

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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.

Tujuan utama perawatan sendiri ialah untuk memperpanjang umur penggunaan aset, menjamin ketersediaan optimum peralatan, menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, serta menjamin keselamatan orang yang menggunakan peralatan tersebut. (Ardian, Aan. 2014).

2.2 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)

Preventive maintenance juga bertujuan untuk menemukan faktor-faktor seperti bentuk kondisi maupun keadaan yang dapat menyebabkan mesin produksi mengalami kerusakan pada saat beroperasi. (Prastiawan, Oky. 2009)

2.3 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)

Secara umum teori keandalan dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok utama, yaitu :

- a. Keandalan komponen dan sistem (*Component and system reliability*)
- b. Keandalan struktur (*Structural reliability*)
- c. Keandalan manusia (*Human reliability*)
- d. Keandalan perangkat lunak (*Software reliability*)

Terminologi *item* yang dipakai didalam definisi keandalan di atas dapat mewakili sembarang komponen, subsistem, atau sistem yang dapat dianggap sebagai kesatuan. Ada empat komponen keandalan yaitu:

- a. Peluang (*probability*)
Merupakan suatu nilai yang menyatakan berapa kali kemungkinan suatu kejadian akan terjadi dari sejumlah operasi tertentu.
- b. Kinerja (*performance*)
Merupakan penampilan untuk menyatakan peralatan atau sistem bekerja secara memuaskan.
- c. Waktu
Yaitu faktor yang menyatakan ukuran dari periode waktu yang digunakan dalam pengukuran probabilitas.
- d. Kondisi pengoperasian
Faktor ini menyatakan pada kondisi bagaimana percobaan dilakukan untuk mendapatkan angka keandalan.

2.4 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)

2.4.1 Konsep Pemodelan *Markov*

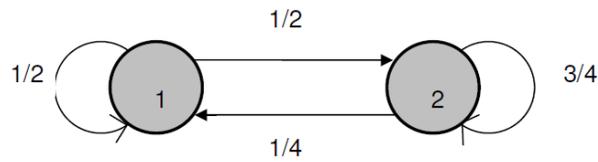
Metode Markov ini dapat diaplikasikan untuk sistem diskrit (*discrete system*) ataupun sistem kontinyu (*continuous system*). Sistem diskrit adalah sistem yang perubahan kondisinya (*state*) dapat diamati/terjadi secara diskrit.

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 disepanjang 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.

Seperti terlihat pada gambar 2.1, sistem diwakili oleh dua kondisi (*state*) yang teridentifikasi, dan diberi nama kondisi 1 dan kondisi 2. Angka-angka yang terlihat pada gambar menunjukkan *transition probability* atau peluang transisi dari satu kondisi ke kondisi lainnya atau pun peluang tetap berada pada kondisi semula. Peluang transisi ini akan sama disepanjang waktu (*stationery*).

Kondisi yang pertama dan asumsikan bahwa sistem dimulai dari kondisi ini dimana peluang transisi ke kondisi 2 adalah 0.5. Dengan demikian peluang tetap berada pada kondisi 1 adalah $1 - 0.5 = 0.5$. Demikian juga bahwa peluang transisi dari kondisi 2 ke kondisi satu adalah $1/4$. Dengan demikian peluang tetap berada pada kondisi 2 adalah $1 - 1/4 = 3/4$. Kita lihat bahwa jumlah peluang transisi pada satu keadaan adalah 1 (*unity*).



