for high and medium level of damage condition and preventive maintenance for low level of damage condition.
3. Maintenance planing with corrective maintenance for high level of damage condition and preventive maintenance for medium and low level of damage condition.
4. Maintenance planing with corrective maintenance for high and medium level of damage condition.

To determine the best proposal that will be selected we use analysis of preventive maintenance cost and corrective maintenance cost that will result in expected cost for each machine. From the four proposals, one with the least expected cost is chosen, that is planing with corrective maintenance for high level of damage condition and preventive maintenance for medium and low level of damage condition.

Key Words : Markov Chain, Maintenance.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang semakin cepat dan mutakhir mengakibatkan kebutuhan akan tenaga manusia mulai digeser untuk digantikan dengan mesin atau peralatan produksi lainnya. Mesin dan peralatan yang dalam kondisi baik akan dapat melancarkan jalannya proses produksi. Untuk menjaga mesin-mesin tersebut dapat digunakan dengan sebaik mungkin dibutuhkan kegiatan perawatan/maintenance yang kontinyu.

Dalam suatu proses produksi di perusahaan masalah perawatan atau

maintenance yang teratur seringkali diabaikan, sehingga terjadilah kegiatan perawatan yang tidak teratur. Kegiatan perawatan ini baru dilakukan setelah kondisi mesin-mesin tersebut rusak berat dan tidak dapat dioperasikan lagi. Jika hal tersebut terjadi maka akan sangat merugikan perusahaan karena biaya yang ditimbulkan relatif besar, seperti biaya perbaikan dan biaya down time akibat mesin tersebut tidak berproduksi. Kerugian lain adalah proses produksi tidak berjalan lancar dan kualitas output yang dihasilkan rendah serta akan berpengaruh terhadap turunnya kepercayaan

¹⁾ Dosen Poltek Unibraw Malang & ²⁾ Dosen Teknik Industri Fak. Teknik Univ. Muhammadiyah Malang

konsumen pada perusahaan akibat produksi yang tidak stabil.

Dengan mengadakan kegiatan perawatan mesin sedini mungkin dan teratur yang meliputi kontrol, perbaikan atas kerusakan yang ada serta penggantian spare parts, menjadikan hasil produksi dapat terjamin dan perencanaan perawatan mesin dapat meningkatkan efisiensi dengan mengurangi kerusakan sekecil-kecilnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Suatu mesin jika digunakan secara terus menerus akan mengalami penurunan tingkat kesiapan (availability) dan kualitas per-formansinya, tetapi usia kegunaan perawatan dapat diperpanjang dengan melakukan perawatan peralatan secara berkala. Perawatan ini meliputi tindakan perawatan pencegahan (preventif maintenance).

Perawatan pencegahan sampai saat ini masih kurang menjadi perhatian, kecuali perusahaan yang sudah mengetahui pentingnya sistem perawatan untuk menunjang kelancaran proses produksi dan menjaga kualitas produknya. Pada umumnya perusahaan hanya melakukan tindakan perawatan yang bersifat perbaikan (korektif). Kurangnya perhatian dari perusahaan akan arti pentingnya sistem perawatan karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu belum dirasakannya pengaruh kerusakan peralatan terhadap kelancaran proses produksi dan belum dipahaminya tujuan aktivitas

perawatan dan manfaat dari penerapan sistem perawatan.

Jenis-jenis Perawatan

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dalam suatu perusahaan dapat dibedakan atas dua macam yaitu : perawatan pencegahan (preventif maintenance) dan perawatan korektif (corrective maintenance).

Perawatan Pencegahan (Preventif Maintenance)

Perawatan pencegahan merupakan ke-giatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. (Sofyan Assauri, 1998 : 96)

Preventif maintenance sangat penting karena kegunaannya yang sangat efektif didalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk golongan "Critical Unit". Sebuah fasilitas atau peralatan produksi akan termasuk dalam golongan "Critical Unit", apabila :

- ❖ Kerusakan fasilitas / peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan dan keselamatan para pekerja.
- ❖ Kerusakan fasilitas ini akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.

