

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perawatan (*Maintenance*)

2.1.1 Pengertian perawatan

Menurut kamus besar bahasa Indonesia (KBBI) arti dari kata perawatan sendiri ialah proses, cara, perbuatan memelihara. Perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah aktivitas penjadwalan secara berkala terhadap fasilitas/mesin untuk tetap menjaga performa dari agar tetap berfungsi dengan baik sesuai dengan kondisi awal mula mesin tersebut ada. Menurut Corder (1992) dalam Sasmitha (2015) Perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai, suatu kondisi yang bisa diterima.

Menurut Assauri (2008) dalam Taufik dan Septyani (2015) perawatan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memelihara dan menjaga peralatan atau fasilitas dan mengadakan perbaikan atau penggantian sehingga dapat memperoleh suatu kegiatan proses produksi yang memuaskan dan sesuai dengan yang direncanakan.

Dari definisi perawatan diatas maka dapat dipahami bahwa perawatan ialah proses atau cara yang dilakukan untuk memberikan pemeliharaan teratur dengan maksud dan tujuan agar diperolehnya kegiatan atau aktivitas yang optimal. Al – Turki (2011) (dalam Ansori dan Mustajib, 2013:2) 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.

Menurut Ansori dan Mustajib (2013:3) 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 industry. 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.

Menurut Ansori dan Mustajib (2013:3) Kompleksnya permasalahan terkait perawatan, seringkali perawatan didekati dengan model matematis yang mempresentasikan permasalahan tersebut. Dengan pendekatan ini diharapkan pengambilan keputusan dalam permasalahan perawatan akan dapat mempengaruhi proporsi pertimbangan yang subyektif.

2.1.2 Tujuan Perawatan

Tujuan dari dilakukannya perawatan (*maintenance*) Menurut Corder (1992) dalam Sasmitha (2015) dapat didefinisikan sebagai berikut :

1. Memperpanjang usia kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya). Hal ini terutama penting di Negara berkembang karena kurangnya sumber daya modal untuk penggantian. Di negara-negara maju kadang lebih menguntungkan untuk mengganti daripada memelihara.
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi (atau jasa) dan mendapatkan laba investasi (*return of investment*) maksimum yang mungkin.
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadaman kebakaran dan penyelamat.
4. Menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut

2.1.3 Jenis – jenis perawatan

Menurut Corder (1992) dalam Sasmitha (2015) terdapat 2 jenis dari perawatan yang diklarifikasikan sebagai berikut :

1. Pemeliharaan terencana (*planned maintenance*)

Pemeliharaan terencana adalah pemeliharaan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Pemeliharaan terencana (*planned maintenance*) terdiri dari:

- a. Pemeliharaan pencegahan (*Preventive maintenance*) Pemeliharaan pencegahan yaitu pemeliharaan yang dilakukan pada selang waktu yang ditentukan sebelumnya, atau terhadap kriteria lain yang diuraikan, dan dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan bagian-bagian lain tidak memenuhi kondisi yang bisa diterima.

b. Pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*)

Pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian (termasuk penyetelan dan reparasi) yang telah berhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima.

2. Pemeliharaan tak terencana

Pemeliharaan tak terencana yaitu pemeliharaan darurat yang didefinisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk alasan keselamatan kerja. Pemeliharaan tak terencana terdiri dari pemeliharaan darurat. Pemeliharaan darurat yaitu pemeliharaan yang perlu segera dilakukan untuk mencegah akibat yang serius.

2.2 Failure Mode Effect And Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) merupakan proses yang sistematis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan yang akan timbul dalam proses dengan tujuan untuk mengeliminasi atau meminimalkan resiko kegagalan produksi yang akan timbul (Dyadem 2003). Penggunaan FMEA diperkenalkan pertama sekali pada tahun 1920. Namun pendokumentasian pertama dilakukan sejak tahun 1960 oleh *National Aeronautics Space Agency* (NASA). Tujuannya untuk memperbaiki reliabilitas peralatan militer.

Menurut Dyadem (2003:37) *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) memiliki tiga fokus utama yakni :

1. Mengenal dan mengevaluasi kegagalan potensial dan efeknya.
2. Mengidentifikasi dan memprioritaskan kegiatan yang dapat mengeliminasi kegagalan potensial, mengurangi kesempatan terjadinya atau mengurangi risikonya.
3. Dokumentasi dari identifikasi yang dilakukan, evaluasi dan aktifitas perbaikan agar dapat meningkatkan kualitas produk.

Selain digunakan untuk penyesuaian kegagalan material dan peralatan, FMEA juga dapat digunakan untuk penyesuaian terhadap kesalahan manusia, kinerja dan kesalahan software juga dapat dimasukkan. Dengan menerapkan metodologi

FMEA selama berbagai tahapan dari siklus hidup produk, metodologi menyediakan strategi yang sistematis dan disiplin untuk memeriksa semua cara dimana suatu produk bisa gagal. Hasil FMEA mempengaruhi produk desain, pengembangan proses, sumber dan pemasok kualitas.

