

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan (*Maintenance*) merupakan aspek penting untuk memastikan umur panjang dan efisiensi dari setiap sistem atau peralatan. Perawatan melibatkan inspeksi rutin, pembersihan, dan perbaikan komponen untuk mencegah kerusakan dan mengoptimalkan kinerja. Tanpa perawatan yang tepat, peralatan dapat cepat rusak sampai menyebabkan biaya perbaikan atau penggantian yang mahal. Dalam sektor industri, perawatan sangat penting untuk memastikan operasi mesin berjalan lancar dan mencegah gangguan produksi (Hidayat et al., 2024). Selain itu, pemeliharaan yang dilakukan secara rutin dapat membantu mendeteksi potensi masalah sejak dini sebelum berubah menjadi kerusakan yang lebih serius. Sehingga memungkinkan intervensi tepat waktu dan mencegah kerusakan yang mahal. Dengan memprioritaskan perawatan sebagai aspek kunci dari operasi perusahaan, bisnis dapat meningkatkan efisiensi dan profitabilitas secara keseluruhan dalam jangka panjang (Munthe et al., 2023).

Secara keseluruhan pendekatan proaktif terhadap perawatan dapat menghasilkan operasi yang lebih teratur dan efisien. Dengan berinvestasi dalam perawatan dan pemantauan peralatan secara rutin, perusahaan dapat menghindari kerusakan yang tidak terduga dan biaya terkait. Fasilitas yang terawat dengan baik juga dapat berkontribusi pada reputasi positif di industri, menarik lebih banyak klien dan peluang untuk pertumbuhan bisnis. Memprioritaskan perawatan bukan hanya tentang memperbaiki hal-hal ketika rusak, tetapi tentang memastikan umur panjang dan kesuksesan bisnis secara keseluruhan.

Kegiatan perawatan adalah proses yang melibatkan pemeliharaan, inspeksi, dan perbaikan rutin pada peralatan mesin yang digunakan ketika proses produksi. Tujuan utama dari kegiatan perawatan adalah untuk memastikan bahwa peralatan beroperasi dengan baik dan efisien, sehingga bisa menghasilkan produk yang mempunyai berkualitas tinggi. Selain itu, kegiatan perawatan juga bertujuan untuk mencegah kerusakan atau kegagalan peralatan yang dapat mengganggu proses produksi dan menyebabkan penurunan produktivitas. Dengan melibatkan biaya

perawatan sebagai bagian integral dari strategi manajemen aset, perusahaan dapat mengoptimalkan kinerja peralatan mereka, meningkatkan umur pakai peralatan, dan mengurangi risiko kerusakan yang tidak terduga. Dengan demikian, kegiatan perawatan merupakan salah satu faktor penting untuk mencapai tujuan produksi yang efisien dan menguntungkan bagi perusahaan (Septiawan & Iman, 2024).

2.2 Jenis Perawatan

Berbagai jenis perawatan yang dapat digunakan untuk memastikan peralatan dan fasilitas tetap beroperasi dengan baik adalah sebagai berikut:

a. Perawatan Preventif (*Preventive Maintenance*)

Perawatan preventif merupakan proses perawatan yang dilakukan secara teratur sebagai upaya mencegah kerusakan atau kegagalan peralatan. Metode ini bertujuan untuk menjaga peralatan agar tetap dalam kondisi optimal dan menghindari kerusakan yang tidak terduga. Dengan melakukan perawatan preventif secara teratur, perusahaan dapat menghemat biaya perbaikan yang mahal dan memperpanjang umur pakai peralatan mereka. Selain itu, perawatan preventif juga dapat meningkatkan efisiensi operasional perusahaan dan mengurangi resiko kecelakaan kerja (Prihastono & Prakoso, 2017).

Perawatan preventif juga dapat membantu meningkatkan produktivitas karyawan dengan mengurangi waktu yang terbuang akibat peralatan mengalami kerusakan ataupun tidak berfungsi dengan baik. Selain itu, perawatan preventif juga dapat meningkatkan keandalan peralatan agar proses produksi dapat berjalan lancar tanpa mengalami hambatan. Perawatan preventif juga merupakan investasi yang penting bagi perusahaan untuk menjaga kelancaran operasional dan meningkatkan keuntungan jangka panjang (Siagian & Mardianti, 2024).

b. Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Perawatan korektif merupakan tindakan yang diambil setelah terjadi kerusakan atau kegagalan peralatan. Tujuannya adalah untuk memperbaiki peralatan agar dapat kembali berfungsi dengan baik dan mengurangi waktu henti produksi yang tidak terduga. Metode ini melibatkan diagnosis masalah, perbaikan, dan pemulihan peralatan ke kondisi operasional. Perawatan korektif biasanya

dilakukan sesuai dengan kebutuhan dan tidak terjadwal sebelumnya. Meskipun perawatan korektif tidak dapat mencegah kerusakan, tetapi tetap diperlukan untuk memastikan kelancaran operasi perusahaan (Muhaemin & Nugraha, 2022).

