

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penentuan part kritis dilakukan dengan berbagai *tools* yang dapat mempermudah mengidentifikasi, menganalisis, dan melakukan saran perbaikan dari suatu sistem atau proses. *Tools* yang digunakan dalam penelitian ini adalah FMEA atau *Failure Mode Effect Analysis*. FMEA yang digunakan untuk menganalisis suatu proses disebut PFMEA atau *Process Failure Mode Analysis* sedangkan untuk desain suatu produk atau sistem, digunakan DFMEA atau *Design Failure Mode Effect Analysis*.

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang dilakukan dengan menggunakan *tools* FMEA dalam mengidentifikasi, menganalisis resiko dan memberikan usulan perbaikan terhadap suatu proses. Beberapa objek penelitian yang sudah dilakukan dengan menggunakan FMEA dilakukan oleh (Ribas et al., 2021) yang berjudul “*A fuzzy FMEA assessment of hydroelectric earth dam failure modes: A case study in Central Brazil*”. Penelitian tersebut dilakukan untuk memberi nilai dan memberi usulan perbaikan terhadap mekanisme yang memiliki kemungkinan/potensi terbesar berdasarkan *risk priority number* (RPN) yang dapat menyebabkan kegagalan atau kerusakan pada bendungan *hydroelectric* di Brazil dengan menggunakan metode *fuzzy* FMEA. Tahapan penelitian yang dilakukan oleh José yaitu dengan mengidentifikasi fungsi spesifik yang dimiliki oleh setiap komponen dari objek penelitian, kemudian mengidentifikasi kemungkinan-kemungkinan kegagalan fungsi dari komponen. Setelah mengidentifikasi kemungkinan kegagalan, selanjutnya dilakukan analisis penyebab kegagalan tersebut dapat terjadi hingga dapat diketahui *root cause* dari kegagalan tersebut. Tahapan selanjutnya adalah menganalisis dampak dan cara mendeteksi dari setiap kegagalan yang terjadi dan dilakukan pengelompokan dan memberikan nilai *severity* untuk nilai dampak yang ditimbulkan dari kegagalan, *occurrence* untuk nilai kemungkinan terjadinya kegagalan dan *detection* untuk nilai tingkat kesulitan dalam mendeteksi kegagalan. Kemudian dari setiap komponen dilakukan analisis dan dilakukan perhitungan RPN, kemudian menentukan usulan perbaikan yang dapat menurunkan nilai RPN dari komponen-komponen.

Penelitian lain yang sudah dilakukan oleh Baghbani et al., (2019) yang berjudul “*Investigating the relationship between RPN parameters in fuzzy PFMEA and OEE in a sugar factory*”. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah hasil dari RPN dengan menggunakan *fuzzy FMEA* berkaitan dengan menggunakan metode *overall equipment effectiveness (OEE)* dengan objek penelitian pabrik gula. Tahapan penelitian dilakukan dengan menghitung nilai OEE proses produksi gula, kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan PFMEA dan memberikan usulan perbaikan terhadap proses tersebut. Setelah usulan perbaikan dari PFMEA dilakukan penghitungan ulang dengan menggunakan OEE, kemudian membandingkan apakah dengan perubahan yang dilakukan berdasarkan hasil perhitungan RPN dan PFMEA akan meningkatkan nilai dari OEE. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa hasil dari RPN PFMEA sangat berkaitan dengan nilai OEE.

Penelitian yang dilakukan oleh Hasbullah et al., (2017) yang berjudul “*Analisis Penyebab Kerusakan Hot Roller Table dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan dari *hot roller table* dan menentukan nilai RPN dengan menggunakan metode FMEA dan memberikan saran perbaikan terhadap penyebab kerusakan yang memiliki RPN tinggi untuk mengurangi nilai RPN dan meningkatkan *availability rate* dari mesin *hot roller table*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembahasan adalah menghitung nilai *availability* dari objek, kemudian melakukan analisis FMEA dan menentukan nilai RPN yang paling tinggi. Selanjutnya menganalisis penyebab terjadinya kerusakan/kegagalan dari part mesin dengan menggunakan *fishbone diagram* untuk dapat mengetahui *root cause*. Kemudian melakukan usulan perbaikan, penerapan dan penghitungan *availability* dari usulan perbaikan tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Banduka et al., (2016) yang berjudul “*An integrated lean approach to Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA): A case study from automotive industry*”. Penelitian dilakukan untuk menerapkan *lean PFMEA* untuk pencegahan terhadap kegagalan maupun kerusakan, dan bagaimana menerapkan *lean PFMEA* yang terintegrasi sehingga memudahkan dan mempercepat proses analisis. Dalam menerapkan *lean FMEA* pada industri otomotif digunakan berbagai *tools* seperti *Poka-Yoke* dan *Genci Genbutsu*.

