

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

1. *Preventive Maintenance* pada Slag Hauler dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA).

Penelitian (Mirpan, 2025) membahas penerapan *preventive maintenance* pada unit Slag Hauler dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Penelitian ini dilakukan pada unit SH-001 dengan menggunakan data *downtime* dan riwayat kerusakan selama 3.600 jam operasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen kritis yang menjadi penyebab utama *downtime* adalah Pegas Injektor Fuel, Bearing Tensioner, dan Seal O-Ring Silinder Kabin dengan kontribusi lebih dari 65% terhadap total *downtime*. Selain itu, nilai keandalan rata-rata unit setelah 1.000 jam operasi adalah sebesar 66%. Berdasarkan analisis, diperoleh interval *preventive maintenance* optimal yaitu 1.819 jam untuk Pegas Injektor Fuel, 1.271 jam untuk Bearing Tensioner, dan 1.371 jam untuk Seal O-Ring Silinder Kabin. Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa komponen dengan nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi adalah Pegas Injektor Fuel (32), Bearing Tensioner (24), dan Seal O-Ring Silinder Kabin (16), sehingga menjadi prioritas utama dalam kegiatan perawatan. Penerapan metode RCM menghasilkan rekomendasi strategi perawatan berupa Scheduled Restoration Task, On-Condition Task, dan Failure Finding Task. Implementasi strategi tersebut diperkirakan mampu menurunkan *downtime* hingga 30%,

meningkatkan availability alat di atas 90%, serta mengurangi biaya perawatan reaktif sebesar 20–25%.

2. Optimasi Perawatan Mesin *Overhead Crane* Pada Pt KNSS dengan *Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)* dan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*.

Penelitian (Budi & Muhlis, 2022) membahas optimasi perawatan mesin *overhead crane* pada subsistem *coil lifter* di PT Krakatau Nippon Steel Synergy dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Penelitian ini menggunakan data frekuensi kerusakan, *downtime*, *time to repair*, dan *time between failure* selama periode Juni 2024 – Maret 2026. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat lima komponen kritis penyebab utama gangguan mesin yaitu *Photoelectric Sensor*, *Connector Power*, *Rod Pin & Touch Bar*, *Motor Listrik*, dan Lampu Indikator. Komponen dengan nilai *Risk Priority Number (RPN)* tertinggi adalah *Photoelectric Sensor* sebesar 294, diikuti *Connector Power* sebesar 280, *Rod Pin & Touch Bar* sebesar 96, *Motor Listrik* sebesar 54, dan *Lampu Indikator* sebesar 32. Berdasarkan analisis *Logic Tree Analysis (LTA)* dan *Task Selection* dalam RCM, diperoleh rekomendasi tindakan perawatan yang berbeda pada setiap komponen yaitu *Time Directed* dengan metode *Preventive Maintenance* pada *Connector Power*, *Finding Failure* dengan metode *Predictive Maintenance* pada *Motor Listrik*, serta *Condition Directed* dengan metode *Preventive Maintenance* pada *Photoelectric Sensor*, *Rod Pin & Touch Bar*, dan Lampu Indikator. Perhitungan MTTF–MTTR menghasilkan interval pemeriksaan optimal 32,86 jam untuk *Photoelectric Sensor*, 143,88 jam untuk *Rod*

*Pin & Touch Bar*, dan 264,44 jam untuk *Cable Connector Plug*. Penerapan RCM menurunkan biaya perawatan secara signifikan dengan penghematan 69,74% pada *Photoelectric Sensor*, 72,39% pada *Rod Pin & Touch Bar*, dan 12,58% pada *Cable Connector Plug*.