Berikut adalah beberapa manfaat penerapan FMEA

1. Memastikan bahwa kegagalan potensial dan efeknya pada sistem telah diidentifikasi dan dievaluasi, sehingga membantu untuk mengidentifikasi kesalahan dan menentukan tindakan korektif.
2. Menyediakan sarana untuk meninjau produk dan proses desain.
3. Menolong untuk mengidentifikasi karakteristik kritis terhadap produk dan proses.
4. Meningkatkan produktivitas, kualitas, keamanan, dan biaya efisiensi
5. Membantu untuk menentukan kebutuhan untuk memilih bahan, suku cadang, peralatan, komponen dan tugas.
6. Membantu dalam mendokumentasikan alasan untuk perubahan
7. Menyediakan sarana komunikasi antara departemen yang berbeda.
8. Membantu meningkatkan kepuasan pelanggan.
9. Meningkatkan citra perusahaan dan daya saing.

Menurut *Dyadem* (2003:79) Tujuan untuk FMEA khususnya analisis terhadap mesin mempunyai tujuan yang diklasifikasikan menjadi 7 yakni :

1. Memastikan bahwa mode kegagalan potensial dan pengaruhnya terhadap mesin diidentifikasi selama proses desain dan pengembangannya.
2. Mengurangi biaya siklus hidup dengan meningkatkan keandalan dan daya tahan mesin.
3. Memberikan informasi untuk pengembangan rencana *preventif maintenance* yang efisien.
4. Bertujuan untuk mengidentifikasi, menghilangkan, atau meminimalkan dampak risiko potensial terhadap produk dan pengguna ke tingkat yang dapat diterima dengan kondisi teknologi saat ini.
5. Identifikasi karakteristik kritis dan / signifikan dari produk

6. Memprioritaskan upaya rekayasa dan sumber daya berdasarkan penilaian potensi dampak kegagalan pada produk atau pengguna
7. Membangun hubungan antara upaya rekayasa desain dan produksi, kualitas dan layanan

Langkah – langkah dalam pengisian tabel FMEA akan dijelaskan pada gambar 2.1, yaitu :

Gambar 2.1 Contoh tabel FMEA

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	

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

1. Fungsi proses.

Pada tahap ini akan dideskripsikan secara singkat mengenai proses dari sistem. Yang akan dianalisa jika memang terjadi kegagalan pada proses tersebut.

2. Kegagalan potensial

Pada tahap ini diidentifikasi mode kegagalan yang diakibatkan oleh suatu proses.

3. Efek kegagalan

Pada tahap ini diidentifikasi dampak yang akan terjadi dari kegagalan tersebut

4. *Severity* (Tingkat keparahan)

Penilaian terhadap keseriusan dari efek yang akan ditimbulkan oleh kegagalan yang terdiri dari rating 1 – 10, jika semakin tinggi nilai yang diberikan maka semakin parah efek yang terjadi

5. Penyebab kegagalan

Ditahap ini akan dijelaskan mengapa kegagalan pada proses tersebut bisa terjadi

6. *Occurrence* (Tingkat Kejadian)

Proses yang bertujuan untuk mengetahui tingkat seberapa besar kejadian kegagalan yang terjadi dalam suatu proses, dengan pemberian rating 1 – 10 dan semakin tinggi nilai yang diberikan maka semakin sering pula kegagalan itu terjadi

7. Kontrol

Pada tahap ini dilakukan kontrol apa yang akan dilakukan terhadap penyebab kegagalan yang terjadi

8. *Detection* (Deteksi)

Proses yang bertujuan untuk mengetahui tingkat deteksi penyebab kegagalan. Dengan pemberian rating 1 -10 dan semakin tinggi nilai yang diberikan maka semakin sulit pula deteksi penyebab kegagalan yang terjadi

9. *Risk Priority Number* (RPN)

RPN merupakan nilai hasil dari perkalian tingkat keparahan, tingkat kejadian, dan tingkat deteksi. Dan sebagai panduan untuk menentukan prioritas untuk menentukan sebuah proses yang mempunyai tingkat kegagalan paling serius.

$$\mathbf{RPN = Severity \times Occurrence \times Detection} \quad (2.1)$$

2.2.1 Saran pedoman risiko untuk proses FMEA

Saran pedoman risiko proses FMEA untuk *severity* (keparahan) diberikan pada tabel 2.1, *occurrence* (kejadian) pada tabel 2.2, dan *detection* (deteksi) untuk diberikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.1 Severity

