

ANALISIS PROPORSI KONDISI MESIN DAN KEANDALAN PADA MESIN *HANGER SHOT BLAST* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *MARKOV* (Studi Kasus: PT. Barata Indonesia (Persero))

Riezna Wahyuni Rizal Manto¹, Said Salim Dahda², M. Zainuddin Fathoni³

¹⁾ Mahasiswi Teknik Industri Fakultas Teknik

^{2,3)} Dosen Teknik Industri Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Gresik

¹⁾ rieznawhy@gmail.com, ²⁾ saidssalimdh@gmail.com, ³⁾ zainuddin@umg.ac.id

ABSTRAK

PT. Barata Indonesia (Persero) merupakan salah satu perusahaan *heavy industry* di Indonesia yang bergerak dibidang *engineering, procurement & construction, manufacturing dan foundry*. Pada proses produksi, diketahui mesin *Hanger Shot Blast* memiliki angka *downtime* terbesar selama tahun 2017. Berdasarkan permasalahan ini, diperlukan untuk mencari proporsi kondisi mesin yaitu angka probabilitas mesin dalam kondisi baik hingga kondisi rusak berat yang diperlukan untuk perencanaan produksi, keandalan mesin serta faktor-faktor utama penyebab *downtime* yang terjadi. Untuk mendapatkan proporsi kondisi dan keandalan mesin tersebut, metode *markov* diketahui mampu memunculkan probabilitas kondisi dan keandalan mesin. Hasil probabilitas kondisi mesin dengan metode *markov* didapatkan kondisi baik sebesar 0,7315, kondisi rusak ringan sebesar 0,0266, kondisi rusak sedang sebesar 0,1542 dan kondisi rusak berat sebesar 0,0875, dengan jangka panjang keandalan mesin selama 7 hari, untuk hari ke-1 mesin dapat beroperasi dengan baik adalah sebesar 77,35%, hari ke-2 sebesar 59,35% hingga hari ke-7 dengan nilai sebesar 15,79%. Kemudian menggunakan FMEA, didapatkan 5 faktor kerusakan paling berpotensi yaitu, *liner & impeller trouble*, rantai dan *screw* terlepas, *motor rotary* macet, *gear separator* jalan tidak normal dan rantai *bucket* menyimpang. Proporsi mesin dalam kondisi baik adalah sebesar 73%, dengan probabilitas keandalan hari ke-1 dapat beroperasi dengan baik sebesar 77,35%. Faktor paling berpotensi dengan nilai RPN sebesar 294 adalah *liner & impeller trouble*.

Kata Kunci: *Hanger Shot Blast, Markov, FMEA, Proporsi Kondisi Mesin, Keandalan*

PENDAHULUAN

Mesin merupakan salah satu inputan terpenting dalam perindustrian, dimana mesin sebagai salah satu fasilitas utama guna menunjang kebutuhan operasional produksi. Demi memenuhi kebutuhan produksi, mesin akan bekerja secara terus menerus yang kemudian nantinya akan mengurangi kinerjanya, sedangkan untuk menghasilkan *output* yang sesuai, kinerja mesin haruslah baik. Guna menjaga mesin agar kinerjanya tetap bagus dan stabil, maka dibutuhkan suatu sistem penjadwalan perawatan mesin produksi.

PT. Barata Indonesia (Persero) merupakan salah satu perusahaan *heavy industry* di Indonesia dan merupakan perusahaan BUMN yang bergerak dibidang *Engineering,*

Procurement & Construction, Manufacturing, dan Foundry. Satu dari sekian banyak produk yang diproduksi dan seringkali ekspor ialah *Bogie*. Oleh karena itu, perusahaan harus terus menerus menjaga jalannya produksi, terutama ialah kondisi-kondisi mesin produksi.

Diketahui bahwa salah satu mesin pada proses *Shot Blast* yaitu *Hanger Shot Blast* tidak pernah berhenti bekerja, seiring dengan frekuensi pemakaian mesin yang cukup tinggi, maka frekuensi perawatan mesin yang harus dilakukan akan berbanding lurus dengan kerusakan-kerusakan mesin yang terjadi. Untuk dapat mendukung sistem perawatan mesin yang optimal, salah satunya diperlukan untuk

mengetahui proporsi kondisi dan keandalan dari mesin, sehingga akan diketahui tingkatan keadaan mesin dalam periode waktu tertentu. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Markov Chain*. Metode *Markov Chain* ini akan diproyeksikan melalui analisis *Markov*. Analisis *Markov* merupakan suatu model probabilistic yang secara umum disebut proses perubahan probabilistic yang terjadi secara kontinyu. Hasil dari analisis *Markov* ini adalah informasi mengenai probabilistic yang dapat digunakan untuk proses pengambilan keputusan. Maka sesuai dengan tujuan penelitian, analisis probabilitas inilah yang diharapkan mampu mengidentifikasi persentase proporsi kondisi dan keandalan mesin, sehingga nantinya dapat digunakan oleh perusahaan untuk merencanakan sistem perawatan mesin yang lebih optimal. Dari penjelasan diatas, maka dilakukan penelitian tentang Analisis Proporsi Kondisi Mesin dan Keandalan pada Mesin *Hanger Shot Blast* dengan Metode *Markov*.

LANDASAN TEORI

Definisi Perawatan

Perawatan merupakan salah satu faktor terpenting terhadap suatu aktivitas industri, yaitu berhubungan dengan pemenuhan permintaan serta ketepatan waktu yang baik. Maka dari itu, untuk mendukung kesiapan perusahaan, peralatan-peralatan yang digunakan harus siap sedia setiap saat. Untuk menunjang hal tersebut, diperlukan perawatan yang benar-benar terorganisir dan dapat direalisasikan dengan baik. Perawatan sendiri dimaksudkan sebagai tindakan untuk mencegah kerusakan yang mungkin akan terjadi.