## **2.2 Perawatan (*Maintenance*)**

Perawatan (*Maintenance*) mesin adalah kegiatan yang berhubungan dalam mempertahankan suatu mesin/peralatan agar tetap dalam kondisi siap untuk beroperasi, dan jika terjadi kerusakan maka diusahakan agar mesin/peralatan tersebut dapat dikembalikan pada kondisi yang baik (Fachrendy et al., 2024). Peranan pemeliharaan akan sangat terasa apabila sistem mulai mengalami gangguan atau tidak dapat beroperasi secara normal (Fachrendy et al., 2024). Perawatan (*maintenance*) adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk menjaga mesin agar tetap berfungsi dengan baik serta memperbaiki mesin jika terjadi kerusakan hingga kembali ke kondisi yang dapat digunakan. Tujuan dari perawatan adalah untuk memperpanjang umur pakai peralatan, menjaga ketersediaan fasilitas produksi agar tetap optimal, memastikan kesiapan operasional terutama dalam kondisi darurat, serta menjamin keselamatan operator dan pengguna fasilitas (Mirpan, 2025). pelaksanaan *maintenance* juga bertujuan untuk meminimalkan risiko terjadinya gangguan yang tidak diharapkan, seperti kerusakan dini pada peralatan. Kerusakan tersebut umumnya disebabkan oleh faktor keausan, penuaan komponen, maupun kesalahan dalam pengoperasian (Hardianto et al., 2020). Peralatan produksi yang tidak dirawat dengan baik berpotensi mengalami kerusakan secara tiba-tiba yang dapat menyebabkan terjadinya *downtime* yang dapat berdampak langsung terhadap terganggunya proses produksi,

menurunnya produktivitas, meningkatnya biaya operasional, serta berpotensi menimbulkan kerugian bagi perusahaan (Suryana, 2021).

## **2.3 Jenis-Jenis Perawatan (*Maintenance*)**

Dalam praktik industri, kegiatan perawatan umumnya dibedakan menjadi beberapa jenis menurut (Lapisa & Kurniawan, 2020), yaitu:

### **2.3.1 *Breakdown Maintenance***

*Breakdown Maintenance* adalah perawatan yang dilakukan ketika sudah terjadi kerusakan pada mesin atau peralatan kerja sehingga mesin tersebut tidak dapat beroperasi secara normal atau terhentinya operasional secara total dalam kondisi mendadak. *Breakdown Maintenance* ini harus dihindari karena akan terjadi kerugian akibat berhentinya mesin produksi yang menyebabkan tidak tercapai kualitas ataupun output produksi.

### **2.3.2 *Preventive Maintenance***

*Preventive Maintenance* atau kadang disebut juga *Preventative Maintenance* adalah jenis maintenance yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung. Contoh *preventive maintenance* adalah melakukan penjadwalan untuk pengecekan (*inspection*) dan pembersihan (*cleaning*) atau pergantian suku cadang secara rutin dan berkala. *Preventive Maintenance* terdiri dua jenis, yakni:

#### **1) *Periodic Maintenance* (Perawatan berkala)**

*Periodic Maintenance* ini diantaranya adalah perawatan berkala yang terjadwal dalam melakukan pembersihan mesin, inspeksi mesin, meminyaki mesin dan juga pergantian suku cadang yang terjadwal untuk mencegah terjadi kerusakan mesin secara mendadak yang dapat

mengganggu kelancaran produksi. *Periodic Maintenance* biasanya dilakukan dalam harian, mingguan, bulanan ataupun tahunan.

## 2) *Predictive Maintenance*

*Predictive Maintenance* adalah perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive Maintenance* ini akan memprediksi kapan akan terjadinya kerusakan pada komponen tertentu pada mesin dengan cara melakukan analisa *trend* perilaku mesin/peralatan kerja. Berbeda dengan *Periodic maintenance* yang dilakukan berdasarkan waktu (*Time Based*), *Predictive Maintenance* lebih menitikberatkan pada kondisi mesin (*Condition Based*).

### 2.3.3 *Corrective Maintenance*

*Corrective Maintenance* adalah perawatan yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi penyebab kerusakan dan kemudian memperbaikinya sehingga mesin atau peralatan produksi dapat beroperasi normal kembali. *Corrective Maintenance* biasanya dilakukan pada mesin atau peralatan produksi yang sedang beroperasi secara abnormal (mesin masih dapat beroperasi tetapi tidak optimal).



## 2.4 *Hoist crane*



Gambar 2.1 *Hoist crane* euro kapasitas 5 ton

*Hoist crane* adalah salah satu jenis alat angkat yang dilengkapi dengan roda dan rel sehingga dapat bergerak maju mundur untuk mendukung proses kerja. *Hoist crane* bekerja berdasarkan prinsip kerja tali dengan *crane*, beban diangkat secara vertikal dan dipindahkan secara horizontal untuk bergerak bersama-sama dan menurunkan beban ke lokasi yang telah ditentukan dengan mekanisme gerakan dua arah (Andari et al., 2023).

