

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perawatan (*Maintenance*)

2.1.1 Definisi Perawatan

Perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah konsepsi dari semua aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau mempertahankan kualitas fasilitas/mesin agar dapat berfungsi dengan baik seperti kondisi awalnya. Lebih jauh Ebeling (1997) (dalam Ansori & Imron, 2013) mendefinisikan perawatan sebagai bentuk kegiatan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang mampu mengembalikan item atau mempertahankannya pada kondisi yang selalu dapat berfungsi. Perawatan juga merupakan kegiatan pendukung yang menjamin kelangsungan mesin dan peralatan sehingga pada saat dibutuhkan dapat dipakai sesuai dengan yang diharapkan. Sehingga kegiatan perawatan merupakan seluruh rangkaian aktivitas yang dilakukan untuk mempertahankan unit-unit pada kondisi operasional dan aman, dan apabila terjadi kerusakan maka dapat dikendalikan pada kondisi operasional yang handal dan aman.

Al-Turki (2011) (dalam Ansori & Mustajib, 2013) memodelkan proses perawatan sebagai proses transformasi ringkas dalam sistem perusahaan. Proses pemeliharaan yang dilakukan akan mempengaruhi tingkat ketersediaan (*availability*) fasilitas produksi, laju kerusakan, kualitas produk akhir (*end product*), ongkos produksi, dan keselamatan operasi. Faktor-faktor ini selanjutnya akan mempengaruhi tingkat keuntungan (*profitability*) perusahaan. Proses perawatan yang dilakukan tidak saja membantu kelancaran produksi sehingga produk yang dihasilkan tepat waktu diserahkan kepada pelanggan, tetapi juga menjaga fasilitas dan peralatan tetap dalam efektif dan efisien dimana sasarannya adalah mewujudkan nol kerusakan (*zero breakdown*) pada mesin-mesin yang beroperasi.

Dalam menjaga berkesinambungan proses produksi pada fasilitas dan peralatan seringkali dibutuhkan kegiatan pemeliharaan seperti pembersihan (*cleaning*), inspeksi (*inspection*), pelumasan (*oiling*), serta pengadaan suku cadang (*stock spare part*) dari komponen yang terdapat dalam fasilitas industri. Masalah

perawatan mempunyai kaitan erat dengan tindakan pencegahan (*preventive*) dan perbaikan (*corrective*). Tindakan pada problematika perawatan tersebut dapat berupa :

1. Pemeriksaan (*inspection*), yaitu tindakan yang ditujukan untuk sistem /mesin agar dapat mengetahui apakah sistem berada pada kondisi yang diinginkan.
2. *Service*, yaitu tindakan yang bertujuan untuk menjaga suatu sistem/mesin yang biasanya telah diatur dalam buku petunjuk pemakaian mesin.
3. Penggantian komponen (*replacement*), yaitu tindakan penggantian komponen-komponen yang rusak/tidak memenuhi kondisi yang diinginkan. Tindakan ini mungkin dilakukan secara mendadak atau dengan perencanaan pencegahan terlebih dahulu.
4. Perbaikan (*repairment*), yaitu tindakan perbaikan yang dilakukan pada saat terjadi kerusakan kecil.
5. *Overhaul*, tindakan besar-besaran yang biasanya dilakukan pada akhir periode tertentu.

Kompleksnya permasalahan terkait perawatan, seringkali perawatan didekati dengan model matematis yang mempresentasikan permasalahan tersebut. Dengan pendekatan ini dapat diharapkan pengembalian keputusan dalam permasalahan perawatan akan dapat mengurangi proporsi pertimbangan yang subyektif.

2.1.2 Tujuan Perawatan

Menurut Suryono (2015) tujuan dilakukannya perawatan adalah :

1. Memungkinkan terjadinya mutu produk dan kepuasan pelanggan melalui penyesuaian, pelayanan dan pengoprasian peralatan secara tepat.
2. Memeaksimalkan umur kegunaan sistem.
3. Menjaga agar sistem aman dan mecegah berkembangnya gangguan keamanan.
4. Meminimalkan biaya produksi total yang secara langsung dapat dihubungkan dengan *service* dan perbaikan.
5. Meminimalkan frekuensi dan kuatnya gangguan-gangguan terhadap proses operasi.
6. Memaksimalkan kapasitas produksi dari sumber-sumber sistem yang ada.

7. Mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan pada saat mesin sedang beroperasi.
8. Memelihara peralatan-peralatan dengan benar sehingga mesin atau peralatan selalu berada pada kondisi tetap siap untuk beroperasi.
9. Menyiapkan personel, fasilitas dan metodenya agar mampu mengerjakan tugas-tugas perawatan.

2.1.3 Jenis-jenis Perawatan

Menurut Hasibuan,2009 dalam sistem perawatan terencana terdapat tiga kegiatan pokok yang berkaitan dengan tindakan perawatan , yaitu:

1. Perawatan Pencegahan (*Preventive*)

Perawatan ini dimaksudkan untuk menjaga keadaan peralatan sebelum peralatan itu menjadi rusak. Pada dasarnya yang dilakukan adalah perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tak terduga dan menentukan keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. Dengan demikian semua fasilitas- fasilitas produksi yang mendapatkan perawatan *preventive* akan terjamin kelancarannya dan selalu diusahakan dalam kondisi yang siap digunakan untuk setiap proses produksi setiap saat. Hal ini memerlukan suatu rencana dan jadwal pemeliharaan yang sangat cermat dan rencana yang lebih tepat.

2. Perawatan korektif (*corrective*)

Perawatan ini dimaksudkan untuk memperbaiki perawatan yang rusak. Pada dasarnya aktivitas yang dilakukan adalah perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan. Kegiatan ini sering disebut sebagai kegiatan perbaikan atau reparasi.