- ❖ Kerusakan fasilitas tersebut menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
- ❖ Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas tersebut adalah cukup besar atau mahal.

Perawatan Korektif (Corrective atau Breakdown Maintenance)

Perawatan korektif merupakan kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan corrective maintenance yang dilakukan sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi. Perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi akibat tidak dilakukannya preventif maintenance ataupun telah dilakukan preventif maintenance tetapi pada suatu waktu tertentu fasilitas atau peralatan tersebut tetap rusak. Jadi dalam hal ini kegiatan maintenance sifatnya hanya menunggu sampai kerusakan terjadi dahulu, baru kemudian diperbaiki atau dibetulkan. Maksud dari tindakan perbaikan ini adalah agar fasilitas atau peralatan tersebut dapat dipergunakan kembali dalam proses produksi, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar kembali. (Sofyan assauri, 1998 : 97)

Klasifikasi Kondisi Kerusakan

Untuk menghitung nilai probabilitas transisi dari suatu proses

Markov dalam masalah ini maka sistem mesin akan dikelompokkan sesuai dengan kondisi kerusakannya. Kondisi di sini adalah tingkat kesiapan mesin saat dilakukan perawatan periodik terhadap mesin tersebut. Untuk menentukan tingkat kondisi ini sistem diperiksa secara berkala. Setelah dilakukan pemeriksaan kondisi mesin dapat diklasifikasikan menjadi 4, yaitu :

1. Kondisi baik

Kondisi dimana mesin dapat beroperasi sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang disetujui (baik), seperti keadaan mesin baru. Perawatan pencegahan dan pemeriksaan rutin dilakukan supaya mesin dapat beroperasi dengan baik.

2. Kondisi kerusakan ringan

Kondisi dimana mesin dapat beroperasi dengan baik, tetapi kadang-kadang terjadi kerusakan-kerusakan kecil. Kerusakan yang ditimbulkan relatif ringan dengan biaya yang relatif kecil.

3. Kondisi kerusakan sedang

Kondisi dimana mesin dapat beroperasi tetapi keadaannya mengkhawatirkan.

4. Kondisi kerusakan berat

Mesin tidak dapat digunakan untuk beroperasi sehingga proses produksi terhenti. Waktu untuk perbaikan relatif lama dengan biaya perbaikan yang relatif besar, kadang juga diikuti dengan penggantian komponen (overhaul).

Proses Markov Chain

Sebelum membahas metode untuk menentukan kemungkinan transisi akan diuraikan lebih dulu tentang pengertian dasar proses stokastik, karena metode

Markov Chain merupakan kejadian khusus dari proses stokastik.

Proses stokastik $\{X(t) : t \in T\}$ adalah suatu himpunan variabel acak / random $\{X(t)\}$ yang tertentu dalam suatu ruang sampel yang sudah diketahui, dimana t merupakan parameter waktu (indeks) dari sekumpulan data / suatu himpunan (T) yang telah diketahui. Seringkali T merupakan suatu kelompok bilangan non negatif dan $X(t)$ menyatakan karakteristik yang dapat diukur dari sesuatu pada waktu t . Karena $X(t)$ adalah variabel random maka tidak dapat diketahui dengan pasti pada status manakah suatu proses akan berada pada waktu t , bila t menunjukkan saat terjadinya status di waktu yang akan datang. Dimana $t = 0, 1, 2, \dots$ (P. Siagian; 1987: 490)

Proses stokastik dapat dibedakan menjadi dua yaitu proses bebas dan proses Markov. Dalam masalah ini hanya akan dibahas yang berkaitan dengan proses Markov, yang mempunyai ruang status terbatas dan himpunan parameter waktu t yang diskrit terbatas.