Preventive Maintenance (PM)

Preventive maintenance atau perawatan pencegahan merupakan cara perawatan yang direncanakan untuk pencegahan (*preventive*), bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan di masa mendatang. (Ardian, Aan.2014)

Keandalan (*Reliability*)

Keandalan didefinisikan sebagai suatu probabilitas dari sebuah alat atau item untuk dapat melakukan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan. (Afrizon, Hergo & Firdaus. 2018)

Nilai keandalan dari fasilitas/peralatan dapat menyatakan berfungsi tidaknya suatu fasilitas tertentu. Kesuksesan operasi maupun kinerja dengan ketiadaan kerusakan merupakan pernyataan dari konsep keandalan, sedangkan ketidakhandalan menyatakan sebaliknya. (Ansori, Nachnul. 2013)

Analisis Markov

Analisis Markov merupakan suatu model probabilistik berbentuk khusus yang umumnya dinamakan *Stochastic process* atau proses perubahan probabilistik yang terjadi secara terus menerus. Dalam analisis markov, dihasilkan suatu informasi mengenai probabilistik yang dapat digunakan untuk membantu proses *decision making*, alih-alih sebagai suatu teknik optimasi, analisis markov merupakan suatu teknik yang deskriptif. (Mulyono, Sri. 2017)

Konsep Pemodelan *Markov*

Metode Markov ini dapat diaplikasikan untuk sistem diskrit (*discrete system*) ataupun sistem kontinyu (*continuous system*). Sistem diskrit adalah sistem yang perubahan kondisinya (*state*) dapat diamati/terjadi secara diskrit.

Ada beberapa syarat agar metode Markov dapat diaplikasikan dalam evaluasi keandalan sistem. Syarat-syarat tersebut adalah:

(1) Sistem harus berkarakter *lack of memory*, dimana kondisi sistem dimasa mendatang tidak dipengaruhi (*independent*) oleh kondisi sebelumnya. Artinya kondisi sistem saat evaluasi tidak dipengaruhi oleh kondisi sebelumnya, kecuali kondisi sesaat sebelum kondisi saat ini.

(2) Sistem harus *stationery* atau homogen, artinya perilaku sistem selalu sama disepanjang waktu atau peluang transisi sistem dari satu kondisi ke kondisi lainnya akan selalu sama di

sepanjang waktu. Dengan demikian maka pendekatan Markov hanya dapat diaplikasikan untuk sistem dengan laju kegagalan yang konstan.

(3) *State is identifiable*. Kondisi yang dimungkinkan terjadi pada sistem harus dapat diidentifikasi dengan jelas. Apakah sistem memiliki dua kondisi (*state*) yakni kondisi beroperasi dan kondisi gagal, ataukah sistem memiliki 3 kondisi, yakni 100% sukses, 50% sukses dan 100% gagal. (dalam Artana, Ketut Buda. 2006).

Klasifikasi State Markov Chain

1. Teorema 1 (sifat komunikasi kelas rantai markov)

Komunikasi merupakan suatu relasi ekuivalen yang artinya ;

- (i) $i \leftrightarrow i$
- (ii) $i \leftrightarrow j$ maka $j \leftrightarrow i$
- (iii) $i \leftrightarrow j$ dan $j \leftrightarrow k$ maka $i \leftrightarrow k$

Jika terdapat satu kelas komunikasi maka disebut *irreducible* yang berarti kondisi akan saling berhubungan satu sama lain.

2. Teorema 2

Jika $i \leftrightarrow j$ maka $d(i) = d(j)$

3. Teorema 3 (syarat perlu dan cukup keadaan recurrent dan transient)

- Keadaan *I recurrent* jika dan hanya jika $\sum_{n=1}^{\infty} p_{ii}^n = \infty$
- Keadaan *I transient* jika dan hanya jika $\sum_{n=1}^{\infty} p_{ii}^n < \infty$

4. Teorema 4

Jika keadaan *I recurrent* dan $i \leftrightarrow j$, maka keadaan *j recurrent*.

5. Definisi 6

Untuk suatu rantai markov, semua keadaan *recurrent* dikelompokkan menjadi *positive (non-null) recurrent* atau $\mu < \infty$ atau $\mu_j = \infty$, dengan *null recurrent* dilihat dari $\mu_j = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot f_{jj}^n$ yang menyatakan rata-rata waktu *recurrent (mean recurrent time)* untuk keadaan *j*.

6. Teorema 7

Jika keadaan *j recurrent* dan *aperiodic*, maka ;

$$p_{jj}^n \rightarrow \frac{1}{\mu_j}, \text{ untuk } n \rightarrow \infty$$

Jika keadaan *j recurrent* dan *periodic* dengan periode $d(j)$, maka ;

$$p_{jj}^{nd(j)} \rightarrow \frac{d(j)}{\mu_j}, \text{ untuk } n \rightarrow \infty$$

dengan interpretasi $\frac{1}{\mu_j} = 0$, jika $\mu_j = \infty$ bahwa yang artinya keadaan *j null recurrent*.

7. Teorema 8

Jika suatu rantai markov *irreducible, positive recurrent* dan *aperiodic* (Rantai Markov Ergodik), maka terdapat limit peluang ;

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{jj}^n = \mu_j > 0 (i, j = 0, 1, 2, \dots)$$

yang bebas dari keadaan awal $I \{ \mu_j, j = 0, 1, 2, \dots \}$ dengan tunggal dan merupakan solusi positif dari

$$\mu_j = \sum_{i=0}^{\infty} \pi_i \cdot p_{ij} \text{ dan } \sum_{j=0}^{\infty} \pi_j = 1, j = 0, 1, 2, \dots$$

Ini dinamakan distribusi stasioner dari rantai markov.