Perawatan korektif juga dapat melibatkan penggantian suku cadang yang rusak atau mengatur ulang konfigurasi peralatan agar dapat beroperasi dengan baik. Selain itu, perawatan korektif juga dapat mencakup pelatihan ulang untuk operator agar dapat menggunakan peralatan dengan benar dan mencegah terjadinya kerusakan di masa depan. Dengan melakukan perawatan korektif secara tepat dan efisien, perusahaan dapat mengurangi dampak negatif dari kerusakan peralatan terhadap produktivitas dan keuntungan perusahaan (Mulyono, 2017).

c. Perawatan Kerusakan (*Breakdown Maintenance*)

Metode perawatan yang dilakukan ketika terjadi kerusakan pada peralatan. Tujuan utama perawatan kerusakan adalah untuk dapat memperbaiki peralatan secepat mungkin agar kembali beroperasi dengan normal. Metode ini biasanya melibatkan tim teknisi yang siap merespon setiap kali ada kerusakan yang terjadi. Proses perawatan kerusakan ini penting untuk meminimalkan downtime dan memastikan kelancaran operasional perusahaan (Setyawan & Nazi, 2022).

Breakdown maintenance juga dapat membantu dalam mengidentifikasi penyebab kerusakan yang terjadi sehingga langkah-langkah pencegahan dapat diambil untuk mencegah kerusakan serupa terjadi di masa depan. Dengan adanya perawatan kerusakan yang efektif, perusahaan dapat menghemat biaya perbaikan yang lebih besar akibat kerusakan yang tidak terdeteksi secara dini. Oleh sebab itu penting bagi perusahaan untuk memiliki tim teknisi yang handal dan responsif dalam menangani perawatan kerusakan agar operasional perusahaan tetap berjalan lancar dan efisien (Rahayu, 2016).

d. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Perawatan prediktif merupakan metode pemeliharaan yang menggunakan data dan analisis untuk memprediksi kapan suatu peralatan akan mengalami kerusakan dan perlu dilakukan perawatan. Dengan memantau kondisi peralatan secara terus-menerus, perusahaan dapat mengidentifikasi potensi kerusakan sebelum terjadi dan mengambil tindakan pencegahan dengan tepat. Hal ini dapat

membantu mengurangi waktu henti yang tidak terencana, meningkatkan efisiensi operasi, dan mengurangi biaya perbaikan secara keseluruhan. Dengan menerapkan perawatan prediktif, perusahaan dapat mengoptimalkan kinerja peralatan mereka dan meningkatkan keandalan operasi mereka (Mujayyin & Rahmanuri, 2018).

Perawatan prediktif juga dapat membantu perusahaan mengalokasikan sumber daya dengan lebih efisien, karena mereka dapat fokus pada peralatan yang membutuhkan perawatan daripada melakukan perawatan rutin yang mungkin tidak perlu. Dengan demikian, perusahaan dapat menghemat waktu dan biaya yang sebelumnya digunakan untuk perawatan yang tidak efektif. Selain itu, perawatan prediktif juga dapat meningkatkan keselamatan kerja, karena perusahaan dapat mengidentifikasi potensi bahaya yang terkait dengan peralatan yang tidak berfungsi dengan baik dan mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan (Martha & Anggraini, 2021).

2.3 Jadwal Perawatan

Perawatan rutin dapat membantu perusahaan dalam menjaga peralatan mereka tetap dalam kondisi yang optimal. Dengan mempunyai jadwal perawatan yang teratur, perusahaan dapat memastikan bahwa peralatan mereka selalu siap digunakan dan tidak mengalami kegagalan yang tidak terduga. Juga dengan melakukan perawatan secara berkala, perusahaan juga dapat mengurangi risiko kerusakan yang dapat menyebabkan kerugian finansial dan penurunan produktivitas. Menjaga jadwal perawatan rutin adalah langkah yang penting dalam menjaga keberlanjutan operasi perusahaan (Ramadhan & Ilmaniati, 2024).

Jadwal perawatan dapat diatur bergantung pada jenis peralatan yang digunakan, tingkat penggunaan, dan kondisi lingkungan tempat peralatan tersebut beroperasi. Selain itu, faktor-faktor lain seperti kebutuhan produksi dan anggaran perawatan juga perlu dipertimbangkan dalam menentukan jadwal perawatan yang optimal. Dengan merencanakan jadwal perawatan dengan baik, perusahaan bisa menghindari kerugian yang tidak diperlukan akibat kerusakan peralatan dan memastikan kelancaran operasional mereka (Novitasari, 2022).

Beberapa tujuan yang ingin dicapai melalui pelaksanaan penjadwalan adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kinerja mesin dengan menekan waktu menganggur atau waktu mesin tidak beroperasi.
2. Menurunkan jumlah barang setengah jadi dengan cara mengurangi rata-rata pekerjaan yang menunggu proses pada mesin yang sedang beroperasi.
3. Mengurangi keterlambatan dengan menekan jumlah pekerjaan yang tertunda serta membatasi tingkat keterlambatan hingga batas minimum.
4. Meminimalkan biaya produksi.
5. Memastikan pemenuhan tenggat waktu yang telah ditentukan, mengingat bahwa keterlambatan dalam memenuhi tenggat waktu dapat mengakibatkan denda.