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 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

dan tidak tergantung dari cara bagaimana proses itu mencapai status tersebut.

Suatu proses stokastik dikatakan memiliki sifat Markovian jika memenuhi syarat sebagai berikut :

$$P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} = P\{X_{t+1} = j | X_t = i, X_{t-1} = i_1, X_{t-2}, \dots, X_0 = i_0\} \\ = P\{X_{t+1} = j | X_t = i\}, \text{ dimana } t = 0, 1, 2, \dots$$

William W. Hines, 1990 : 618)

Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa proses Markov apabila diketahui proses saat ini, maka masa depan proses tidak tergantung pada proses masa lalunya, tetapi hanya tergantung pada status proses saat ini.

Secara umum suatu proses Markov Chain adalah proses stokastik dimana setiap variabel random X_t hanya tergantung pada variabel yang mendahuluinya yaitu $X_{(t-1)}$, dan hanya mempengaruhi variabel random berikutnya yaitu $X_{(t+1)}$. Sehingga istilah Chain disini adalah menyatakan adanya kaitan (mata rantai) antara variabel-variabel random yang saling berdekatan. Probabilitas bersyarat

$P\{X_{t+1} = j | X_t = i\}$ disebut sebagai probabilitas transisi. Jika untuk masing-masing i dan j .

$P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} = P\{X_1 = j | X_0 = i\}$ untuk $t = 0, 1, 2, \dots$, maka disebut probabilitas transisi (atau langkah) dan biasanya dilambangkan oleh P_{ij} . Sedangkan.

$$P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} = P\{X_n = j | X_0 = i\},$$

dimana $t = 0, 1, 2, \dots$. Probabilitas bersyarat ini biasanya dilambangkan dengan $P_{ij}^{(n)}$ dan disebut sebagai probabilitas transisi n langkah. Jadi $P_{ij}^{(n)}$ adalah probabilitas

bersyarat bahwa random $X_{(t)}$, yang dimulai dari status i akan berada pada status j setelah n langkah. Untuk $n = 0$, $P_{ij}^{(n)}$ maka $P\{X_0 = j \mid X_0 = i\}$ sehingga mengakibatkan bernilai 1 jika $i = j$ dan 0 ketika $i \neq j$. Dimana $P_{ij}^{(n)}$ harus memenuhi syarat sebagai berikut :

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

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

Probabilitas transisi dinyatakan dalam bentuk matrik adalah sebagai berikut :

$P^{(n)} =$	Status	0	1	M
	0	$P_{00}^{(n)}$	$P_{0M}^{(n)}$
	1	.	.	.

	M	$P_{M0}^{(n)}$	$P_{MM}^{(n)}$

untuk $n = 0, 1, 2, \dots$

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 limit $P_{ij}^{(n)}$ nyata ada dan tidak tergantung pada i . Selain dari pada itu limit $P_{ij}^{(n)} = \pi_j$, dimana $j \geq 0$, merupakan status j yang memenuhi persyaratan steady state.

$$\pi_j > 0$$

$$\pi_j = \sum_{i=0}^{\infty} \pi_j \cdot P_{ij} \text{ untuk } j \geq 0$$

$$\sum_{j=0}^{\infty} \pi_j = 1$$

(Sheldon M. Ross, 1985 : 145)

Penaksiran Parameter Markov

Proses Markov berwaktu diskrit dan berstatus diskrit terbatas $X(t), t = 0, 1, 2, 3, \dots$, ditentukan hukum probabilitas secara lengkap oleh parameter P_{ij} , ($ij = 1, 2, \dots, N$) yang disebut sebagai probabilitas transisi homogen satu langkah. Sebagai persoalan utama yang dihadapi apabila hendak menggunakan proses Markov sebagai model suatu sistem adalah menentukan taksiran parameter-parameter tersebut dari data yang diperoleh dari sejumlah pengamatan.