Rantai Markov dan Keandalan

Diberikan ruang keadaan terbatas $S = \{0, 1, \dots, s\}$, dipartisi menjadi dua bagian, $U = \{0, 1, \dots, r\}$ untuk keadaan bekerja (*up state*) dan $D = \{r + 1, \dots, s\}$ untuk keadaan yang gagal (*down state*). Artinya $S = U \cup D$, $U \cap D = \emptyset$ dan $U \neq \emptyset$, $D \neq \emptyset$. Diberikan $\{X_n\}$, $n = 0, 1, \dots, m$ rantai Markov yang ergodik dengan keadaan terbatas $S = \{0, 1, \dots, s\}$, maka reliabilitas berdasarkan rantai Markov $\{X_n\}$ pada waktu $n \geq 0$ didefinisikan

$$(n) = (\forall v \in [0, n] \cap \mathbb{N}, Xv \in U)$$

dimana v merupakan indeks waktu untuk periode tertentu. Untuk $n = 0$, mesin dalam kondisi sangat baik dan belum pernah mengalami kerusakan sama sekali, artinya tingkat keandalan atau reliabilitas dari suatu mesin tersebut sangat baik sehingga $(0) = 1$. (Novia, Mega Andriani, dkk. 2017).

Dengan memandang partisi keadaan U dan D maka matriks peluang transisi \mathbf{P} dan distribusi awal (0) menjadi

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{UU} & \mathbf{P}_{UD} \\ \mathbf{P}_{DU} & \mathbf{P}_{DD} \end{bmatrix} \text{ dan } (0) = [(0), \pi D (0)]$$

Kegagalan terjadi setiap bulan	6	1 in 350
Kegagalan terjadi setiap minggu	7	1 in 80
Kegagalan terjadi setiap hari	8	1 in 24
Kegagalan terjadi setiap shift	9	1 in 8
Kegagalan terjadi setiap jam	10	1 in 1

Sumber: Press, Dyadem. 2003

Tabel 4 Tingkat *Detection* (deteksi)

Detection	Rank	Criteria
Hampir Pasti	1	Desain kendali hampir pasti dapat mendeteksi sebuah penyebab potensial dan mode kegagalan selanjutnya. Kontrol permesinan tidak dibutuhkan
Sangat Tinggi	2	Kemungkinan sangat tinggi Desain kendali akan mendeteksi sebuah penyebab potensial dan mode kegagalan selanjutnya. Kontrol permesinan mungkin tidak dibutuhkan
Tinggi	3	Kemungkinan tinggi Desain kendali akan mendeteksi sebuah penyebab potensial dan mode kegagalan selanjutnya. Kontrol permesinan akan mencegah penyebab kegagalan terdekat dan mengisolasi.
Kemungkinan Cukup Tinggi	4	Kemungkinan cukup tinggi Desain kendali akan mendeteksi sebuah penyebab potensial dan mode kegagalan selanjutnya. Kontrol permesinan akan mencegah penyebab kegagalan terdekat.
Kemungkinan Sedang	5	Kemungkinan sedang Desain kendali akan mendeteksi sebuah penyebab potensial dan

		mode kegagalan selanjutnya. Kontrol permesinan akan mencegah penyebab kegagalan terdekat.
Kemungkinan Cukup Rendah	6	Kemungkinan rendah Desain kendali akan mendeteksi sebuah penyebab potensial dan mode kegagalan selanjutnya. Kontrol permesinan akan menyediakan indikator kegagalan terdekat
Kemungkinan Rendah	7	Desain atau kontrol permesinan tidak mencegah kegagalan untuk dapat terjadi. Kontrol permesinan akan mengisolasi penyebab dan mode kegagalan selanjutnya setelah kegagalan telah terjadi.
Kemungkinan Sangat Rendah	8	Jauh kemungkinan bahwa desain atau kontrol permesinan dapat mendeteksi sebuah kegagalan potensial dan mode kegagalan selanjutnya. Kontrol permesinan akan menyediakan indikasi kegagalan
Kemungkinan Jauh	9	Sangat jauh kemungkinan bahwa desain atau kontrol permesinan dapat mendeteksi sebuah kegagalan potensial dan mode kegagalan selanjutnya.
Sangat Tidak Mungkin	10	desain atau kontrol permesinan tidak dapat mendeteksi sebuah kegagalan potensial dan mode kegagalan selanjutnya; atau tidak terdapat desain atau kontrol permesinan.

Sumber: Press, Dyadem. 2003

METODOLOGI PENELITIAN

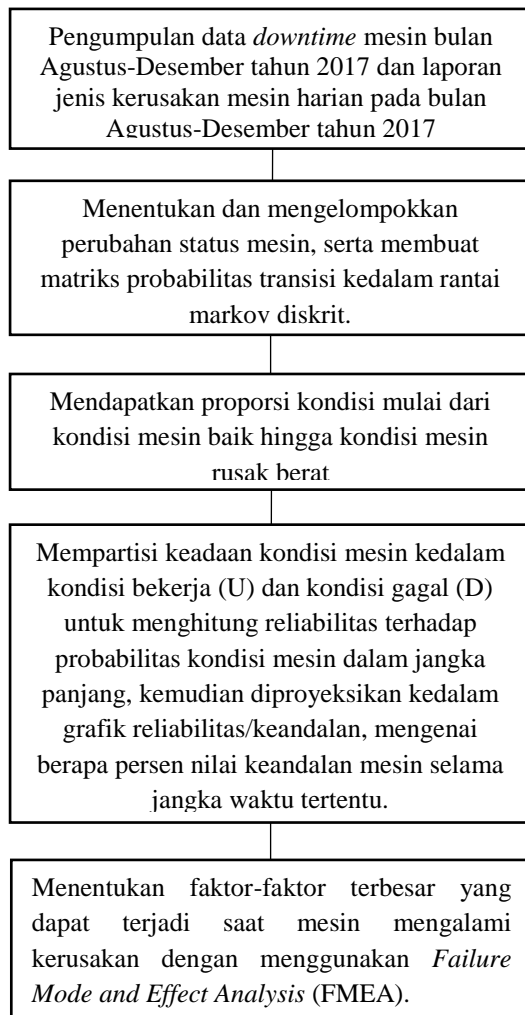
Data Variabel

Berikut ialah variabel-variabel yang dimaksud:

1. Data laporan jenis kerusakan harian mesin *Hanger Shot Blast* yang terjadi pada bulan Agustus hingga Desember tahun 2017.
2. Data *downtime* mesin *Hanger Shot Blast* bulan Agustus hingga Desember tahun 2017.