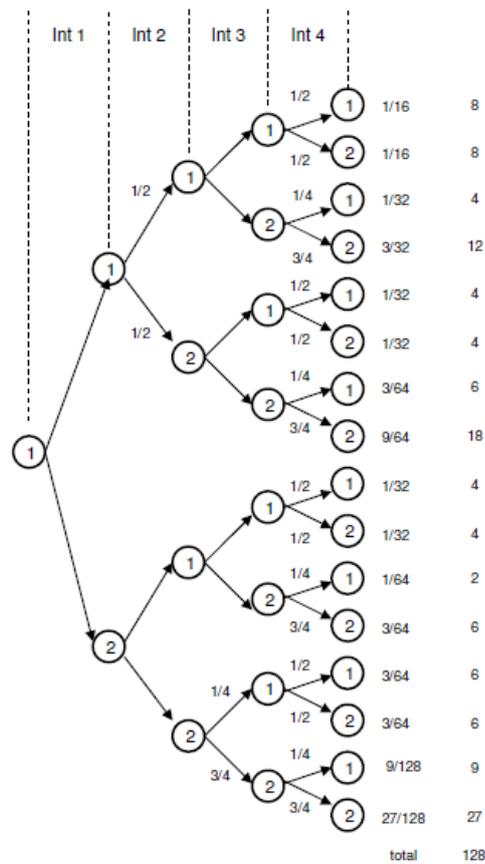
Gambar 2.1 Sistem dengan 2 Kondisi (State)

Perilaku sistem dapat digambarkan lewat *event tree*, seperti terlihat pada gambar 2.1. Gambar ini mengasumsikan bahwa sistem berawal dari kondisi 1 dan transisi terjadi selama 4 interval waktu. Peluang masing-masing transisi juga terlihat pada gambar tersebut, yang nilainya konstan disepanjang interval. Peluang total dari masing-masing cabang pada *event tree* tersebut didapat dengan mengalikan semua peluang pada cabang tersebut. Diakhir, peluang total apakah sistem berpindah dari kondisi 1 ke kondisi 2 atau tetap berada pada kondisi 1 setelah empat interval didapat dengan menjumlahkan semua peluang masing-masing cabang yang bersesuaian. Terlihat bahwa setelah empat interval peluang sistem berpindah dari kondisi 1 ke kondisi 2 adalah $85/128$ dan peluang sistem berada pada kondisi satu adalah $43/128$. (peluang total adalah $128/128$ atau sama dengan 1). Gambar 2.1 dapat di tuliskan dalam bentuk tabel seperti terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sistem dengan 2 Kondisi (State)

time interval	state probabilities	
	state 1	state 2
1	$1/2 = 0.5$	$1/2 = 0.5$
2	$3/8 = 0.375$	$5/8 = 0.625$
3	$11/32 = 0.344$	$21/32 = 0.656$
4	$43/128 = 0.336$	$85/128 = 0.664$
5	$171/512 = 0.334$	$341/512 = 0.666$

Tabel diatas mengasumsikan bahwa sistem dimulai dari kondisi 1. Pada tiap time interval jumlah probabilitas adalah sama dengan 1. Nilai probabilitas transisi dari kondisi 1 ke kondisi 2 (kolom 3) atau probabilitas transisi tetap berada di kondisi 1 (kolom 2) berangsur-angsur menjadi konstan dengan bertambahnya time interval.



Gambar 2.2 Event tree dengan 2 kondisi (state)

Gambar 2.2 jelas sekali menunjukkan dua daerah pada grafik. Pada daerah transien, terjadi perubahan nilai probabilitas kondisi (*state*) hingga memasuki daerah steady state, dimana nilai probabilitas tersebut menjadi konstan dengan nilai akhir 0.334 tetap berada pada kondisi 1 dan 0.666 berpindah ke kondisi 2. (Artana, Ketut Buda. 2006)

Suatu rantai Markov *ergodic* $\{X_n\}, n = 0, 1, \dots, m$, dengan finite state space $E = \{1, 2, \dots, s\}$ dan probabilitas transisi ;

$$P_{ij} = \Pr (X_n = j / X_{n-1} = i),$$

Untuk semua waktu $n \in T$ dan keadaan $i_0, i_1, \dots, i, j \in S$, maka proses tersebut dinamakan rantai Markov waktu diskrit, dan P_{ij} merupakan peluang transisi.

