

USULAN PENERAPAN TEORI MARKOV DALAM PENGAMBILAN KEPUTUSAN PERAWATAN TAHUNAN PADA PT. PUPUK KUJANG

Nofi Erni¹, Benny Wijaya¹

¹Jurusan Teknik Industri-Universitas Esa Unggul, Jakarta
Jalan Arjuna Utara 9 Tol Tomang Kebun Jeruk, Jakarta 11510
nofi.erni@esaunggul.ac.id

Abstrak

PT. Pupuk Kujang sebagai salah satu pabrik pupuk terbesar di Indonesia membutuhkan suatu sistem perawatan fasilitas produksi untuk mengurangi kerugian karena kegagalan kinerja mesin produksi. Perawatan tahunan yang diterapkan pada PT. Pupuk Kujang memiliki kendala yakni mesin harus dimatikan selama beberapa hari sehingga produksi menjadi berkurang 1.725 ton/hari. Berdasarkan kondisi tersebut, perusahaan menjadi ragu dalam penerapan sistem ini. Apakah benar melakukan perawatan tahunan merupakan sistem terbaik? Penelitian ini bertujuan untuk membantu PT. Pupuk Kujang untuk mengevaluasi keputusan perawatan mesin menggunakan metode Markov. Kondisi mesin dibagi menjadi 3 *state* yakni baik, rusak sedang dan rusak berat. Alternatif yang diberikan adalah tidak melakukan perawatan tahunan atau melakukan perawatan tahunan. Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan bahwa keputusan terbaik yang diambil perusahaan ialah melakukan perawatan tahunan selama 5 periode (1periode = 18 bulan). Hasil produksi yang hilang hanya berkisar antara 1,1% sampai 3,4% yang berarti lebih kecil dibanding jika tidak dilakukan perawatan tahunan yang hilang sampai dengan 40%. Untuk mengurangi hasil produksi yang hilang, dapat dilakukan dengan mengurangi waktu *shut down* mesin selama perawatan tahunan yang menyebabkan hilangnya sejumlah produksi menjadi lebih kecil. Cara ini dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti menggunakan tenaga ahli, mengurangi waktu tempuh antar mesin yang mengalami kerusakan dan persediaan komponen perbaikan sehingga tidak perlu menunggu kedatangan komponen terlebih dahulu. Untuk itu, permasalahan yang dihadapi oleh PT. Pupuk Kujang dalam mengambil keputusan dalam melakukan perawatan tahunan dapat terselesaikan dengan keputusan yang baik.

Kata kunci: teori markov, perawatan tahunan, keputusan

Pendahuluan

Sebagai perusahaan yang bergerak di bidang penyediaan pupuk di Indonesia, PT pupuk Kujang membutuhkan mesin dan peralatan yang beroperasi dalam kondisi baik, sehingga dapat mencapai target produksi. Kegagalan pada peralatan kritis mengakibatkan perusahaan mengalami kerugian karena harus mengurangi produksi bahkan terkadang harus menghentikan produksi. Di samping itu, jika frekuensi kegagalan semakin tinggi maka memerlukan *maintenance cost* yang tinggi juga.

Untuk membantu mengatasi permasalahan tersebut, PT. Pupuk Kujang melakukan suatu sistem Perawatan Tahunan dimana pada setiap periode (1 periode = 18 bulan) dilakukan perawatan terhadap semua mesin. Sistem ini diterapkan untuk menjaga agar mesin tetap dalam kondisi baik dan kegagalan pada peralatan kritis dapat diminimalkan.

Namun sistem ini memiliki kelemahan. Saat dilakukan perawatan, mesin harus dimatikan selama beberapa hari sehingga produksi terhenti. Selain itu, melakukan perawatan bukan sesuatu yang mudah dan murah sehingga perusahaan harus menge-

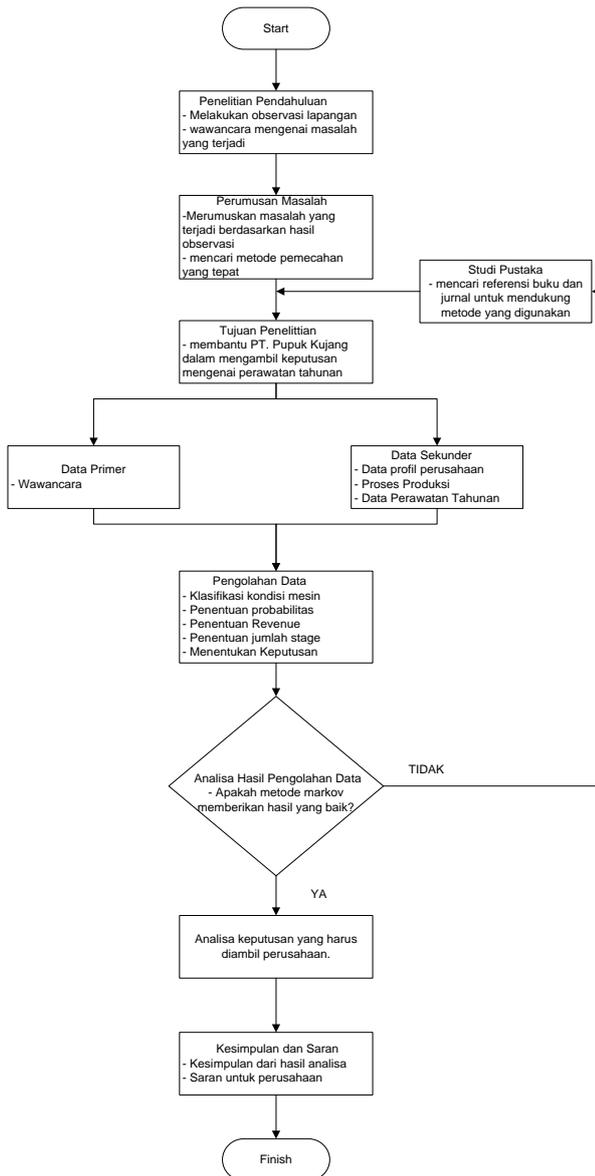
luarkan biaya yang cukup besar untuk melakukan perawatan dan menyewa beberapa ahli dari luar untuk membantu melakukan perawatan.