Efek	Peringkat	Kriteria
Tidak ada	1	Tidak ada efek
Sangat minor	2	Tidak terdapat efek dan pekerja tidak menyadari adanya masalah
minor	3	Tidak terdapat efek dan pekerja menyadari adanya masalah
sangat rendah	4	Perubahan fungsi dan banyak pekerja menyadari adanya masalah
rendah	5	Mengurangi kenyamanan fungsi penggunaan
sedang	6	Kehilangan fungsi kenyamanan penggunaan
tinggi	7	Pengurangan fungsi utama
sangat tinggi	8	Kehilangan fungsi utama
kegagalan untuk memenuhi keamanan dan atau persyaratan peraturan	9	Kehilangan fungsi utama dan dapat membahayakan operator (mesin/assembly) dengan peringatan
kegagalan untuk memenuhi keamanan dan atau persyaratan peraturan	10	Tidak berfungsi sama sekali

Sumber : Dyadem (2003)

Tabel 2.2 Occurence

Efek	peringkat	Kriteria
sangat tidak mungkin	1	kegagalan sangat tidak mungkin (< 1 dalam 1.500.000)
jauh kemungkinan	2	kemungkinan jumlah kegagalan jarang (1 dalam 150.000)
kemungkinan yang sangat rendah	3	sangat sedikit jumlah kemungkinan kegagalan (1 dalam 15.000)
kemungkinan rendah	4	beberapa kemungkinan kegagalan (1 dalam 2000)
sedang kemungkinan rendah	5	kegagalan sesekali mungkin (1 dalam 400)
kemungkinan menengah	6	kegagalan kemungkinan jumlah menengah (1 dalam 80)
kemungkinan yang cukup tinggi	7	jumlah yang cukup tinggi dari kemungkinan kegagalan (1 dalam 20)
kemungkinan tinggi	8	tingginya angka kemungkinan kegagalan (1 dalam 8)
kemungkinan yang sangat tinggi	9	angka yang sangat tinggi dari kemungkinan kegagalan (1 dalam 3)
sangat mungkin	10	kegagalan hampir pasti (1 dalam 2)

Sumber : Dyadem (2003)

Tabel 2.3 *Detection*

Efek	Peringkat	Kriteria
Sangat mungkin	1	Pasti terdeteksi
kemungkinan yang sangat tinggi	2	Kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi
kemungkinan tinggi	3	Kesempatan yang tinggi untuk terdeteksi
kemungkinan yang cukup tinggi	4	Kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi
kemungkinan menengah	5	Kesempatan yang sedang untuk terdeteksi
Sedang kemungkinan rendah	6	Kesempatan yang rendah untuk terdeteksi
kemungkinan rendah	7	Kesempatan yang sangat rendah untuk terdeteksi
kemungkinan yang sangat rendah	8	Kesempatan yang sangat rendah dan sulit untuk terdeteksi
jauh kemungkinan	9	Kesempatan yang sangat rendah dan sangat sulit untuk terdeteksi
sangat tidak mungkin	10	Tidak mampu terdeteksi

Sumber : Dyadem (2003)

2.3 Failure Rate Function ($\lambda(t)$)

Kurniawan (2013:54) mendefinisikan $\lambda(t)$ dikenal sebagai nilai risiko atau fungsi nilai kerusakan (bertambah). Nilai ini memberikan alternatif pemecahan untuk menjelaskan distribusi kerusakan. Kurniawan (2013:54) mengkategorikan nilai kerusakan menjadi 3 macam yaitu :

1. *Increase Failure Rate (IFR)*

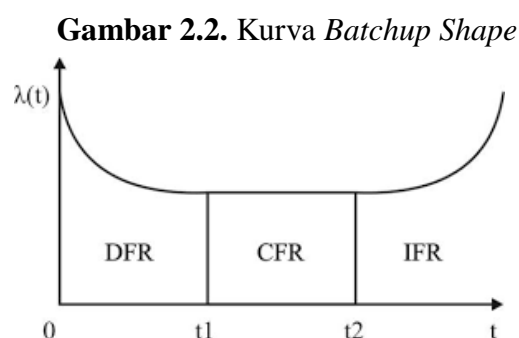
Terjadi bila karakteristik kerusakan meningkat (bertambah), misalnya kerusakan mesin akibat korosi, usia, *fatigue*, friksi. Hal ini dapat diantisipasi dengan melakukan perawatan *preventif*, penggantian *spare part* dan teknologi, dengan kata lain part yang tidak berfungsi dapat diperbaiki, dan mesin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

2. *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 ini memiliki karakteristik yang biasa disebut ***Burn-In***

3. *Constant 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***.