Perawatan korektif dapat juga didefinisikan sebagai perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang yang dapat terjadi akibat tidak dilakukannya perawatan *preventive* maupun telah dilakukan perawatan *preventive* tapi sampai pada suatu waktu tertentu fasilitas dan peralatan tersebut tetap rusak. Jadi dalam hal ini,kegiatan perawatan sifatnya hanya menunggu sampai terjadi kerusakan,baru kemudian diperbaiki atau dibetulkan.

3. Perawatan *Predictive*

Tipe perawatan ini lebih maju dibandingkan dengan dua tipe sebelumnya. Ditandai dengan menggunakan teknik-teknik mutakhir (*advance scientific techniques*) termasuk statistik probabilitas untuk memaksimalkan waktu operasi dan menghilangkan pekerjaan-pekerjaan yang tidak perlu. Perawatan *predictive* juga menggunakan bantuan sensor mekanik/elektronik untuk mendeteksi secara dini jika terjadi penyimpangan/masalah pada sistem. Perawatan *predictive* dipakai hanya pada sistem-sistem yang akan menimbulkan masalah-masalah serius jika terjadi kerusakan pada mesin atau pada proses-proses yang berbahaya

2.2 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mengevaluasi desain sistem dengan mempertimbangkan bermacam-macam jenis kegagalan dari sistem yang terdiri dari komponen-komponen, menganalisa pengaruh-pengaruh terhadap keandalan sistem dengan penelusuran pengaruh-pengaruh kegagalan komponen sesuai dengan level item-item khusus dari sistem yang kritis dapat dinilai dan tindakan yang diperlukan untuk memperbaiki desain dan mengeleminasi atau mereduksi probabilitas dari metode-metode kegagalan yang kritis (Kimura,2002)(dalam Ansori dan Imron, 2013).

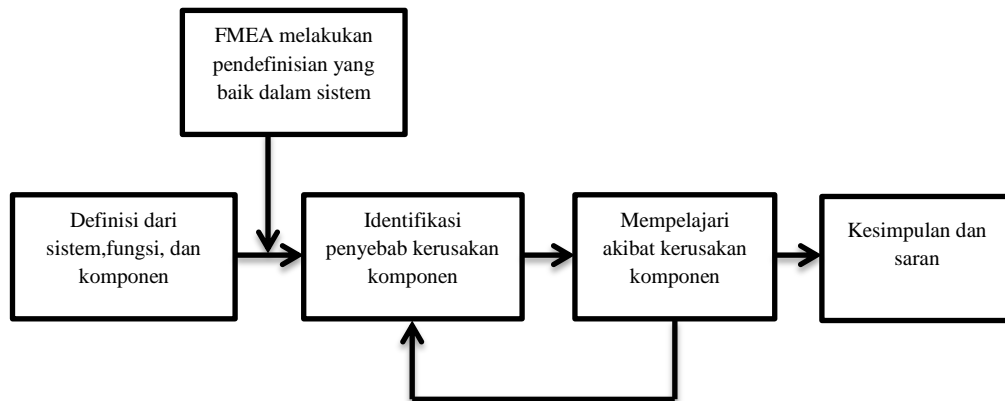
Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pertama kali digunakan pada tahun 1960 dalam bidang penerbangan. Sejak saat itu penggunaan FMEA diperluas pada banyak sector industri.

FMEA bertujuan melakukan perbaikan dengan cara :

- Mengidentifikasi model-model kegagalan pada komponen, peralatan, dan sistem.
- Menentukan akibat yang potensial pada peralatan, sistem yang berhubungan dengan setiap model kegagalan.
- Membuat rekomendasi untuk menambah keandalan komponen, peralatan, dan sistem.

Menurut Ansori dan Imron (2013) Terdapat empat langkah utama dalam kinerja dari FMEA (Gambar 2.1.), sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi sistem, fungsi-fungsi dan komponen-komponennya;
2. Mengidentifikasi penyebab kerusakan komponen;
3. Mempelajari akibat dari penyebab kerusakan komponen;
4. Kesimpulan dan saran.



Gambar 2.1. Langkah dari kinerja FMEA

Sumber : Ansori dan Imron (2013)

Dari contoh tabel FMEA dalam Gambar 2.2. berikut ini kan dijelaskan langkah-langkah dalam pengisian tabel FMEA, yaitu:

Process Step	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV ¹	Potential Causes	OCC ²	Current Process Controls	DET ³	RPN ⁴	Action Recommended
What is the step?	In what ways can the step go wrong?	What is the impact on the customer if the failure mode is not prevented or corrected?	How severe is the effect on the customer?	What causes the step to go wrong (i.e., how could the failure mode occur)?	How frequently is the cause likely to occur?	What are the existing controls that either prevent the failure mode from occurring or detect it should it occur?	How probable is detection of the failure mode or its cause?	Risk priority number calculated as SEV x OCC x DET	What are the actions for reducing the occurrence of the cause or for improving its detection? Provide actions on all high RPNs and on severity ratings of 9 or 10.
ATM Pin Authentication	Unauthorized access	<ul style="list-style-type: none"> Unauthorized cash withdrawal Very dissatisfied customer 	8	Lost or stolen ATM card	3	Block ATM card after three failed authentication attempts	3	72	
	Authentication failure	Annoyed customer	3	Network failure	5	Install load balancer to distribute work-load across network links	5	75	
Dispense Cash	Cash not disbursed	Dissatisfied customer	7	ATM out of cash	7	Internal alert of low cash in ATM	4	196	Increase minimum cash threshold limit of heavily used ATMs to prevent out-of-cash instances
	Account debited but no cash disbursed	Very dissatisfied customer	8	<ul style="list-style-type: none"> Transaction failure Network issue 	3	Install load balancer to distribute work-load across network links	4	96	
	Extra cash dispensed	Bank loses money	8	<ul style="list-style-type: none"> Bills stuck to each other Bills stacked incorrectly 	2	Verification while loading cash in ATM	3	48	

Gambar 2.2. Contoh Tabel FMEA

Sumber: <https://www.isixsigma.com/toolstemplates/fmea/avoid-failure-when-using-failure-modes-and-effects-analysis-fmea>

1. Fungsi Proses

Mendiskripsikan singkat mengenai proses pembuatan produk yang dimana akan dilakukan analisa. Jika pada proses mengalami kegagalan maka akan dilakukan penganalisaan pada proses tersebut.