Berdasarkan kondisi yang seperti itu, perusahaan menjadi ragu dalam penerapan sistem ini. Apakah benar melakukan perawatan tahunan merupakan sistem terbaik? Untuk itu diperlukan suatu analisis terhadap keputusan sistem perawatan yang telah dilakukan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengambil keputusan adalah teori markov. Dengan teori markov, dapat dilakukan analisis keputusan berdasarkan perubahan variabel yang terjadi pada masa yang akan datang (Kamilia, 2007). Pada penelitian ini, digunakan metode Markov untuk menganalisis apakah keputusan perawatan yang telah dilaksanakan tepat atau dapat digunakan alternatif lain.

Metode Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 1
Metode Penelitian

Data dan Analisis
Pengumpulan data

Dalam perhitungan Rantai Markov berdasarkan data Perawatan Tahunan yang diberikan perusahaan, diklasifikasikan jenis perawatan ke dalam 2 jenis yakni dilakukan perawatan tahunan dan tidak dilakukan perawatan tahunan. Melakukan perawatan tahunan berarti melaksanakan kegiatan perawatan mesin secara berkala dan teratur sesuai dengan jadwal yang telah dibuat. Sedangkan tidak melakukan perawatan tahunan berarti tidak melakukan perawatan secara berkala. Perbaikan hanya dilakukan jika merasa kondisi mesin memang sudah memerlukan perbaikan. Berdasarkan data yang sama, pengelompokan kerusakan mesin dibagi menjadi 3 kondisi yakni:

• Baik

Kondisi mesin masih dalam keadaan bagus. Hanya perlu dilakukan pembersihan dan sedikit penyetelan ulang. Pada kondisi seperti ini, kapasitas produksi dapat mencapai kapasitas terpasang sebesar 855.000 ton/periode.

• Sedang

Mesin mengalami perbaikan namun tidak dalam kondisi yang cukup parah. Hanya bagian – bagian tertentu dengan kerusakan kecil dan perbaikan yang dilakukan tidak sampai mengalami overhaul. Pada kondisi seperti ini, hasil produksi akan berkurang sebesar 5% (hasil dari wawancara) dikarenakan kondisi mesin yang tidak optimal sehingga hasil produksi hanya sebesar 812.250 ton/periode.

• Berat

Mesin mengalami kerusakan yang cukup parah sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan melakukan overhaul. Jika hal ini terjadi, hasil produksi akan berkurang sampai 20% (hasil dari wawancara), menjadi 684.000 ton/periode.

Dari data selama 5 periode (1 periode = 18 bulan), di dapat hasil pengklasifikasian jika dilakukan perawatan tahunan untuk unit Sintesa Urea pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1
Tabel Jumlah Kondisi Mesin Saat Dilakukan Perawatan

Periode	Jumlah Kondisi (unit)		
	Baik	Sedang	Berat
2004	5	1	1
2006	1	5	1
2007	3	2	2
2009	5	2	0
2010	4	2	1

Selanjutnya dilakukan pengklasifikasian perpindahan kondisi mesin dari periode sekarang ke periode berikutnya. Hasil pengklasifikasian dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut:

Tabel 2
Jumlah Perubahan Kondisi Mesin Tanpa Perawatan Tahunan Selama 5 Periode (unit mesin)

Kondisi Sekarang	Kondisi Periode Berikutnya		
	Baik	Sedang	Berat
Baik	8	6	0
Sedang	4	4	2
Berat	1	1	2

Pengolahan Data

Penentuan probabilitas

Selanjutnya melakukan perhitungan probabilitas dengan menggunakan persamaan:

$$P_{ij} = (a_{ij}) / (\sum_j a_{ij}) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana: a_{ij} = Banyaknya perubahan kondisi mesin dari state – i ke state – j.

i = state kondisi saat ini

j = state kondisi periode mendatang

Dengan demikian, menggunakan persamaan tersebut, nilai probabilitas untuk kondisi saat ini baik (i = 1) dan kondisi periode berikutnya baik (j = 1) adalah:

$$P_{11} = 8/14 = 0,57$$

Begitu seterusnya hingga semua state terisi dengan probabilitas. Nilai probabilitas semua state dapat dilihat dalam **Tabel 3**:

Tabel 3
Nilai Probabilitas Semua State dengan Perawatan Tahunan Selama 5 Periode

Kondisi Sekarang	Kondisi Periode Berikutnya		
	Baik	Sedang	Berat
Baik	0,57	0,43	0
Sedang	0,4	0,4	0,2
Berat	0,25	0,25	0,5