(Osaki, dalam Novia Andriani, Mega. 2017)

Matriks probabilitas transisi \mathbf{P} satu langkah didefinisikan sebagai berikut :

$$P = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \dots \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \dots \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & p_{ij} \end{bmatrix}$$

dengan $0 \leq p_{ij} \leq 1$, and $\sum_j p_{ij} = 1$,

2.4.2 Klasifikasi *State Markov Chain*

1. Teorema 1 (sifat komunikasi kelas rantai markov)

Komunikasi merupakan suatu relasi ekuivalen yang artinya ;

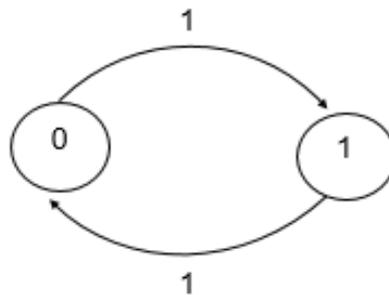
- (i) $i \leftrightarrow i$
- (ii) $i \leftrightarrow j$ maka $j \leftrightarrow i$
- (iii) $i \leftrightarrow j$ dan $j \leftrightarrow k$ maka $i \leftrightarrow k$

Berdasarkan relasi komunikasi, semua keadaan dalam rantai markov dapat diklasifikasikan pula ke dalam kelas-kelas komunikasi terpisah (*disjoint*) dan lengkap (*exhaustive*).

Contoh :

a. $P = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$

Diagram transisi untuk matriks transisi diatas :



Dengan kelas komunikasi : $\{0,1\}$, karena $0 \leftrightarrow 1$.

b. $P = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

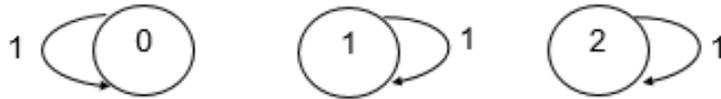
Diagram transisi untuk matriks transisi diatas :



Dengan kelas komunikasi : $\{0\}$ dan $\{1\}$.

$$c. P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

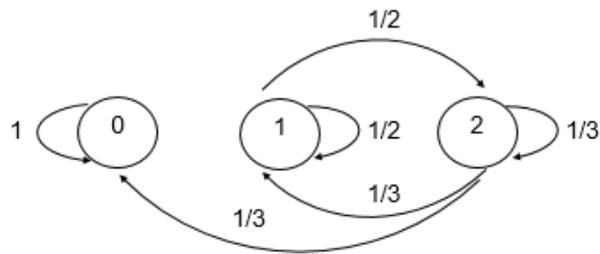
Diagram transisi untuk matriks transisi diatas :



Dengan kelas komunikasi : {0}, {1} dan {2}.

$$d. P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 2 & 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{bmatrix}$$

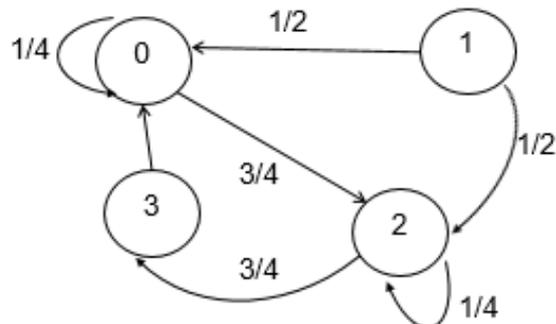
Diagram transisi untuk matriks transisi diatas :



Dengan kelas komunikasi : {0}, {1,2}.

$$e. P = \begin{bmatrix} 0 & 1/4 & 0 & 3/4 & 0 \\ 1 & 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1/4 & 3/4 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Diagram transisi untuk matriks transisi diatas :



Dengan kelas komunikasi : {0,2,3} dan {1}. Kelas komunikasi rantai markov {0,2,3} merupakan salah satu contoh rantai markov *Irreducible*

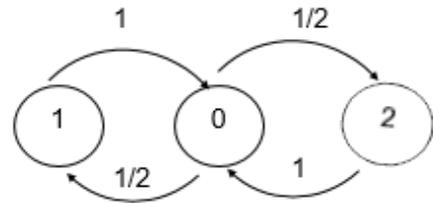
yang berarti bahwa semua keadaan saling berkomunikasi ($0 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 0$).