Sumber : Ebeling, 1997 (dalam Ansori dan Imron,2013:20)

2.4 Distribusi Kerusakan

Model dari suatu probabilitas kerusakan suatu alat dapat dicocokkan dengan distribusi statistic. Dalam analisis keandalan ada beberapa distribusi statistik yang umum dan lazim digunakan. Distribusi statistik yang digunakan tergantung pada karakter kerusakan yang terjadi. Beberapa distribusi yang termasuk dan dapat digunakan diantaranya (Ansori dan Mustajib, 2013:20) :

2.4.1 Distribusi Weibull

Distribusi ini merupakan distribusi yang penggunaannya sering dipakai dalam teknik perhitungan keandalan. Dalam distribusi ini dikenal adanya dua parameter bentuk (β) dan parameter skala (η). (Ansori dan Mustajib, 2013:20)

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e - \left(\frac{t}{\eta}\right) \beta \quad (2.2)$$

- Fungsi keandalan distribusi *weibull* adalah :

$$R(t) = e - \left(\frac{t}{\beta}\right)^\beta \quad (2.3)$$

- Nilai Laju kerusakan``

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.4)$$

- MTTF dari distribusi ini ialah :

$$\text{MTTF} = \int_0^\infty e - \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta dt \quad (2.5)$$

Dimana :

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = laju kerusakan

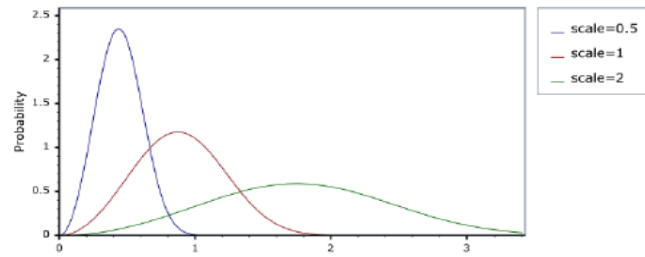
MTTF = Rata – rata waktu kerusakan

t = waktu $t \geq 0$

β = *shape* parameter, $\beta > 0$

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

e = 2,7183

Gambar 2.3 Pola Distribusi *Weibull*

Sumber : Taufik dan Septyani (2015)

2.4.2 Distribusi *Eksponensial*

Distribusi ini digunakan untuk memodelkan laju kerusakan yang konstan untuk sistem yang beroperasi secara kontinyu. (Ansori dan Mustajib, 2013:21)

Ada beberapa persamaan yang digunakan didalam distribusi ini, antara lain :

- Fungsi padat peluang (pdf) dari distribusi ini ialah :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

- Fungsi keandalan distribusi eksponensial adalah :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

- Nilai laju kerusakan :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.8)$$

- MTTF distribusi eksponensial adalah :

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.9)$$

Dimana :

$f(t)$ = Probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

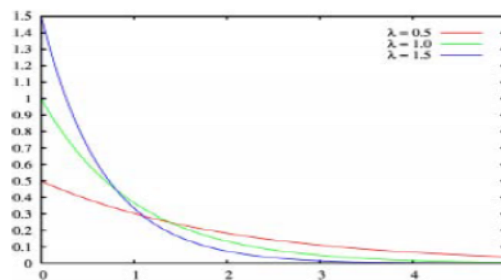
MTTF = Rata – rata waktu kerusakan

t = Waktu $t \geq 0$

λ = Kecepatan rata – rata terjadinya kerusakan, $\lambda > 0$

e = 2,7183

Gambar 2.4 Pola distribusi *eksponensial*



Sumber : Taufik dan Septyani (2015)

2.4.3 Distribusi Normal

Distribusi ini memiliki laju kerusakan yang naik sejak bertambahnya umur alat, yang berarti semakin bertambahnya umur komponen atau alat maka kerusakan dari alat atau komponen tersebut akan meningkat. Distribusi normal ini mempunyai dua parameter yaitu rata – rata (μ) dan standart deviasi (σ) (Ansori dan Mustajib, 2013:21)

Fungsi distribusi normal dinyatakan sebagai berikut :

- Fungsi probabilitasnya

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp \left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] dt; \quad (2.10)$$

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

- Fungsi keandalannya

Nilai kehandalan dapat dihitung dengan rumus :

$$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{(t-\mu)}{\sigma} \right] \quad (2.11)$$

- Laju kerusakannya

Rumus laju kerusakan berdistribusi normal dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.12)$$

- $MTTF = \mu$ (2.13)

Dimana

$F(t)$ = Probabilitas kerusakan

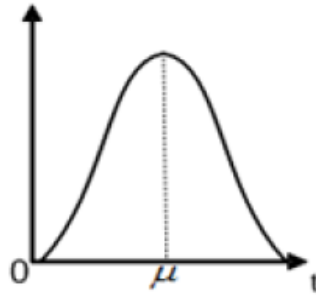
$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

t = Interval waktu

- σ = Standart deviasi
 μ = Rata – rata sampel
 $(z)\phi$ = tabel ϕ (z)
 π = 3,14
 MTTF = Rata – rata waktu kerusakan

Gambar 2.5 pola distribusi normal



Sumber : Taufik dan Septyani (2015)

2.4.4 Distribusi Lognormal

Dengan distribusi ini dapat digambarkan laju kerusakan dengan 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 variasinya adalah s . (Ansori dan Mustajib, 2013:22)

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

$$f(t) = \frac{\beta}{t.s\sqrt{2\eta}} \exp\left\{-\frac{1}{2s^2} [\ln t - t_0]^2\right\} \quad (2.14)$$