Alur Penelitian

Untuk memecahkan masalah yang sebelumnya telah dijabarkan pada pendahuluan, dibutuhkan langkah-langkah untuk menguraikan model dan pendekatan dari permasalahan. Langkah-langkah tersebut dapat dipetakan seperti gambar dibawah ini:



Gambar 1 Flowchart Langkah Penelitian

Secara lengkap *flowchart* langkah penelitian diatas dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Mengolah data yang telah didapat saat pengumpulan data yaitu data *downtime* mesin bulan Agustus-Desember 2017 yang akan diperlukan untuk analisis FMEA dan data laporan jenis kerusakan mesin harian pada bulan Agustus-Desember 2017, data inilah yang nantinya akan diproses dengan menggunakan metode *Markov Chain* untuk menentukan pemodelan yang akan digunakan dalam kurva keandalan dan ketersediaan guna mengetahui interval kondisi mesin yang akan terjadi, data tersebut juga akan digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor apa yang dapat menyebabkan kerusakan mesin dengan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* guna mendukung data *downtime* yang telah ada sebelumnya.
2. Menentukan dan mengelompokkan transisi perubahan status mesin, yaitu :
 - a. Kondisi baik ke kondisi baik
 - b. Kondisi baik ke rusak ringan
 - c. Kondisi baik ke rusak sedang
 - d. Kondisi baik ke rusak berat
 - e. Kondisi rusak ringan ke rusak ringan
 - f. Kondisi rusak ringan ke rusak sedang
 - g. Kondisi rusak ringan ke rusak berat
 - h. Kondisi rusak ringan ke kondisi baik
 - i. Kondisi rusak sedang ke rusak sedang
 - j. Kondisi rusak sedang ke rusak berat
 - k. Kondisi rusak sedang ke rusak ringan
 - l. Kondisi rusak sedang ke kondisi baik
 - m. Kondisi rusak berat ke rusak berat
 - n. Kondisi rusak berat ke rusak sedang
 - o. Kondisi rusak berat ke rusak ringan
 - p. Kondisi rusak berat ke kondisi baik
3. Untuk mendapatkan proporsi kondisi mesin kondisi baik hingga kondisi rusak berat, maka harus dilakukan tahap-tahap, sebagai berikut :
 - a. Membuat bentuk matriks berdasarkan tabel pengelompokkan probabilitas transisi status mesin sebelumnya.
 - b. Menghitung peluang transisi P hingga n langkah

- c. Melakukan analisis teorema 2 terhadap matriks peluang transisi P kondisi baik, yaitu apakah matriks peluang transisi P termasuk *recurrent* atau *transient*.
 - Jika $f_{ii} = 1$, maka keadaan i disebut *recurrent*
 - Jika $f_{ii} < 1$, maka keadaan i disebut *transient*
 - d. Melakukan analisis periodisitas setiap *state*.
 - Keadaan i memiliki periode $d(i)$, jika $d(i)$ merupakan faktor persekutuan terbesar (FPB) dari n , untuk semua bilangan bulat $n \geq 1$ dimana $P_{ii}^n > 0$.
$$d(i) = FPB\{n \geq 1 | P_{ii}^n > 0\}$$
 - Jika $d(i) = 1$, maka keadaan adalah aperiodik.
 - Jika $d(i) > 1$, maka keadaan adalah periodik.
 - e. Melakukan analisis *positive recurrent* atau *null-recurrent* untuk setiap keadaan (*state*) hingga didapatkan nilai yang sama untuk inputan setiap kolom matriksnya pada P^n .
 - Dikatakan *positive recurrent* jika $\mu_j < \infty$
 - Dikatakan *null-recurrent* jika $\mu_j = \infty$
 - f. Mencari peluang jangka panjang dari rantai markov dengan matriks peluang transisi P berdasarkan teorema 8.
 - g. Mengetahui peluang tiap kondisi mesin seperti kondisi baik, kondisi rusak ringan, kondisi rusak sedang dan kondisi rusak berat untuk jangka panjang.
4. Menentukan dan mempartisi ruang keadaan mesin, yaitu keadaan bekerja (U) dan keadaan gagal (D). Kemudian mencari keandalan/reliabilitas berdasarkan partisi ruang keadaan U dan D dengan rumus keandalan untuk rantai Markov, hingga mencapai nilai reliabilitas untuk $n = 2, 3, 4, \dots, n$.
 5. Setelah menganalisis proporsi keadaan dan keandalan, selanjutnya ialah menentukan faktor-faktor terbesar yang dapat terjadi saat mesin mengalami kerusakan dengan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

Langkah-langkah dasar dalam proses FMEA dapat diuraikan seperti dibawah ini :

- a. Mengidentifikasi fungsi pada proses produksi.
- b. Mengidentifikasi potensi failure mode proses produksi.
- c. Mengidentifikasi potensi efek kegagalan produksi.
- d. Mengidentifikasi penyebab-penyebab kegagalan proses produksi.
- e. Mengidentifikasi mode-mode deteksi proses produksi.
- f. Menentukan *rating* terhadap *severity*, *occurrence*, *detection* dan RPN proses produksi.

