

**KEBIJAKAN PERAWATAN MESIN PADA DEPARTEMEN ROLLING MILL
3 DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *CONTINUOUS MARKOV CHAIN*
(Studi Kasus: PT XYZ)**

***POLICY OF MAINTENANCE MACHINE 3rd ROLLING MILL DEPARTEMEN
USING CONTINUOUS MARKOV CHAIN (Case Study: PT XYZ)***

Puji Wahyuning Wibowo¹⁾, Oyong Novareza²⁾, Arif Rahman³⁾

Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya

Jl. Mayjen Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email: pujiwibowo4293@gmail.com¹⁾, novareza15@ub.ac.id²⁾, posku@ub.ac.id³⁾

Abstrak

Departemen Rolling Mill 3 PT XYZ adalah bagian dari perusahaan yang memproduksi baja beton berukuran diameter 10mm sampai 32mm, dimana proses kerja pada departemen tersebut dilakukan secara terus menerus. Sehingga mesin sering mengalami kerusakan dan menyebabkan tingginya nilai downtime. Salah satu proses yang memiliki downtime yang cukup besar adalah pada proses stand roll yaitu pada komponen bearing exit guide. Karena nilai downtime yang tinggi, maka dilakukan perencanaan perawatan yang efektif untuk meminimasi terjadinya kegagalan pada proses tersebut. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode continuous markov chain dengan tujuan dapat mengetahui perubahan setiap proses yang diperhatikan di sepanjang waktu secara kontinu. Dari hasil penelitian didapatkan dua jenis kegagalan bearing exit guide, yaitu bearing exit guide bergetar dan bearing exit guide pecah. Berdasarkan hasil perhitungan continuous markov chain dan analisis yang telah dilakukan, perencanaan perawatan dilakukan dengan menggunakan MTTF. Rekomendasi perawatan preventif untuk bearing exit guide adalah dilakukan pengencangan setiap 27 hari, dan penggantian komponen setelah 7 kali dilakukan pengencangan bearing pada 27 berikutnya.

Kata kunci: Perawatan, Mesin rolling mill, Bearing exit guide, Continuous Markov Chain

1. Pendahuluan

Peranan kegiatan perawatan sangat diperlukan untuk perusahaan. Peranan kegiatan perawatan tersebut antara lain adalah dapat menjaga sistem produksi agar tetap bekerja sebagaimana fungsinya dan produk dapat dihasilkan tepat waktu dengan kualitas yang baik. Kegiatan perawatan dibedakan menjadi dua, yaitu tidak terencana dan terencana, Corder (1992). Perawatan tidak terencana adalah perawatan darurat untuk mencegah akibat kerusakan mesin yang lebih serius, misalnya kerusakan besar pada peralatan. Sedangkan perawatan terencana meliputi kegiatan perawatan pencegahan dan korektif. Perawatan pencegahan dilakukan pada selang waktu yang ditentukan sebelumnya, sedangkan perawatan korektif dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan perencanaan perawatan mesin adalah dengan menggunakan metode *continuous markov chain*. Kelebihan

metode ini adalah dapat mengetahui perubahan proses yang diperhatikan di sepanjang waktu secara kontinu. Dimana laju kerusakan dan laju perbaikan (λ, μ) adalah konstan. *Continuous markov chain* adalah suatu metode evaluasi keandalan yang mengakomodasikan waktu perbaikan yang dibutuhkan oleh peralatan, Yuliana (2009),.

Penelitian pada proses produksi baja PT XYZ, departemen Rolling Mill 3. Proses produksi baja beton pada departemen rolling mill 3 menggunakan 19 mesin rolling mill, sehingga dapat membentuk ukuran baja beton yang diinginkan. Proses material melalui mesin rolling mill disebut dengan proses *stand roll*. Pada proses sering terjadi *missroll*, sehingga membuat material tidak terbentuk sesuai bentuk yang diinginkan. Adapun data *missroll* bulan Januari-Juni 2014 dapat dilihat pada Tabel 1. Gambar 1 akan menampilkan material *missroll*. Terlihat dari gambar tersebut bentuk material tidak beraturan sehingga tidak sesuai dengan bentuk yang diinginkan karena kesalahan pada saat memasuki mesin rolling mill

Tabel 1. Data Missroll Tahun 2014

Bulan	Missroll (unit)	Jumlah Produksi (unit)
Januari	79	2901
Februari	41	1221
Maret	11	717
April	133	6547
Mei	199	3640
Juni	106	2921
Jumlah	569	17947



Gambar 1. Material Missroll

Missroll yang terjadi pada proses *stand roll* diakibatkan karena material tidak dapat diputar oleh *exit guide* pada mesin rolling mill. Kerja *exit guide* tersebut dibantu oleh *bearing*, yang berfungsi sebagai penopang poros *exit guide*.