2. Bentuk kegagalan potensial

Merupakan suatu kejadian dimana proses dapat dikatakan gagal untuk memenuhi kebutuhan proses.

3. Efek dari Kegagalan

Merupakan bentuk dari kegagalan terhadap konsumen maupun efek terhadap kelangsungan proses.

4. *Severity* (Tingkat Keparahan)

Merupakan proses produksi yang berhubungan dengan seberapa besar kemungkinan terjadinya dampak yang ditimbulkan akibat adanya kegagalan atau kecacatan yang terjadi. Terdiri dari rating 1- 10. Kriteria dari setiap rating *severity*, semakin parah efek yang ditimbulkan maka semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

5. Penyebab kegagalan

Penyebab kegagalan ini dapat didefinisikan sebagai penjelasan mengapa kegagalan pada proses tersebut bisa terjadi.

6. *Occurrence* (Keterjadian)

Merupakan proses yang dapat dilakukan untuk mengetahui seberapa sering kemungkinan terjadinya suatu kegagalan pada proses produksi. Sama seperti *Severity* yang terdiri dari rating 1 -10. Semakin sering penyebab kegagalan terjadi, makin tinggi nilai rating yang diberikan.

7. Kontrol yang dilakukan

Dilakukannya pengontrolan untuk mendeteksi penyebab kegagalan yang terjadi pada proses produksi.

8. *Detection* (Deteksi)

Merupakan proses yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemungkinan kegagalan tersebut dapat dideteksi dengan maksimal. Sama seperti *severity* dan *occurrence* yang terdiri dari 1 – 10. Semakin sulit

mendeteksi penyebab kegagalan yang terjadi, maka semakin tinggi nilai rating yang diberikan.

9. Risk Priority Number (RPN)

RPN merupakan perkalian dari rating *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D).

$$RPN = S \times O \times D$$

Angka ini digunakan sebagai panduan untuk mengetahui masalah yang paling serius, dengan indikasi angka yang paling tinggi memerlukan prioritas penanganan serius.

Tabel 2.1 Nilai *Severity*

Rating	Criteria of Severity Effect
10	Tidak berfungsi sama sekali
9	Kehilangan fungsi utama dan menimbulkan peringatan
8	Kehilangan fungsi utama
7	Pengurangan fungsi utama
6	Kehilangan kenyamanan fungsi penggunaan
5	Mengurangi kenyamanan fungsi penggunaan
4	Perubahan fungsi dan banyak pekerja menyadari adanya masalah
3	Tidak terdapat efek dan pekerja menyadari adanya masalah
2	Tidak terdapat efek dan pekerja tidak menyadari adanya masalah
1	Tidak ada efek

Sumber : Dyadem (2003) dalam Ulum (2017)

Tabel 2.2 Nilai *Occurrence*

Rating	Probability of Occurrence
10	1 dalam 2
9	1 dalam 3
8	1 dalam 8
7	1 dalam 20
6	1 dalam 80
5	1 dalam 400
4	1 dalam 2000
3	1 dalam 15.000
2	1 dalam 150.000
1	<1 dalam 1.500.000

Sumber : Dyadem (2003) dalam Ulum (2017)

Tabel 2.3.Nilai *Detection*

<i>Rating</i>	<i>Detection Design Control</i>
10	Tidak mampu terdeteksi
9	Kesempatan yang sangat rendah dan sangat sulit untuk terdeteksi
8	Kesempatan yang sangat rendah dan sulit untuk terdeteksi
7	Kesempatan yang sangat rendah untuk terdeteksi
6	Kesempatan yang rendah untuk terdeteksi
5	Kesempatan yang sedang untuk terdeteksi
4	Kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi
3	Kesempatan yang tinggi untuk terdeteksi
2	Kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi
1	Pasti terdeteksi

Sumber : Dyadem (2003) dalam Ulum (2017)

2.3 Failure Rate Function $\lambda(t)$

$\lambda(t)$ dikenal sebagai nilai resiko atau fungsi nilai kerusakan (kesalahan). Nilai ini memberikan alternatif pemecahan untuk menjelaskan distribusi kerusakan. Nilai kerusakan dalam beberapa kasus, dapat dikategorikan menjadi 3, antara lain (Kurniawan,2013) :

1. *Decrease Failure Rate* (DFR)

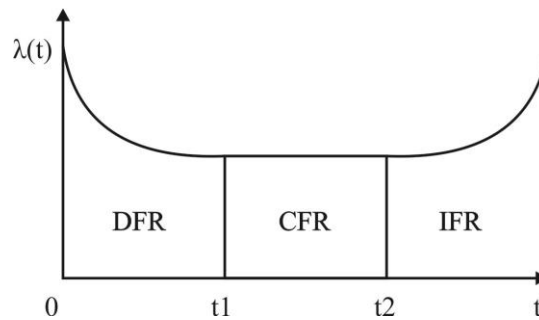
Terjadi jika karakteristik kerusakan menurun (berkurang), misalnya kerusakan cacat proses, retak, *spare part* yang *reject*, kontrol kualitas yang buruk, dan kemampuan kerja yang buruk. Hal ini dapat diantisipasi dengan melakukan perawatan *screening*, kontrol kualitas, dan *test level* penerimaan. Kondisi seperti ini memiliki karakteristik yang biasa disebut ***Burn-In***.