Selain itu, ada dua kondisi penting yang perlu diperhatikan dalam kebijakan penggantian komponen:

1. Total biaya penggantian komponen akibat kerusakan harus lebih tinggi dibandingkan dengan total biaya penggantian komponen yang dilakukan untuk pencegahan.
2. Laju kerusakan peralatan harus mengalami peningkatan.

2.4 Biaya Perawatan

Biaya perawatan dapat bervariasi tergantung pada jenis peralatan yang dimiliki oleh perusahaan. Biaya ini harus dipandang sebagai investasi yang penting untuk menjaga kelangsungan operasional perusahaan. Meskipun terkadang biaya perawatan dapat terasa mahal, namun jika dibandingkan dengan biaya penggantian peralatan baru maka biaya perawatan rutin jauh lebih efisien dan ekonomis. Oleh karena itu, perusahaan harus memperhitungkan biaya perawatan rutin sebagai bagian dari strategi pengelolaan aset mereka. Perusahaan dapat memastikan bahwa peralatan mereka tetap beroperasi dengan baik dan memberikan nilai tambah bagi bisnis mereka (Daud & Nuraini, 2017).

Biaya perawatan juga dapat membantu mengurangi risiko kerusakan peralatan yang dapat mengganggu proses produksi. Dengan melakukan perawatan secara teratur, perusahaan dapat memperpanjang umur pakai peralatan dan mengurangi risiko downtime yang dapat mengakibatkan kerugian finansial yang besar. Dengan demikian, investasi dalam biaya perawatan peralatan tidak hanya berdampak positif bagi kelangsungan operasional perusahaan, tetapi juga bagi profitabilitas dan efisiensi keseluruhan. Perusahaan penting untuk memperhitungkan biaya perawatan sebagai bagian integral dari strategi manajemen aset mereka (Kustoyo & Palit, 2024).

Proses perawatan di industri memerlukan investasi yang signifikan, sehingga manajemen perlu merencanakan keuangan dengan cermat. Perencanaan yang efektif hanya dapat dilakukan jika manajemen mampu menghitung biaya perawatan dengan akurat. Biaya tersebut mencakup berbagai komponen, termasuk biaya operasional yang terdiri dari perawatan bahan baku, tenaga kerja, serta biaya sub-kontrak untuk pembayaran kontrak. Selain itu, alokasi biaya perawatan juga penting untuk memastikan kelancaran operasional. Ada beberapa jenis biaya terkait perawatan yang perlu dipahami oleh perusahaan, antara lain (Nur Hidayah dan Pudji Widjajati, 2023):

1. Biaya perawatan rutin, yang mencakup pengeluaran untuk tenaga kerja dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan sehari-hari, serta biaya untuk pemeliharaan estetika dan fungsi peralatan, seperti pembersihan, pelumasan, pemeriksaan, dan pengaturan.
2. Biaya inspeksi peralatan, termasuk tenaga kerja dan bahan yang digunakan untuk melakukan inspeksi dan mendeteksi keabnormalan, serta menentukan potensi perbaikan pada peralatan yang mengalami kerusakan.

Oleh karena itu, penting untuk menjaga keseimbangan antara biaya perawatan dan perbaikan, sehingga total biaya yang dikeluarkan dapat diminimalkan. Berikut merupakan rumus perhitungan total biaya perawatan awal perusahaan (TC):

$$TC = \text{Biaya perawatan komponen} + \text{kerugian akibat } \textit{downtime} + \text{Biaya operator mengganggu} + \text{Biaya mekanik} \dots\dots\dots (2,1)$$

a. Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja merupakan pengeluaran akibat pemanfaatan tenaga kerja ketika melakukan produksi (Salim et al., 2019). Berikut merupakan rumus perhitungan biaya tenaga kerja (Suwondo & Widjajati, 2020).

$$\text{Biaya tenaga kerja} = \frac{\text{Gaji/Bulan (Rp)}}{\text{Jam Kerja/ Bulan(Jam)}} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Total biaya tenaga kerja} = \text{Biaya tenaga kerja} \times \text{Jumlah tenaga kerja} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Biaya operator menganggur} = \frac{\text{waktu downtime komponen/menit}}{60 \text{ menit}} \times \text{Biaya Operator/ jam} \dots\dots\dots (2.4)$$

b. Biaya *Downtime*

Biaya *Downtime* merupakan biaya tambahan yang disebabkan oleh suatu *equipment* tidak dapat beroperasi karena adanya kerusakan (*failure*) (Nurjaman et al., 2021). Berikut merupakan rumus perhitungan biaya *downtime* (Suwondo & Widjajati, 2020).

$$\text{Biaya downtime} = (\text{Harga jual produk} - \text{Harga biaya produksi}) \times \text{Jumlah output per jam} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Biaya kerugian akibat } \textit{downtime} = \frac{\text{waktu downtime komponen/menit}}{60 \text{ menit}} \times \text{Biaya Downtime/ jam} \dots\dots\dots (2.6)$$

2.4.1 Biaya Perawatan Pergantian

Sebelum terjadi kerusakan parah yang dapat menyebabkan pengeluaran biaya yang lebih tinggi. Terdapat pertimbangan dalam memilih waktu untuk melakukan penggantian antara lain adalah keuntungan (*profit*), total biaya, dan downtime. Semakin tua usia suatu alat, maka biaya operasi yang dikeluarkan semakin bertambah besar. Terdapat sebuah titik optimal, dimana perusahaan harus mengambil keputusan untuk mengganti alat/mesin tersebut, sebelum kerusakan terjadi, karena:

1. Total biaya penggantian akan lebih besar pada kondisi setelah terjadinya kerusakan, dibandingkan dengan sebelum terjadi kerusakan.
2. Nilai kerusakan dari peralatan akan terus bertambah.