Hasil Pengolahan Data

Dari pengolahan data yang dilakukan sebelumnya, maka akan didapatkan hasil:

- a. Analisis hasil perhitungan markov, mengenai *steady-state* berapa persen proporsi kondisi mesin dalam keadaan baik, keadaan rusak ringan, keadaan rusak sedang dan keadaan rusak berat, serta dalam jangka waktu berapa mesin dapat diketahui keandalannya.
- b. Analisis hasil perhitungan probabilitas keandalan mesin yang kemudian diproyeksikan kedalam grafik reliabilitas/keandalan, mengenai berapa persen nilai keandalan mesin selama jangka waktu yang telah didapatkan dari perhitungan matriks probabilitas transisi P.
- c. Analisis tingkat jenis kegagalan mesin tertinggi yang terjadi pada mesin, untuk dapat mengetahui penyebab-penyebab kerusakan utama.

HASIL DAN PENGOLAHAN DATA

Pengelompokan Transisi Perubahan Status Mesin

Setelah data laporan kerusakan harian bulan Agustus - Desember 2017 terkumpul dan dikelompokkan kedalam 4 status kondisi mesin (baik, rusak ringan, rusak sedang, rusak berat), maka selanjutnya adalah mengelompokkan 4 status tersebut berdasarkan transisi keadaan i ke j dari hari ke hari.

Berikut adalah data jumlah transisi keadaan i ke j yang didapatkan:

Tabel 5 Jumlah Transisi Keadaan i ke j yang terjadi

i ke j	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
B/B	14	12	8	20	25	79
B/RR	1	0	1	1	0	3
B/RS	4	5	6	2	1	18
B/RB	3	3	1	0	1	8
RR/B	0	0	2	1	0	3
RR/RR	0	0	0	0	0	0
RR/RS	0	0	1	0	0	1
RR/RB	0	0	0	0	0	0
RS/B	4	3	4	2	2	15
RS/RR	0	0	1	0	0	1
RS/RS	1	1	1	1	0	4
RS/RB	0	1	1	1	0	3
RB/B	3	4	1	0	1	9
RB/RR	0	0	1	0	0	1
RB/RS	0	0	0	1	0	1

Keterangan:

B/B : Transisi mesin dari kondisi baik ke kondisi baik

B/RR : Transisi mesin dari kondisi baik ke kondisi rusak ringan

RR/RR : Transisi mesin dari kondisi rusak ringan ke kondisi rusak ringan

RR/RS : Transisi mesin dari kondisi rusak ringan ke kondisi rusak sedang

(Keterangan yang sama seterusnya untuk status transisi lainnya)

Kemudian dari data tabel diatas, total jumlah kejadian transisi dapat dimasukkan kedalam matriks transisi sebagai berikut:

Tabel 6. Matriks Jumlah Transisi Keadaan i ke j yang Terjadi

$i \backslash j$	Baik	Rusak Ringan	Rusak Sedang	Rusak Berat	
Baik	79	3	15	8	106
Rusak Ringan	3	0	1	1	5
Rusak Sedang	18	1	4	1	24
Rusak Berat	8	0	3	2	13
Jumlah	109	4	23	13	149

Kemudian didapatkan bentuk matriks peluang transisi sebagai berikut:

$$P = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 79/106 & 3/106 & 15/106 & 9/106 \\ 1 & 3/5 & 0/5 & 1/5 & 1/5 \\ 2 & 18/24 & 1/24 & 4/24 & 1/24 \\ 3 & 8/13 & 0/13 & 3/13 & 2/13 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,745283 & 0,028302 & 0,141509 & 0,084906 \\ 0,600000 & 0 & 0,200000 & 0,200000 \\ 0,750000 & 0,041667 & 0,166667 & 0,041667 \\ 0,615385 & 0 & 0,230769 & 0,153846 \end{bmatrix}$$

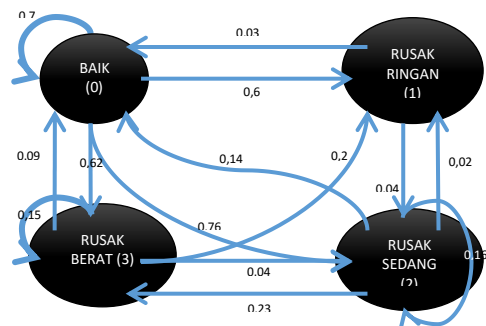
Mendapatkan Proporsi Kondisi Dengan Perhitungan Matriks Probabilitas Menggunakan Markov Chain

Dalam pembahasan ini akan dijabarkan rincian analisis perhitungan matriks probabilitas dengan menggunakan *Markov Chain* yang diharapkan dapat menentukan angka probabilitas kondisi mesin mulai dari kondisi baik hingga rusak berat yang dapat terjadi pada mesin serta menentukan persen keandalan (*reliability*) mesin yang akan terjadi dalam jangka waktu tertentu. Sebelum menentukan kedua hal tersebut, kondisi dari transisi mesin akan dianalisis terlebih dahulu apakah transisi kondisi mesin merupakan rantai Markov ergodik atau tidak. Rantai Markov ergodik sendiri merupakan syarat dalam memperoleh jangka panjang kondisi mesin dan nilai keandalan suatu mesin dalam menggunakan rantai Markov.

Analisis Klasifikasi State

1. Sifat Komunikasi State.

Matriks peluang transisi P yang ada pada sub bab sebelumnya, akan menjadi dasar dari perhitungan-perhitungan selanjutnya. Matriks tersebut dapat digambarkan kedalam diagram transisi sebagai berikut:



Gambar 2 Diagram Matriks Peluang Transisi P Kondisi Mesin

Berdasarkan diagram matriks peluang transisi diatas, dimana semua kondisi/keadaan saling berkomunikasi dan berada dalam satu kelas yaitu $\{0,1,2,3\}$, maka rantai markov tersebut merupakan *irreducible*.