2. Teorema 2

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

Contoh :

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1/2 & 1/2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \text{Dengan diagram transisi}$$



Periodisitas dari setiap keadaan :

$$P^2 = P \cdot P = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$$

$$P^3 = P^2 \cdot P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P^4 = P^2 \cdot P^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$$

Keadaan 0 :

$$n \geq 1, p_{00}^n > 0.$$

$$n = 2 \rightarrow p_{00}^2 = 1 > 0$$

$$n = 4 \rightarrow p_{00}^4 = 1 > 0$$

$$d(0) = FPB\{n \geq 1 \mid p_{00}^n > 0\}$$

$$= FPB\{2, 4, \dots\}$$

$$d(0) = 2. \text{ state 0 periodik.}$$

Keadaan 1 : periodik ($d(1) > 1$)

$$n \geq 1, p_{11}^n > 0.$$

$$n = 2 \rightarrow p_{11}^2 = 1/2$$

$$n = 4 \rightarrow p_{11}^4 = 1/2$$

$$d(1) = FPB\{n \geq 1 \mid p_{11}^n > 0\}$$

$$= FPB\{2, 4, \dots\}$$

$$d(1) = 2.$$

Keadaan 2 : periodik ($d(2) > 1$)

$$\left. \begin{array}{l} n \geq 1, p_{22}^n > 0. \\ n = 2 \rightarrow p_{22}^2 = 1/2 \\ n = 4 \rightarrow p_{22}^4 = 1/2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} d(2) = FPB\{n \geq 1 \mid p_{22}^n > 0\} \\ = FPB\{2, 4, \dots\} \\ d(2) = 2. \end{array}$$

Sesuai dengan teorema 2 , $0 \leftrightarrow 1, 1 \rightarrow 2 \Rightarrow 0 \leftrightarrow 2$. Sehingga, $d(0) = d(1) = d(2)$.

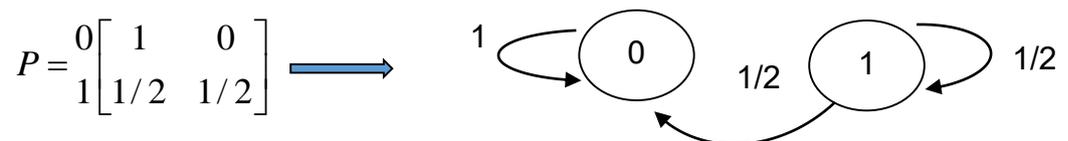
3. Teorema 3 (syarat perlu dan cukup keadaan recurrent dan transient)

- Keadaan i recurrent jika dan hanya $\sum_{n=1}^{\infty} P_{ii}^n = \infty$ jika

- Keadaan i transient jika dan hanya $\sum_{n=1}^{\infty} P_{ii}^n < \infty$ jika

Contoh :

Diketahui matriks peluang transisi serta diagramnya sebagai berikut ;



Maka bentuk teorema 3 ;

$$P = P^1 = \begin{matrix} 0 & \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$P^2 = P \cdot P = \begin{matrix} 0 & \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 3/4 & 1/4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$P^3 = P^2 \cdot P = \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 3/4 & 1/2 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 7/8 & 1/8 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Sehingga,

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

$$\sum_{n=1}^{\infty} p_{11}^n = p_{11}^1 + p_{11}^2 + p_{11}^3 + \dots \quad \rightarrow \text{State 0 recurrent}$$

$$= \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^3 + \dots = \frac{1/2}{1-1/2} = 1 < \infty$$