Untuk dapat menentukan interval waktu pemeliharaan terdapat metode yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan penghitungan *reliability* (keandalan). Penghitungan keandalan yang digunakan oleh peneliti sebelumnya menggunakan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) yang merupakan sebuah metode penentuan waktu pemeliharaan, pemilihan tindakan pemeliharaan atau perawatan dengan berbagai metode gabungan seperti FMEA, *Logic Tree Analysis* (LTA), *System Work Breakdown Structures* (SWBS) dan penghitungan keandalan (*reliability*).

Penelitian yang dilakukan oleh Kowal (2021)(Kowal & Torabi, 2021) yang berjudul "*Failure mode and reliability study for Electrical Facility of the High Temperature Engineering Test Reactor*" bertujuan untuk mengetahui kegagalan yang mungkin muncul dalam proses, dan mengetahui perubahan yang diperlukan untuk meningkatkan keandalan dari mesin. Metode yang digunakan adalah menggunakan FMEA dan penghitungan *reliability*.

Penelitian yang dilakukan oleh Anggraini et al., (2020) yang berjudul "*Reliability Centered Maintenance on Critical Components of the Press Machine*" bertujuan untuk merancang pemeliharaan (*maintenance*) terhadap komponen kritis dari mesin *press*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode RCM yang digunakan untuk menyusun waktu pemeliharaan berdasarkan MTTF, dan menggunakan metode FMEA untuk menentukan komponen kritis menggunakan RPN tertinggi dari tiap komponen.

Penelitian yang dilakukan oleh Fuentes-Huerta et al., (2021)(Fuentes-Huerta et al., 2021) yang berjudul "*Fuzzy reliability centered maintenance considering personnel experience and only censored data*" bertujuan untuk mengetahui apakah *fuzzy reliability centered maintenance* dapat digunakan untuk menganalisis data yang terbatas. Metode yang digunakan adalah metode *fuzzy reliability centered maintenance*.

Tabel 2.1. Tabel Daftar Penelitian Terdahulu yang Digunakan

| No | Penulis | Obyek | Tujuan Penelitian | Metode | Informasi yang digunakan |
|----|----------------------------|---|---|------------------|--|
| 1 | Mohammad Baghbania (2019) | Pabrik gula | Untuk mengetahui hubungan antara RPN yang didapat dari PFMEA dengan OEE dengan objek penelitian pabrik gula | Fuzzy PFMEA, OEE | Penjelasan mengenai apa itu FMEA dan fungsinya dalam mengidentifikasi permasalahan (2.2.3) |
| 2 | Nurlailah Badariah (2016) | Link PC 400 Strong R | Mengetahui penyebab kegagalan proses dari produk yang dihasilkan dengan menggunakan FMEA | FMEA | Penentuan nilai SOD FMEA (6.1) |
| 3 | Banduka N (2018) | Automotive Industry | Mengetahui bagaimana cara menerapkan <i>lean FMEA</i> pada industri otomotif | FMEA, Lean FMEA | Penjelasan mengenai kegagalan produk yang terjadi (2.2.1) |
| 4 | Marco A. (2021) | Injection Molding Machine | Mengetahui apakah <i>fuzzy reliability centered maintenance</i> dapat diterapkan untuk menganalisis data yang terbatas | <i>Fuzzy RCM</i> | Keandalan (<i>Reliability</i>) menghasilkan solusi mencakup jadwal pemeliharaan (3.2.3.) |
| 5 | K. Kowal, M. Torabi (2021) | High Temperature Engineering Test Reactor | Mengetahui dan memilik penyebab kegagalan dengan menggunakan FMEA dan mengetahui perubahan apa yang diperlukan untuk meningkatkan keandalan | FMEA, RCM | FMEA dalam membantu pengelompokan komponen (6.1.) |
| 6 | Wresni A (2020) | Press Machine | Untuk merancang perawatan (<i>maintenance</i>) terhadap komponen kritis dari mesin <i>press</i> dengan RCM | RCM, FMEA | Pola Distribusi dan Penghitungan <i>Reliability</i> (2.2.4.) |