Tabel 1
Rancangan Pengamatan

Status	1	2	3	4	Jumlah S ke-t-1
1	m_{11}	m_{12}	m_{13}	m_{14}	m_1^*
2	m_{21}	m_{22}	m_{23}	m_{24}	m_2^*
3	m_{31}	m_{32}	m_{33}	m_{34}	m_3^*
4	m_{41}	m_{42}	m_{43}	m_{44}	m_4^*
Jml S Periode ke-t	m_1	m_2	m_3	m_4	

Dari tabel tersebut probabilitas dapat diketahui dengan rumus ;

$$P_{ij} = \frac{m_{ij}}{m_i^*}$$

dimana :

P_{ij} = probabilitas

m_{ij} = keadaan sistem pada status - j

m_i^* = banyaknya / jumlah sistem pada status - j

(Sheldon M. Ross, 1985: 145)

Kegunaan Probabilitas dan Keputusan Markov

Didalam operasinya suatu item akan mengalami beberapa kemungkinan transisi status, yang berubah dari satu status ke status yang lain. Bila dikatakan bahwa dalam selang yang cukup pendek ada empat kemungkinan status maka untuk mengubah kondisi yang dialami dilakukan beberapa tindakan yang sesuai kondisi status. Misal jika perbaikan item baru dilakukan setelah item tersebut mengalami kerusakan berat (status), dengan kata lain untuk status 1, 2, dan 3 tetap dibiarkan saja. Tapi seandainya kebijaksanaan itu dirubah dimana perawatan dilakukan apabila item berada pada status 2, 3, dan 4 sehingga menjadi status 1.

Keputusan yang diambil dalam menentukan perawatan dituliskan sebagai berikut :

Keputusan-keputusan dalam menentukan perawatan

Tabel 2
Keputusan-keputusan Dalam Menentukan Perawatan

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

Keputusan	Tindakan yang dilakukan
1	Tidak dilakukan tindakan
2	Dilakukan perawatan pencegahan (sistem kembali ke status sebelumnya)
3	Perawatan korektif (sistem kembali ke status 1)

Policy	Keterangan	$d_1(P)$	$d_2(P)$	$d_3(P)$	$D_4(P)$
P_0	Perawatan korektif pada status 4	1	1	1	3
P_1	Perawatan korektif pada status 4 dan perawatan pencegahan pada status 3	1	1	2	3
P_2	Perawatan korektif pada status 3 dan 4 dan perawatan pencegahan pada status 2	1	2	3	3
	perawatan pencegahan pada status 2				
P_3	Perawatan korektif pada status 4 dan perawatan pencegahan pada status 2 dan status 3	1	2	2	3
P_4	Perawatan korektif pada status 3 dan status 4	1	1	3	3

Keterangan :

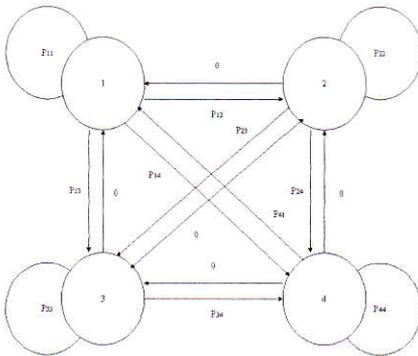
$d_1(P)$, $d_2(P)$, $d_3(P)$, $d_4(P)$: keputusan tindakan

Dimana P_0 adalah perawatan yang dilakukan oleh perusahaan yang merupakan matriks awal. sedangkan P_1 , P_2 , P_3 dan P_4 adalah usulan perawatan yang didapat dari perubahan pada matriks awal sesuai dengan tindakan yang dilakukan.