2. Menghitung Peluang Transisi Hingga n Langkah.

Selanjutnya melakukan perhitungan matriks peluang transisi P hingga n langkah, untuk perhitungan ini dilakukan percobaan hingga P⁴ sebagai berikut :

$$P^1 = \begin{bmatrix} 0,745283 & 0,028302 & 0,141509 & 0,084906 \\ 0,600000 & 0 & 0,200000 & 0,200000 \\ 0,750000 & 0,041667 & 0,166667 & 0,041667 \\ 0,615385 & 0 & 0,230769 & 0,153846 \end{bmatrix}$$

$$P^2 = P^1 \cdot P^1 = \begin{bmatrix} 0,730810 & 0,026989 & 0,154303 & 0,087898 \\ 0,720247 & 0,025314 & 0,164393 & 0,090046 \\ 0,734603 & 0,028171 & 0,151859 & 0,085367 \\ 0,726387 & 0,027032 & 0,161047 & 0,085534 \end{bmatrix}$$

$$P^3 = P^2 \cdot P^1 = \begin{bmatrix} 0,730672 & 0,027113 & 0,154816 & 0,087400 \\ 0,730684 & 0,027234 & 0,155163 & 0,086919 \\ 0,730818 & 0,027118 & 0,154597 & 0,087467 \\ 0,731005 & 0,027268 & 0,154777 & 0,086950 \end{bmatrix}$$

$$P^4 = P^2 \cdot P^2 = \begin{bmatrix} 0,730721 & 0,027130 & 0,154791 & 0,087357 \\ 0,730768 & 0,027145 & 0,154764 & 0,087323 \\ 0,730711 & 0,027125 & 0,154792 & 0,087372 \\ 0,730757 & 0,027138 & 0,154759 & 0,087346 \end{bmatrix}$$

... (dan seterusnya hingga P langkah tak hingga)

3. Keadaan Recurrent dan Transient.

Setelah perhitungan diatas, kemudian dilakukan analisis teorema 3 terhadap matriks peluang transisi P yaitu apakah matriks peluang transisi P termasuk *recurrent* (keadaan berulang) atau *transient* (keadaan tidak berulang).

Untuk kondisi 0 (dalam kondisi baik),

$$\sum_{n=1}^{\infty} p_{00}^n = p_{00}^1 + p_{00}^2 + p_{00}^3 + p_{00}^4 + \dots$$

$$= 0,745283 + 0,730810 + 0,730672 + 0,730721 + \dots = \infty$$

Karena $\sum_{n=1}^{\infty} p_{00}^n = \infty$, maka sesuai dengan teorema 3 kondisi 0 merupakan *recurrent* (keadaan berulang). Kemudian karena bentuk state adalah *irreducible* maka sesuai dengan teorema 4, keadaan 1, 2 dan 3 juga merupakan *recurrent*.

4. Analisis Periodisitas Setiap State.

Dalam analisis periodisitas ini akan diketahui apakah suatu state termasuk dalam *aperiodic* (tidak teratur) atau *periodic* (berkala).

Pertama akan dianalisis untuk kondisi 0 (dalam kondisi baik).

$$n = 1 \text{ dengan } p_{00}^1 = 0,745283 > 0$$

$$n = 2 \text{ dengan } p_{00}^2 = 0,730810 > 0$$

$$n = 3 \text{ dengan } p_{00}^3 = 0,730672 > 0$$

$$n = 4 \text{ dengan } p_{00}^4 = 0,730721 > 0$$

Dikatakan bahwa keadaan *i* memiliki periode $d(i)$, apabila $d(i)$ merupakan faktor persekutuan terbesar (FPB) dari n , untuk semua bilangan bulat $n \geq 1$ dimana $p_{ii}^n > 0$, dan jika $d(i) = 1$, maka keadaan *i* adalah *aperiodic*, serta jika $d(i) > 1$, maka keadaan *i* adalah *periodic*. Maka dapat disimpulkan bahwa menurut definisi diatas, kondisi 0 merupakan *aperiodic*. Kemudian untuk kondisi 1, 2 dan 3, berdasarkan teorema 2 jika $i \leftrightarrow j$ maka $d(i) = d(j)$, berlaku $d(1) = d(0) = d(2) = d(0) = d(3) = 1$. Sehingga kondisi 1, 2 dan 3 juga merupakan *aperiodic* (tidak teratur).

5. Limiting Probability.

Dalam analisis ini akan diperiksa apakah setiap state termasuk *positive recurrent* atau *null-recurrent*. Untuk hal ini, maka sebelumnya akan dicari pemangkatan matriks transisi guna menemukan matriks dengan nilai sama untuk tiap entri dalam kolomnya.

$$P^1 = \begin{bmatrix} 0,745283 & 0,028302 & 0,141509 & 0,084906 \\ 0,600000 & 0 & 0,200000 & 0,200000 \\ 0,750000 & 0,041667 & 0,166667 & 0,041667 \\ 0,615385 & 0 & 0,230769 & 0,153846 \end{bmatrix}$$

Dari pemangkatan matriks diatas didapatkan entri-entri kolom yang sama saat dilakukan pemangkatan sebanyak 6 kali, hal ini menunjukkan periode keandalan mesin. Berikut matriks peluang transisi pada pemangkatan ke 6;

$$P^6 = \begin{bmatrix} 0,730724 & 0,027130 & 0,154788 & 0,087358 \\ 0,730724 & 0,027130 & 0,154788 & 0,087358 \\ 0,730724 & 0,027130 & 0,154788 & 0,087358 \\ 0,730724 & 0,027130 & 0,154788 & 0,087358 \end{bmatrix}$$

Kemudian, berdasarkan analisis klasifikasi state sebelumnya yang menyatakan bahwa setiap kondisi bersifat *recurrent* dan *aperiodic*. Maka menurut teorema 7, diperoleh :

$$p_{00}^n \rightarrow \frac{1}{\mu_0} = 0,730724 \rightarrow \mu_0 = \frac{1}{0,730724}$$

$$= 1,36850$$

$$p_{11}^n \rightarrow \frac{1}{\mu_1} = 0,027130 \rightarrow \mu_1 = \frac{1}{0,026692} = 37,46440$$

$$p_{22}^n \rightarrow \frac{1}{\mu_2} = 0,154788 \rightarrow \mu_2 = \frac{1}{0,154788} = 6,46044$$

$$p_{33}^n \rightarrow \frac{1}{\mu_3} = 0,087358 \rightarrow \mu_3 = \frac{1}{0,087358} = 11,44714$$

Karena pada masing-masing kondisi memiliki hasil μ_j kurang dari tak terhingga ($< \infty$), maka sesuai dengan teorema 7, kondisi 0, kondisi 1, kondisi 2 dan kondisi 3 merupakan *positive recurrent* (kondisi yang pasti berulang).