Preventive cost merupakan biaya yang muncul ketika adanya *preventive maintenance* yang sudah terjadwal. Rumus dari *preventive cost* adalah sebagai berikut:

$$CP = [(OC+MC) \times MTTR] + HK \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

Cp = Biaya penggantian komponen karena perawatan

OC= Biaya operator

MC= Biaya mekanik

MTTR = Rata-rata waktu perbaikan

HK = Harga komponen

Biaya kegagalan (*Failure Cost*) adalah biaya yang timbul akibat terjadinya kerusakan yang tidak terduga (*breakdown*), sehingga menyebabkan proses produksi berhenti. Adapun rumus untuk menghitung biaya kegagalan adalah sebagai berikut:

$$CF = [(OC+ MC+ DC) \times MTTR] + HK \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

Cf = Biaya penggantian komponen karena kerusakan

OC= Biaya operator

MC= Biaya mekanik

DC= Biaya downtime

MTT = Rata-rata waktu perbaikan

HK = Harga komponen

2.5 Produktivitas dan Efisiensi Perawatan

Produktivitas dan efisiensi perawatan adalah faktor penting dalam menjaga keberlanjutan operasional perusahaan. Produktivitas perawatan dapat diukur dari seberapa efisien tim teknisi dalam menyelesaikan tugas perawatan, sedangkan efisiensi perawatan dapat diukur dari seberapa baik peralatan dapat beroperasi tanpa gangguan setelah dilakukan perawatan. Untuk meningkatkan produktivitas dan

efisiensi perawatan, perusahaan dapat mengimplementasikan sistem manajemen perawatan yang terintegrasi dan terkoordinasi dengan baik. Dalam meningkatkan produktivitas pada lini produksi, perusahaan tidak hanya menganalisis mesin tetapi juga harus memperhatikan faktor lain, seperti manusia, material dan metode yang juga berperan penting dalam meningkatkan produktivitas ini (Eka et al., 2024). Pelatihan dan pengembangan karyawan juga dapat membantu meningkatkan keterampilan dan pengetahuan dalam melakukan perawatan peralatan secara optimal. Dengan demikian, perusahaan dapat mencapai tingkat produktivitas dan efisiensi perawatan yang optimal, sehingga dapat meminimalkan downtime dan meningkatkan kinerja operasional secara keseluruhan (Januarsyah & Kirono, 2024).

Selain itu, penting juga untuk memonitor dan mengevaluasi kinerja peralatan secara teratur agar dapat mengidentifikasi potensi masalah atau gangguan sejak dini. Dengan adanya sistem pelaporan dan analisis data yang efektif, perusahaan dapat mengambil tindakan preventif yang tepat untuk mengurangi risiko kerusakan atau kegagalan peralatan. Selain itu, kerjasama antara tim perawatan, tim produksi, dan manajemen juga sangat penting dalam menjaga kelancaran operasional perusahaan. Dengan adanya komunikasi yang baik antar tim, masalah perawatan bisa diselesaikan dengan cepat dan efisien, sehingga tidak mengganggu produktivitas keseluruhan perusahaan (Radiansyah, 2023).

2.6 Reability (Keandalan)

Keandalan merupakan kemungkinan komponen memiliki kemampuan yang baik untuk tujuan, waktu, dan lingkungan tertentu. Keandalan sangat berkaitan erat dengan kegagalan (*failure*). Kegagalan ini merujuk pada kondisi ketika sistem tidak berfungsi dengan baik sesuai harapan. Salah satu variabel penting dalam pengukuran keandalan adalah waktu. Waktu pengoperasian mesin yang normal merupakan komponen yang perlu diperhatikan dalam sistem perawatan taktik keandalan (Siregar & Munthe, 2019). Dalam konteks ini, waktu digunakan untuk mengukur tingkat kegagalan, atau yang sering disebut sebagai *rate of failure* (ROF). Sebagian besar fenomena yang berkaitan dengan keandalan dapat dijelaskan

melalui tingkat kegagalannya, sehingga keandalan dapat dipandang sebagai fungsi dari waktu atau *rate of failure*.

Keandalan suatu sistem biasanya dinyatakan dalam bentuk angka yang merefleksikan ekspektasi masa pakainya. Salah satu ukuran yang digunakan adalah *Mean Time To Failure* (MTTF), yang dikenal sebagai rata-rata waktu sampai terjadinya kegagalan. MTTF diterapkan pada komponen atau peralatan yang harus diganti dengan yang baru setelah mengalami kerusakan. Sementara itu, untuk komponen yang dapat diperbaiki tetapi masih mungkin mengalami kegagalan lagi, waktu antar kegagalan disebut dengan *Mean Time Between Failure* (MTBF). (Samharil et al., 2022).