→ State 1 transient

4. Teorema 4

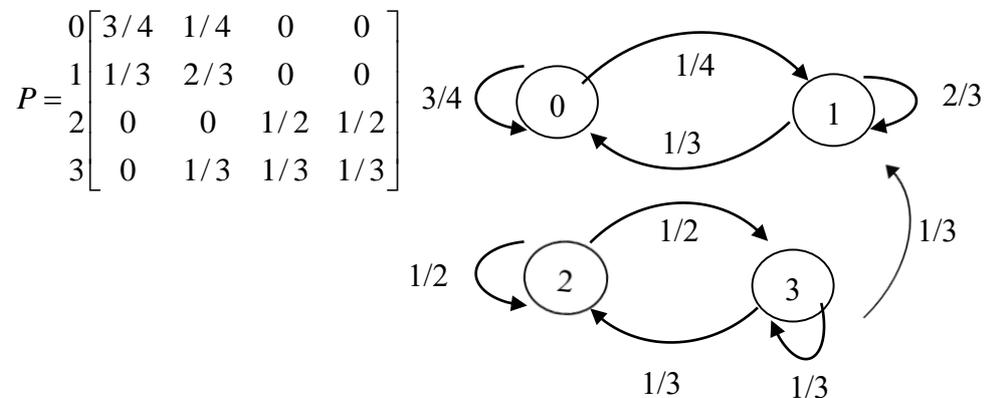
Jika keadaan i *recurrent* dan $i \leftrightarrow j$, maka keadaan j *recurrent*.

5. Teorema 5

Pada suatu rantai markov, semua keadaan dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelas *recurrent* C_1, C_2, \dots dan sisanya merupakan keadaan *transient*.

Contoh :

Diketahui rantai markov dengan peluang transisi serta diagramnya sebagai berikut ;



Rantai markov diatas memiliki kelas *recurrent* $\{0,1\}$ dan himpunan *state transient* $\{2,3\}$.

6. Definisi 6

Untuk suatu rantai markov, semua keadaan *recurrent* dikelompokkan menjadi *positive (non-null) recurrent* atau $\mu_j < \infty$ 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 .

7. 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*.

8. Teorema 8

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

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

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

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

$\{\pi_j\}$ Ini dinamakan distribusi stasioner dari rantai markov.

2.4.3 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

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

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 $R(0) = 1$. (Novia, Mega Andriani, dkk. 2017)

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

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

Maka reliabilitas untuk rantai Markov didefinisikan sebagai berikut:

$$R(n) = \pi_U(0) P_{UU}^n \mathbf{1}_r \text{ untuk } n \geq 0$$

2.5 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA merupakan salah satu alat identifikasi sebab akibat dari kegagalan sistem maupun proses yang bertujuan untuk mengeliminasi peluang terjadinya kegagalan. FMEA mengharuskan data untuk terus diperbaharui agar dapat digunakan untuk mencegah dan mengantisipasi terjadinya kegagalan. Menurut Chrysler (1995) dalam Setiyadi (2013), FMEA dapat dilakukan dengan cara :

1. Mengenali dan mengevaluasi kegagalan potensi suatu produk dan efeknya.
2. Mengidentifikasi tindakan yang bisa menghilangkan atau mengurangi kesempatan dari kegagalan potensi terjadi
3. Pencatatan proses

Kegunaan FMEA :

1. Tindakan pencegahan sebelum terjadinya masalah.
2. Mengetahui/mendata alat deteksi yang ada jika terjadi kegagalan.
3. Pemakaian proses baru.
4. Perubahan/pergantian komponen peralatan.
5. Pemindahan komponen atau proses ke arah baru.

2.5.1 Tujuan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan aplikasi FMEA ialah :

1. Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya.
2. Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan.
3. Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses.
4. Untuk membantu fokus dalam mengurangi perhatian terhadap produk dan proses dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.