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Kegagalan Produk

Menurut (Bennett et al., 2017) dalam bukunya *The Basics of FMEA* kegagalan produk muncul saat produk tersebut tidak dapat menjalankan fungsinya sebagaimana produk tersebut dibuat dan dirancang. Produk dalam hal ini adalah *part* mesin yang dirancang untuk melakukan proses produksi. Komponen mesin yang mengalami kegagalan fungsinya dapat menyebabkan kualitas akhir dari produk yang dibuat mengalami penurunan kualitas, menyebabkan pekerjaan tertunda untuk melakukan perbaikan dan diperlukan biaya tambahan (Banduka et al., 2016). Kegagalan tersebut dapat dipicu dari berbagai faktor. Faktor-faktor kegagalan tersebut disebut juga *failure modes* atau mode kegagalan. Dalam mode kegagalan dapat dipicu oleh berbagai macam potensi permasalahan dan penyebab atau disebut *potential failure*.

2.2.2. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsional

Fungsi sistem adalah kinerja yang diinginkan oleh sistem atau komponen agar dapat beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan. Kegagalan fungsional merupakan kondisi dimana sistem maupun komponen tidak lagi dapat memenuhi spesifikasi yang sudah ditentukan (Jardine, 2013). Mengidentifikasi fungsi dan kegagalan fungsional merupakan bagian yang perlu dilakukan untuk dapat mengetahui dengan jelas standar dari performa mesin atau komponen. Dalam mendeskripsikan fungsi sistem, dapat dilakukan dengan menggunakan *System Work Breakdown Structure* (SWBS) untuk memperinci sub-sistem yang menyusun suatu sistem yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.

2.2.3. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Menurut (Stamatis, 2003) dalam (Baghbani et al., 2019). FMEA merupakan sebuah metode sistematis yang dapat mendefinisikan, mengidentifikasi, dan mengeliminasi berbagai potensi kegagalan yang dapat muncul dalam suatu sistem, desain, proses, dan layanan. Tujuan dari digunakannya analisis FMEA adalah untuk menentukan tingkat resiko yang ditimbulkan dari tiap jenis kegagalan yang terjadi, dan dapat menentukan apakah diperlukan tindakan perbaikan (Hasbullah et al., 2017). Berikut adalah tabel FMEA menurut Bennet (2017) dalam bukunya yang berjudul "*The Basics of FMEA*".

| Failure Mode and Effects Analysis Worksheet | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|------------------------|--------------------------------|----------|-------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|--------------------|---|--------------|----------|------------|-----------|-----|
| Process or Product: _____ | | | | | | FMEA Number: _____ | | | | FMEA Date: (Original) _____ | | | | | | | |
| FMEA Team: _____ | | | | | | (Revised) _____ | | | | Page: 1 of 1 | | | | | | | |
| FMEA Process | | | | | | | | | | | Action Results | | | | | | |
| Line | Component and Function | Potential Failure Mode | Potential Effect(s) of Failure | Severity | Potential Cause(s) of Failure | Occurrence | Current Controls, Prevention | Current Controls, Detection | Detection | RPN | Recommended Action | Responsibility and Target Completion Date | Action Taken | Severity | Occurrence | Detection | RPN |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Gambar 2.1. Contoh Tabel FMEA Menurut Bennett (2017)