Bearing exit guide yang digunakan sebagai penopang tersebut sering mengalami kerusakan karena tekanan dari material yang masuk ke dalam mesin rolling mill. Oleh sebab itu perlu dilakukan perencanaan perawatan untuk mengurangi tingkat kerusakan *bearing exit guide*.

Pada penelitian ini, masalah yang diteliti adalah penyebab dan dampak kerusakan pada *bearing exit guide* dan bagaimana cara meminimasi kegagalan yang terjadi dengan menggunakan metode *continuous markov chain*.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah Penelitian deskriptif bertujuan untuk mendeskripsikan, mencatat, menganalisis, dan

menginterpretasikan kondisi-kondisi yang sekarang ini terjadi.

2.1 Langkah-Langkah Penelitian

2.1.1 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah pencatatan informasi yang digunakan dalam penelitian. Data sekunder yang dikumpulkan adalah gambaran aliran proses produksi pada pabrik, waktu terjadinya kerusakan, dan waktu dilakukannya perbaikan mesin. Data yang diambil adalah data pada tahun 2012-2014.

2.1.2 Tahap Pengolahan Data

Laju kerusakan dan laju perbaikan akan digunakan untuk menghitung probabilitas dari setiap state yang telah ditentukan. Langkah yang dilakukan sebelum menghitung probabilitas setiap state adalah membuat diagram dan matriks transisi. Diagram transisi dibuat berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan sebelumnya.

2.1.3 Tahap Analisis Dan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan analisis reliabilitas dan rata-rata banyaknya kerusakan bersamaan komponen sesuai perhitungan *continuous markov chain*. Vinayak dan Dharmaraja (2012), menyatakan bahwa keandalan adalah kemampuan suatu sistem untuk melakukan fungsi yang diperlukan tanpa mengalami kegagalan pada periode waktu tertentu, sehingga keandalan adalah peluang suatu komponen dapat bekerja optimal sampai pada batas waktu (t). Keandalan sistem sama dengan (P_{ij}). Selanjutnya memberikan rekomendasi perawatan berupa jadwal perawatan preventif dengan menggunakan perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF).

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Gambaran Aliran Proses Produksi Pada Pabrik

1. Reheating Furnace

Pemanasan billet pada suhu ± 1400 °C. Pada pipa yang di dapur dilapisi dengan gas bul yang berfungsi sebagai penahan panas dari pipa tersebut. Terdapat juga batu tahan api. Batu tahan api merupakan material inorganik baik bersifat natural maupun sintesis yang tahan terhadap panas atau api dengan temperatur diatas 1000 °C tanpa mengalami perubahan bentuk ataupun melebur. Tujuan

dari dipasangnya batu tahan api adalah agar panas yang dihasilkan dalam tungku tidak merambat ke luar. Billet yang akan memasuki *reheating furnace* akan didorong oleh *push hidrolis*. Gambar 2 akan menampilkan tempat *reheating furnace* pada perusahaan. Pada gambar terlihat beberapa billet disiapkan terlebih dulu. Billet di ambil dari gudang persediaan perusahaan.



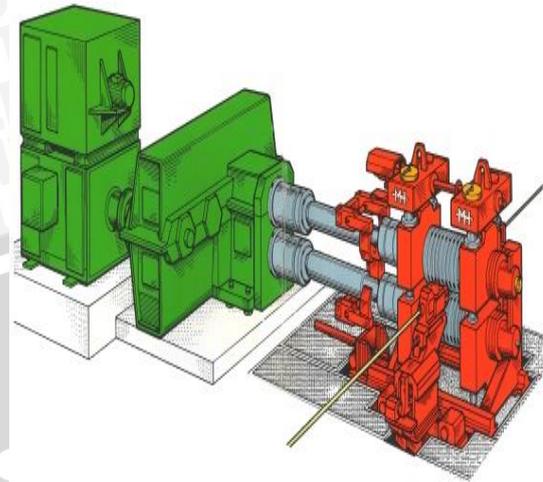
Gambar 2. Reheating Furnace

2. Proses Rolling

Bagian *rolling mill* ini terdapat *stand roll* dari mesin *rolling mill* 1 sampai mesin *rolling mill* 19 atau didalam perusahaan dikenal dengan istilah *stand* untuk menggambarkan urutan mesin *rolling mill*, yaitu dari *stand* 1 sampai dengan *stand* 19. Pada Gambar 3 akan menampilkan mesin *rolling mill*.