Jika tidak dilakukan perawatan tahunan, maka peluang kondisi mesin akan menurun. Misalnya mesin saat ini berada dalam kondisi baik. Peluang mesin tetap dalam kondisi baik tidak akan sama besar dengan peluang jika dilakukan perawatan tahunan. Peluang tidak dilakukan perawatan tahunan lebih kecil 5% dibanding dilakukan perawatan tahunan (hasil dari wawancara dengan kepala Pemeliharaan Lapangan) sehingga peluang periode saat ini baik dan periode berikutnya baik menjadi 0,52. Hal yang sama jika kondisi periode berikutnya rusak sedang. Maka peluangnya menjadi 0,38. Selisih 0,1 yang hilang dari kondisi periode berikutnya baik dan rusak sedang menjadi peluang mesin menjadi rusak berat.

Dengan demikian, probabilitas semua state jika tidak dilakukan perawatan tahunan dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut:

Tabel 4
Nilai Probabilitas Semua State Tanpa Perawatan Tahunan

Kondisi Sekarang	Kondisi Periode Berikutnya		
	Baik	Sedang	Berat
Baik	0,52	0,38	0,1
Sedang	0	0,6	0,4
Berat	0	0	1

Penentuan Revenue

Untuk kondisi dilakukan perawatan tahunan, mesin akan mengalami *shut down* atau dimatikan sementara. Selama masa perawatan tersebut akan mengurangi hasil produksi. Jika jumlah produksi sebesar 1.725 ton/hari (570.000 ton/tahun), maka rata – rata lama waktu perawatan akan dikalikan jumlah produksi per hari. Hasilnya adalah jumlah produksi yang hilang. Selanjutnya kapasitas produksi 1 periode (1 periode = 18 bulan (1,5 tahun) sehingga kapasitas produksi 1 periode = 1,5 x 570.000 ton = 855.000 ton/periode) dikurangi dengan kapasitas yang hilang maka didapat hasil produksi bersih. Rata – rata waktu yang diperlukan untuk melakukan perawatan dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut:

Tabel 5
Rata – Rata Waktu Perawatan (Hari)

Kondisi Sekarang	Kondisi Periode Berikutnya		
	Baik	Sedang	Berat
Baik	5,5	10,33	0
Sedang	10	10	8
Berat	10	13	17

Dengan waktu rata – rata tersebut, maka jumlah produksi bersih untuk tiap state adalah:

$$R_{11} = 855.000 \text{ ton/periode} - (1.725 \text{ ton} \times 5,5 \text{ hari}) / \text{periode}$$

$$= 845.512,5 \text{ ton/periode.}$$

$$R_{12} = 855.000 \text{ ton/periode} - (1.725 \text{ ton} \times 10,33 \text{ hari}) / \text{periode}$$

$$= 837.180,75 \text{ ton/periode}$$

Begitu seterusnya hingga semua state terisi dengan Revenue. Dengan demikian, rata – rata produksi ji-

ka dilakukan perawatan tahunan adalah sebagai berikut:

Tabel 6
Rata – Rata Produksi dengan Perawatan Tahunan (ton/periode)

Kondisi Sekarang	Kondisi Periode Berikutnya		
	Baik	Sedang	Berat
Baik	845.512,5	837.180,75	0
Sedang	837.740	837.740	841.200
Berat	837.740	832.575	825.675

Untuk hasil produksi jika tidak dilakukan perawatan akan mengalami penurunan sebesar 5% dari kapasitas terpasang. Penurunan hasil produksi terjadi karena menurunnya utilitas mesin jika tidak dilakukan perawatan. Hasil produksi yang semestinya bisa mencapai kapasitas terpasang akan menurun karena kemampuan mesin yang tidak optimal. Jika kondisi mesin sekarang baik dan di periode berikutnya baik, maka tidak ada masalah. Kapasitas produksi berkurang jika kondisi sekarang baik dan pada periode berikutnya menjadi sedang, maka akan mengalami penurunan produksi 5%. Jika kondisi berikutnya berat, maka akan mengalami penurunan sebesar 20%. Jika kondisi awal sudah sedang, maka penurunan menjadi 10% jika kondisi periode berikutnya sedang. Hal ini dikarenakan penurunan kemampuan produksi yang sebelumnya telah terjadi dan mengalami penurunan lagi pada periode berikutnya. Hal yang sama berlaku jika kondisi awal rusak berat.

Dengan demikian, rata – rata produksi jika tidak dilakukan perawatan tahunan adalah sebagai berikut:

Tabel 7
Rata – Rata Produksi Tanpa Perawatan Tahunan (ton/periode)

Kondisi Sekarang	Kondisi Periode Berikutnya		
	Baik	Sedang	Berat
Baik	855.000	812.250	684.000
Sedang	0	769.500	641.250
Berat	0	0	513.000

Penentuan Jumlah Stage

Jumlah *stage* disini menunjukkan hasil yang didapat untuk berapa lama. Terdapat 2 jenis *stage* yakni *infinite* dan *finite*. *Infinite* berarti hasil yang didapat akan dipakai untuk selamanya sedangkan *finite* digunakan untuk beberapa periode tertentu.