Tahapan-tahapan melakukan analisis kegagalan menggunakan FMEA menurut (Bennett et al., 2017) dalam bukunya yang berjudul “*The Basics of FMEA*” adalah sebagai berikut:

a. Ulasan proses atau produk

Ulasan proses atau produk dilakukan untuk mengetahui tahapan-tahapan proses yang dilakukan ataupun spesifikasi produk yang akan dianalisis dengan menggunakan FMEA. Gambar teknik atau rancangan produk harus dibuat untuk mengetahui secara detail produk yang akan dianalisis, sedangkan untuk proses diperlukan *flowchart* untuk dapat mengetahui seluruh tahapan proses.

b. Mendiskusikan potensi kegagalan

Brainstorming dengan pihak-pihak terkait untuk dapat mengidentifikasi potensi kegagalan ataupun kegagalan-kegagalan yang dapat terjadi selama suatu proses berlangsung atau saat produk yang akan digunakan oleh konsumen.

c. Mengidentifikasi efek dari kegagalan proses

Dengan mengetahui potensi-potensi kegagalan yang akan muncul dalam suatu proses, kegagalan tersebut akan menimbulkan berbagai dampak terhadap rangkaian proses tersebut hingga dapat mempengaruhi hasil akhir dari proses tersebut.

d. Memberikan penilaian *severity*, *occurrence*, dan *detection*

Penilaian *severity* adalah penilaian terhadap dampak yang ditimbulkan dari suatu kegagalan tersebut terhadap rangkaian proses atau produk. Penilaian *occurrence* adalah penilaian seberapa mungkin atau seberapa sering kegagalan dari proses/produk terjadi. Penilaian *detection* adalah penilaian seberapa mungkin kegagalan tersebut dapat dideteksi. Berikut adalah tabel penilaian *severity* dan *occurrence*:

Tabel 2.2. Contoh Skala Tingkat Severity, Occurrence, dan Detection

| Rank | Tingkat Keparahan (Severity) | Tingkat Kejadian / Occurrence (Ranking Event) | Tingkat Deteksi (Detection) |
|------|--|---|--|
| 1 | Tidak berdampak terhadap proses produksi | <1:10.000 | Adanya kontrol yang dilakukan untuk pencegahan sebelum terjadi kegagalan |
| 2 | Peralatan tidak dapat bekerja lebih dari 1 jam | ≥1:10.000 | Adanya deteksi sebelum terjadi kegagalan |
| 3 | Memperbaiki hasil produksi yang tidak sesuai spesifikasi secara manual dalam skala kecil | ≥1:5.000 | Mesin otomatis berhenti saat terjadi kegagalan |
| 4 | diperlukan mekanik teknik untuk memperbaiki | ≥1:1000 | Mesin berhenti saat terjadi kegagalan |
| 5 | Menimbulkan <i>scrap</i> dalam skala <i>sub-level assemblies</i> | ≥1:500 | Adanya cahaya yang muncul saat kegagalan terjadi |
| 6 | Memperbaiki hasil produksi yang tidak sesuai spesifikasi secara manual dalam skala besar | ≥1:100 | Adanya peringatan atau suara saat kegagalan terjadi |
| 7 | Seluruh proses terhenti dan terjadi penumpukan (<i>bottleneck</i>) | ≥1:50 | Adanya peringatan sensor saat mendeteksi |
| 8 | Menimbulkan <i>scrap</i> dalam skala <i>top-level assemblies</i> | ≥1:25 | |
| 9 | Kehilangan konsumen karena keterlambatan pengiriman | ≥1:10 | Tidak diterapkan |
| 10 | Peralatan kritis dalam proses rusak dan tidak dapat digunakan/hancur | ≥1:2 | |

Sumber: Bennett et al., 2017

- e. Menghitung *Risk Priority Number* (RPN) dari setiap efek

Risk priority number (RPN) adalah nilai yang dihitung dari perkalian nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Atau dapat dirumuskan

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

RPN merupakan suatu nilai yang didapat dari perhitungan FMEA yang dapat digunakan untuk menentukan seberapa penting/kritikal suatu potensi kegagalan, penyebab kegagalan, atau efek kegagalan yang harus diperbaiki. Semakin besar nilai RPN yang didapatkan dari suatu perhitungan FMEA dari suatu kegagalan proses atau produk maka perbaikan dari proses atau produk tersebut dapat di prioritaskan.