Pada proses *rolling mill* juga terdapat proses *shearing* yang bertujuan untuk memotong kepala billet yang berbentuk kurang bagus atau tidak teratur. Pada saat material sedang berjalan melewati mesin terdapat *temp core* yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan produk jadi, khususnya kekerasan billet dengan cara mengeraskan permukaan billet melalui penyemprotan air dengan kecepatan tentu. Kecepatan penyemprotan air diatur oleh *temp core controller*.

Proses produksi pada bagian rolling diatur oleh operator yang berada dalam ruangan pulpit.



Gambar 3. Mesin Rolling Mill

3. Handling Bed

Pada proses ini dilakukan *packaging* yaitu dengan mengikat produk sesuai dengan *standart* yang telah ditentukan. Produk yang telah jadi berukuran 6meter dengan jumlah 12 baja untuk setiap ikatnya. Gambar 4 menampilkan *handling bed*.



Gambar 4. Handling Bed

4. Bending

Mesin *bending* berfungsi untuk melengkungkan produk baja yang memiliki panjang 12 m sehingga dapat memudahkan untuk penyimpanan produk dan dalam proses pengangkutan baja ke dalam truk untuk dikirimkan kepada pelanggan. Gambar 5 menampilkan mesin *bending*.



Gambar 5. Mesin Bending

5. Pengujian Produk

Proses pengujian produk terdiri dari:

a. Uji tarik

Pada pengujian tarik, spesimen dikenai beban uji aksial yang meningkat secara progresif. Bentuk dan ukuran spesimen harus mengikuti standar pengujian yang ada, sesuai dengan jenis logam uji. Spesimen yang dikenai beban akan bertambah panjang, dan pertambahan panjang ini semakin besar dengan besarnya beban yang dikenakan pada spesimen.

b. Uji kekerasan

Pengujian kekerasan berdasarkan ketahanan terhadap indentasi merupakan metode pengujian yang digunakan dalam departemen ini. Pengujian kekerasan dilakukan untuk kontrol kualitas produk dengan mengetahui homogenitas struktur mikro akibat suatu proses pembentukan pepaduan *heat treatment* dan *case hardening*.

c. Pengujian struktur mikro

Pengujian struktur mikro berhubungan dengan pengamatan struktur logam baik secara mikro (pengamatan dengan alat bantu) ataupun makro (pengamatan tanpa alat bantu). Pengamatan struktur logam yang dilakukan meliputi pengamatan struktur

dan pengenalan tipe, ukuran, distribusi, orientasi, dan kuantitas.

Tipe mewakili nama khas pada logam tertentu. Ukuran mewakili dimensi dari fase dibandingkan dengan dimensi yang lain. Distribusi mewakili daerah penyebaran masing-masing fase diantara luasan yang menjadi pengamatan *sample* tersebut. Bentuk dan orientasi mewakili pengambilan ruang atau arah satu fase dengan fase lainnya, sedangkan kuantitas mewakili jumlah masing-masing fase.

3.2 Analisis Penyebab Kegagalan Komponen

Kegagalan komponen *bearing* pada proses *stand roll* adalah *bearing exit guide* yang bergetar dan *bearing exit guide* yang pecah. Pada Gambar 6 dan Gambar 7 ditampilkan jenis kegagalan pada *bearing*. Pada Gambar 8 menampilkan penyebab dan dampak dari kegagalan komponen tersebut.