Dalam kasus ini, perusahaan menyebutkan jika umur mesin di PT. Pupuk Kujang ini dilakukan pemeriksaan secara menyeluruh dalam 5 periode

sekali yang berarti semua mesin akan mengalami *overhaul* supaya dapat berfungsi dengan optimal kembali. Dengan demikian, dalam metode ini hanya dibatasi untuk *stage finite* untuk 5 periode.

Metode Markovian

Metode *Markovian* (Metode *Markov* atau Metode Rantai Markov/*Markov Chain*) merupakan sebuah metode pengambilan keputusan. Tujuan *Markovian* disini adalah untuk menentukan kapan perawatan tahunan dilakukan berdasarkan hasil produksi yang didapat.

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, didapat probabilitas untuk masing – masing kondisi.

$$P^1 = \begin{bmatrix} 0,52 & 0,38 & 0,1 \\ 0 & 0,6 & 0,4 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P^2 = \begin{bmatrix} 0,57 & 0,43 & 0 \\ 0,4 & 0,4 & 0,2 \\ 0,25 & 0,25 & 0,5 \end{bmatrix}$$

$$R^1 = \begin{bmatrix} 855.000 & 812.250 & 684.000 \\ 0 & 769.500 & 641.250 \\ 0 & 0 & 513.000 \end{bmatrix}$$

$$R^2 = \begin{bmatrix} 845.512,5 & 837.180,75 & 0 \\ 837.740 & 837.740 & 841.200 \\ 837.740 & 832.575 & 825.675 \end{bmatrix}$$

Dimana:

P = Probabilitas

P¹ = Probabilitas jika tidak dilakukan perawatan tahunan.

P² = Probabilitas jika dilakukan perawatan tahunan.

R = Hasil yang didapat

R¹ = Hasil yang didapat jika tidak melakukan perawatan

R² = Hasil yang didapat jika dilakukan perawatan.

Selanjutnya memasukan nilai tersebut ke dalam persamaan. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$v_i^k = \sum_{j=1}^k p_{ij}^k r_{ij}^k \dots\dots\dots(2)$$

Kemudian nilai tersebut digunakan untuk rumus berikut:

$$f_n^{(i)} = \max_k \frac{v_i^k}{v_i^k} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk *stage* terakhir. Dan,

$$f_n^{(i)} = \max_k \left\{ v_i^k + \sum_{j=1}^k p_{ij}^k f_{n+1}(j) \right\} \dots\dots\dots(4)$$

Untuk selain *stage* terakhir.

Dimana:

v_i^k = Ekspektasi yang didapatkan dari suatu transisi tunggal dari state – i pada kondisi k

P = Probabilitas

i = State kondisi saat ini

j = state kondisi periode selanjutnya

k = kondisi perlakuan

$f_n^{(i)}$ = Fungsi pada stage – n dengan kondisi mesin saat ini – i

Perhitungan dimulai dari *Stage* yang paling akhir lalu hitung mundur. Karena terdapat 5 *stage*, maka dimulai dari *stage* ke – 5.

N = 5

$$\begin{aligned} v1^1 &= p11^1 r11^1 + p12^1 r12^1 + p13^1 r13^1 \\ &= 0,52 \times 855.000 + 0,38 \times 812.250 + \\ &\quad 0,1 \times 684.000 \\ &= 821.655 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v2^1 &= p21^1 r21^1 + p22^1 r22^1 + p23^1 r23^1 \\ &= 0 \times 0 + 0,6 \times 769.500 + 0,4 \times 641.250 \\ &= 718.200 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v3^1 &= p31^1 r31^1 + p32^1 r32^1 + p33^1 r33^1 \\ &= 0 \times 0 + 0 \times 0 + 1 \times 513.000 \\ &= 513.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v1^2 &= p11^2 r11^2 + p12^2 r12^2 + p13^2 r13^2 \\ &= 0,57 \times 845.512,5 + 0,43 \times 837.180,75 + \\ &\quad 0 \times 0 \\ &= 841.929,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v2^2 &= p21^2 r21^2 + p22^2 r22^2 + p23^2 r23^2 \\ &= 0,4 \times 837.740 + 0,4 \times 837.740 + 0,2 \times \\ &\quad 841.200 \\ &= 838.432 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v3^2 &= p31^2 r31^2 + p32^2 r32^2 + p33^2 r33^2 \\ &= 0,25 \times 837.740 + 0,25 \times 832.757 + 0,5 \\ &\quad \times 825.675 \\ &= 830.461,75 \end{aligned}$$

Tabel 8
Hasil Perhitungan Stage 5

i	$\max_k v_i^k$		Solusi Optimal	
	k = 1	k = 2	$f_{5(i)}$	k* tindakan terbaik
1	821.655	841.929,85	841.929,85	2
2	718.200	838.432	838.432	2
3	513.000	830.461,75	830.461,75	2

Dimana K = 1, berarti kondisi tidak dilakukan perawatan tahunan dan K = 2, berarti kondisi jika dilakukan perawatan tahunan.