- f. Prioritaskan mode kegagalan yang akan diperbaiki

Dalam menentukan prioritas perbaikan yang akan dilakukan, dapat dilakukan dengan menentukan mode kegagalan yang memiliki RPN tertinggi atau dapat berdasarkan *severity* yang mencapai 9 atau 10. Nilai *severity* yang mencapai 9 atau 10 dapat menyebabkan kerugian yang maksimal atau bahkan dapat membahayakan lingkungan, pekerja, dan

hal-hal penting lainnya sehingga harus dilakukan perbaikan agar kegagalan yang menyebabkan dampak tersebut dapat diminimalisir atau dihilangkan.

- g. Lakukan perbaikan terhadap penyebab kegagalan yang terjadi
Perbaikan terhadap suatu proses yang sudah dianalisis dengan FMEA dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode yang sistematis dan dapat mengurangi tingkat kejadian dari mode kegagalan tersebut
- h. Hitung kembali RPN dari hasil perbaikan yang dilakukan
Setelah melakukan perbaikan kemudian hitung kembali hasil RPN setelah proses atau produk mengalami perbaikan dan membandingkan jumlah kegagalan yang terjadi sebelum dilakukan perbaikan dengan jumlah kejadian setelah diperbaiki, perbandingan bisa dilakukan dengan membuat *pareto diagram* yang akan membantu menggambarkan tingkat kejadian setiap mode kegagalan.

2.2.5. Diagram Pareto

Diagram pareto merupakan metode berbasis data yang digunakan untuk menentukan peringkat dari ketidaksesuaian suatu sistem (Allen, 2018) . Metode diagram pareto dapat mempermudah untuk memahami tabulasi yang digunakan pada metode FMEA sebelumnya. *Pareto rule* atau 80-20 digunakan untuk mengelompokkan data-data yang sudah dikumpulkan untuk dapat diketahui tindakan selanjutnya. Langkah-langkah dalam membuat diagram pareto menurut (Allen, 2018) adalah:

- a. Identifikasi apasaja penyebab kerusakan atau ketidaksesuaian dari suatu komponen
- b. Hitung nilai dari ketidaksesuaian dari penyebab kegagalan suatu komponen
- c. Urutkan berdasarkan nilai yang terbesar ke nilai yang terkecil
- d. Buat kategori berdasarkan hasil analisis tersebut dan pisahkan jenis ketidaksesuaian yang dinilai memiliki jumlah yang sedikit kedalam kategori tersendiri.
- e. Buat diagram pareto sesuai dengan ketidaksesuaian yang sudah diidentifikasi dan urutan yang sudah dibuat.

2.2.6. Penghitungan *Interval Preventive*

Menurut (Ebeling, 1997) *reliability* atau keandalan adalah probabilitas suatu komponen atau sistem memiliki kinerja yang sesuai dengan fungsinya dalam jangka waktu tertentu ketika beroperasi secara spesifik. Dalam menganalisis suatu *reliability* (keandalan) maka dibutuhkan suatu pendefinisian dari fungsi suatu sistem dan komponen yang jelas, sehingga ketidakjelasan tidak terjadi. Tujuan dilakukannya penghitungan keandalan adalah untuk mengetahui usia pakai optimal dari suatu komponen atau sistem sehingga pemeliharaan (*maintenance*) dapat dilakukan sebelum terjadinya kegagalan yang dapat mengakibatkan proses produksi terganggu (Anggraini et al., 2020). Pemeliharaan (*maintenance*) adalah suatu tindakan memperbaiki atau mengganti komponen yang dilakukan karena adanya suatu *failure* atau kegagalan fungsi komponen (Jardine, 2013).