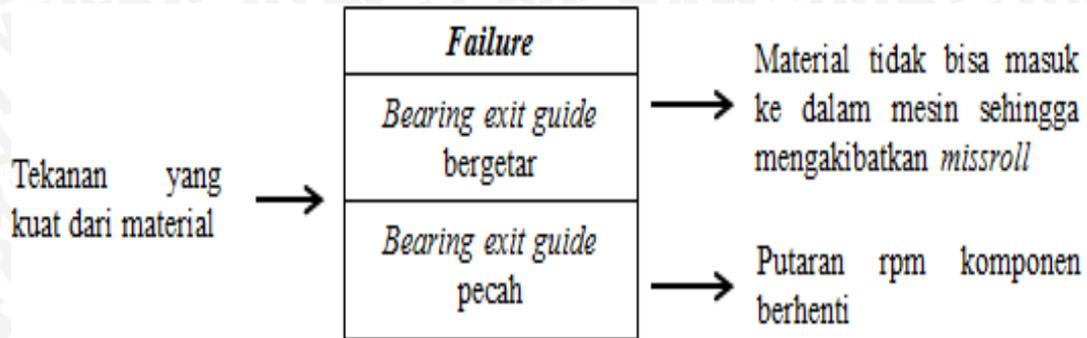


Gambar 6. Kerusakan Ball Bearing



Gambar 7. Kerusakan Tapper Bearing

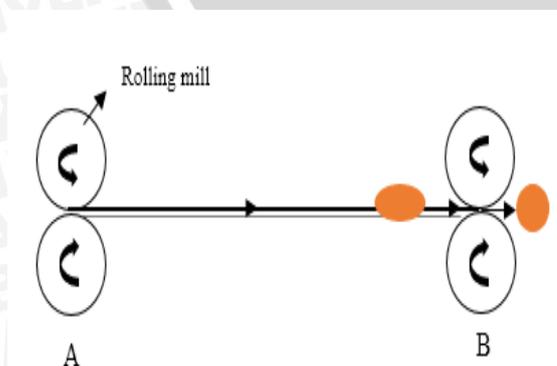
Pada Gambar 6 dan Gambar 7 terlihat *bearing* pecah. Kerusakan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kurangnya pelumasan dan jenis pelumas dan jenis *bearing* yang tidak sesuai.



Gambar 8. Penyebab dan Dampak Kegagalan Komponen

Pada Gambar 9 akan ditampilkan gambaran penyebab kerusakan *bearing exit guide*. Dan pada Gambar 10 ditampilkan komponen *exit guide*. Gambar 9 menunjukkan ada dua buah mesin *rolling mill* A dan B. Dimana mesin *rolling mill* A mencetak material menjadi oval dan mesin *rolling mill* B mencetak material menjadi bentuk bulat. Di dalam mesin *rolling mill* terdapat *entry guide* dan *exit guide* yang masing-masing fungsinya sebagai jalan masuk dan keluarnya material ketika diproses ke dalam mesin *rolling mill*. *Bearing* pada *entry guide* dan *exit guide* berfungsi sebagai penopang roll pada *entry guide* dan *exit guide*.

Material yang masuk ke dalam *entry guide* pada mesin *rolling mill* B untuk dibentuk bulat, harus diputar dari horisontal ke vertikal. Bagian yang berfungsi untuk memutar material tersebut adalah *exit guide*. Ketika *bearing* dalam *exit guide* tidak dapat menopang dan mengalami kerusakan maka akan menyebabkan material tidak dapat masuk ke dalam mesin *rolling mill* selanjutnya. Hal itu juga mempengaruhi putaran rpm komponen tersebut jika *bearing* dalam *exit guide* mengalami kerusakan/pecah.



Gambar 9. Gambaran Penyebab Kerusakan *Bearing Exit Guide*



Gambar 10. *Exit Guide*

3.3 Perhitungan Laju Kerusakan dan Laju Perbaikan

3.3.1 *Bearing Exit Guide Bergetar*

Perhitungan laju kerusakan dan laju perbaikan dihitung untuk semua *stand* yang mengalami kerusakan. Setelah itu dilakukan perhitungan rata-rata dari semua *stand* tersebut.

Pada Tabel 2 ditampilkan hasil rekap perhitungan laju kerusakan dan laju perbaikan dari semua *stand* yang mengalami kerusakan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Laju Kerusakan Dan Laju Perbaikan *Bearing Exit Guide Bergetar*

	Laju kerusakan	Laju perbaikan
stand 4	0.000136	3
stand 5	0.000292	2.823529
stand 6	0.000328	2.666667
stand 8	0.010417	2
stand 10	0.000278	3.2
stand 14	6.72E-05	1.714286
stand 16	0.000543	2.666667
stand 18	0.000185	2
rata-rata	0.00153	2.50889

Dari hasil perhitungan untuk *bearing exit guide* bergetar diperoleh laju kerusakan (λ) sebesar 0,00153 dan laju perbaikan (μ) sebesar 2,50889.