2.5.2 Identifikasi Elemen-elemen proses FMEA

Elemen FMEA dibentuk berdasarkan informasi yang mendukung analisa. Beberapa elemen-elemen tersebut yaitu :

1. Fungsi proses
Merupakan deskripsi singkat mengenai proses pembuatan item dimana sistem akan dianalisa.
2. Mode kegagalan
Merupakan suatu kemungkinan kecacatan terhadap setiap proses.
3. Efek potensial dari kegagalan
Merupakan suatu efek dari bentuk kegagalan
4. Tingkat keparahan (*Severity*)
Penilaian keseriusan efek dari bentuk kegagalan potensial.
5. Penyebab potensial (*Potensial Cause*)
Merupakan bagaimana suatu kegagalan dapat terjadi dan dapat diperbaiki.
6. Keterjadian (*Occurrence*)
Merupakan frekuensi terjadinya penyebab kegagalan yang spesifik.
7. Deteksi (*Detection*)
Merupakan penilaian dari kemungkinan alat tersebut dapat mendeteksi penyebab potensial terjadinya suatu bentuk kegagalan.
8. *Risk Priority Number* (RPN)
Angka prioritas resiko yang didapatkan dari perkalian *Severity*, *Occurrence* dan *Detection*. ($RPN = S * O * D$)

9. Tindakan yang direkomendasikan

Setelah bentuk kegagalan diatur sesuai peringkat RPN, maka tindakan perbaikan harus segera dilakukan terhadap bentuk kegagalan dengan nilai RPN tertinggi.

2.5.3 Langkah Dasar FMEA

Terdapat langkah dasar dalam proses FMEA yaitu sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi fungsi pada proses produksi.
2. Mengidentifikasi potensi failure mode proses produksi.
3. Mengidentifikasi potensi efek kegagalan produksi.
4. Mengidentifikasi penyebab-penyebab kegagalan proses produksi.
5. Mengidentifikasi mode-mode deteksi proses produksi.
6. Menentukan *rating* terhadap *severity*, *occurrence*, *detection* dan RPN proses produksi.
7. Usulan perbaikan.

Sebelum melakukan usulan perbaikan, enam langkah sebelumnya dapat dituliskan kedalam kolom worksheet FMEA seperti tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Failure Mode and Effect Analysis Worksheet

<i>Item</i>	<i>Item Function</i>	<i>Potential al Failure Mode</i>	<i>Potential Effect of Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Potential Cause of Failure</i>	<i>Occurrence</i>	<i>Current design controls (prevention)</i>	<i>Current design controls (detection)</i>	<i>Detection</i>	<i>RPN</i>

Sumber : Press, Dyadem. 2003

2.5.4 Saran Pedoman Risiko untuk Proses FMEA

Saran pedoman resiko untuk *severity* (keparahan), *occurance* (kejadian), dan *detection* (deteksi) untuk proses FMEA diberikan pada Tabel 2.3, Tabel 2.4, dan Tabel 2.5

Tabel 2.3 Tingkat Severity (keparahan) yang Disarankan untuk FMEA

Effect	Rank	Criteria
None	1	Keragaman parameter proses dibawah batas yang telah ditentukan. Penyesuaian atau proses control dapat dilakukan saat perawatan normal.
Very Minor	2	Keragaman parameter proses diatas batas yang telah ditentukan. Penyesuaian atau proses control lain harus dilaukan ketika proses produksi. Namun tidak ada downtime dan tidak ada komponen yang rusak
Minor	3	Downtime terjadi ≥ 10 menit, tetapi tidak ada komponen yang rusak
Very Low	4	Downtime terjadi diantara 10 hingga 30 menit, tetapi tidak ada komponen yang rusak
Low	5	Downtime diantara 30 menit hingga 1 jam atau terjadi kerusakan komponen hingga mencapai 1 jam
Moderate	6	Downtime diantara 1 hingga 4 jam atau terjadi kerusakan komponen selama 1 hingga 2 jam
High	7	Downtime diantara 4 hingga 8 jam atau terjadi kerusakan komponen selama lebih dari 4 jam
Very High	8	Downtime diatas 8 jam atau terjadi kerusakan komponen selama lebih dari 4 jam
Hazardous-With Warning	9	Peringkat tingkat keparahan tinggi-mempengaruhi operator, pabrik atau personel perawatan dan kesematan, dan/atau ketidakpatuhan terhadap peraturan pemerintah dengan peringatan
Hazardous-Without Warning	10	Peringkat tingkat keparahan sangat tinggi-mempengaruhi operator, pabrik atau personel perawatan dan kesematan, dan/atau ketidakpatuhan terhadap peraturan pemerintah tanpa peringatan