N = 4

i=1, k=1

$$\begin{aligned} f_n^{(i)} &= v_1^1 + P_{11}^1 f_{5(1)} + P_{12}^1 f_{5(2)} + P_{13}^1 f_{5(3)} \\ &= 821.655 + 0,52 \times 841.929,85 + 0,38 \times \\ &\quad 838.432 + 0,1 \times 830.461,75 \\ &= 1.661.108,86 \end{aligned}$$

i=2, k=1

$$\begin{aligned} f_n^{(i)} &= v_2^1 + P_{21}^1 f_{5(1)} + P_{22}^1 f_{5(2)} + P_{23}^1 f_{5(3)} \\ &= 718.200 + 0 \times 841.929,85 + 0,6 \times \\ &\quad 838.432 + 0,4 \times 830.461,75 \\ &= 1.553.443,9 \end{aligned}$$

i=3, k=1

$$\begin{aligned} f_n^{(i)} &= v_3^1 + P_{31}^1 f_{5(1)} + P_{32}^1 f_{5(2)} + P_{33}^1 f_{5(3)} \\ &= 513.000 + 0 \times 841.929,85 + 0 \times 838.432 \\ &\quad + 1 \times 830.461,75 \\ &= 1.343.461,75 \end{aligned}$$

i=1, k=2

$$\begin{aligned} f_n^{(i)} &= v_1^2 + P_{11}^2 f_{5(1)} + P_{12}^2 f_{5(2)} + P_{13}^2 f_{5(3)} \\ &= 841.929,85 + 0,57 \times 841.929,85 + 0,43 \\ &\quad \times 838.432 + 0 \times 830.461,75 \\ &= 1.682.355,63 \end{aligned}$$

i=2, k=2

$$\begin{aligned} f_n^{(i)} &= v_2^2 + P_{21}^2 f_{5(1)} + P_{22}^2 f_{5(2)} + P_{23}^2 f_{5(3)} \\ &= 838.432 + 0,4 \times 841.929,85 + 0,4 \times \\ &\quad 838.432 + 0,2 \times 830.461,75 \\ &= 1.676.669,09 \end{aligned}$$

i=3, k=2

$$\begin{aligned} f_n^{(i)} &= v_3^2 + P_{31}^2 f_{5(1)} + P_{32}^2 f_{5(2)} + P_{33}^2 f_{5(3)} \\ &= 830.461,75 + 0,25 \times 841.929,85 + 0,25 \\ &\quad \times 838.432 + 0,5 \times 830.461,75 \\ &= 1.665.783,09 \end{aligned}$$

Tabel 9
Hasil Perhitungan Stage 4

i	$f_n^{(i)} = \max_k \left\{ v_i^k + \sum_{j=1}^k p_{ij}^k f_{n+1}(j) \right\}$			Solusi Optimal
	k = 1	k = 2	$F_{4(i)}$	
1	1.661.108,86	1.682.355,63	1.682.355,63	2
2	1.553.443,9	1.676.669,09	1.676.669,09	2
3	1.343.461,75	1.665.783,09	1.665.783,09	2

N = 3

i=1, k=1

$$\begin{aligned} f_n^{(i)} &= v_1^1 + P_{11}^1 f_{4(1)} + P_{12}^1 f_{4(2)} + P_{13}^1 f_{4(3)} \\ &= 821.655 + 0,52 \times 1.682.355,63 + 0,38 \times \\ &\quad 1.676.669,09 + 0,1 \times 1.665.783,09 \\ &= 2.500.192,49 \end{aligned}$$

i=2, k=1

$$f_n^{(i)} = v_2^1 + P_{21}^1 f_{4(1)} + P_{22}^1 f_{4(2)} + P_{23}^1 f_{4(3)}$$

$$= 718.200 + 0 \times 1.682.355,63 + 0,6 \times 1.676.669,09 + 0,4 \times 1.665.783,09$$

$$= 2.390.514,69$$

i=3, k=1

$$f_n^{(i)} = v_3^1 + P_{31}^1 f_{4(1)} + P_{32}^1 f_{4(2)} + P_{33}^1 f_{4(3)}$$

$$= 513.000 + 0 \times 1.682.355,63 + 0 \times 1.676.669,09 + 1 \times 1.665.783,09$$

$$= 1.665.783,09$$

i=1, k=2

$$f_n^{(i)} = v_1^2 + P_{11}^2 f_{4(1)} + P_{12}^2 f_{4(2)} + P_{13}^2 f_{4(3)}$$

$$= 841.929,85 + 0,57 \times 1.682.355,63 + 0,43 \times 1.676.669,09 + 0 \times 1.665.783,09$$

$$= 2.521.840,27$$

i=2, k=2

$$f_n^{(i)} = v_2^2 + P_{21}^2 f_{4(1)} + P_{22}^2 f_{4(2)} + P_{23}^2 f_{4(3)}$$

$$= 838.432 + 0,4 \times 1.682.355,63 + 0,4 \times 1.676.669,09 + 0,2 \times 1.665.783,09$$

$$= 2.515.198,51$$

i=3, k=2

$$f_n^{(i)} = v_3^2 + P_{31}^2 f_{4(1)} + P_{32}^2 f_{4(2)} + P_{33}^2 f_{4(3)}$$

$$= 830.461,75 + 0,25 \times 1.682.355,63 + 0,25 \times 1.676.669,09 + 0,5 \times 1.665.783,09$$

$$= 2.503.109,48$$

Tabel 10
Hasil Perhitungan Stage 3

i	$f_n^{(i)} = \max_k \left\{ v_i^k + \sum_{j=1}^k p_{ij}^k f_{n+1}(j) \right\}$			Solusi Optimal
	k = 1	k = 2	$F_{3(i)}$	
1	2.500.192,49	2.521.840,27	2.521.840,27	2
2	2.390.514,69	2.515.198,51	2.515.198,51	2
3	1.665.783,09	2.503.109,48	2.503.109,48	2