*Hoist crane* digunakan dalam proses pengangkatan muatan dengan berat ringan hingga dengan berat medium. Dalam keadaan normal, *hoist crane* dapat mengangkat beban yang beratnya tidak lebih dari 5 ton dan tentunya dapat memindahkan barang dari satu tempat ke tempat yang lain sesuai dengan kapasitas *hoist crane* (dengan syarat area di bawah lintasan *hoist crane* tidak terhalangi oleh apapun) (Kuswara, 2020).

## 2.5 *Realibility Centered Maintenance (RCM)*

*Realibility Centered Maintenance (RCM)* adalah pendekatan sistematis yang digunakan untuk menentukan strategi pemeliharaan yang paling efektif bagi aset atau mesin. RCM bertujuan untuk meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi biaya pemeliharaan dengan fokus pada komponen-komponen yang memiliki potensi kegagalan tinggi (Silaban & Tampubolon, 2025). RCM juga mengidentifikasi berbagai mode kegagalan dan dampaknya terhadap operasi, serta menentukan tindakan pemeliharaan yang tepat untuk masing-masing mode kegagalan tersebut. RCM diterapkan dalam berbagai sektor, seperti manufaktur, energi, dan pelabuhan. Pendekatan ini memberikan keuntungan berupa pengurangan *downtime*, peningkatan umur mesin, dan pengurangan biaya operasional (Silaban & Tampubolon, 2025).

## 2.6 Laju Kegagalan/Kerusakan

Laju kegagalan adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi dari suatu komponen, subsistem atau sistem. Laju kegagalan dari suatu komponen atau sistem dapat di plot pada suatu kurva dengan variabel random waktu sebagai absis dan laju kegagalan dari komponen atau sistem sebagai ordinat. Kurva bathub ini terdiri dari tiga buah bagian utama, yaitu masa awal (*burn-in period*), masa yang berguna (*useful life period*), dan masa aus (*wear out period*) (Rizaldi, 2018).

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad \text{karena} \quad MTBF = \frac{T}{n}$$
$$\text{maka: } \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{T/n} = \frac{n}{T}$$

atau jika dinyatakan berdasarkan data historis kerusakan:

$$\lambda = \frac{n}{T}$$

Keterangan:

$\lambda$  = laju kegagalan

$n$  = jumlah kerusakan

$T$  = total waktu operasi



Gambar 2. 2 Kurva Bathub

Kurva bak mandi mendeskripsikan keterangan yang terdiri dari tiga bagian atau fase, yaitu:

1. Bagian pertama adalah tingkat kegagalan yang turun, yang dikenal sebagai kegagalan awal (masa awal / burn in period). Periode 0 sampai dengan  $t_1$ , mempunyai waktu yang pendek pada permulaan bekerjanya peralatan. Kurva menunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu atau diistilahkan dengan *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan kesalahan dalam proses manufaktur atau desain yang kurang



sempurna. Jumlah kerusakan berkurang karena alat yang cacat telah mati kemudian diganti atau cacatnya dideteksi atau direparasi. Jika suatu peralatan yang dioperasikan telah melewati periode ini, berarti desain dan pembuatan peralatan tersebut di pabriknya sudah benar. Periode ini dikenal juga dengan periode pemanasan (*burn in period*). Model probabilitas yang sesuai adalah distribusi Weibull dengan  $\alpha > 1$ .

2. Bagian kedua adalah tingkat kegagalan yang konstan, yang dikenal sebagai kegagalan acak (masa berguna / useful life period). Periode  $t_1$  sampai  $t_2$  mempunyai laju kerusakan paling kecil dan tetap yang disebut Constant *Failure Rate* (CFR). Periode ini dikenal dengan Useful *Life Period*. Kerusakan yang terjadi bersifat random yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bekerjanya peralatan, sehingga periode ini merupakan periode pemakaian peralatan yang normal dan dikarakteristikkan secara pendekatan dengan jumlah kerusakan yang konstan tiap satuan waktu. distribusi yang sesuai adalah distribusi Eksponensial atau Weibull dengan  $\alpha = 1$ .
3. Bagian ketiga adalah tingkat kegagalan yang naik, yang dikenal sebagai kegagalan aus (masa aus / wear-out period). Pada periode setelah menunjukkan kenaikan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu yang sering disebut dengan *Increasing Failure Rate* (IFR). Hal ini terjadi karena proses keausan peralatan. Model distribusi yang sesuai adalah Distribusi Weibull dengan  $\alpha > 1$ .