Jika pada suatu item berada pada status kerusakan ringan dan kerusakan sedang, maka item tersebut tidak akan mengalami transisi kemampuan status baik,

dengan kata lain bahwa suatu item berada pada status kerusakan ringan dan kerusakan sedang akan tetap berada pada status kerusakan ringan dan kerusakan sedang atau hanya akan beralih kemampuan status kerusakan berat. Dan jika item berada pada status kerusakan berat akan tetap berada pada status kerusakan berat atau dengan kata lain suatu item yang memburuk sampai selang pemeriksaan berikutnya, atau bila tidak item akan mengalami kerusakan berat selama selang tersebut dan akan diperbaiki pada selang pemeriksaan berikutnya.

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



Gambar 1.

Skematis himpunan tertutup (Close Set)

Keterangan :

- 1 = Menyatakan status 1 (baik)
- 2 = Menyatakan status 2 (kerusakan ringan)
- 3 = Menyatakan status 3 (kerusakan sedang)
- 4 = Menyatakan status 4 (kerusakan berat)

Bertitik tolak pada asumsi di atas maka dapat diungkapkan bahwa suatu item mempunyai probabilitas transisi P_{ij} , yang

menyatakan bahwa suatu item berada pada status i maka pada selang waktu berikutnya akan beralih pada status j. Dalam bentuk matriks, probabilitas-probabilitas transisi tersebut diatas dapat dinyatakan sebagai berikut :

Status akhir (j)

		1	2	3	4
Status awal (i)	1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}
	2	0	P_{22}	P_{23}	P_{24}
	3	0	0	P_{33}	P_{34}
	4	1	0	0	0

Keterangan :

1 \Rightarrow jika dilakukan perbaikan

0 \Rightarrow jika tidak dilakukan perbaikan

(Henk C. Tijms, 1994 : 184)

Analisa Biaya

Penentuan biaya perawatan meliputi biaya perawatan pencegahan dan perawatan korektif yang dilakukan pada saat mesin berhenti dan hanya menitikberatkan pada biaya down time yang terjadi.

Dengan membuat perencanaan atau jadwal perawatan preventif suatu item, jumlah perawatan korektif dan perbaikan emergensi dapat ditekan sehingga mengurangi biaya down time. Hal inilah yang menjadi tujuan utama dari optimasi sistem perawatan.

Untuk menentukan model yang akan digunakan dalam menentukan besarnya perawatan dan besarnya biaya yang hilang akibat adanya down time maka perlu dijelaskan mengenai biaya-biaya yang timbul akibat ada dan tidaknya perencanaan perawatan.

Biaya Down Time

Biaya down time adalah biaya yang diakibatkan oleh sistem yang tidak berproduksi. Elemen-elemen biaya yang menentukan biaya down time adalah biaya operator mesin, hilangnya sebagian output produktif atau umumnya dinyatakan dalam profit persatuan waktu yang hilang.

Biaya Penyelenggaraan Perawatan Pencegahan

Biaya yang dikeluarkan setiap kali melakukan perawatan dan perbaikan disebut biaya penyelenggaraan perawatan dimana biaya tadi tergantung pada jumlah item yang diperiksa atau diperbaiki. Faktor utama yang menentukan biaya penyelenggaraan perawatan periodik adalah biaya down time, karena setiap melakukan perbaikan perawatan periodik ada jam produktif yang dikorbankan. Oleh karena itu biaya penyelenggaraan ditetapkan sebagai jumlah biaya down time yang timbul karena perawatan pencegahan. Selain itu juga ada biaya tetap perawatan untuk masing-masing mesin. Jika biaya perawatan pencegahan item-i dilambangkan dengan C_{1i} dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$C_{1i} = \left(\begin{matrix} \text{Waktu rata - rata} & \text{Biaya} \\ \text{perawatan} & \text{down} \\ \text{pencegahan} & \text{time} \\ \text{per bulan} & \text{per jam} \end{matrix} \right) \times \text{Biaya tetap}$$