2. *Constan Failure Rate* (CFR)

Terjadi bila karakteristik kerusakan konstan, misalnya kerusakan mesin akibat Human error, dan lingkungan. Hal ini dapat diantisipasi dengan melakukan Redundancy, dan pelatihan. Kondisi mesin berada dalam kondisi prima, yang disebut ***useful-life***.

3. *Increase Failure Rate* (IFR)

Terjadi bila karakteristik kerusakan meningkat (bertambah), misalnya kerusakan mesin akibat korosi, usia, *fatigue*, friksi. Hal ini dapat diantisipasi dengan melakukan perawatan preventif, penggantian *spare part* dan teknologi, dengan kata lain *part* yang tidak berfungsi dapat diperbaiki, dan mesin tetap bekerja. Kondisi ini biasanya disebut ***Wear-Out***.



Gambar 2.3. Kurva Bathub-Shape (Ebeling,1997)

2.4 Distribusi Statistik

Model dari suatu probabilitas kerusakan suatu alat dapat dicocokkan dengan distribusi statistik. Dalam analisa keandalan ada beberapa distribusi statistik yang umum digunakan. Distribusi statistik yang digunakan tergantung pada karakter kerusakan yang terjadi. Beberapa distribusi yang termasuk ke dalam distribusi statistik diantaranya (Ansori dan Imron,2013) :

2.4.1 Distribusi Normal

Distribusi normal mempunyai laju kerusakan yang naik sejak bertambahnya umur alat, yang berarti probabilitas kerusakan alat atau komponen naik sesuai dengan bertambahnya umur komponen tersebut. Distribusi normal mempunyai dua parameter yaitu rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ).

Adapun fungsi-fungsi distribusi normal dinyatakan sebagai berikut :

- Fungsi Probabilitasnya

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt;$$

Untuk $-\infty \leq t \leq \infty; \sigma > 0 < \mu < \infty$

- Fungsi Keandalannya

Nilai keandalan dapat dihitung dengan rumus :

$$R(t) = 1 - \Phi\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]$$

- Laju Kerusakannya

laju kerusakan komponen berdasarkan distribusi normal di rumuskan sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

- $MTTF = \mu$

Dimana :

$F(t)$ = Probabilitas Kerusakan

$R(t)$ = Fungsi Keandalan

$\lambda(t)$ = Laju Kerusakan

t = Interval Waktu

σ = Standart Deviasi

μ = Rata-rata sampel

$(z) \Phi$ = tabel $\Phi(z)$

π = 3,14

$MTTF$ = Rata-rata waktu kerusakan

2.4.2 Distribusi Eksponensial

Digunakan untuk memodelkan laju kerusakan yang konstan untuk sistem yang beroperasi secara kontinu. Dalam distribusi eksponensial, beberapa persamaan yang digunakan antara lain :

- Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi eksponensial adalah :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

- Fungsi keandalan distribusi eksponensial adalah

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

- Nilai laju kerusakan :

$$\lambda(t) = \lambda$$

- $MTTF$ distribusi eksponensial adalah

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = 1/\lambda$$

Dimana :

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

MTTF	= Rata-rata waktu kerusakan
t	= waktu $t \geq 0$
λ	= kecepatan rata-rata terjadinya kerusakan $\lambda > 0$
e	= 2,7183

2.4.3 Distribusi *weibull*

Distribusi ini paling banyak dipakai dalam teknik perhitungan keandalan. Dalam distribusi *weibull* dikenal adanya dua parameter bentuk (β) dan parameter skala (η).

- Fungsi padat (pdf) distribusi *weibull* adalah :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

- Fungsi keandalan distribusi *weibull* adalah :

$$R(t) = e - \left(\frac{t}{\beta}\right)^\beta$$

- Nilai laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

- MTTF distribusi *weibull* adalah

$$MTTF = \int_0^\infty e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} dt$$

Dimana :

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

MTTF = Rata-rata waktu kerusakan

t = waktu $t \geq 0$

β = *shape* parameter, $\beta > 0$

η = *scala* parameter untuk karakteristik *life time*, $\eta > 0$

e = 2,7183

2.4.4 Distribusi *lognormal*

Distribusi ini berguna untuk menggambarkan distribusi kerusakan untuk kondisi yang bervariasi. Disini *time to failure* (t) dari suatu komponen diasumsikan memiliki distribusi *lognormal* bila $y=\ln(t)$, mengikuti distribusi normal dengan rata-rata μ dan variansinya adalah s .

- Fungsi padat peluang (pdf) distribusi *lognormal* adalah :

$$f(t) = \frac{\beta}{t \cdot s \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2s^2} [\ln t - \mu]^2 \right\}$$

- Fungsi keandalan distribusi *lognormal* adalah

$$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t}{\mu} \right) \right]$$

- Laju kegagalannya adalah

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

- MTTF distribusi *lognormal* adalah

$$MTTF = \exp (\mu + (0.5 \cdot s^2))$$

Dimana :

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

μ = Rata-rata

s = Variansi

2.5 Penentuan Distribusi Statistik

Untuk menentukan suatu distribusi statistik perlu melakukan pengujian hipotesa. Hipotesa adalah perumusan sementara mengenai suatu hal yang dibuat untuk menjelaskan dan mengarahkan penelitian selanjutnya. Jika perumusan atau persyaratan dikhususkan mengenai populasi statistik, umumnya mengenai nilai-nilai parameter populasi, maka hipotesa tersebut disebut hipotesa statistik kecuali dinyatakan lain. (Suryono, 2015)