### **2.7.1 Mean Time Between Failure**

*Mean Time Between Failures* (MTBF) merupakan salah satu indikator keandalan (reliability) yang digunakan untuk

mengukur rata-rata waktu operasi suatu peralatan atau sistem di antara dua kejadian kegagalan yang berurutan. MTBF umumnya diterapkan pada aset atau mesin yang bersifat *repairable*, yaitu peralatan yang dapat diperbaiki dan dioperasikan kembali setelah mengalami kerusakan (Mobley, 2002).

Menurut Blanchard dan Fabrycky (2011), MTBF menjadi parameter penting dalam manajemen pemeliharaan karena dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat keandalan peralatan, merencanakan aktivitas pemeliharaan preventif, serta memperkirakan ketersediaan (*availability*) suatu sistem. Semakin tinggi nilai MTBF, semakin lama rata-rata waktu operasi peralatan sebelum mengalami kegagalan berikutnya, sehingga menunjukkan tingkat keandalan yang lebih baik.

Secara matematis, MTBF dihitung dengan membandingkan total waktu operasi dengan jumlah kegagalan yang terjadi selama periode pengamatan. Persamaan MTBF dinyatakan sebagai berikut:

$$MTBF = \frac{T}{n}$$

Keterangan:

n = jumlah kerusakan

T = total waktu operasi (jam)

Nilai MTBF sering digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pemeliharaan. Apabila nilai MTBF rendah, maka frekuensi kerusakan relatif tinggi sehingga diperlukan evaluasi terhadap strategi pemeliharaan maupun kondisi komponen penyebab kerusakan. Sebaliknya, nilai MTBF yang tinggi menunjukkan bahwa mesin memiliki tingkat

keandalan yang baik dan mampu beroperasi lebih lama sebelum mengalami kegagalan (Smith dan Hinchcliffe, 2004).

Selain digunakan sebagai indikator keandalan, MTBF juga berkaitan erat dengan indikator pemeliharaan lainnya, seperti Mean Time to Repair (MTTR) dan Availability. Ketiga parameter tersebut sering digunakan secara bersama-sama untuk mengevaluasi efektivitas sistem pemeliharaan pada industri manufaktur maupun proses (Moubray, 1997).

### **2.7.2 Mean Time to Repair (MTTR)**

*Mean Time To Repair* adalah waktu dimana suatu produk atau system mulai rusak sampai selesai diperbaiki. Secara umum, waktu perbaikan atau Mean Time To Repair diberlakukan sebagai variable random karena kejadian yang berulang-ulang dapat mengakibatkan perbaikan yang berbeda-beda (Rizaldi, 2018).

$$MTTR = \frac{Breakdown\ Time}{Frekuensi\ Breakdown}$$

### **2.7.3 Distribusi Kegagalan**

Menurut Priyanta (2005) dalam (Rizaldi, 2018), distribusi kegagalan yang sering digunakan di dalam teori keandalan yaitu:

#### **a. Distribusi Weibull**

Distribusi Weibull merupakan distribusi empiris yang paling banyak digunakan dan hampir muncul pada semua karakteristik kegagalan. Pada umumnya, distribusi ini digunakan pada komponen mekanik atau peralatan pemesian. Dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah  $\theta$  yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan  $\beta$  yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*).

b. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu  $s$  yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan  $tmed$  sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi Weibull juga sesuai dengan distribusi Lognormal.

c. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan adalah  $\mu$  (nilai tengah) dan  $\sigma$  (standar deviasi). Karena hubungannya dengan distribusi Lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisis probabilitas Lognormal.

d. Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial digunakan untuk menghitung kehandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini adalah distribusi yang paling mudah dianalisis. Parameter yang digunakan dalam distribusi Eksponen adalah  $\lambda$ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

## 2.7 Keandalan (*Realibility*)

Keandalan (*realibility*) didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diinginkan sepanjang suatu periode waktu tertentu bilamana digunakan pada kondisi-kondisi pengoperasian yang

telah ditentukan. Atau dalam perkataan yang lebih singkat, keandalan merupakan probabilitas dari ketidak-gagalan terhadap waktu (Rizaldi, 2018).