3.3.2 Bearing Exit Guide Pecah

Perhitungan untuk *bearing exit guide* pecah sama dengan perhitungan *bearing exit guide* bergetar. Pada Tabel 3 ditampilkan hasil rekap perhitungan laju kerusakan dan laju perbaikan dari semua *stand* yang mengalami kerusakan

Tabel 3. Hasil Perhitungan Laju Kerusakan Dan Laju Perbaikan *Bearing Exit Guide* Pecah

	Laju kerusakan	Laju perbaikan
<i>stand 2</i>	0.000361	2.181818
<i>stand 3</i>	0.000118	2
<i>stand 4</i>	0.000234	2
<i>stand 6</i>	0.00018	2.4
<i>stand 8</i>	0.000229	3.428571
<i>stand 10</i>	0.000133	2.4
<i>stand 12</i>	0.000123	2.181818
<i>stand 16</i>	0.000138	3
rata-rata	0.00019	2.44903

Dari hasil perhitungan untuk *bearing exit guide* pecah diperoleh laju kerusakan (λ) sebesar 0,00019 dan laju perbaikan (μ) sebesar 2,44903.

3.4 Identifikasi State

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan untuk 19 mesin *rolling mill* yang digunakan. Oleh karena itu terdapat 19 *state*. Berikut adalah *state* yang ditentukan:

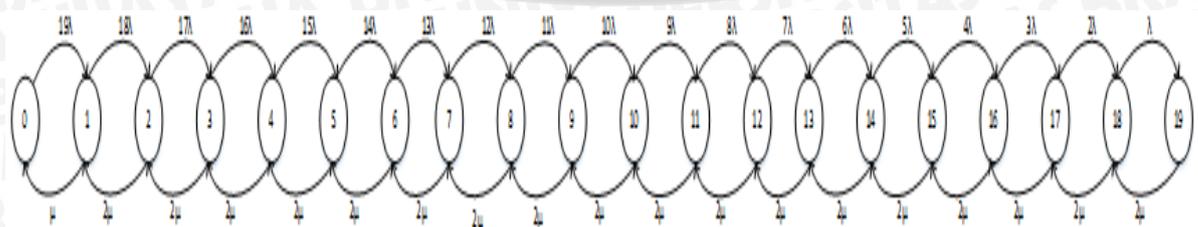
- State 0* adalah keadaan mesin belum mengalami kerusakan.
- State 1* adalah 1 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 2* adalah 2 mesin *rolling mill* yang rusak

- State 3* adalah 3 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 4* adalah 4 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 5* adalah 5 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 6* adalah 6 mesin *rolling mill* yang rusak.
- State 7* adalah 7 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 8* adalah 8 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 9* adalah 9 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 10* adalah 10 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 11* adalah 11 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 12* adalah 12 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 13* adalah 13 mesin *rolling mill* yang rusak.
- State 14* adalah 14 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 15* adalah 15 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 16* adalah 16 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 17* adalah 17 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 18* adalah 18 mesin *rolling mill* yang rusak
- State 19* adalah 19 mesin *rolling mill* yang rusak

3.5 Membuat Diagram dan Matriks Transisi

Pada Gambar 11 ditampilkan Diagram Transisi. Pada diagram terdapat 19 *state* yang telah ditentukan sebelumnya.

Pada Gambar 12 akan ditambahkan matriks transisi, yang akan dijadikan perhitungan probabilitas dari *state 0* (P_0) sampai dengan *state 19* (P_{19}).



Gambar 11. Diagram Transisi

	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19
P0	-19λ	18λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	μ	-(18+μ)	18λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	2μ	-(17+2μ)	17λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	2μ	-(16+2μ)	16λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	2μ	-(15+2μ)	15λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	0	0	2μ	-(14+2μ)	14λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	0	2μ	-(13+2μ)	13λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	2μ	-(12+2μ)	12λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(11+2μ)	11λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(10+2μ)	10λ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(9+2μ)	9λ	0	0	0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(8+2μ)	8λ	0	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(7+2μ)	7λ	0	0	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(6+2μ)	6λ	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(5+2μ)	5λ	0	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(4+2μ)	4λ	0	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(3+2μ)	3λ	0	0
P17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(2+2μ)	2λ	0
P18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-(1+2μ)	λ
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2μ	-2μ