Langkah untuk memutuskan apakah menerima atau menolak hipotesa tersebut dinamakan pengujian hipotesa. Untuk mengetahui pengujian apa yang dapat

digunakan dalam membandingkan keragaman data yang diambil dari mesin-mesin dalam penelitian ini, perlu diketahui distribusi waktu terjadinya kerusakan untuk interval waktu tertentu. Untuk pengujian tersebut dapat digunakan pengujian Chi Kuadrat (*Chi Square*) atau dengan uji *Kolmogorov Smirnov*. (Suryono,2015)

2.5.1 Uji Chi Kuadrat (Chi Square)

2.5.1.1 Chi-Square Sebagai Uji Independensi

Menurut Usman dan Akbar (2006) Uji independensi adalah suatu uji yang dipergunakan untuk melihat apakah perbedaan yang diamati dari beberapa proporsi sampel signifikan atau hanya kebetulan saja (*by chance*). Pengujian seperti ini pada dasarnya membandingkan frekuensi observasi dengan frekuensi yang diharapkan (*expected*), jika hipotesis nol adalah benar. Untuk mempermudah menghitung frekuensi observasi, maka dipergunakan tabel kontingensi. Tabel itu berisikan hasil observasi terhadap beberapa proporsi tertentu berdasarkan atribut yang ingin diamati perubahannya dan pengaruhnya. Misalnya, akan diamati pengaruh diterapkannya metode baru (dengan tidak diterapkan metode baru terhadap sampel yang berasal dari 4 populasi, maka tabel tersebut berbentuk 2x4 (dua baris, empat kolom). Dengan diketahuinya proporsi masing-masing sampel dan jumlah sampel untuk setiap populasi maka frekuensi observasi dapat dihitung.

Apabila hipotesis nol adalah benar, maka frekuensi yang diharapkan dapat pula dihitung berdasarkan jumlah proporsi masing-masing atribut (tidak diterapkan atau diterapkan) dibagi dengan jumlah total sampel. Selanjutnya, untuk menguji hipotesis nol, maka frekuensi observasi harus dibandingkan dengan frekuensi yang diharapkan. Jika nilai observasi dan yang diharapkan adalah serupa, maka secara intuitif hipotesis nol diterima. Jika terdapat perbedaan yang besar antara kedua frekuensi tersebut, maka hipotesis nol ditolak dan dapat disimpulkan, bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada keempat proporsi terhadap penerapan metode baru tersebut.

- Fungsi : menguji apakah ada perbedaan antara frekuensi yang diamati dengan frekuensi harapan.
- H_0 : tidak ada perbedaan antara frekuensi harapan dengan frekuensi observasi.

- H_1 : ada perbedaan antara frekuensi harapan dengan frekuensi observasi.
- Statistik :

$$\chi^2 = \sum_1 \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad ; i = 1 \dots K$$
 dengan O_i = frekuensi observasi kategori i
 E_i = frekuensi harapan kategori i
- Jika frekuensi observasi dan frekuensi harapan tidak jauh berbeda, maka $O_i - E_i$ kecil sehingga χ^2 juga kecil dan sebaliknya, sehingga semakin besar χ^2 makin besar pula kemungkinan kedua frekuensi berbeda sehingga H_0 ditolak.
- Metode :
 - Hitung frekuensi harapan kategori i sesuai dengan H_0 .
 - Untuk setiap kategori, kurangkan frekuensi observasi dengan frekuensi harapan dan kuadratkan hasilnya, kemudian bagi dengan frekuensi harapan.
 - Jumlahkan untuk setiap kategori untuk mendapatkan nilai χ^2 .
- Keputusan :
 Distribusi sampling χ^2 berdistribusi chi-square dengan derajat bebas $db = n-1$.
 Jika kemungkinan yang berkaitan dengan munculnya χ^2 dibawah $H_0 \leq \alpha$, maka H_0 ditolak jika tidak H_0 diterima.

2.5.1.2 Chi-Square Sebagai Uji Goodnes Of Fit

Menurut Usman dan Akbar (2006) uji *chi-square* juga dapat dipergunakan untuk memutuskan apakah distribusi probabilitas tertentu, seperti binomial, poisson, atau normal adalah distribusi yang cocok untuk dipergunakan pada persoalan tertentu. Kemampuan ini menjadi penting, karena dalam mengambil keputusan berdasarkan data statistik haruslah ditentukan suatu distribusi probabilitas yang paling mewakili distribusi data yang sedang ditinjau.

Melalui uji *chi-square* data diketahui seberapa jauh asumsi yang dipergunakan dalam suatu distribusi dapat di pergunakan. Dengan kata lain, uji *chi-square* memungkinkan untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara distribusi frekuensi observasi dengan distribusi frekuensi teoretisnya. Pada

kasus ini ketepatan (*goodness of fit*) dari suatu distribusi teoretis terhadap distribusi observasi dapat ditentukan.

2.5.2 Uji Kolmogorov-Smirnov

Menurut Suryono (2015) uji Kolmogorov-Smirnov adalah suatu *goodness of fit test*, artinya yang diperhatikan adalah tingkat kesesuaian antara distribusi serangkaian harga sampel (skor yang di observasi) dengan suatu distribusi teoritis tertentu. Tes ini menetapkan apakah skor-skor dalam sampel dapat secara masuk akal dianggap berasal dari suatu populasi dengan distribusi teoritis itu.

Dalam tes ini mencakup perhitungan distribusi frekuensi kumulatif yang akan terjadi dibawah distribusi teoritisnya, serta membandingkan distribusi frekuensi itu dengan distribusi frekuensi hasil observasi. Distribusi teoritis tertentu merupakan representasi dari apa yang diharapkan dibawah H_0 . Tes ini menetapkan suatu titik dimana kedua distribusi itu (teoritis dan observasi) memiliki perbedaan terbesar.