N = 2

i=1, k=1

$$f_n^{(i)} = v_1^1 + P_{11}^1 f_{3(1)} + P_{12}^1 f_{3(2)} + P_{13}^1 f_{3(3)}$$

$$= 821.655 + 0,52 \times 2.521.840,27 + 0,38 \times 2.515.198,51 + 0,1 \times 2.503.109,48$$

$$= 3.339.098,32$$

i=2, k=1

$$f_n^{(i)} = v_2^1 + P_{21}^1 f_{3(1)} + P_{22}^1 f_{3(2)} + P_{23}^1 f_{3(3)}$$

$$= 718.200 + 0 \times 2.521.840,27 + 0,6 \times 2.515.198,51 + 0,4 \times 2.503.109,48$$

$$= 3.228.562,89$$

i=3, k=1

$$f_n^{(i)} = v_3^1 + P_{31}^1 f_{3(1)} + P_{32}^1 f_{3(2)} + P_{33}^1 f_{3(3)}$$

$$= 513.000 + 0 \times 2.521.840,27 + 0 \times 2.515.198,51 + 1 \times 2.503.109,48$$

$$= 3.016.109,48$$

i=1, k=2

$$f_n^{(i)} = v_1^2 + P_{11}^2 f_{3(1)} + P_{12}^2 f_{3(2)} + P_{13}^2 f_{3(3)}$$

$$= 841.929,85 + 0,57 \times 2.521.840,27 + 0,43 \times 2.515.198,51 + 0 \times 2.503.109,48$$

$$= 3.360.914,16$$

i=2, k=2

$$f_n^{(i)} = v_2^2 + P_{21}^2 f_{3(1)} + P_{22}^2 f_{3(2)} + P_{23}^2 f_{3(3)}$$

$$= 838.432 + 0,4 \times 2.521.840,27 + 0,4 \times 2.515.198,51 + 0,2 \times 2.503.109,48$$

$$= 3.353.869,41$$

i=3, k=2

$$f_n^{(i)} = v_3^2 + P_{31}^2 f_{3(1)} + P_{32}^2 f_{3(2)} + P_{33}^2 f_{3(3)}$$

$$= 830.461,75 + 0,25 \times 2.521.840,27 + 0,25 \times 2.515.198,51 + 0,5 \times 2.503.109,48$$

$$= 3.341.276,19$$

Tabel 11
Hasil Perhitungan Stage 2

i	$f_n^{(i)} = \max_k \left\{ v_i^k + \sum_{j=1}^k p_{ij}^k f_{n+1}(j) \right\}$			Solusi Optimal
	k = 1	k = 2	$F_{2(i)}$	
1	3.339.098,32	3.360.914,16	3.360.914,16	2
2	3.228.562,89	3.353.869,41	3.353.869,41	2
3	3.016.109,48	3.341.276,19	3.341.276,19	2

N=1

i=1, k=1

$$f_n^{(i)} = v_1^1 + P_{11}^1 f_{2(1)} + P_{12}^1 f_{2(2)} + P_{13}^1 f_{2(3)}$$

$$= 821.655 + 0,52 \times 3.360.914,16 + 0,38 \times 3.353.869,41 + 0,1 \times 3.341.276,19$$

$$= 4.177.928,28$$

i=2, k=1

$$f_n^{(i)} = v_2^1 + P_{21}^1 f_{2(1)} + P_{22}^1 f_{2(2)} + P_{23}^1 f_{2(3)}$$

$$= 718.200 + 0 \times 3.360.914,16 + 0,6 \times 3.353.869,41 + 0,4 \times 3.341.276,19$$

$$= 4.067.032,12$$

i=3, k=1

$$f_n^{(i)} = v_3^1 + P_{31}^1 f_{2(1)} + P_{32}^1 f_{2(2)} + P_{33}^1 f_{2(3)}$$

$$= 513.000 + 0 \times 3.360.914,16 + 0 \times 3.353.869,41 + 1 \times 3.341.276,19$$

$$= 3.854.276,19$$

i=1, k=2

$$f_n^{(i)} = v_1^2 + P_{11}^2 f_{2(1)} + P_{12}^2 f_{2(2)} + P_{13}^2 f_{2(3)}$$

$$= 841.929,85 + 0,57 \times 3.360.914,16 + 0,43 \times 3.353.869,41 + 0 \times 3.341.276,19$$

$$= 4.199.814,77$$

i=2, k=2

$$f_n^{(i)} = v_2^2 + P_{21}^2 f_{2(1)} + P_{22}^2 f_{2(2)} + P_{23}^2 f_{2(3)}$$

$$= 838.432 + 0,4 \times 3.360.914,16 + 0,4 \times 3.353.869,41 + 0,2 \times 3.341.276,19$$

$$= 4.192.600,67$$

i=3, k=2

$$f_n^{(i)} = v_3^2 + P_{31}^2 f_{2(1)} + P_{32}^2 f_{2(2)} + P_{33}^2 f_{2(3)}$$

$$= 830.461,75 + 0,25 \times 3.360.914,16 + 0,25 \times 3.353.869,41 + 0,5 \times 3.341.276,19$$

$$= 4.179.795,74$$

Tabel 12
Hasil Perhitungan Stage 1

$$f_n^{(i)} = \max_k \left\{ v_i^k + \sum_{j=1}^k p_{ij}^k f_{n+1}^{(j)} \right\}$$