6. Rantai Markov Ergodik

Untuk mendapatkan peluang jangka panjang kondisi mesin dan nilai keandalan suatu mesin menggunakan rantai markov, maka sebagai syaratnya diperlukan suatu *state* dengan bentuk rantai markov ergodik.

Setelah melakukan analisis-*analisis* sebelumnya, diketahui bahwa tiap *state* merupakan *irreducible, positive recurrent* dan *aperiodic*, maka rantai markov tersebut merupakan rantai markov ergodik.

Untuk memperoleh peluang jangka panjang tersebut, maka akan digunakan teorema 8. Berikut adalah perolehan jangka panjang dari rantai markov dengan matriks peluang transisi **P** :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{i0}^n = \pi_0 = 0,730724, i = 0,1,2,3.$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{i1}^n = \pi_1 = 0,027130, i = 0,1,2,3.$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{i2}^n = \pi_2 = 0,154788, i = 0,1,2,3.$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{i3}^n = \pi_3 = 0,087358, i = 0,1,2,3.$$

Sehingga peluang jangka panjang untuk rantai markov dengan matriks peluang transisi **P** adalah;

$$\pi = [\pi_0, \pi_1, \pi_2, \pi_3] = [0,730724, 0,027130, 0,154788, 0,087358]$$

Mempartisi Keadaan Kondisi Mesin Kedalam Kondisi Bekerja (U) Dan Kondisi Gagal (D) Untuk Nilai Keandalan (Reliability) Mesin Hanger Shot Blast.

Sebelumnya terdapat asumsi pengelompokan waktu kerusakan yaitu kondisi $U=\{0,1\}$ dan kondisi $D=\{2,3\}$. Dengan adanya partisi keadaan, ruang keadaan $U = \{0,1\}$ disubstitusikan ke rumus keandalan sehingga didapatkan;

$$R(n) = [\pi_0(0) \pi_1(0)] \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix}^n \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Langkah pertama yaitu mencari nilai keandalan untuk $n = 1$,

$$R(1) = [1 \ 0] \begin{bmatrix} 0,745283 & 0,028302 \\ 0,6 & 0 \end{bmatrix}^1 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = [1 \ 0] \begin{bmatrix} 0,745283 & 0,028302 \\ 0,6 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = [0,745283 \ 0,028302] \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = 0,745283 + 0,028302 = 0,773584$$

Untuk hasil perhitungan peluang nilai reliabilitas selama periode 6 hari atau $n = 1,2,3,\dots,6$ dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7 Nilai Keandalan/Reliabilitas mesin *Hanger Shot Blast*

n	R (n)	%	n	R (n)	%
1	0,773584	77,35%	4	0,349538	34,95%
2	0,593520	59,35%	5	0,268239	26,82%
3	0,455477	45,54%	6	0,205849	20,58%

Menentukan Faktor-faktor Terbesar Mesin dengan Menggunakan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Berdasarkan permasalahan lain yang ditemui yaitu tingkat *downtime* (kerusakan) mesin yang masih tinggi, serta informasi penyebab kerusakan yang tidak terstruktur dengan baik sehingga menyebabkan kesulitan perencanaan perbaikan yang lebih efektif, maka metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* digunakan untuk menganalisis faktor-faktor paling berpengaruh atau terbesar yang dapat terjadi pada mesin *Hanger Shot Blast*.

Tabel berikut adalah *worksheet* FMEA berdasarkan hasil wawancara;

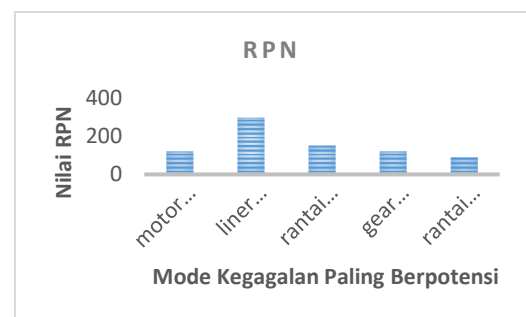
Tabel 8 Hasil Worksheet FMEA

Item	Item Function	Potensial Failure Mode	Potential Effect of Failure	Severity	Potential Cause of Failure	Occurrence	Current design controls (prevention)	Current design controls (detection)	Detection	RPN
DUST COLLECTOR	Memisahkan debu hasil blasting	motor rotary macet	penyerapan debu tidak maksimal	6	pemasangan baut pada ...	5	pengecekan rutin ...	perbaikan rotary	4	120
BLAST UNITS	Unit komponen untuk melemparkan steel shot	liner dan impeller trouble	waktu blasting menjadi lebih lama ...	7	terjadi korosi (aus) pada liner ...	7	pemberian pelumas ...	pergantian blade ...	6	294
SCREW CONVEYOR	Pembawa steel shot menuju ke bucket elevator	rantai dan screw terlepas	screw conveyor tidak berjalan dengan lancar	6	rantai dan gear screw korosi (aus) ...	5	pemberian pelumas berupa oli ...	pergantian ...	5	150
AIR SEPARATOR	Pemisah antara steel shot dan kotoran sisa shot blasting (debu, kerak, serpihan, dsb)	gear separator jalan tidak normal	pemisahan antara abrasive dan kotoran tidak berjalan dengan baik ...	5	magnet separator tidak dapat berjalan, ...	6	pemberian pelumas ...	pergantian bearing ...	4	120
BUCKET ELEVATOR	Alat transportasi tampung yang akan membawa steel shot dari screw conveyor ke air separator	rantai bucket menyimpang	bucket elevator tidak berjalan dengan normal	6	frekuensi pemakaian yang tinggi ...	3	Setting motor screw ...	pergantian bearing ...	5	90