Misalkan $F_0(X)$ = suatu fungsi distribusi frekuensi kumulatif yang sepenuhnya di tentukan, yakni distribusi kumulatif teoritis dibawah H_0 . Artinya untuk harga N yang sembarang besarnya, harga $F_0(X)$ adalah proporsi kasus yang diharapkan mempunyai skor yang sama atau kurang dari pada X . Misalkan $S_N(X)$ = distribusi frekuensi kumulatif yang diobservasi dari suatu sampel *random* dengan N observasi. Dimana X adalah sembarang skor yang mungkin, $S_N(X) = k/N$, dimana k sama dengan banyaknya observasi yang sama atau kurang dari X . Dibawah hipotesis nol bahwa sampel itu telah ditarik dari distribusi teoritis tertentu, maka diharapkan bahwa untuk setiap harga X , $S_N(X)$ harus jelas mendekati $F_0(X)$. Artinya dibawah H_0 kita akan mengharapkan selisih antara $S_N(X)$ dan $F_0(X)$ adalah kecil dan nada dalam batas-batas kesalahan *random*.

Tes Kolmogorov-Smirnov memusatkan perhatian pada penyimpangan (*deviasi*) terbesar. Harga $F_0(X) - S_N(X)$ terbesar dinamakan deviasi maksimum.

$$D_{hitung} = \text{Maximum } |F_0(X) - S_N(X)|$$

Menurut Usman dan Akbar (2006) uji Kolmogorov-Smirnov berfungsi untuk menguji kesesuaian antara distribusi harga-harga yang diobservasi dengan distribusi teoretis tertentu (uniform, normal, maupun poisson).

- H_0 : distribusi frekuensi observasi = teoretis
 H_a : distribusi frekuensi observasi \neq teoretis
- Yang dibandingkan adalah distribusi frekuensi kumulatif hasil pengamatan dengan distribusi frekuensi kumulatif yang terjadi dibawah distribusi teoretis tertentu (di representasikan dalam H_0)
- Metode :
 - Tentukan distribusi kumulatif teoretis ($F_0(X)$)
 - Tentukan distribusi kumulatif observasi ($S_N(X)$) yang sesuai dengan interval $F_0(X)$
 - Hitung selisih $F_0(X) - S_N(X)$
 - Hitung deviasi maksimum (simpangan terbesar)

$$D = \max |F_0(X) - S_N(X)|$$

Dengan :

$F_0(X)$ = fungsi distribusi frekuensi kumulatif teoretis dibawah H_0 (proporsi kasus yang diharapkan mempunyai skor $\leq X$)

$S_N(X)$ = distribusi frekuensi kumulatif observasi dari suatu sampel dengan N observasi. $S_N(X) = K/N$ dengan k = banyaknya observasi yang $\leq k$

2.6 Model *Penggantian Age Replacement*

Model *Age Replacement* adalah model perawatan dengan menetapkan nilai interval waktu perawatan pencegahan berdasarkan selang waktu termakan yang digunakan untuk tindakan penggantian dengan kriteria minimasi (Jardine,1973)(dalam Ansori dan Imron, 2013).

Model *Age Replacement* memiliki formulasi sebagai berikut :

$$C(t_p) = \frac{C_p \cdot R(t_p) + C_f \cdot (1 - R(t_p))}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + M(t_p) + T_f \cdot (1 - R(t_p))}$$

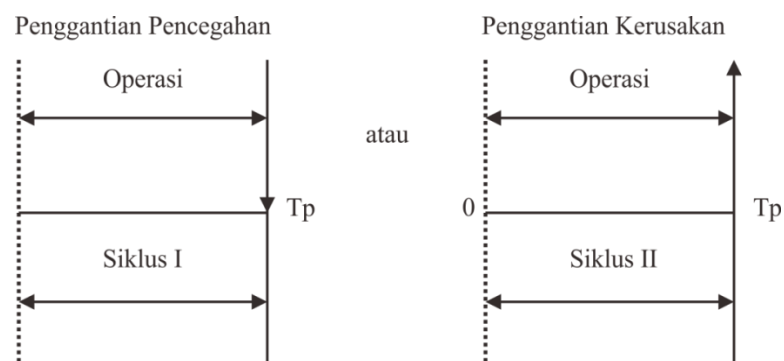
Dimana :

$C(t_p)$ = Total ongkos persatuan waktu jika penggantian dilakukan dalam interval (t_p)

- $R(t_p)$ = Nilai reliability pada saat (t_p)
 C_p = Biaya penggantian pencegahan
 C_f = Biaya penggantian kerusakan
 $M(t_p)$ = Nilai rata-rata waktu terjadinya kerusakan
 T_f = Waktu penggantian kerusakan
 T_p = Waktu penggantian pencegahan
 t_p = Interval waktu penggantian pencegahan

Terdapat dua siklus operasi dalam model *Age Replacement* diantaranya :

1. Siklus I adalah siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan pencegahan dengan melakukan penggantian komponen yang telah mencapai umur penggantian sesuai dengan yang direncanakan.
2. Siklus II adalah siklus kerusakan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan sebelum mencapai waktu yang telah ditetapkan.