- Fungsi keandalannya :

$$R(t) = 1 - \phi \left[\frac{1}{s} \ln \left(\frac{t}{\mu} \right) \right] \quad (2.15)$$

- Laju kegagalannya adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.16)$$

- $MTTF = \exp(\mu + 0.5.s^2)$ (2.17)

Dimana :

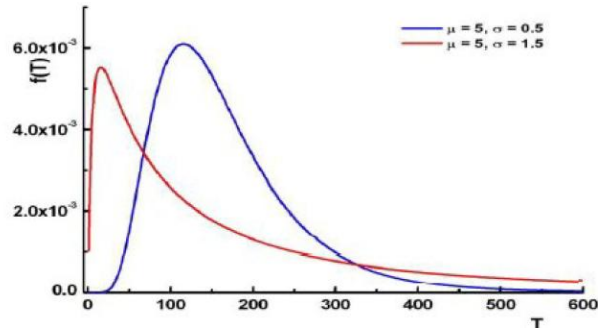
$f(t)$ = Probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

- μ = Rata – rata
 s = Variasi

Gambar 2.6 Pola distribusi *Lognormal*



Sumber : Taufik dan Septyani (2015)

2.5 Penentuan Distribusi Statistik

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

Menurut Suryono (2015) Langkah untuk memutuskan apakah menerima atau menolak hipotesa tersebut dinamakan pengujian hipotesa. Untuk mengetahui pengujian apa yang dapat digunakan dalam membandingkan keseragaman 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 *Kolmogorov smrinov* atau dengan uji Chi Kuadrat (*Chi Square*).

2.5.1 Uji *Kolmogorov Smirnov*

Menurut Suryono (2015) uji ini adalah suatu *goodness of fit test*, yang dimana yang akan diperhatikan ialah tingkat kesesuaian antara distribusi serangkaian harga sampel (skor yang diobservasi) dengan suatu distribusi teoritis tertentu. Tes ini menetapkan kelayakan suatu sampel dapat diterima dalam suatu populasi dengan distribusi teoritis itu.

Dengan kegunaan untuk menguji hipotesis tentang kecocokan (*goodness of fit*) maka dapat diketahui bahwa uji ini sangat bermanfaat, prinsip dasar analisis dalam uji ini adalah membandingkan peluang teoritis dengan selisih peluang observasi dalam bentuk kumulatif.

Misalkan $F_0(X)$ ialah suatu fungsi distribusi frekuensi kumulatif yang sepenuhnya ditentukan, yakni distribusi kumulatif teoritis dibawah H_0 . Yang dimana untuk harga N yang sembarang besarnya, harga $F_0(X)$ adalah proporsi kasus yang diharapkan mempunyai skor yang sama atau kurang dari X . misalkan $S_N(X) = k/N$, 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 ada dalam batas – batas keesalahan *random*.

Tes ini memusatkan perhatiannya pada penyimpangan (deviasi) terbesar. Harga $F_0(X) - S_N(X)$ terbesar dinamakan deviasi maksimum

2.5.2 Uji Chi – kuadrat

Distribusi ini merupakan salah satu distribusi yang penting dalam ilmu statistic. Distribusi ini selalu bernilai positif karena nilainya dihasilkan dari jumlah kuadrat dari variable *random* bebas. Nilai distribusi chi – kuadrat ditentukan oleh banyaknya sampel, banyaknya variable dan tingkat kesalahan yang diinginkan. Banyaknya sampel dan banyaknya variable digunakan untuk menentukan derajat kebebasan (*degrees of freedom*). (Fauzy,2008:235)

Menurut Fauzy (2008:236-237) dalam pengujian tentang kecocokan atau disebut juga uji komparabilitas permasalahan yang dihadapi adalah menguji apakah frekuensi yang diobservasi (*absorved frequencies*) memang konsisten dengan frekuensi teoritisnya (*expected frequencies*). Tidak ada perbedaan nyata jika frekuensi yang diobservasi dan frekuensi teoritisnya bersifat konsisten. Dengan kata lain hipotesis nolnya dapat diterima, sedangkan kebalikannya jika frekuensi yang diobservasi dan frekuensi teoritisnya bersifat tidak ada konsistensinya maka hipotesis nolnya ditolak. Rumus yang digunakan adalah :

$$X_{hitung}^2 = \sum_1^{\eta} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Dengan

O_i = Frekuensi observasi dalam bidang industri dapat dimisalkan hasil produksi

E_i = Frekuensi teoritis

= np , dengan n banyaknya sampel dan p adalah probabilitas dalam bidang industry dapat dimisalkan perencanaan produksi

χ^2 = Merupakan ukuran perbedaan antara frekuensi observasi dengan frekuensi teoritis

Apabila tidak ada perbedaan antara frekuensi observasi dengan frekuensi teoritis maka $\chi^2 = 0$. Semakin besar perbedaan antara frekuensi observasi dengan frekuensi teoritis, maka nilai χ^2 akan semakin besar pula. Nilai χ^2 akan dievaluasi dengan distribusi chi – kuadrat.