Menurut (Ebeling, 1997) *Mean time to failure* (MTTF) adalah rata-rata waktu kegagalan suatu sistem atau komponen dalam kurun waktu pengujian. Secara umum dapat dihitung dengan rumus:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2.1.)$$

Penghitungan $f(t)$:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.2.)$$

Penghitungan $F(t)$:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.3.)$$

Dimana:

$f(t)$: *Probability Density Function* (PDF)

$F(t)$: *Cumulative Distribution Function* (CFD)

$R(t)$: *Reliability Function*

Pola Distribusi yang digunakan dalam penentuan keandalan menurut Soesetyo (2014) dalam (Anggraini et al., 2020) adalah pola terdistribusi *normal*, *lognormal*, *weibull*, dan *exponential*. Dalam setiap pola distribusi memiliki parameter tersendiri yang akan digunakan untuk menghitung keandalan. Pola distribusi dan parameternya adalah:

a. Pola Distribusi Normal

Pola distribusi normal adalah pola distribusi yang terjadi ketika suatu hasil dari perhitungan *time to failure* hanya merupakan suatu efek *additive* atau

tambahan dari beberapa variasi yang lebih kecil dan independen (Jardine, 2013). Parameter yang digunakan untuk menghitung keandalan dengan pola distribusi normal adalah *mean* (μ), dan *standard deviation* (σ). Rumus penghitungan keandalan dengan pola terdistribusi normal dapat dihitung dengan rumus:

$$R(t) = 1 - \varphi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.4.)$$

Rumus penghitungan MTTF dengan pola distribusi normal adalah dengan menggunakan rumus :

$$MTTF = \mu \quad (2.5.)$$

Rumus penghitungan laju kerusakan (λ) dengan pola terdistribusi normal adalah dengan menggunakan rumus:

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.6.)$$

Dimana:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(t - \mu)^2}{\sigma^2}\right] \quad (2.7.)$$

μ = rata-rata data

σ = standar deviasi

t = waktu operasional komponen

b. Pola Distribusi *Lognormal*

Pola distribusi *lognormal* memiliki kemiripan dengan distribusi normal, perbedaannya adalah parameter yang digunakan dalam pola distribusi *lognormal* adalah *shape* (s) dan *median* (t_{med}) (Ebeling, 1997). Penghitungan keandalan dengan pola terdistribusi *lognormal* dapat dihitung dengan rumus:

$$R(t) = 1 - \varphi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right) \quad (2.8.)$$

Rumus penghitungan MTTF dengan pola terdistribusi *lognormal* adalah dengan menggunakan rumus:

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.9.)$$

Rumus penghitungan laju kerusakan (λ) dengan pola terdistribusi *lognormal* adalah dengan menggunakan rumus:

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.10.)$$

dimana:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \quad (2.11.)$$

c. Pola Distribusi *Weibull*

Pola distribusi *weibull* cocok terhadap komponen yang memiliki banyak faktor karakteristik kegagalan (Jardine, 2013). Parameter yang digunakan dalam menghitung keandalan dengan pola distribusi *weibull* adalah *shape* (β), dan *scale* (θ). Penghitungan keandalan dengan pola terdistribusi *weibull* dapat dilakukan dengan rumus:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.12.)$$

Rumus penghitungan MTTF dengan pola terdistribusi *weibull* adalah dengan menggunakan rumus:

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.13.)$$

Rumus penghitungan laju kerusakan (λ) dengan pola terdistribusi *weibull* adalah dengan menggunakan rumus:

$$\lambda = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (2.14.)$$

d. Pola Distribusi *Exponential*

Pola distribusi *exponential* merupakan pola distribusi yang terbentuk ketika suatu peralatan yang mengalami kegagalan dipengaruhi (disebabkan) oleh komponen penyusun peralatan tersebut. Selain itu pola distribusi ini juga dapat terbentuk ketika suatu komponen mengalami kegagalan yang disebabkan oleh faktor penyebab yang acak (Jardine, 2013). Parameter yang digunakan adalah mean (λ). Penghitungan keandalan dengan pola terdistribusi *exponential* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.15.)$$

Rumus penghitungan MTTF dengan pola terdistribusi *exponential* adalah dengan menggunakan rumus:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.16.)$$

Penghitungan λ :