Gambar 2.4. Siklus Model Age Replacement

Sumber : Jardine,1973 (dalam Ansori dan Imron,2013)

2.7 Penentuan Interval Waktu Perawatan

Menurut Gasperz (1996) dalam Kurniawan (2013) komponen yang memiliki distribusi kegagalan peluang tertentu dengan fungsi peluang $f(t)$, maka nilai harapan banyaknya kegagalan yang terjadi dalam interval waktu $(0, t_p)$.

$$H(tp) = \sum_{i=0}^{tp-1} [1 + H(tp - 1 - i)] \int_i^{i+1} f(t) dt$$

Dengan $H(0) = 0$. Jadi $tp = 0$, maka $H(tp) = H(0) = 0$

Misalnya $tp = 1$, maka nilai harapan banyaknya kegagalan (kerusakan) komponen sistem dalam interval waktu $(0,1)$ sebagai berikut :

$$H(1) = [1 + H(0)] \int_0^1 f(t) dt$$

Selanjutnya apabila $tp = 2$, maka nilai harapan banyaknya kegagalan (kerusakan) komponen sistem dalam interval waktu $(0,2)$ sebagai berikut :

$$H(2) = [1 + H(1)] \int_0^1 f(t) dt + [1 + H(0)] \int_1^2 f(t) dt$$

Jika suatu komponen sistem itu memiliki distribusi kerusakan mengikuti distribusi normal $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, dengan fungsi kepekatan peluang (Gasperz,1996)(dalam Kurniawan 2013), maka :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \left[\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$

Maka nilai harapan dari banyaknya kerusakan komponen sistem dalam interval waktu $(0, tp)$:

$$(tp) = \sum_{i=0}^{tp-1} [1 + H(tp - 1 - i)] \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_i^{i+1} \exp - \left[\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dt$$

Fungsi kegagalan yang menyebar mengikuti distribusi normal $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, maka bentuk integral dari fungsi normal dalam interval waktu tertentu (t_1, t_2) adalah sebagai berikut :

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} \exp - \left[\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dt = F \left[\frac{t_2 - \mu}{\sigma} \right] - F \left[\frac{t_1 - \mu}{\sigma} \right]$$

Dimana F = Tabel Distribusi Normal Kumulatif Z atau tabel $\Phi(z)$

2.8 Perhitungan Biaya Perawatan

Dengan dilakukannya perhitungan biaya perawatan kita akan dapat mengetahui berapa jumlah biaya yang dikeluarkan untuk perawatan berdasarkan interval waktu yang sudah dibahas sebelumnya. Manfaat yang diperoleh adalah manajemen dapat mengetahui dengan pasti biaya yang paling rendah pada periode tertentu, sehingga dapat dilakukan evaluasi. Pengembangan dari masalah ini merupakan asumsi bahwa kebijaksanaan penggantian preventif harus selalu ada

dalam interval waktu, dengan kerusakan serendah mungkin. Waktu perawatan yang optimal antara kegiatan penggantian preventif, dapat diketahui dengan memilih interval waktu yang memiliki biaya terendah. Apabila interval waktu yang optimal diperoleh, maka biaya perawatan yang paling minimum dapat diketahui. (Rahman,2001)(dalam Kurniawan, 2013)

$$C(tp) = \frac{Cp + Cf * H(tp)}{tp}$$

Dimana : $C(tp)$ = Biaya perawatan dalam interval waktu

Cp = Biaya penggantian satu komponen

Cf = Biaya penggantian kerusakan

$H(tp)$ = Banyaknya kerusakan dalam interval waktu $(0, tp)$ merupakan Nilai harapan.

tp = Interval waktu

Biaya penggantian satu komponen dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan berikut :

- a. Jumlah komponen yang diperlukan.
- b. Harga per 1 item komponen.

Biaya penggantian kerusakan dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan berikut :

- a. Biaya yang dikeluarkan pada saat mesin berhenti produksi dalam kondisi rusak maka perusahaan akan tetap membayar operator mesin tersebut.
- b. Biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan dengan membayar mekanik pada saat mesin mengalami kerusakan.
- c. Biaya kehilangan kesempatan dimana biaya pada saat mesin dalam berada kondisi rusak maka perusahaan kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan sesuai dengan yang direncanakan.

Biaya penggantian komponen terhadap kondisi tertentu dapat diasumsikan lebih rendah dari pada biaya untuk penggantian kerusakan. Dengan adanya perhitungan biaya, maka kita dapat mengetahui jumlah biaya yang dikeluarkan

untuk perawatan berdasarkan interval waktu. Sehingga kita mengetahui dengan pasti biaya yang paling rendah pada periode ke-t.

2.9 Penelitian Terdahulu

2.9.1 Defri Vidiyasari, Kusmaningrum Soemadi, dan Fifi Herni Mustofa Tahun 2015

Judul Penelitian “ INTERVAL WAKTU PENGGANTIAN PENCEGAHAN OPTIMAL KOMPONEN SISTEM PRINTING UNIT U41 MENGGUNAKAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT.PIKIRAN RAKYAT “

Penelitian dilakukan di PT.Pikiran Rakyat yakni perusahaan percetakan yang memproduksi koran harian di Jawa Barat. Penelitian tersebut dilakukan karena perusahaan sering mengalami kendala yang ditimbulkan oleh terjadinya kerusakan mesin saat produksi sedang berlangsung yang menyebabkan kerugian pada perusahaan. di penelitian ini menggunakan model *Age Replacement* untuk memecahkan masalah yang sedang dihadapi oleh perusahaan dengan tujuan untuk menentukan umur penggantian pencegahan komponen yang memberikan ekspektasi biaya perawatan terendah. Sistem printing U41 sebagai fokus penelitian dikarenakan memiliki frekuensi kerusakan tertinggi. Dari pengolahan data kerusakan yang dilakukan menghasilkan identifikasi lima komponen kritis yakni komponen *ink screw*, *ink form roller* $\phi 80$ dan $\phi 90$, serta *ink transfer roller* $\phi 90$ dan $\phi 110$. Solusi

Penelitian tersebut menghasilkan nilai persentase penghematan dari setiap komponen kritis. Yaitu komponen *ink transfer roller* $\phi 110$ dan *ink transfer roller* $\phi 90$ memiliki nilai persentase terbesar yaitu 90,8% dan 90,2%, kemudian komponen *ink form roller* $\phi 80$ dan *ink form roller* $\phi 90$ dengan nilai persentase sebesar 87,5% dan 84,7%. Komponen yang memiliki nilai persentasi terendah adalah *ink screw* yaitu sebesar 67,8%. dengan interval waktu penggantian pencegahan 95 hari pada komponen *ink form roller* $\phi 80$ dan *ink form roller* $\phi 90$, 140 hari pada komponen *ink transfer roller* $\phi 110$ dan *ink transfer roller* $\phi 90$ dan 150 hari pada komponen *ink screw*.