1. Fungsi keandalan didefinisikan sebagai:

$$R(t) = P(T \geq t)$$

Dimana:

$$R(t) \geq 0, \quad R(0) = 1, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

2. Dengan berpedoman bahwa  $R(t)$  sebagai fungsi keandalan dan  $F(t)$  sebagai fungsi distribusi kumulatif dari distribusi kegagalan, karena:

$$F(t) = 1 - R(t)$$

maka:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

3. Selanjutnya disebut sebagai *probability density function* dimana fungsi ini menggambarkan bentuk dari *failure distribution* yang meliputi

$$f(t) \geq 0 \quad \text{dan} \quad \int_0^{\infty} f(t) dt = 1$$

Sehingga:

$$F(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt$$

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt$$

4. Persamaan fungsi keandalan dengan Teori Laju Kegagalan A.Alkaff (1992):

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

Bahwa dari persamaan diatas diperoleh:



$$\lambda(t) = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

5. Kemudian hasil integral dari kedua ruas adalah:

$$R(t) = e^{\int_0^t \lambda(u) du}$$

Menurut Abbas (2005) dalam (Rizaldi, 2018), menentukan keandalan dalam pengertian operasional mengharuskan definisi diatas dibuat lebih spesifik, yaitu:

1. Harus ditetapkan definisi yang jelas dan dapat diobservasi dari suatu kegagalan. Berbagai kegagalan ini harus didefinisikan relatif terhadap fungsi yang dilakukan oleh komponen atau sistem.
2. Unit waktu yang menjadi referensi dalam penentuan keandalan harus diidentifikasi dengan tegas.
3. Komponen atau sistem yang diteliti harus diobservasikan pada performansi normal. Ini mencakup beberapa faktor seperti beban yang didesain, lingkungan, dan berbagai kondisi pengoperasian.

## **2.8 Ketersediaan (*Availability*)**

Ketersediaan atau *availability* merupakan ukuran yang menunjukkan kemampuan suatu mesin, peralatan, atau sistem untuk berada dalam kondisi siap beroperasi ketika diperlukan. Nilai *availability* dipengaruhi oleh tingkat keandalan (*reliability*) dan kemampuan pemeliharaan (*maintainability*). Semakin tinggi nilai *availability*, semakin besar peluang suatu mesin dapat menjalankan fungsinya sesuai dengan kebutuhan operasional (Blanchard dan Fabrycky, 2011).

Menurut Ebeling (2010), *availability* menggambarkan probabilitas suatu sistem berada dalam kondisi operasional pada suatu waktu tertentu. Indikator ini banyak digunakan

dalam manajemen pemeliharaan untuk mengevaluasi efektivitas strategi perawatan serta mengidentifikasi peluang peningkatan kinerja peralatan.

Dalam analisis pemeliharaan, *availability* umumnya dihitung menggunakan nilai *Mean Time Between Failures* (MTBF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR). MTBF menunjukkan rata-rata waktu operasi mesin di antara dua kegagalan berturut-turut, sedangkan MTTR menunjukkan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki mesin hingga dapat beroperasi kembali (Mobley, 2002). Secara matematis, *availability* dirumuskan sebagai berikut:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

Semakin besar nilai MTBF dan semakin kecil nilai MTTR, maka nilai *availability* akan semakin tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa mesin memiliki tingkat keandalan yang baik serta waktu perbaikan yang relatif singkat. Sebaliknya, apabila frekuensi kerusakan tinggi atau waktu perbaikan lama, maka nilai *availability* akan menurun sehingga berdampak pada meningkatnya downtime dan menurunnya produktivitas perusahaan (Moubray, 1997).

*Availability* merupakan salah satu indikator utama dalam evaluasi kinerja sistem pemeliharaan karena dapat digunakan untuk menilai efektivitas program preventive maintenance maupun corrective maintenance. Informasi mengenai *availability* juga menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait penggantian komponen, penjadwalan pemeliharaan, serta peningkatan efisiensi operasional perusahaan (Smith dan Hinchcliffe, 2004).