TTR (*Time To Repair*) = waktu selesai kerusakan – waktu mulai kerusakan.....(2.9)

TTF (*Time to Failure*) = (waktu selesai kerusakan – jam kerja selesai) + (jam kerja) + (jam kerja mulai – waktu mulai rusak).....(2.10)

2.6.1 Interval Waktu Perawatan

Interval waktu perawatan merupakan periode waktu yang telah ditentukan sebelumnya antara dua aktivitas perawatan. Interval ini digunakan untuk memastikan bahwa peralatan diperiksa dan diservis secara berkala untuk mempertahankan kinerja dan keandalannya. Interval perawatan biasanya ditentukan oleh produsen dan didasarkan pada jenis peralatan, penggunaannya, dan lingkungan tempat peralatan tersebut digunakan. Interval perawatan dapat berkisar dari harian hingga tahunan, tergantung pada peralatan dan penggunaannya. Interval perawatan rutin membantu mengurangi risiko kegagalan peralatan dan memastikan bahwa peralatan beroperasi pada tingkat optimalnya. Interval perawatan rutin membantu mengurangi risiko kegagalan peralatan dan memastikan bahwa peralatan beroperasi pada tingkat optimalnya (Rahman et al., 2024).

Waktu perawatan preventif yang paling tepat dapat ditetapkan dengan menentukan interval waktu yang memberikan efisiensi biaya tertinggi. Namun, tantangan utama adalah menemukan waktu yang tepat untuk melakukan penggantian guna meminimalkan total waktu tidak beroperasi (*downtime*). Ada dua konflik yang harus dihadapi:

1. Peningkatan frekuensi penggantian dapat menyebabkan downtime yang lebih besar akibat proses penggantian itu sendiri, meskipun bisa mengurangi waktu tidak beroperasi karena kerusakan.
2. Sebaliknya, pengurangan frekuensi penggantian akan mengurangi downtime yang disebabkan oleh penggantian, namun berpotensi menyebabkan peningkatan waktu tidak beroperasi akibat kerusakan.

Dari kedua argumen tersebut, tujuan kita adalah menemukan keseimbangan yang tepat antara keduanya. Kebijakan penggantian dan perawatan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu deterministik dan probabilistik. Untuk mencapai total biaya (TC) minimum, diperlukan kondisi $\frac{dTc}{dTm} = 0$, yang menunjukkan interval waktu perawatan yang optimal. Berikut adalah rumus untuk menghitung interval waktu perawatan optimal (Suwondo & Widjajati, 2020):

$$TM = \eta \times \left| \frac{Cp}{Cf(\beta-1)} \right|^{\frac{1}{\beta}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

- TM = *Interval* waktu perawatan optimal dalam satuan jam
 η = Parameter *scale*
 Cf = Biaya penggantian kerusakan komponen
 Cp = Biaya penggantian pencegahan komponen
 β = Parameter *shape*

2.6.2 Distribusi Keandalan

Dalam analisis keandalan, terdapat beberapa distribusi statistik yang sering dipakai. Model probabilitas kerusakan pada suatu alat dapat disesuaikan dengan distribusi statistik. Pemilihan distribusi ini tergantung pada karakteristik kerusakan yang terjadi. Beberapa distribusi keandalan ini antara lain:

a. Distribusi Normal

Distribusi normal menunjukkan bahwa tingkat kerusakan meningkat seiring dengan bertambahnya usia alat. Hal ini berarti bahwa probabilitas terjadinya kerusakan pada alat atau komponen akan meningkat sejalan dengan usia komponen

tersebut. Distribusi normal memiliki dua parameter, yaitu rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ). Rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ) dari distribusi normal memberikan informasi yang penting dalam mengevaluasi keandalan suatu sistem. Distribusi normal sering digunakan dalam analisis keandalan untuk memprediksi umur pakai alat atau komponen. Hal ini dapat membantu dalam merencanakan jadwal perawatan preventif yang efektif. Distribusi normal juga sering digunakan dalam analisis data untuk menentukan probabilitas suatu kejadian. Dengan menggunakan distribusi normal, kita dapat menghitung peluang kerusakan alat atau komponen pada titik tertentu dalam waktu tertentu. Penggunaan distribusi normal dalam analisis keandalan dan perawatan preventif dapat membantu perusahaan untuk mengoptimalkan kinerja sistem mereka dan mengurangi risiko kerusakan yang tidak terduga. Selain itu, distribusi normal juga memudahkan dalam memprediksi kejadian yang mungkin terjadi sehingga perusahaan dapat lebih siap dalam menghadapi risiko-risiko yang ada (Sungkono et al., 2023). Berikut merupakan persamaan fungsi-fungsi dari distribusi normal (Sinaga et al., 2021):

- Fungsi probabilitasnya

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2} \right] \dots \dots \dots (2.12)$$

- Fungsi keandalannya

$$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right] \dots \dots \dots (2.13)$$