Gambar 12. Matriks Transisi

3.6 Menghitung Probabilitas Tiap State

Dari hasil perhitungan matriks transisi, maka akan diperoleh nilai probabilitas untuk setiap state yang telah ditentukan, P_{ij} adalah peluang transisi satu langkah dari keadaan i ke keadaan j , Hiller (2005). Oleh karena itu $\sum_{j=0}^M p_{ij} = 1$, sehingga $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17} + P_{18} + P_{19} = 1$

Maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$-19\lambda P_0 + \mu P_1 = 0 \quad (\text{pers. 1})$$

$$19\lambda P_0 + (-18\lambda - \mu)P_1 + 2\mu P_2 = 0 \quad (\text{pers. 2})$$

$$18\lambda P_1 + (-17\lambda - 2\mu)P_2 + 2\mu P_3 = 0 \quad (\text{pers.3})$$

$$17\lambda P_2 + (-16\lambda - 2\mu)P_3 + 2\mu P_4 = 0 \quad (\text{pers. 4})$$

$$16\lambda P_3 + (-15\lambda - 2\mu)P_4 + 2\mu P_5 = 0 \quad (\text{pers.5})$$

$$15\lambda P_4 + (-14\lambda - 2\mu)P_5 + 2\mu P_6 = 0 \quad (\text{pers. 6})$$

$$14\lambda P_5 + (-13\lambda - 2\mu)P_6 + 2\mu P_7 = 0 \quad (\text{pers. 7})$$

$$13\lambda P_6 + (-12\lambda - 2\mu)P_7 + 2\mu P_8 = 0 \quad (\text{pers. 8})$$

$$12\lambda P7 + (-11\lambda - 2\mu)P8 + 2\mu P9 = 0$$

(pers. 9)

$$11\lambda P8 + (-10\lambda - 2\mu)P9 + 2\mu P10 = 0$$

(pers. 10)

$$10\lambda P9 + (-9\lambda - 2\mu)P10 + 2\mu P11 = 0$$

(pers. 11)

$$9\lambda P10 + (-8\lambda - 2\mu)P11 + 2\mu P12 = 0$$

(pers. 12)

$$8\lambda P11 + (-7\lambda - 2\mu)P12 + 2\mu P13 = 0$$

(pers. 13)

$$7\lambda P12 + (-6\lambda - 2\mu)P13 + 2\mu P14 = 0$$

(pers. 14)

$$6\lambda P13 + (-5\lambda - 2\mu)P14 + 2\mu P15 = 0$$

(pers. 15)

$$5\lambda P14 + (-4\lambda - 2\mu)P15 + 2\mu P16 = 0$$

(pers. 16)

$$4\lambda P15 + (-3\lambda - 2\mu)P16 + 2\mu P17 = 0$$

(pers. 17)

$$3\lambda P16 + (-2\lambda - 2\mu)P17 + 2\mu P18 = 0$$

(pers. 18)

$$2\lambda P17 + (-\lambda - 2\mu)P18 + 2\mu P19 = 0$$

(pers. 19)

1. *Bearing exit guide* bergetar

Diketahui laju kerusakan (λ) = 0,00153 dan laju perbaikan (μ) = 2,50889. Maka hasil perhitungan probabilitas transisi untuk setiap state dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Probabilitas *Bearing Exit Guide* Bergetar

State	Nilai Probabilitas	State	Nilai Probabilitas
State 0	0.989	State 10	2.614.10 ⁻¹⁹
State 1	0.012	State 11	2.613.10 ⁻¹⁹
State 2	6.294.10 ⁻⁵	State 12	2.612.10 ⁻¹⁹
State 3	3.264.10 ⁻⁷	State 13	2.612.10 ⁻¹⁹
State 4	1.593.10 ⁻⁹	State 14	2.611.10 ⁻¹⁹
State 5	7.292.10 ⁻¹²	State 15	2.609.10 ⁻¹⁹
State 6	3.115.10 ⁻¹⁴	State 16	2.609.10 ⁻¹⁹
State 7	1.238.10 ⁻¹⁶	State 17	2.609.10 ⁻¹⁹
State 8	7.139.10 ⁻¹⁹	State 18	2.608.10 ⁻¹⁹
State 9	2.629.10 ⁻¹⁹	State 19	2.607.10 ⁻¹⁹