## 2.9 FMEA

Menurut (Guritno et al., 2024), analisis modus kegagalan dan dampak (FMEA) adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk menentukan cara mana komponen, sistem, atau proses dapat gagal memenuhi rancangan yang dimaksud. FMEA mengidentifikasi modus kegagalan yang ditemukan menurut tingkat kepentingan (prioritas). Analisis prioritas biasanya bersifat kualitatif atau semi kuantitatif, tetapi dapat dikuantifikasi dengan menggunakan tingkat kegagalan yang sebenarnya. FMEA dapat digunakan untuk membantu dalam memilih alternatif rancangan dengan ketergantungan yang tinggi, memastikan bahwa semua modus kegagalan sistem dan proses, beserta akibatnya pada kesuksesan operasional, mengidentifikasi modus dan akibat kesalahan manusia, memberikan dasar untuk perencanaan pengujian dan perbaikan sistem fisik, memperbaiki rancangan proses dan prosedur, dan memberikan informasi kualitatif dan kuantitatif (SNI IEC/ISO 31010:2016).

Untuk melakukan FMEA secara efektif maka pendekatan yang digunakan adalah metode delapan langkah yang memfasilitasi sistem FMEA, desain, produk, proses, peralatan, dan layanan. Langkah tersebut diantaranya:

- a. Pemilihan tim dan melakukan *brainstorming*
- b. Membuat diagram blok fungsional dan/atau diagram alir proses
- c. Menentukan prioritas
- d. Mengumpulkan data kegagalan dan mengkategorikannya
- e. Menganalisis data
- f. Mencatat hasil
- g. Mengonfirmasi/evaluasi/mengukur keberhasilan/kegagalan

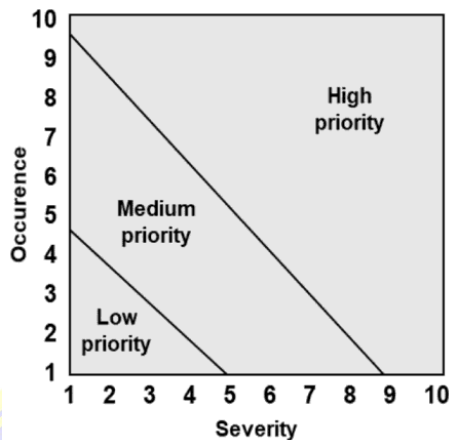
h. Melakukan pengulangan

Proses FMEA berfungsi untuk mengidentifikasi risiko yang signifikan, kemudian membantu meminimalkan dampak potensial dari risiko. Hal ini dilakukan melalui prioritas risiko atau yang biasa dikenal dengan indeks *Risk Priority Number* (RPN). Dalam analisis RPN, pastikan untuk melihat pola risiko dan bukan hanya pada RPN yang tinggi. RPN adalah hasil kali antara tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi.

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection$$

Semakin tinggi angka RPN, semakin besar kekhawatirannya. Aturan praktis analisis yang baik untuk diikuti adalah 95%. Artinya bahwa penanganan semua mode kegagalan dengan tingkat kepercayaan 95%. Angka ini hanya relatif terhadap apa yang dimaksud dengan total FMEA dan dapat berubah seiring risiko meningkat di semua kategori dan semua penyebab. Pola prioritas risiko memerlukan perhatian khusus melalui rencana tindakan yang akan mengurangi atau menghilangkan faktor risiko tinggi yang diidentifikasi melalui:

- a. RPN tinggi
- b. Setiap RPN dengan tingkat keparahan 9 atau 10 dan kejadian >2
- c. Bagan area