Sumber : Press, Dyadem. 2003

Tabel 2.4 Tingkat Occurance (Kejadian) yang Disarankan untuk FMEA

Rank	Occurance	Criteria : Possible Number of Failures within Hours of Operation
Kegagalan terjadi setiap 5 tahun	1	1 in 25.000
Kegagalan terjadi setiap 2 tahun	2	1 in 10.000
Kegagalan terjadi setiap tahun	3	1 in 5.000
Kegagalan terjadi setiap 6 bulan	4	1 in 2.500
Kegagalan terjadi setiap 3 bulan	5	1 in 1.000
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 2.5 Tingkat Detection (Deteksi) yang Disarankan untuk FMEA

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 se;anjutnya. 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

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian terdahulu ini menjadi pedoman atau acuan penulis dalam melakukan penelitian, sehingga teori-teori yang digunakan didalam penelitian ini dapat diperkaya melalui tulisan dari penelitian yang sudah pernah dilakukan. Berikut merupakan penelitian terdahulu dalam bentuk jurnal yang digunakan sebagai bahan referensi :

1. ANALISIS PENGARUH JADWAL PEMELIHARAAN TERHADAP KEANDALAN TRANSFORMATOR 80 MVA BERDASARKAN HASIL UJI TES DGA DAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN METODE MARKOV (STUDI KASUS : INDUSTRI PELEBURAN BAJA PT XYZ).

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. 2015. Oleh Hanif Mufidah dan Urip Mudjiono.

Seringnya terjadi gangguan pada transformator utama di PT XYZ yang menyebabkan Terbakar dan Meledak, dalam jangka waktu yang berdekatan. Selain itu pada PT XYZ belum ada jadwal pemeliharaan khusus yang dikaitkan dengan kualitas (keandalan) transformator. Dan dalam kejadian berupa terbakarnya trafo di PT XYZ belum di temukan dan diidentifikasi penyebab terbakarnya trafo di PT XYZ.

Nilai keandalan transformator berdasarkan nilai TDCG jika beroperasi selama 30 hari didapatkan nilai keandalan transformator sebesar 0,92, dibandingkan dengan nilai keandalan selama 30 hari yaitu sebesar 0,31 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai keandalan sebesar $\pm 8\%$ tiap bulannya. Sedangkan berdasarkan nilai tegangan tembus nilai keandalan transformator jika beroperasi selama 30 hari sebesar 0,99, dibandingkan dengan nilai keandalan selama 1 tahun yaitu sebesar 0,39 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai keandalan sebesar $\pm 5\%$ tiap bulannya. Nilai ketersediaan transformator berdasarkan nilai TDCG dalam kondisi baik dari semua gas mendekati 216 hari, dan kondisi kurang baik adalah 147 hari. Sedangkan berdasarkan nilai tegangan tembus nilai ketersediaan transformator dalam kondisi baik dari semua gas mendekati 299 hari, dan kondisi kurang baik adalah 64 hari.

Kata kunci: Jadwal pemeliharaan, transformator 80 Mva, tes DGA dan tegangan tembus, metode Markov

2. RELIABILITAS SUATU MESIN MENGGUNAKAN RANTAI MARKOV (STUDI KASUS : MESIN PROOFER DI PABRIK ROTI SUPER JAM BANTEN). Departemen Matematika FMIPA Universitas Padjajaran. 2017. Oleh Mega Novia Andriani, Firdaniza dan Iin Irianingsih.