Biaya Kerusakan

Kerusakan merupakan suatu kondisi dimana sistem tidak dapat berfungsi untuk menghasilkan output. Hal ini akan menyebabkan adanya biaya tambahan untuk

perawatan korektif tetapi apabila diadakan perawatan rutin terjadual kerusakan dapat dicegah. Jika biaya perawatan korektif ini dilambangkan dengan C_{2i} untuk setiap item ke-i, maka dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$C_{2i} = \left(\begin{matrix} \text{Waktu rata - rata} & \text{Biaya} \\ \text{kerusakan} & \text{down} \\ \text{per bulan} & \text{time} \\ & \text{per jam} \end{matrix} \right) \times \text{Biaya tetap}$$

Ekspektasi Biaya

Berdasarkan pada biaya-biaya perawatan pencegahan dan perawatan korektif maka akan mendapatkan biaya-biaya perawatan untuk masing-masing item. Dan apabila dikalikan dengan probabilitas status dalam keadaan mapan (steady state) pada jangka panjang maka akan didapat ekspektasi biaya (biaya rata-rata yang diharapkan) untuk masing-masing perawatan. Dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E = \sum_{j=0}^{\infty} \pi_j C (j)$$

(Pangestu, Marwan, Hani; 1994: 193)

METODOLOGI PENELITIAN

Setelah melalui survey lokasi (obyek penelitian) dan pengamatan langsung terhadap mesin-mesin produksi Bagging Machine di unit pemupukan maka data yang diperlukan antara lain: data jenis mesin, data mesin yang mengalami perubahan status selama 6 bulan, data jumlah mesin yang berada pada status baik,

kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat, data waktu perawatan perawatan pencegahan pada masing-masing mesin sebelum mesin dioperasikan, data waktu kerusakan. (waktu yang digunakan untuk perawatan korektif), data biaya down time, data biaya tetap (biaya perawatan atau penggantian suku cadang.)

Metode analisa dilakukan dengan tujuan akhir untuk merencanakan perawatan mesin dengan menurunkan biaya perawatan dengan memberikan alternatif-alternatif usulan perencanaan perawatan masing-masing mesin yang dibuat dalam matriks probabilitas transisi (Po) untuk kondisi awal dan matriks probabilitas transisi (P1) untuk usulan yang kemudian masing-masing usulan untuk tiap jenis mesin diekspektasikan ke dalam biaya (cost) dan dipilih usulan yang memberikan cost paling kecil dan penghematan yang optimal.

Data dan Pengolahan

Kelima jenis mesin yang diamati : Mesin Bucket Elevator, Mesin Vibrating Screen, Mesin Pengantongan, Mesin Bag Closing, Sewing Machine memberikan data historis perubahan status mesin dari bulan juli - Nopember dan data jumlah mesin dalam kondisi masing-masing status dari rentang bulan yang sama. Sehingga bisa dibuat probabilitas transisi untuk masing-masing kombinasi status dari rentang waktu tertentu yang selanjutnya dibuat probabilitas status untuk mesin:

➤ Vibrating Screen

$$[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] \begin{bmatrix} 0.6944 & 0.0833 & 0.1389 & 0.0833 \\ 0 & 0.25 & 0.25 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.6667 & 0.3333 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4]$$

Sehingga: $[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] = [0,5217, 0,0580, 0,2609, 0,1594]$

➤ Bucket Elevator

$$[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] \begin{bmatrix} 0.6666 & 0.1111 & 0.1667 & 0.0556 \\ 0 & 0.375 & 0.125 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.5000 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4]$$

Sehingga: $[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] = [0,5294, 0,0941, 0,2000, 0,1765]$

➤ Mesin Pengantongan

$$[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] \begin{bmatrix} 0.4861 & 0.3444 & 0.10 & 0.0694 \\ 0 & 0.1333 & 0.40 & 0.4667 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5000 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4]$$

Sehingga: $[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] = [0,4116, 0,1636, 0,2132, 0,2115]$