Gambar 2. 3 Bagan Area Menunjukkan Tingkat Prioritas Menurut (Nurjanah et al., 2023), rating Severity, occurrence, dan *detection* sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Tingkat Keparahan (Severity)

| Tingkat | Deskripsi     | Keterangan                                                                                                                                                                                                       |
|---------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Insignificant | Tidak ada konsekuensi yang ditimbulkan, mesin beroperasi dengan normal.                                                                                                                                          |
| 2       | Minor         | Mesin tetap beroperasi dengan aman, hanya ada beberapa gangguan kecil pada peralatan yang tidak signifikan. Dampaknya hanya dapat diketahui oleh operator yang berpengalaman.                                    |
| 3       | Moderate      | Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi beberapa kegagalan proses telah terjadi. Operator merasa tidak puas karena tingkat kinerjanya menurun. Adanya Downtime 1-6 jam. Diperlukan pengecekan kerusakan alat. |



| <b>Tingkat</b> | <b>Deskripsi</b> | <b>Keterangan</b>                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4              | Major            | Mesin tetap beroperasi dengan aman, tetapi tidak dapat berfungsi sepenuhnya. Operator merasa sangat tidak puas dengan kondisi tersebut. Adanya Downtime lebih besar dari 6 jam Diperlukan pengecekan kerusakan alat dan penggantian komponen. |
| 5              | Catastropic      | Mesin tidak dapat dioperasikan. Pengoperasian dapat menimbulkan kecelakaan dan bahaya bagi keselamatan.                                                                                                                                       |

Tabel diatas menjelaskan bahwa terdapat 5 tingkatan keparahan (*Severity*). Keparahannya terbesar dideskripsikan sebagai catastrophic sedangkan keparahan dengan rating terendah dideskripsikan sebagai insignificant.

Tabel 2. 2 Kategori Tingkat Kemungkinan(*Occurrence*)

| <b>Tingkat</b> | <b>Deskripsi</b>          | <b>Keterangan</b>                                           |
|----------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1              | Jarang terjadi            | Kegagalan terjadi dalam rentang waktu lebih dari satu tahun |
| 2              | Kecil kemungkinan terjadi | Kegagalan terjadi 1 kali pertahun                           |
| 3              | Mungkin dapat terjadi     | Kegagalan terjadi 2-3 kali pertahun                         |
| 4              | Cenderung dapat terjadi   | Kegagalan terjadi 4-5 kali pertahun                         |
| 5              | Hampir pasti terjadi      | Kegagalan >5 kali pertahun                                  |

Tabel diatas menunjukkan bahwa terdapat 5 tingkatan kemungkinan (*occurrence*). Rating occurrence tertinggi dideskripsikan dengan hampir pasti terjadi yang bernilai 5

sedangkan kemungkinan dengan rating terendah dideskripsikan dengan jarang terjadi yang bernilai 1.

Tabel 2. 3 Kategori Tingkat Kemungkinan Kegagalan Terdeteksi(*Detection*)

| Tingkat | Deskripsi            | Keterangan             |
|---------|----------------------|------------------------|
| 1       | Tinggi               | Pasti terdeteksi       |
| 2       | Medium               | Mudah terdeteksi       |
| 3       | Rendah               | Jarang terdeteksi      |
| 4       | Sangat rendah        | Sulit terdeteksi       |
| 5       | <i>Non-Detecable</i> | Tidak dapat terdeteksi |

Tabel diatas menunjukkan bahwa pada kategori *Detection* terdapat 5 tingkatan. *Rating detection* tertinggi bernilai 5 dimana kegagalan tidak dapat terdeteksi sedangkan detection rating terendah bernilai angka 1 yang berarti kegagalan pasti terdeteksi oleh sistem.

## 2.10 Diagram Pareto

Diagram Pareto ini merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah (Rizaldi, 2018). Penyusunan diagram pareto meliputi enam langkah :

1. Menentukan metode atau arti dari pengklasifikasian data.
2. Menentukan satuan yang digunakan untuk membuat urutan karakteristik.
3. Mengumpulkan data sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.
4. Merangkum data dan membuat ranking kategori data tersebut dari yang terbesar hingga terkecil.
5. Menghitung frekuensi kumulatif atau persentase kumulatif yang digunakan.
6. Menggambar diagram batang, menunjukkan tingkat kepentingan *relative* masing-masing masalah.

Mengidentifikasi beberapa hal yang penting untuk mendapat perhatian.

Diagram Pareto adalah alat yang digunakan untuk membandingkan berbagai kategori kejadian yang disusun menurut ukurannya untuk menentukan pentingnya atau prioritas kategori kejadian-kejadian atau sebab-sebab kejadian yang akan dianalisis, sehingga kita dapat memusatkan perhatian pada sebab-sebab yang mempunyai dampak terbesar terhadap kejadian tersebut (Rizaldi, 2018).