Solusi Optimal

i	$f_n^{(i)}$		$F_{1(i)}$	k* tindakan terbaik
	k = 1	k = 2		
1	4.177.928,28	4.199.814,77	4.199.814,77	2
2	4.067.032,12	4.192.600,67	4.192.600,67	2
3	3.854.276,19	4.179.795,74	4.179.795,74	2

Analisis

Penerapan metode Rantai Markov yang digunakan sangat membantu dalam mengambil keputusan, berdasarkan unsur peluang peristiwa sehingga untuk mengambil keputusan berdasarkan kemungkinan peluang yang terjadi. Pada penelitian ini, kriteria yang diinginkan berdasarkan hasil produksi. Kriteria dapat diganti menjadi biaya, waktu yang hilang dan lain – lain. Metode ini juga mengalami beberapa kendala untuk diterapkan, terutama ketersediaan data historis sebagai dasar untuk melakukan perhitungan. Dari beberapa penelitian dan tulisan yang dijadikan referensi, data yang digunakan berkisar antara 5 – 10 periode walaupun terkadang ada yang menggunakan lebih.

Berdasarkan hasil perhitungan metode diatas, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. *Stage 5*

Hasil perhitungan metode menunjukkan bahwa pada tahun ke 5, perawatan tahunan tetap dilakukan pada mesin saat kondisi baik, rusak sedang dan rusak berat. Hasil perhitungan menunjukkan keputusan terbaik adalah dilakukan perawatan tahunan pada semua kondisi state.

2. *Stage 4*

Hasil perhitungan metode menunjukkan bahwa pada tahun ke 4, perawatan tahunan tetap dilakukan pada mesin saat kondisi baik, rusak sedang dan rusak berat. Hasil perhitungan menunjukkan keputusan terbaik adalah dilakukan perawatan tahunan pada semua kondisi state.

3. *Stage 3*

Hasil perhitungan metode menunjukkan bahwa pada tahun ke 3, perawatan tahunan tetap dilakukan pada mesin saat kondisi baik, rusak sedang dan rusak berat. Hasil perhitungan menunjukkan keputusan terbaik adalah dilakukan perawatan tahunan pada semua kondisi state.

4. *Stage 2*

Hasil perhitungan metode menunjukkan bahwa pada tahun ke 2, perawatan tahunan tetap dilakukan pada mesin saat kondisi baik, rusak

sedang dan rusak berat. Hasil perhitungan menunjukkan keputusan terbaik adalah dilakukan perawatan tahunan pada semua kondisi state.

5. *Stage 1*

Hasil perhitungan metode menunjukkan bahwa pada tahun ke 1, perawatan tahunan tetap dilakukan pada mesin saat kondisi baik, rusak sedang dan rusak berat. Hasil perhitungan menunjukkan keputusan terbaik adalah dilakukan perawatan tahunan pada semua kondisi state.

Hal ini menunjukkan bahwa perusahaan sebaiknya melakukan perawatan tahunan selama 5 tahun, karena dari hasil perhitungan setiap *stage* memberikan hasil kondisi terbaik jika dilakukan perawatan tahunan.

Berdasarkan hasil perhitungan, jika dilakukan perawatan tahunan, hasil produksi tertinggi yang didapat adalah sebesar 845.512,5 ton/periode (pada kondisi mesin saat ini baik dan periode berikutnya baik) dan hasil produksi terendah sebesar 825.675 ton/periode (pada kondisi mesin saat ini rusak berat dan periode berikutnya rusak berat).

Hasil produksi tertinggi jika tidak dilakukan perawatan tahunan adalah 855.000 ton/periode (kondisi saat ini baik dan periode berikutnya baik) dan terendah 513.000 ton/periode (kondisi saat ini rusak berat dan kondisi periode berikutnya rusak berat). Dengan demikian hasil produksi tertinggi adalah jika tidak dilakukan perawatan tahunan dengan kondisi baik dan periode berikutnya baik. Tetapi perlu dilihat bahwa peluang kemungkinan tersebut dicapai lebih kecil (0,52) dibanding dengan peluang dilakukan perawatan tahunan (0,57). Jika ternyata kondisi tersebut tidak tercapai, peluang yang mungkin terjadi adalah kondisi mesin menjadi rusak sedang atau rusak berat (jika tidak dilakukan perawatan tahunan) yang berarti hasil produksi akan menurun.

Hasil produksi kondisi saat ini baik dan periode berikutnya rusak sedang jika dilakukan perawatan tahunan sebesar 837.180,75 ton/periode dimana lebih besar dibandingkan dengan hasil produksi kondisi mesin saat ini baik dan periode berikutnya rusak sedang tanpa perawatan tahunan yang sebesar 812.250 ton/periode dan 684.000 ton/periode jika periode berikutnya rusak berat.