2.9.2 Jaka Purnama, Yosua Anggara Putra, Moch. Kalamollah Tahun 2015

Judul Penelitian “ METODE AGE REPLACEMENT DIGUNAKAN UNTUK MENENTUKAN INTERVAL WAKTU PERAWATAN MESIN PADA ARMADA BUS”

Penelitian ini dilakukan di PO Harapan Jaya Tulungagung yang merupakan suatu perusahaan yang bergerak di bidang transportasi pelayanan jasa angkutan darat jenis bus yang didukung dengan beragam armada bus yang jumlahnya tidak sedikit, biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk perawatan juga tidak sedikit tentunya. Transportasi merupakan kebutuhan yang tidak bisa lepas dari masyarakat. Transportasi juga memiliki berbagai peran dalam berbagai aspek, baik dalam aspek sosial, ekonomi, lingkungan, politik, pertahanan, maupun keamanan. Setiap beroperasi armada-armada bus memerlukan adanya kebijakan perawatan mesin, karena jika dilakukan perawatan mesin yang sesuai akan meminimaliskan biaya perawatan bus. Dalam penyelesaian masalah metode yang digunakan adalah model Age Replacement untuk menentukan kebijakan penjadwalan perawatan yang optimal. Dengan model Age Replacement juga akan di peroleh interval penjadwalan untuk perawatan yang optimal dengan biaya produksi yang optimal.

Penelitian ini difokuskan pada armada bus *merk* HINO karena *merk* tersebut memiliki tingkat kerusakan yang paling tinggi. Penelitian ini menghasilkan waktu yang optimal dan biaya yang minimal dalam melakukan kegiatan perawatan. sebelumnya diketahui biaya perawatan sebesar Rp 827.437.600,00 dengan melakukan kegiatan perawatan 2 kali dalam setahun, kemudian didapat usulan biaya perawatan sebesar Rp 516.865.913,60 dengan melakukan perawatan dalam setiap 9 hari atau 40 kali dalam setahun, dengan didapatkan hasil usulan tersebut perusahaan akan melakukan penghematan sebesar 37%.

2.9.3 Segi Gavin Tama Tahun 2017

Judul Penelitian “PENENTUAN INTERVAL WAKTU OPTIMAL PENGGANTIAN KOMPONEN *WIRE SCREEN* PADA MESIN *WIRE PART* DENGAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT.MOUNT DREAM INDONESIA”

Penelitian ini dilakukan di PT.Mount Dream Indonesia yang merupakan perusahaan yang bergerak dibidang industri kertas, produk yang dihasilkan berupa *Corrugating Medium Paper (CMP)*, *Brown Kraft (BK)*, *Medium Linen (ML)*, dengan produk unggulannya adalah *Corrugating Medium Paper (CMP)*. Permasalahan di perusahaan tersebut adalah belum adanya perencanaan perawatan secara terjadwal sehingga sering terjadinya kerusakan pada mesin produksi saat proses produksi sedang berjalan. komponen *wire screen* pada mesin *wire part* adalah fokus Penelitian ini karena mesin *wire part* merupakan salah satu mesin kritis di perusahaan tersebut. penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menentukan jadwal penggantian komponen *wire screen* dengan menggunakan model *Age Replacement*.

Hasil penelitian ini adalah berupa data biaya *Cost Maintenance (CM)* sebesar Rp 353.150.733,-, *Cost Failure (CF)* sebesar Rp 662.750.733,-. Interval waktu yang optimal pada penggantian *wire screen* pada mesin *wire part* sesudah dilakukannya perawatan adalah 65 hari. Dengan tingkat keandalan komponen sebesar 0,513957758 (51,3%). Biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 14.928.447/bulan untuk perawatan komponen. Total penggantian, lebih sedikit dibandingkan dengan sebelum melakukan perawatan dengan metode *age replacement*.

2.9.4 Perbedaan Penelitian ini dengan Penelitian terdahulu

Berikut adalah perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu, antara lain :

Tabel 2.4. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu

	<i>Age Replacement</i>	FMEA	Pareto	Laju Kerusakan	Padat Probabilitas	Keandalan	<i>Cost</i>
Defri Vidiasari, dkk (2015)	√		√	√	√	√	√
Jaka Purnama, dkk (2015)	√			√	√	√	√
Sega Gavin Tama(2017)	√			√	√	√	√
Muhammad Robby Kurniawan (2018)	√	√		√	√	√	√

Dari tabel diatas dapat diketahui pembeda dari penelitian ini dan penelitian terdahulu adalah di penelitiannya Defri Vidiasari dkk tidak menggunakan metode FMEA namun menggunakan Pareto. Didalam penelitiannya Jaka Purnama dkk dan Sega Gavin tidak menggunakan FMEA serta Pareto. sedangkan di penelitian ini menggunakan metode FMEA namun tidak menggunakan Pareto. Untuk hal-hal lain seperti penggunaan model *Age Replacement*, menghitung laju kerusakan, nilai padat probabilitas, keandalan mesin serta perhitungan *cost* sama-sama digunakan dalam masing-masing penelitiannya.