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.17.)$$

dimana :

f : jumlah kegagalan komponen dalam kurun waktu operasional

T : waktu operasional

Hasil penghitungan keandalan (*reliability*) kemudian di hitung laju kerusakannya dan digambarkan dengan menggunakan *bathhtub curve* untuk melihat bagaimana tingkat kegagalan komponen yang terbentuk dalam kurva. Kurva *bathhtub* menampilkan kurva berdasarkan nilai laju kerusakan dari suatu komponen kemudian mengkategorikan menjadi tiga kategori yaitu:

a. *Region A*

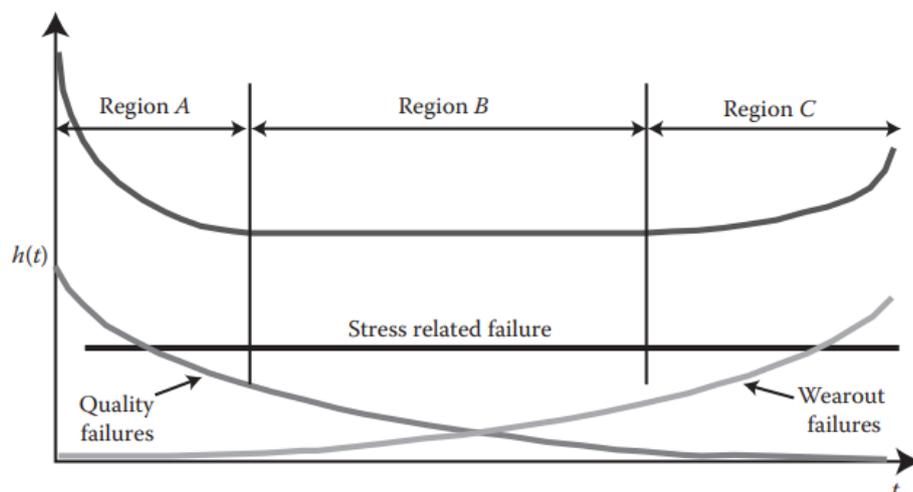
Kategori A pada kurva *bathhtub* adalah kategori dimana kegagalan dari suatu komponen disebabkan oleh kualitas komponen itu sendiri.

b. *Region B*

Kategori B pada kurva *bathhtub* adalah kategori dimana kegagalan dari suatu komponen disebabkan oleh kondisi atau *stress* yang diterima oleh komponen tersebut selama komponen tersebut digunakan untuk melakukan fungsinya.

c. *Region C*

Kategori C pada kurva *bathhtub* adalah kategori dimana kegagalan dari suatu komponen disebabkan oleh *wear-out* atau komponen tersebut telah mencapai kemampuan maksimumnya untuk melakukan fungsinya. Gambar kurva *bathhtub* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Kurva *Bathhtub*

Menurut (Jardine, 2013) bila terdapat komponen yang hanya dilakukan penggantian komponen (*replacement*), baik untuk tindakan pencegahan maupun akibat dari kegagalan maka tindakan pencegahan tidak perlu dilakukan dalam *region A* maupun *B*, tindakan pencegahan yang dilakukan untuk komponen tersebut sebaiknya dilakukan pada *region C*. Penggantian komponen pada *region C* dapat meminimalisir kemungkinan komponen tersebut mengalami kegagalan karena keandalannya sudah hampir mendekati *wear-out*. Bila tindakan pencegahan yang dilakukan tidak hanya tindakan *replacement* (tidak mengembalikan kondisi seperti baru), maka tindakan tersebut dapat dilakukan di *region A* dan *B*. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kualitas komponen setelah digunakan melakukan kegiatan produksi selama periode waktu *A* dan kondisi komponen saat digunakan selama periode waktu *B*.

2.2.7. Keputusan Menteri Keuangan No. 295 Km.6 Tahun 2019

Keputusan Menteri ini digunakan sebagai dasar penyusutan masa manfaat alat bermesin. Dalam keputusan Menteri Keuangan tersebut dapat diketahui bahwa setiap jenis barang atau mesin memiliki masa manfaat yang berbeda-beda. Setelah melewati masa manfaatnya, barang atau mesin tersebut diperlukan tindakan yaitu *overhaul* untuk dapat kembali digunakan. Tabel masa manfaat Keputusan Menteri dapat dilihat pada Lampian .