- Laju kerusakannya

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)} \dots \dots \dots (2.14)$$

- $MTTF = \mu$

Keterangan:

$f(t)$ = Probabilitas Kerusakan

$R(t)$ = Fungsi Keandalan

$\lambda(t)$ = Laju Kerusakan

$MTTF$ = *Mean time to failure*

t = Interval Waktu

μ = Rata-rata sampel

$$\Phi(z) = \text{tabel } \Phi(z)$$

$$\pi = 3,14$$

b. Distribusi *Eksponensial*

Distribusi *eksponensial* digunakan untuk memodelkan laju kerusakan yang konstan untuk sistem yang beroperasi secara *continue*. Distribusi eksponensial juga sering digunakan dalam analisis keandalan karena sifatnya yang dapat menggambarkan waktu antara kegagalan yang terjadi secara acak. Distribusi *eksponensial* memiliki parameter, yaitu λ (lambda). λ adalah jumlah rata-rata kejadian dalam suatu interval, sedangkan μ adalah waktu tunggu rata-rata agar suatu kejadian terjadi. Dengan memahami distribusi eksponensial, perusahaan dapat merencanakan jadwal perawatan preventif yang efektif untuk mengurangi *downtime* dan biaya yang terkait dengan kerusakan sistem. Distribusi *eksponensial* juga dapat membantu dalam mengidentifikasi komponen sistem yang rentan terhadap kegagalan sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum kerusakan yang serius terjadi. Pemahaman tentang distribusi eksponensial sangat penting dalam upaya meningkatkan keandalan dan kinerja sistem perusahaan. Melalui pemahaman yang mendalam tentang distribusi *eksponensial*, perusahaan dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan mencegah kerugian akibat *downtime* yang tidak terduga. (Rahmadiyah, 2019). Berikut merupakan persamaan fungsi-fungsi dari distribusi *Eksponensial* (Rosihan & Yuniarto, 2019):

- Fungsi probabilitasnya
 $f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (2.15)$

- Fungsi keandalannya
 $R(t) = e^{(-\lambda t)} \dots\dots\dots (2.16)$

- laju kerusakan
 $\lambda(t) = \lambda \dots\dots\dots (2.17)$

- MTTF distribusi eksponensial
 $MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = 1/\lambda \dots\dots\dots (2.18)$

Keterangan:

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

MTTF = *Mean time to failure*

t = waktu $t \geq 0$

λ = kecepatan rata-rata terjadinya kerusakan $\lambda > 0$

e = 2,7183

c. Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* adalah alat yang sangat sering digunakan dalam teknik perhitungan keandalan. Kegunaan utama distribusi *Weibull* adalah untuk menganalisis umur komponen mesin produksi, yaitu sampai waktu di mana komponen tersebut tidak berfungsi dengan baik, baik itu karena kerusakan atau mati total. Distribusi ini memiliki dua parameter penting, yaitu parameter *shape* (β) dan parameter *scale* (η). Parameter *shape* (β) dalam distribusi *Weibull* berfungsi untuk menentukan bentuk kurva distribusi, sedangkan parameter *scale* (η) berperan dalam mempengaruhi tingkat keandalan sistem. Dengan memanfaatkan distribusi *Weibull*, para insinyur dapat memprediksi umur pakai komponen atau sistem, yang memungkinkan perencanaan perawatan dilakukan tepat waktu untuk mencegah terjadinya kegagalan yang tidak diinginkan. Peran distribusi *Weibull* sangat penting dalam industri, baik untuk mengevaluasi kinerja sistem maupun mengoptimalkan perencanaan perawatan. Penggunaan distribusi ini juga membantu dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang memicu terjadinya kegagalan, sehingga langkah-langkah pencegahan dapat diambil lebih awal. Dengan demikian, tidak hanya efisiensi operasional yang meningkat, tetapi juga biaya perawatan yang tidak perlu dapat dikurangi. (Desriana et al., 2022). Berikut merupakan persamaan fungsi-fungsi dari distribusi *Weibull* (Lelu & Setiafindari, 2023):

- Fungsi probabilitasnya

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \dots\dots\dots (2.19)$$

- Fungsi keandalannya

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \dots\dots\dots (2.20)$$

- Laju kerusakan

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} \dots\dots\dots (2.21)$$

- MTTF distribusi weibull

$$\text{MTTF} = \eta^r \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan:

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

MTTF = *Mean time to failure*

t = waktu $t = 0$

β = *shape* parameter

θ = *scala* parameter

e = 2,7183

d. Distribusi *Lognormal*

Distribusi ini sangat bermanfaat dalam menggambarkan pola kerusakan di bawah berbagai kondisi. Distribusi lognormal mempunyai dua parameter yaitu s (scale parameter) dan t_{med} (median dari data waktu kerusakan) yang juga menunjukkan median dari data. Metode distribusi lognormal ini berguna untuk memetakan distribusi kerusakan dalam situasi yang bervariasi. Dengan menerapkan distribusi *lognormal*, perusahaan dapat mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kegagalan, sehingga langkah-langkah pencegahan dapat diambil lebih awal. Hal ini berdampak positif pada peningkatan efisiensi operasional dan pengurangan biaya perawatan yang tidak perlu. Selain itu, perusahaan dapat menentukan komponen mana yang rentan terhadap kegagalan dan melakukan tindakan pencegahan sebelum kerusakan terjadi. Dengan cara ini, keandalan sistem keseluruhan dapat ditingkatkan dan waktu henti yang tidak terduga dapat diminimalisir. Oleh karena itu, penerapan distribusi *lognormal* dapat membantu perusahaan menghemat biaya perawatan yang tidak perlu serta meningkatkan efisiensi operasional secara signifikan. (Helena et al., 2024). Berikut merupakan persamaan fungsi-fungsi dari distribusi *lognormal* (Sunaryo et al., 2021):