➤ Bag Closing Conveyor

$$[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] \begin{bmatrix} 0.6028 & 0.1883 & 0.0833 & 0.1305 \\ 0 & 0.1667 & 0.250 & 0.5833 \\ 0 & 0 & 0.3333 & 0.6667 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4]$$

Sehingga: $[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] = [0,5532, 0,1148, 0,1122, 0,2197]$

➤ Sewing Machine

$$[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] \begin{bmatrix} 0.6875 & 0.0556 & 0.1458 & 0.1111 \\ 0 & 0.157 & 0.250 & 0.600 \\ 0 & 0 & 0.25 & 0.75 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4]$$

Sehingga: $[\pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4] = [0,6274, 0,0410, 0,1356, 0,1960]$

Ket: yang berada dalam tanda kurung merupakan bentuk matriks transisi satu langkah yang dilakukan perusahaan (Po)

Perencanaan Usulan Perawatan

Empat jenis usulan perawatan pada masing-masing jenis mesin berupa :

- perawatan korektif pada status 4 dan perawatan pencegahan pada status 3 (P1)
- perawatan korektif pada status 3 dan 4 serta perawatan pencegahan status 2 (P2)
- perawatan korektif pada status 4 dan perawatan pencegahan pada status 3 dan 4 (P3)
- perawatan korektif pada status 3 dan 4 (P4)

akan menghasilkan matriks transisi usulan yang disimbolkan dengan P1, P2, P3 dan P4 untuk masing-masing mesin.

Biaya Perawatan

Untuk menghitung biaya perawatan dari tiap item harus diketahui waktu rata-rata perawatan pencegahan (W1i) dan perawatan korektif (W2i) per bulan serta biaya down time (yang besarnya setelah dihitung sebesar Rp. 11.500/jam) sebagai berikut:

Tabel 3
Hasil Perhitungan Biaya Perawatan

Jenis Mesin	Biaya Prwtn Pencegahan/bln	Biaya Prwtn Korektif/bln
Bucket Elv.	Rp. 1.985.841	Rp. 5.725.566
Vib. Screen	Rp. 290.000	Rp. 1.725.653
M.Penganton	Rp. 273.600	Rp.1.559.758
B.C. Convy	Rp 375.000	Rp 3.496.312
M. Sewing	Rp 62.225	Rp 277.000

Dari rata-rata waktu perawatan pencegahan dan korektif dan biaya yang diperlukan untuk kedua perawatan tersebut didapatkan biaya perawatan pencegahan

(C1) dan biaya perawatan korektif (C2) per bulan untuk masing-masing mesin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari matriks transisi awal diusulkan 4 macam rencana perawatan dalam bentuk matriks transisi P1, P2, P3, P4 dapat dibuat probabilitas terjadinya kerusakan ringan, sedang dan kerusakan berat dalam keadaan mapan untuk jangka panjang pada setiap mesin. Probabilitas tiap mesin tersebut dikalikan dengan biaya perawatan pencegahan atau korektif tergantung usulan status yang pada akhirnya hanya dipilih satu saja usulan perencanaan perawatan yang mempunyai ekspektasi biaya terkecil tiap mesinnya. Setelah dilakukan perhitungan ekspektasi biaya yang timbul tiap mesin dan tiap usulan statusnya di dapatkan hasil seperti dalam tabel berikut:

Tabel 4
Hasil Penelitian

Jenis Mesin	Perawatan Usulan Terbaik	Penghematan Biaya
Mesin Bucket Elevator	Perawatan Korektif Pada Status 4 dan Perawatan Pencegahan Pada Status 2 dan 3	Rp223.490
Mesin Vibrating Screen	Perawatan Korektif Pada Status 4 dan Perawatan Pencegahan Pada Status 2 dan 3	Rp 40.803
Mesin Pengantongan	Perawatan Korektif Pada Status 4 dan Perawatan Pencegahan Pada Status 2 dan 3	Rp175.793
Mesin Bag Closing Conveyor	Perawatan Korektif Pada Status 4 dan Perawatan Pencegahan Pada Status 2 dan 3	Rp395.496
Sewing Machine / Mesin Jahit	Perawatan Korektif Pada Status 4 dan Perawatan Pencegahan Pada Status 2 dan 3	Rp 31.495