Mesin merupakan alat vital perusahaan dalam membantu proses produksi. Setiap perusahaan mengharapkan proses produksi berjalan dengan lancar, tetapi terkadang terkendala dengan terjadinya kerusakan pada mesin, sehingga proses produksi terganggu dan menyebabkan kerugian bagi perusahaan. Kerusakan pada mesin dapat diminimalisir dengan melakukan

evaluasi terhadap kondisi mesin tersebut secara teratur. Penelitian ini menggunakan rantai Markov untuk mengetahui peluang jangka panjang kondisi suatu mesin dan menganalisis reliabilitas dari mesin tersebut untuk memperkirakan waktu perawatan. Studi kasus dilakukan pada mesin Proofer di Pabrik Roti Super Jam Banten mulai tanggal 3 Maret 2014 sampai tanggal 31 Mei 2015. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa peluang jangka panjang mesin Proofer dalam kondisi baik adalah 42,86% dan disarankan untuk melakukan perawatan rutin pada mesin tersebut minimal setiap 22 hari sekali.

Kata kunci: mesin, rantai markov, reliabilitas.

3. 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. Teknik Elektro Universitas Riau. 2018. Oleh Hergo Afrizon dan Firdaus.

Transformator daya memainkan sebuah peran terpenting dalam sistem transmisi listrik untuk mengubah tingkat tegangan dalam sistem. Operasi transformer daya yang tidak normal dapat mengurangi keandalannya. Operasi yang seringkali menyebabkan ketidaknormalan dalam transformer daya adalah gangguan pada minyak transformator. Metode markov menggunakan uji *Dissolved Gas Analysis (DGA)* dari minyak transformator untuk mengetahui tahanan isolasi dan tegangan tembus. Metode *continuous markov* digunakan untuk menentukan kondisi steady-state yang terjadi pada minyak transformator. Selanjutnya, proses markov dari transformer daya harus memenuhi beberapa syarat seperti *lack of memory* dan *stationery* atau *homogeny*. Setelah semua syarat terpenuhi, maka nilai dari tiap laju perpindahan dan waktu transisi ditentukan untuk menghitung matriks transisi keandalan dan ketersediaan transformator dengan menggunakan laju kegagalan (λ), laju perbaikan (μ) dan matriks transisi steady-state. Penjumlahan dari seluruh nilai kondisi kejadian, laju kegagalan dan laju perbaikan dipertimbangkan sebagai keandalan transformator. Hasil dari analisis *continuous markov* diperoleh keandalan

total parameter *Dissolved Combustible Gases* (TDCG) untuk awal operasi adalah 0,99 dan berkurang hingga 0,60 setelah 365 hari operasi. Keandalan transformator berkurang hingga 39% untuk 265 hari operasi. Selanjutnya, ketersediaan transformator selama 302 hari dipertimbangkan sebagai kondisi baik untuk seluruh parameter gas TDCG dan kondisi tidak baiknya adalah selama 61 hari.

Kata Kunci : Uji minyak transformator *DGA* (*Dissolved Gas Analysis*), Tahanan Isolasi dan tegangan tembus, Metode *Markov Continuous*.

Tabel 2.6 Gap Antar Penelitian-penelitian Terdahulu

Peneliti	Status Mesin			Model Rantai Markov		Keandalan		Analisis Penyebab Kerusakan	
	3	4	>4	Diskrit	Kontinyu	Ada	Tidak	FTA	FMEA
Mufidah, Hanif, & Mudijono, Urip, 2015			✓		✓	✓		✓	
Novia Andriani, Mega, Dkk. 2017	✓			✓		✓		-	-
Afrizon, Hergo, & Firdaus, 2018.			✓		✓	✓		-	-
Riezna Wahyuny R.M. 2018		✓		✓		✓			✓