Menurut Fauzy (2008) langkah-langkah untuk melakukan pengujian hipotesis yakni :

1. Nyatakan H_0 dan hipotesis alternatifnya.
2. Tentukan taraf nyata (tingkat signifikansi)
3. .tentukan statistic uji χ^2 dengan derajat kebebasannya
4. Tentukan daerah penolakan dan daerah penerimaannya
5. Hitung χ^2 dan tentukan ditolak atau diterimanya H_0
6. Buatlah kesimpulannya.

2.6 Model Penentuan Penggantian Pencegahan

Menurut Hamdi (2015) terdapat beberapa model yang digunakan untuk kasus penggantian komponen, diantaranya terdapat model *age replacement*, dan model *group replacement* yang dikembangkan oleh Jardine. Model ini sangat banyak digunakan karena model ini dapat menghindarkan terjadinya peralatan yang baru jika terjadi kerusakan diganti dalam kurun waktu yang relative singkat, karena model ini didasarkan pada umur pakai peralatan.

2.6.1 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 Mustajib, 2013:29)

Model *Age Replacement* memiliki formulasi sebagai berikut (Ansori dan Mustajib, 2013:29) :

$$d(t_p) = \frac{t_p R(t_p) + T_f \cdot (1 - R(t_p))}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + \int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt + T_f \cdot (1 - R(t_p))} \quad (2.18)$$

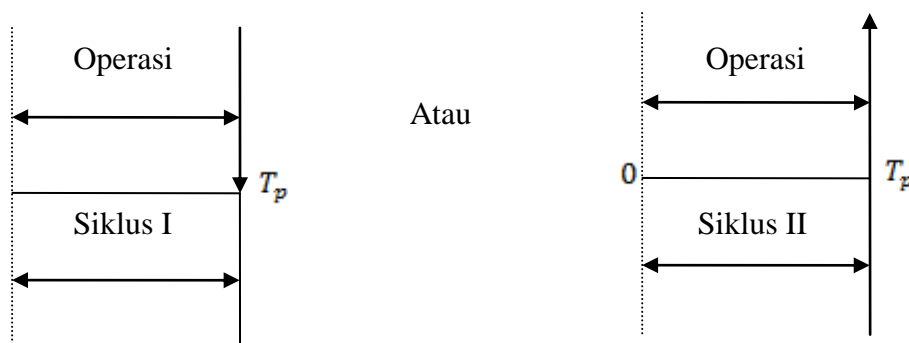
Dimana :

- $d(t_p)$ = Nilai total downtime per satuan waktu
 $R(t_p)$ = Nilai fungsi keandalan
 T_p = Downtime yang terjadi karena penggantian pencegahan
 T_f = Downtime yang terjadi karena penggantian kerusakan
 t_p = Interval waktu penggantian pencegahan
 $(\int_0^{t_p} t \cdot f(t) dt)$ = Nilai Laju kerusakan
 $(1 - R(t_p))$ = Nilai fungsi padat probabilitas

Di dalam model *Age Replacement* terdapat 2 siklus operasi yakni :

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 2.7 Siklus model *Age Replacement*



Sumber : Jardine, 1973 (dalam Ansori dan Imron, 2013:29)

2.6.2 Group Replacement

Penggantian elemen atau item yang sama secara grup seringkali lebih murah dan mudah dilakukan dibandingkan secara satu persatu. Contoh sederhana dari model penggantian secara grup adalah lampu plan, dimana sangat tidak efisien untuk mengganti lampu satu persatu bila ada yang tidak berfungsi atau mati (Jardine 1973) (dalam Hamdi,2015)

2.7 Biaya Perawatan

Melalui perhitungan biaya maka dapat diketahui jumlah biaya yang dikeluarkan untuk perawatan berdasarkan interval waktunya. 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 pengertian *preventif* harus selalu ada dalam interval waktu, dengan kerusakan yang terjadi 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,2013:86)

$$C(tp) = \frac{C_p + C_f * H(tp)}{tp} \quad (2.19)$$

Dimana :

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

C_p = Biaya penggantian satu item / satu komponen

C_f = Biaya penggantian kerusakan

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

T_p = Interval waktu

Dengan beberapa pertimbangan berikut biaya suatu komponen dapat dipertimbangkan, yakni :

- 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 (*opportunity cost*) dimana biaya pada saat mesin dalam kondisi rusak maka perusahaan kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan sesuai dengan yang direncanakan.

Biaya kerusakan dapat diasumsikan lebih tinggi dari pada biaya penggantian komponen pada kondisi kondisi tertentu. Dengan dilakukannya perhitungan biaya, sehingga akan didapatkan berapa jumlah biaya yang diperlukan untuk perawatan berdasarkan interval waktu. Sehingga akan diketahui biaya yang paling rendah pada period ke-t dengan pasti.