Berdasarkan hasil wawancara FMEA tersebut, didapatkan nilai RPN (Risk Priority Number) untuk jenis kegagalan yang terjadi. Berikut adalah hasilnya:

Tabel 9. Hasil Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

No.	Komponen Utama	Mode Kegagalan Paling Berpotensi	RPN
1.	BLAST UNITS	liner dan impeller trouble	294
2.	SCREW CONVEYOR	rantai dan screw terlepas	150
3.	DUST COLLECTOR	motor rotary macet	120
4.	AIR SEPARATOR	gear separator jalan tidak normal	120
5.	BUCKET ELEVATOR	rantai bucket menyimpang	90



Gambar 3 Grafik Risk Priority Number (RPN) mesin Hanger Shot Blas

Berdasarkan tabel dan grafik diatas, dapat diketahui bahwa kegagalan jenis 'liner dan impeller trouble' merupakan kegagalan dengan tingkat risiko tertinggi diantara 5 mode kegagalan lain. Liner dan impeller sendiri merupakan komponen-komponen kecil milik

blast units, yaitu unit pelempar *steel shot*. *Blast units* merupakan salah satu komponen utama mesin agar mesin dapat menjalankan fungsinya. Untuk itu perlu dilakukan desain kendali yang tepat untuk komponen *blast units* pada mesin *Hanger Shot Blast*, seperti yang disebutkan pada *worksheet* FMEA pada bab sebelumnya, desain kontrol untuk pecegahan berupa pemberian oli harus dilakukan ketika keandalan mesin telah menurun.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, telah didapatkan 3 analisis yang disesuaikan dengan judul penelitian ini yaitu mengenai analisis proporsi kondisi mesin. Hasil dari ketiga analisis tersebut ialah proporsi kondisi mesin *Hanger Shot Blast* dalam keadaan baik adalah sebesar 73%, untuk keadaan kerusakan ringan sebesar 3%, keadaan kerusakan sedang sebesar 15%, dan untuk keadaan kerusakan berat sebesar 9%, dengan total keseluruhan proporsi kondisi mesin dalam keadaan rusak/tidak baik sebesar 27%.

Kemudian didapatkan nilai keandalan mesin selama jangka waktu 7 hari dengan rincian; hari ke-1 peluang mesin dapat beroperasi dalam kondisi baik adalah 77,35%, hari ke-2 mesin dapat beroperasi dalam kondisi baik adalah 59,35% dan seterusnya hingga pada hari ke-7 peluang mesin dapat beroperasi dalam kondisi baik adalah 15,79%.

Sedangkan dari hasil analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) terhadap berbagai jenis kerusakan yang terjadi, didapatkan nilai RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi sebesar 294 dari komponen *blast units* dengan mode kegagalan paling berpotensi yaitu *liner* dan *impeller* mengalami *trouble*.

Saran

Pada kesimpulan diatas dapat diketahui bahwa kondisi mesin dalam keadaan baik lebih besar daripada keadaan tidak baik, hal ini berarti bahwa sistem perawatan sudah cukup baik, namun ada baiknya jika dilakukan perencanaan

perawatan yang lebih efektif dan efisien untuk meningkatkan proporsi kondisi mesin dalam keadaan baik.

Dalam penelitian selanjutnya, akan lebih baik jika ditambahkan data biaya perawatan per komponen, penambahan data biaya bertujuan untuk dapat membandingkan antara perencanaan perusahaan dengan desain perhitungan perencanaan estimasi biaya penelitian ini. Kemudian data biaya ini dapat dihubungkan dengan analisis kerusakan mesin, agar perencanaan sistem perawatan akan menjadi lebih efektif / tepat sasaran dan efisien dalam hal tenaga, waktu dan terutama biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizon, Hergo & Firdaus. 2018. Analisis Keandalan Transformator Daya 70/20 KV di PT. PLN (Persero) P3BS GI Sukamerindu Berdasarkan Hasil Pengujian Isolasi Minyak DGA (Dissolved Gas Analysis) Menggunakan Metode Markov. *Jom FTEKNIK*. Volume 5 No 1, April 2018. (<https://jom.unri.ac.id>). Diakses pada 1 Mei 2018.
- Ansori, Nachnul. 2013. Sistem Perawatan Terpadu (*Integrated Maintenance System*), edisi pertama. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Ardian. Aan. 2014. *Handout Perawatan dan Perbaikan Mesin. Pendidikan Teknik Mesin*. Pendidikan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta
- Artana, Ketut Buda. 2006. *Handout Bab 1 Rantai Markov Diskrit (Discrete Markov Chain)*.
- Mulyono, Sri. 2017. Riset Operasi Edisi 2. Bekasi. Mitra Wacana Media.
- Novia, Mega Andriani, dkk. 2017. Reliabilitas Suatu Mesin Menggunakan Rantai Markov (Studi Kasus : Mesin Proofer di Pabrik Roti Super Jam Banten). *Jurnal Matematika Integratif*. Volume 15 No 1,

April 2017. (<https://jurnal.unpad.ac.id>).

Diakses pada 9 Mei 2018.

Press, Dyadem. 2003. Guideliness for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), for Automotive, Aerospace, and General Manufacturing Industries. Boca Raton, Florida. CRC Press. (http://books.google.co.id/books?id=a37wp6Xd4LoC&pg=PA68&lpg=PA68&dq=fmea+worksheet+dyadem&source=bl&ots=S7PwG7-DDM&sig=6f7D2KJBQ7Uowg35yUJPWt7l2no&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwiDk9bzla_bAhVVeisKHRL8CrAQ6AEwDnoECAQQAQ#v=onepage&q=fmea%20worksheet%20dyadem&f=false)