Dibandingkan dengan kapasitas terpasang yang sebesar 855.000 ton/periode, jika dilakukan perawatan tahunan dengan hasil tertinggi 845.512,5 ton/periode terjadi kehilangan produksi sebesar 9.487 ton/periode (sekitar 1,1% dari kapasitas terpasang) dan dengan hasil terendah sebesar 825.675 ton/periode terjadi kehilangan produksi sebesar 29.325 ton/periode (sekitar 3,4% dari kapasitas terpasang).

Hasil produksi tertinggi jika tidak dilakukan perawatan tahunan sebesar 855.000 ton/periode, hasil produksi memang tidak ada yang hilang tetapi untuk hasil produksi terendah sebesar 513.000 ton/periode, terjadi kehilangan produksi sebesar 342.000 ton/periode (sekitar 40% dari hasil produksi). Hal ini tentu menjadi bahan pertimbangan kembali oleh perusahaan.

Hal yang menyebabkan hasil produksi berkurang selama dilakukan perawatan adalah terjadinya *shut down* pada saat dilakukan perawatan. Lamanya hari saat terjadi *shut down* tersebut yang menyebabkan produksi berhenti sehingga hasil produksi berkurang. Memang saat dilakukan pemeriksaan akan menyebabkan hasil produksi berkurang, namun hal tersebut dapat diminimalkan dengan cara mengurangi jumlah waktu yang diperlukan untuk perawatan tersebut sehingga hasil produksi yang hilang pun akan lebih sedikit.

Mengurangi waktu yang diperlukan untuk perawatan dapat dengan menggunakan tenaga yang sudah ahli. Dengan menggunakan tenaga perbaikan yang ahli, maka waktu untuk memperbaiki akan lebih singkat jika dibandingkan tenaga pekerja umumnya. Dapat pula dengan mengurangi waktu tempuh antar mesin yang memerlukan perawatan. Mencari rute dengan waktu tempuh tersingkat dapat mempersingkat waktu perawatan.

Cara lainnya adalah dengan sistem persediaan komponen yang akan digunakan sehingga saat terjadi kerusakan dapat segera dilakukan perbaikan tanpa harus menunggu datangnya komponen terlebih dahulu. Dengan cara – cara seperti itu, dapat mengurangi hasil produksi yang hilang walaupun tidak 100% dapat dihilangkan.

Untuk perawatan yang dilakukan dapat dengan beberapa cara. Misalkan untuk mesin yang dalam keadaan baik. Perawatan yang dilakukan hanya dilakukan pembersihan komponen – komponen dan dilakukan penyetelan ulang agar kondisi mesin tetap baik. Namun untuk kondisi yang sedang mengalami kerusakan (sedang maupun berat), perbaikan melibatkan bagian *maintenance* dan bekerja sama dengan bagian KPK (Keselamatan dan Pemadam Kebakaran) yang akan menjaga proses perbaikan berlangsung dengan aman. Selain itu juga menyewa beberapa ahli dari luar untuk membantu melakukan perbaikan supaya hasil lebih optimal lagi.

Kesimpulan

Metode *Markovian* merupakan metode yang baik untuk melakukan pengambilan keputusan perawatan mesin di PT. Pupuk Kujang. Dari hasil perhitungan didapat hasil bahwa dalam 5

periode (1 periode = 18 bulan), dilakukan perawatan tahunan secara teratur. Berarti sistem yang telah diterapkan perusahaan selama ini sudah cukup tepat. Hasil produksi yang hilang jika dilakukan perawatan hanya berkisar antara 1,1% sampai 3,4% yang berarti lebih kecil dibanding tidak dilakukan perawatan tahunan yang dapat hilang sampai dengan 40%. Perhitungan metode Markov menggunakan data historis 5 periode sebelumnya dan didapat hasil keputusan untuk digunakan selama 5 periode kedepan. Untuk periode selanjutnya (setelah 5 periode kedepan) perlu dilakukan perhitungan ulang. Penurunan hasil produksi karena kondisi *shut down* pada saat perawatan dapat diminimalkan dengan cara antara lain : mengurangi waktu tempuh antar mesin, memperbaiki sistem persediaan komponen dan menggunakan tenaga ahli.

Daftar Pustaka

- Abdurachman, Edi. “Konsep Dasar Markov Chain serta Kemungkinan Penerapannya di Bidang Pertanian”. Jurnal Infomatika Pertanian, Vol. 8, Des 1999.
- Kamilia, Mar’atul. “Penggunaan Model Rantai Markov dalam Rangka Pengambilan Keputusan Maintenance Mesin yang Tepat pada PT. Excelso Multi Rasa Surabaya”. Skripsi, Fakultas Ekonomi, Universitas Muhammadiyah Malang, 2006.
- Hartono, M. “Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode Markov Chain Guna Menurunkan Biaya Perawatan”. Jurnal Optimum, Vol. 3, No. 2, 2002 : 173 – 184.
- Pratama, Aris Setyo. “Penerapan Metode Markov Chain dan Electre III dalam Perangkingan Alternatif Pengembangan Program Pemasaran Telkom Flexi PT. Telkom Divre V”. Skripsi, Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2009.
- Rosadi, Dedi. “Pengambilan Keputusan Markov dan Aplikasinya di Bidang Periklanan”. Jurnal Integral, Vol. 5, No. 2, Okt 2000 : 75 – 82.
- Taha, Hamdy A. “Riset Operasi, Suatu Pengantar Jilid 2”. Binarupa Aksara. Jakarta. 1997.