2.8 Penelitian terdahulu

2.8.1 Taufik, Selly Septyani tahun 2015

Judul penelitian : “ PENENTUAN INTERVAL WAKTU PERAWATAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN TURBIN DI PT. PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKIT OMBILININ “

Pada penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) sektor pembangkit di Ombilin yang dimana PLN ini menggunakan sistem pembangkit listrik tenaga uap. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa PLN di Ombilin ini menggunakan siklus tertutup atau kontinu proses yang dimana ketika ada salah satu dari mesin yang mengalami kerusakan maka semua sistem akan terhenti. Oleh sebab itu didalam penelitian ini menggunakan model *Age Replacement* dengan kriteria minimasi *downtime* dengan tujuan untuk membuat jadwal perawatan yang optimal.

Mesin turbin digunakan sebagai fokus penelitian karena dianggap sebagai mesin yang sering rusak (terkritis) dengan penentuan komponen kritisnya menggunakan metode *critical analysis* ditemukan komponen kritis yang terdapat dalam mesin turbin yakni membrane turbine, bearing dan turning gear dengan interval waktu pemeriksaan untuk setiap komponen kritis adalah 960.48 jam (40 hari), 908.57 jam (37 hari) dan 1150.28 jam (48 hari).

Penelitian tersebut menghasilkan waktu optimal dari setiap penggantian pencegahan yang optimal yakni, komponen membran turbin dapat dilakukan setelah beroperasi selama 3000 jam, tindakan penggantian *bearing* dapat dilakukan setelah beroperasi selama 8000 jam atau pada saat *overhaul* dan penggantian untuk komponen *turning gear* dapat dilakukan setelah beroperasi selama 4500 jam. Sedangkan tindakan pemeriksaan untuk komponen membran turbin dilakukan setelah beroperasi selama 960,46 jam, komponen *bearing* setelah beroperasi selama 908,57 jam dan komponen *turning gear* setelah beroperasi selama 1150,28 jam. Dan setelah dilakukan preventif *maintenance* tingkat *availability* untuk ketiga komponen tersebut mengalami peningkatan yakni sebesar 95%.

2.8.2 Chintya Ekawati, Kusmaningrum, dan Fifi Herni Mustofa tahun 2016

Judul Penelitian : “ JADWAL PERAWATAN *PREVENTIVE* PADA MESIN *DYEING* MENGGUNAKAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT. NOBEL INDUSTRIES “

Penelitian ini dilakukan di PT. Nobel Industries yang dimana produk yang dihasilkan perusahaan ini yakni benang. Ddialam produksi benang tersebut terdapat 8 jenis mesin yang dapat diklarifikasikan sebagai berikut :

1. Mesin *Dyeing*
2. Mesin *Hydro Dryer*
3. Mesin *Dryer*
4. Mesin *Blending*
5. Mesin *Carding*
6. Mesin *Spinning*
7. Mesin *Twister*
8. Mesin *Winding*

Dari masing masing mesin tersebut didalam penelitian ini disebutkan bahwa yang paling sering mengalami kerusakan yakni mesin *Dyeing* maka dalam penelitian ini fokus penelitian yakni terhadap mesin *Dyeing* ini. Dengan menggunakan diagram pareto ditemukan komponen – komponen dari mesin *Dyeing* yang sering mengalami kerusakan yakni *air pressure switch*, *diapram* dan *main shaft*. Oleh karena itu didalam penelitian ini digunakanlah metode *Age Replacement* guna mendapatkan penjadwalan yang optimal.

dan didapatkan hasil jadwal ooptimal untuk *air pressure switch* yakni harus diganti pada saat mesin sudah beroperasi selama 89 hari yang bearti 4 kali penggantian dalam setahun, lalu untuk komponen *diapram* harus diganti pada saat mesin sudah beroperasi selama 127 hari yang berarti 2 kali penggantian dalam setahun, dan untuk komponen *main shaft* harus diganti pada saat mesin sudah beroperasi selama 92 hari yang bearti 4 kali penggantian dalam setahun.

2.8.3 Muhammad Robby Kurniawan tahun 2018

Judul penelitian : “ PENENTUAN INTERVAL PENGGANTIAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN *DRYER* STUDI KASUS PT. SUMBER MAS INDAH PLYWOOD (SMIP)”

Didalam penelitian ini disebutkan bahwa penelitian ini dilakukan di PT. Sumber Mas Indah Plywood (SMIP) yang dimana perusahaan ini bergerak dibidang produksi kayu lapis (*plywood*). Didalam penelitian ini disebutkan bahwa untuk perawatan mesin perusahaan sudah menggunakan system *preventive maintenance* tetapi masih dinilai kurang efektif karena masih sering terjadinya kerusakan terhadap mesin produksi, salah satu mesin yang mengalami kerusakan paling sering yakni mesin *dryer* dengan total untuk frekuensi kerusakan yakni sebesar 110 kali dalam jangka waktu 3 tahun terakhir sehingga mesin *dryer* dipilih untuk dijadikan fokus utama dalam penelitian ini.