- Fungsi probabilitasnya

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} e \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (2.23)$$

- Fungsi keandalannya

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

- Laju kegagalannya

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots (2.25)$$

- MTTF distribusi lognormal adalah

$$MTTF = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Keterangan:

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

MTTF = *Mean time to failure*

t_{med} = median

s = Variansi

2.7 Modularity Design

Desain modular adalah pendekatan yang mengelompokkan komponen berdasarkan waktu *downtime* serta fungsi masing-masing komponen pada mesin. Tujuan dari desain modular adalah untuk mengurangi beban mekanik dalam perawatan mesin. Melalui penerapan desain modular, komponen-komponen mesin dapat diatur berdasarkan tahapan proses perbaikan, sehingga proses pembuatan serta perakitanya menjadi lebih efektif dan hemat biaya. Untuk memahami bentuk fisik dan hubungan antar komponen dalam proses ini, terdapat langkah-langkah pengukuran yang perlu dilakukan, yaitu: (Yulius & Susanto, 2020):

1. Pertama membuat komponen pohon (*component tree*) yang memberikan gambaran mendetail tentang hubungan fisik antara komponen-komponen pada tingkat abstraksi. Produk akan dibagi menjadi modul-modul serta komponen-komponen. Selanjutnya, modul-modul tersebut akan diklasifikasikan menjadi *subassemblies*, kemudian dipecah lebih lanjut

menjadi komponen individual, dan terakhir akan dilengkapi dengan atribut-atribut produk yang menjelaskan masing-masing komponen.

2. Selanjutnya membuat grafik proses (*process graph*), yang menggambarkan secara rinci setiap tahap dalam siklus hidup produk. Grafik ini akan menunjukkan setiap proses di setiap tahap serta kegiatan dan sub-tugas yang terdapat dalam masing-masing proses. Komponen-komponen akan dikelompokkan berdasarkan proses manufaktur yang dijalani, dan setiap proses manufaktur tersebut akan diperluas untuk mencakup kegiatan-kegiatan terkait serta sub-tugas dari setiap proses.

Modularitas dalam kegiatan perawatan berarti penerapan modul-modul yang digunakan tanpa mengubah prinsip dasar dari peralatan tersebut. Setiap modul berfungsi sebagai satuan yang memiliki penjelasan fungsional tersendiri dan dapat berdiri secara mandiri. Sistem modular memberikan berbagai keuntungan bagi operator, termasuk waktu pengiriman yang lebih singkat. Selain itu, sistem ini menawarkan fleksibilitas dalam melakukan perubahan dan kemudahan dalam pemeliharaan. Tersedianya komponen cadangan yang siap pakai juga menjadi salah satu keunggulan, ditambah dengan jangkauan dan variasi fungsi yang lebih luas serta kemampuan untuk mengurangi risiko kegagalan dalam proses produksi.

Dalam melaksanakan sistem pemeliharaan preventif, penting untuk mengelompokkan mesin sesuai dengan proses dan fungsinya. Pengelompokan ini dapat diperkuat melalui desain modular, yang memudahkan kita untuk mengidentifikasi komponen mesin yang kritis atau yang sering mengalami kerusakan. Dengan menggunakan pendekatan modular, kita dapat membentuk modul-modul tertentu yang akan mempermudah proses pemeliharaan mesin produksi. Keunggulan dari desain modular ini adalah membuat proses manufaktur dan perakitan menjadi lebih efisien serta hemat biaya (Polewangi, 2019). Perhitungan total biaya perawatan dengan metode *modularity design* dapat dilakukan dengan mengacu pada estimasi hasil uji distribusi yang memiliki nilai paling minimum. Perhitungannya menggunakan persamaan berikut (Rosyidi & Widjajati, 2020):

$$TC = \frac{Cf}{\eta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{Cp}{TM} \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan:

TC = Biaya total perawatan per satuan waktu

Cf = Biaya penggantian kerusakan komponen

η = *scala* parameter

β = *shape* parameter

TM = Interval waktu perawatan optimal dalam satuan jam

Cp = Biaya penggantian pencegahan komponen

Sedangkan untuk rumus perhitungan TC per tahunnya didapatkan:

TC usulan= (((Jumlah hari kerja x Lama waktu kerja x 60 Menit) / TM) x MTTR x TC) + Biaya perawatan komponen (2.28)

Perhitungan efisiensi biaya perawatan menggunakan metode *Modularity Design* dengan biaya perawatan perusahaan:

$Efisiensi = \frac{TC \text{ perusahaan} - TC \text{ usulan}}{TC \text{ perusahaan}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.29)$

2.8 Literatur Riview

Berikut ini merupakan hasil *riview* penelitian terdahulu mengenai penerapan *maintenance*:

Tabel 2. 1 Literatur Riview

Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
(Silalahi et al., 2020)	Usulan <i>Preventive Maintenance</i> Dengan Menggunakan Metode <i>Modularity Design</i> Pada Mesin <i>Surface</i>	Mendapatkan hasil penurunan biaya penggantian komponen mesin <i>surface mounting technology</i>	<i>Preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i>	Didapatkan hasil metode <i>preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i> berbasis <i>homogenitas</i> TTF memberikan

	<i>Mounting Technology</i>			hasil paling ekonomis,
(Mentari & Hidayat, 2021)	Analisis Performansi Mesin Pada <i>Corecctive Maintenance</i> dan <i>Preventive Maintenance</i> dengan Menggunakan Metode <i>Modularity Design</i>	Mendapatkan hasil perbandingan kondisi nyata di perusahaan dengan simulasi yang dirancang	<i>Preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i>	Didapatkan bahwa penerapan <i>preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i> berbasis waktu adalah solusi paling efektif, dengan potensi penghematan biaya yang signifikan.
(Hariyanto et al., 2017)	Analisis <i>Prventive Maintenance System</i> Dengan <i>Modularity Design</i> Pada PT. Surya Pamenang	Mendapatkan hasil penurunan biaya penggantian mesin <i>blade coating machine</i>	<i>Preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i>	Penerapan <i>preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i> dapat menurunkan biaya sebesar 24,31% dari <i>corrective maintenance</i> .
(Putri et al., 2020)	Penjadwalan <i>Preventive</i>	Mendapatkan hasil	<i>Preventive maintenance</i>	Penghematan yang terjadi

	<i>Maintenance</i> Dengan <i>Modularity</i> <i>Design</i> Pada Mesin <i>Limestone</i> <i>Crusher</i>	penurunan biaya penggantian komponen mesin <i>limestone</i> <i>crusher</i>	dengan <i>modularity</i> <i>design</i>	setelah dilakukan perawatan preventif dengan mengggunakan <i>modularity</i> <i>design</i>
(Tandriajeng & Handayani, 2023)	Analisis Teknik Perawatan Mesin Pada Unit Kendaraan <i>Double Cabin</i> Dengan Mengggunakan Metode <i>Modularity</i> <i>Design</i> Di PT Wahyu Putra Mandiri Perkasa	Mendapatkan hasil penurunan biaya penggantian komponen kendaraan <i>double Cabin</i>	<i>Preventive</i> <i>maintenance</i> dengan <i>modularity</i> <i>design</i>	Didapatkan bahwa biaya <i>preventive</i> <i>maintenance</i> dengan <i>modularity</i> <i>design</i> lebih rendah dan efisien dibanding dengan biaya perawatan yang dilakukan perusahaan.
(Rosyidi & Widjajati, 2020)	Usulan Perawatan Preventif Mesin <i>Web</i> <i>Rotary Offset</i> <i>Printing</i> Dengan	Mendapatkan hasil penurunan biaya penggantian komponen mesin <i>web</i>	<i>Preventive</i> <i>maintenance</i> dengan <i>modularity</i> <i>design</i>	Didapatkan bahwa perbandingan biaya yang dikeluarkan oleh metode <i>modularity</i>

	Menggunakan Metode <i>Modularity Design</i> Di PT. XYZ	<i>rotary offset printing</i>		<i>design</i> lebih kecil dibanding dengan total biaya perawatan pada perusahaan.
(Handayani & Harada, 2021)	Perawatan <i>Preventive Batching Plant</i> Dengan Metode <i>Modularity Design</i> di PT Raja Beton Indonesia	Mendapatkan hasil penurunan biaya penggantian komponen mesin <i>batching plant</i>	<i>Preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i>	Didapatkan biaya yang lebih murah dibanding dengan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan pada <i>corrective maintenance</i>
(Ahmad Zamawi Ghozali et al., 2023)	Usulan Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode <i>Modularity Design</i> Pada PT. Varia Usaha Beton	Mendapatkan hasil penurunan biaya penggantian komponen mesin <i>batching plant</i>	<i>Preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i>	Didapatkan biaya yang dikeluarkan lebih kecil dibandingkan dengan total perawatan pada perusahaan dengan efisiensi sebesar 24,12%

(Yulius & Susanto, 2020)	Usulan Biaya <i>Preventive Maintenance</i> Dengan Menggunakan Metode <i>Modularity Design</i> Pada Mesin <i>Ripple Mill</i> Di PT. Incasi Raya Pom	Mendapatkan hasil penurunan biaya penggantian komponen pada mesin <i>ripple mill</i>	<i>Preventive maintenance</i> dengan <i>modularity design</i>	Pergantian <i>preventive</i> dengan <i>modularity</i> menghasilkan total <i>cost</i> yang paling kecil dibandingkan dengan yang lain.
--------------------------	--	--	---	---