Dari hasil perhitungan probabilitas setiap state, maka dapat diketahui nilai rata-rata banyaknya kerusakan bersamaan dengan rumus $\sum(P(x) \times x)$, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

$$(0.989 \times 0) + (0.012 \times 1) + (6.294.10^{-5} \times 2) + (3.264.10^{-7} \times 3) + (1.593.10^{-9} \times 4) + (7.292.10^{-12} \times 5) + (3.115.10^{-14} \times 6) + (1.238.10^{-16} \times 7) + (7.139.10^{-19} \times 8) + (2.629.10^{-19} \times 9) + (2.614.10^{-19} \times 10) + (2.613.10^{-19} \times 11) + (2.612.10^{-19} \times 12) + (2.612.10^{-19} \times 13) + (2.611.10^{-19} \times 14) + (2.609.10^{-19} \times 15) + (2.609.10^{-19} \times 16) + (2.609.10^{-19} \times 17) + (2.608.10^{-19} \times 18) + (2.607.10^{-19} \times 19) = \mathbf{0.01159}.$$

2. *Bearing exit guide* pecah

Diketahui laju kerusakan (λ) = 0,00019 dan laju perbaikan (μ) = 2,44903. Maka hasil perhitungan probabilitas transisi untuk setiap state dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Probabilitas *Bearing Exit Guide* Pecah

State	Nilai Probabilitas	State	Nilai Probabilitas
State 0	0.999	State 10	4.170.10 ⁻¹³
State 1	0.00147	State 11	4.172.10 ⁻¹³
State 2	1.022.10 ⁻⁶	State 12	4.173.10 ⁻¹³
State 3	6.719.10 ⁻¹⁰	State 13	4.174.10 ⁻¹³
State 4	4.158.10 ⁻¹³	State 14	4.175.10 ⁻¹³
State 5	4.161.10 ⁻¹³	State 15	4.176.10 ⁻¹³
State 6	4.163.10 ⁻¹³	State 16	4.176.10 ⁻¹³
State 7	4.165.10 ⁻¹³	State 17	4.177.10 ⁻¹³
State 8	4.167.10 ⁻¹³	State 18	4.177.10 ⁻¹³
State 9	4.167.10 ⁻¹³	State 19	4.177.10 ⁻¹³

Nilai rata-rata banyaknya bearing exit pecah yang rusak bersamaan adalah sebagai berikut:

$$(0.999 \times 0) + (0.00147 \times 1) + (1.022.10^{-6} \times 2) + (6.719.10^{-10} \times 3) + (4.158.10^{-13} \times 4) + (4.161.10^{-13} \times 5) + (4.163.10^{-13} \times 6) + (4.165.10^{-13} \times 7) + (4.167.10^{-13} \times 8) + (4.167.10^{-13} \times 9) + (4.170.10^{-13} \times 10) + (4.172.10^{-13} \times 11) + (4.173.10^{-13} \times 12) + (4.174.10^{-13} \times 13) + (4.175.10^{-13} \times 14) + (4.176.10^{-13} \times 15) + (4.176.10^{-13} \times 16) + (4.177.10^{-13} \times 17) + (4.177.10^{-13} \times 18) + (4.177.10^{-13} \times 19) = \mathbf{0.00147}.$$

3.7 Hasil dan Pembahasan

3.7.1 Analisis Keandalan

Keandalan sistem sama dengan P(ij). Probabilitas pada state 0 merupakan kondisi mesin yang belum mengalami kerusakan. Seperti yang dinyatakan sebelumnya pada identifikasi state bahwa state 0 adalah mesin *rolling mill* yang belum mengalami kerusakan.

Pada hasil perhitungan probabilitas transisi untuk *bearing exit guide* bergetar diketahui bahwa P(0) sebesar 0,989. Ini berarti bahwa tingkat keandalan mesin sebesar 98,9%. Sedangkan untuk *bearing exit guide* pecah memiliki nilai P(0) sebesar 0,999 dengan tingkat keandalan mesin sebesar 99,9%. Karena tingkat keandalan mesin tinggi maka perawatan mengacu pada MTTF (*Mean Time To Failure*).