Didalam penelitian ini peneliti menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan komponen kritis pada mesin *dryer* tersebut sehingga ditemukan bahwa komponen kritis tersebut yakni baut bawah *roll dryer* yang mempunyai frekuensi total 8 kerusakan selama 3 tahun terakhir . setelah ditemukan komponen kritis tersebut dengan menggunakan model *Age Replacement* maka dapat ditentukan untuk penentuan interval penggantian pencegahan yang optimal terhadap komponen baut bawah *roll dryer* tersebut.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah waktu optimal untuk penggantian komponen baut bawah *roll dryer* ini adalah pada interval ke – 86 dan didapatkan pula untuk biaya penggantian usulan yakni sebesar Rp. 23.808.087,- per 3 tahun dengan melakukan 9 kali penggantian dan perbandingan biaya penggantian komponen sebelum dan sesudah menggunakan model *Age Replacement* adalah sebesar Rp. 39.988.693,- per 3 tahunnya

2.8.4 Siti Roudhotul Haririn, dan Diah Wulandari tahun 2019

Judul Penelitian : “ PERENCANAAN PERAWATAN SEBAGAI PENGOPTIMALAN BIAYA *DOWN TIME* PADA MESIN *FLYING SHEAR* MENGGUNAKAN METODE *AGE REPLACEMENT* DI PT. HANIL JAYA STEEL “

Pada penelitian ini dilakukan di PT. Hanil Jaya Steel yang dimana perusahaan ini bergerak di bidang besi dan baja khususnya billet kotak persegi panjang, besi bulat dan besi ulir. Didalam penelitian ini fokus penelitian yakni terhadap salah satu mesin yang terdapat di perusahaan yakni mesin *Flying Shear* karena didalam penelitian ini hanya disebutkan bahwa menurut hasil wawancara dengan manajer mekanik, mesin *Flying Shear* dengan komponen *blade* lah yang sering mengalami kerusakan.

Didalam penelitian ini peneliti menggunakan model *Age Replacement* untuk meminimalkan *downtime* agar didapat jadwal yang optimal untuk penggantian pencegahan komponen *blade* pada mesin *Flying Shear*. Dan didapatkan hasil bahwa penggantian yang paling optimal yakni pada hari ke 24 atau setelah mesin memotong 17.640 ton dan dengan tingkat keandalan sebesar 89,87%. Juga didapatkan biaya *downtime* setelah dilakukan penerapan perawatan pencegahan perusahaan dapat menghemat biaya sebesar Rp. 183.099.085 atau 12.45% dari biaya sebelum diterapkan perawatan pencegahan.

2.8.5 Perbedaan penelitian terdahulu.

Perbedaan dalam penelitian terdahulu dapat dilihat dalam tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Pembeda penelitian ini dan peneliti terdahulu

Peneliti / tahun	Judul	Metode yang digunakan
Taufik, Selly Septyani (2015)	PENENTUAN INTERVAL WAKTU PERAWATAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN TURBIN DI PT PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKIT OMBILIN	Model Age Replacement, Critical Analysis
Chintya Ekawati, Kusuma Ningrum, dan Fifi Herni (2016)	Jadwal Perawatan <i>PREVENTIVE</i> PADA MESIN <i>DYEING</i> MENGGUNAKAN METODE <i>AGE REPLACEMENT</i> DI PT. NOBEL INDUSTRIES	Model Age Replacement, Pareto
Muhammad Robby Kurniawan (2018)	PENENTUAN INTERVAL PENGGANTIAN KOMPONEN KRITIS PADA MESIN DRYER STUDI KASUS : PT. SMIP	Model Age Replacement, FMEA
Siti Roudhlotul Haririn, Diah Wulandari (2019)	PERENCANAAN PERAWATAN SEBAGAI PENGOPTIMALAN BIAYA <i>DOWNTIME</i> PADA MESIN <i>FLYING SHEAR</i> MENGGUNAKAN METODE <i>AGE REPLACEMENT</i> DI PT. HANIL JAYA STEEL	Model Age Replacement

Dari tabel 2.4 diatas maka dapat diketahui bahwa penelitian terdahulu hampir sama tetapi yang membedakan yakni cara penentuan komponen kritisnya dan juga objek penelitiannya karena didalam penelitian ini dan penelitian terdahulu sama sama menggunakan model *Age Replacement*, menghitung laju kerusakan, padat probabilitas, keandalan dan *cost*. Didalam peneliti milik Taufik, dkk menggunakan metode *Critical analysis* untuk menentukan komponen terkritisnya, dan penelitian milik Chintya Ekawati, dkk menggunakan pareto sebagai alat untuk menentukan komponen terkritisnya, Penelitian milik Muhammad Robby Kurniawan menggunakan metode FMEA untuk penentuan komponen kritisnya sedangkan dalam penelelitian Siti Roudhlotul Haririn tidak menggunakan metode dalam penentuan komponen terkritisnya.