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Perencanaan perawatan dengan perawatan korektif pada kondisi kerusakan berat dan perawatan pencegahan pada kondisi kerusakan sedang.
 - b. Perencanaan perawatan dengan perawatan korektif pada kondisi kerusakan sedang dan kerusakan berat serta perawatan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan.
 - c. Perencanaan perawatan dengan perawatan korektif pada kondisi kerusakan berat dan perawatan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan dan kerusakan sedang.
 - d. Perencanaan perawatan dengan perawatan korektif pada kondisi kerusakan sedang dan kerusakan berat.
2. Dengan menggunakan probabilitas transisi stasioner bisa dihitung ekspektasi biaya perawatan untuk masing-masing kebijakan perawatan dan ternyata setelah dibandingkan bisa disimpulkan bahwa kebijakan perawatan dengan melakukan perawatan korektif pada kondisi rusak berat dan perawatan pencegahan pada kondisi kerusakan ringan dan sedang menghasilkan ekspektasi biaya perawatan yang paling kecil untuk semua jenis mesin.

3. Ekspektasi biaya perawatan yang dilakukan oleh perusahaan untuk masing-masing mesin adalah sebagai berikut :

- Mesin Bucket Elevator = Rp1.071.117,-
- Mesin Vibrating Screen = Rp 324.001,-
- Mesin Pengantongan = Rp 381.980,-
- M. Bag Closing Conveyor =Rp844.568,-

- Sewing Machine = Rp 103.028,-

4. Ekspektasi biaya dari perawatan usulan terbaik untuk masing-masing mesin adalah sebagai berikut :

- Mesin Bucket Elevator= Rp 847.627,-
- Mesin Vibrating Screen= Rp 283.198,-
- Mesin Pengantongan = Rp 206.187,-
- M. Bag Closing Conveyor= Rp 449.072,-

- Sewing Machine = Rp 71.533,-

Sementara penghematan yang bisa dilakukan dengan melakukan perencanaan perawatan usulan pada masing-masing mesin adalah sbb:

- M. Bucket Elevator =Rp 223.490
- M. Vibrating Screen = Rp. 40.803
- M. Pengantongan = Rp. 175.793
- M. Bag Closing Cnvy = Rp 395.496
- Sewing Machine = Rp. 31.495

DAFTAR PUSTAKA

- Biegel, John E. 1992, *Pengendalian Produksi: Suatu Pendekatan Kuantitatif*, Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hamdy A. Taha. 1996. *Riset Operasi* Jilid 2, Penerbit Binarupa Aksara, Jakarta.

- Hines, William W. 1990 *Probabilitas Dan Statistik Dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen*, Edisi Kedua, Penerbit UI, Jakarta.
- P. Siagan. 1987. *Penelitian Operasional*, Penerbit UI-Press, Jakarta
- Ross, Sheldon M. 1985 *Introduction to probability Models*, California
- Sofyan Assauri. 1980, *Manajemen Produksi*, Edisi Ketiga, Lembaga Penerbit FE-UI Jakarta.
- Subagyo Pangestu, Marwan Asri, T. Hani Handoko. 1983, *Dasar-dasar Operations Research*, Edisi Kedua, BPFE Yogyakarta.
- Thims, Henk C. 1995, *Stochastic Models*, Amsterdam.
- Tjutju T. Dimiyati, Ahmad Dimiyati, 1985 *Operations Research, Model-model Pengambilan Keputusan*, edisi Kedua Penerbit Sinar Baru Algesindo, Bandung.