3.7.2 Analisis Rata-rata Banyaknya Kerusakan Bersamaan

Rata-rata banyaknya kerusakan *bearing exit guide* bergetar secara bersamaan adalah sebesar 0,01159. Sedangkan rata-rata banyaknya kerusakan bersamaan untuk *bearing exit guide* pecah adalah sebesar 0,00147. Karena nilai rata-rata relative kecil maka untuk jadwal perawatan menggunakan MTTF (*Mean Time To Failure*).

3.7.3 Jadwal Perawatan Preventif

Berdasarkan perhitungan yang telah diperoleh maka dapat menentukan jadwal *preventive maintenance* dengan menghitung nilai MTTF (*Mean Time To Failure*). Untuk mengetahui besar MTTF suatu komponen dapat dihitung dengan menggunakan rumus, Pyo Park (2011)

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad (\text{pers. 20})$$

Dimana λ = laju kerusakan komponen

1. *Bearing exit guide* bergetar

Diketahui laju kerusakan (λ) adalah 0,00153, maka:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTTF = \frac{1}{0,00153} = 653 \text{ jam} = 27 \text{ hari}$$

Nilai MTTF *bearing exit guide* bergetar adalah sebesar 27 hari, maka diperlukan kegiatan *preventive maintenance* setiap 27 hari. Adapun kegiatan perawatan preventif yang dilakukan untuk *bearing exit guide* bergetar adalah berupa pengencangan *bearing* setiap 27 hari untuk setiap mesin *rolling mill*.

2. *Bearing exit guide* pecah

Diketahui laju kerusakan (λ) adalah 0,00019, maka:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTTF = \frac{1}{0,00019} = 5263 \text{ jam} = 219 \text{ hari}$$

Nilai MTTF *bearing exit guide* pecah adalah sebesar 219 hari, maka diperlukan kegiatan *preventive maintenance* setiap 219 hari. Penggantian *bearing exit guide* pecah dilakukan setelah melakukan 7 kali pengencangan *bearing*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Lembar Kendali Perawatan Komponen *Bearing Exit Guide*

27	54	81	108	135	162	189	216
K	K	K	K	K	K	K	G
243	270	297	324	351	378	405	432
K	K	K	K	K	K	K	G

K adalah pengencangan *bearing exit guide*

G adalah penggantian *bearing exit guide*

4. Kesimpulan

Penyebab kerusakan *bearing exit guide* dikarenakan tekanan yang kuat dari material yang akan masuk ke dalam mesin *rolling mill* sehingga menyebabkan *bearing exit guide* bergetar dan pecah. Dampak dari kerusakan *bearing* tersebut diantaranya adalah terjadinya *missroll* dan putaran rpm pada *bearing* berhenti.

Dari perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF) diperoleh kebijakan perawatan dengan melakukan pengencangan *bearing exit guide* setiap 27 hari, dan penggantian *bearing exit guide* setelah 7 kali dilakukan pengencangan, yaitu pada 27 hari berikutnya. Selain kedua perawatan tersebut, pemberian pelumas secara rutin untuk *bearing exit guide* juga dapat meminimasi kegagalan yang terjadi pada *bearing*. Kesesuaian jenis pelumas dan jenis *bearing* harus diperhatikan.

Daftar Pustaka

Corder, A. (1992). *Maintenance Management Techniques*. terjemahan Ir. Kusnul Hadi. Jakarta: Erlangga.

Hiller, and Lieberman. (2005). *Introduction to Operations Research Eight Edition*. Cetakan II. terjemahan Parama Kartika Dewa, The Jin Ai, Slamet Setio Wigati, Dhewiberta Hardjono. Yogyakarta: ANDI.

Pyok Park, G. Haeng Heo, J. Seung Lee, S. and Tae Yoon, Y. (2011). Generalized Reliability Centered Maintenance Modeling Through Modified Semi-Markov Chain in Power System. *Journal of Electrical Engineering & Technology*. Vol. 6: 25-31.

Vinayak, R. & Dharmaraja, S. (2012). Semi-Markov Modeling Approach for Deteriorating Systems with Preventive Maintenance. *International Journal of Performability Engineering*. Vol. 8: 515-526.



Yuliana, dkk. (2009). *Penentuan Interval Perawatan Berdasarkan Nilai MTBF dan Analisis Availability Standby System dengan Metode Continous Time Markov Chain di Sistem Karbamat Unit Urea K-1 PT. Pupuk Kaltim*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November

