

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

##### **2.1.1 Konsep Kinerja pada Produksi**

Dalam kegiatan proses produksi, mesin berperan sebagai alat utama yang digunakan sebagai alat dalam mengolah bahan baku menjadi produk jadi. Kinerja mesin menjadi salah satu indikator utama dalam menilai efisiensi serta tingkat *output* dari sistem manufaktur. Penilaian pada kinerja mesin sangat perlu memperhatikan kemampuan dari peralatan untuk mempertahankan fungsi operasionalnya secara konsisten selama kegiatan operasional produksi berlangsung. Hal ini tidak hanya berkaitan dengan kemampuan produksi, melainkan cerminan tingkat keandalan serta keberlangsungan operasional mesin (Ramadhan & Pratama, 2025).

Kinerja mesin yang baik dapat dicapai apabila mesin tersebut mampu melakukan proses produk dengan baik, dan tidak ditemukan hambatan selama periode waktu yang telah ditentukan. Selain itu, mesin dapat berfungsi sesuai dengan kecepatan dan juga dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan standar kualitas yang telah ditentukan. Sebaliknya, ketika mesin mengalami gangguan atau terjadi keterlambatan, proses produksi dapat terhenti dan dampaknya dapat mempengaruhi produktivitas perusahaan. Dengan demikian, kinerja mesin menjadi faktor utama yang sangat berpengaruh terhadap jalannya kegiatan produksi dalam sebuah perusahaan (Dhuha & Sunjaya Stepanus Pamungkas Sitorus, 2023).

Pada perusahaan yang bergerak dalam industri semen, salah satu mesin yang digunakan dalam melakukan produksi adalah mesin *Vertical Cement Mill*. Dimana, *Vertical Cement Mill* merupakan tahap terakhir dalam rangkaian proses pembuatan semen. Pada tahap ini, klinker yang telah melalui proses pendinginan akan digiling menggunakan mesin penggiling (*grinding*) pabrik semen, kemudian dicampur dengan sedikit gipsium beserta batu kapur. Hasil akhirnya berupa semen dengan tekstur yang sangat halus, yang kemudian disimpan dalam *cement silo* (Yurinda et al., 2022).

### 2.1.2 Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan merupakan elemen krusial dalam industri manufaktur, dan memiliki tingkat kepentingan yang setara dengan fungsi utama lainnya, seperti proses produksi. Perawatan merupakan bagian yang mendukung dalam berbagai aktivitas, sehingga sama seperti perawatan harus dilakukan secara efektif dan efisien. Penerapan kegiatan perawatan secara terencana diperlukan untuk menjaga kondisi peralatan agar tetap mendukung kebutuhan operasional selama proses produksi berlangsung. Melalui kegiatan perawatan, mesin/peralatan produksi dapat digunakan secara optimal serta minim dari kerusakan selama jangka waktu tertentu yang telah direncanakan tercapai (Nasution et al., 2021).

Perawatan merupakan tindakan pencegahan yang ditunjukkan untuk menekan potensi kerusakan serta menjamin keandalan dan kesiapan operasional. Kegiatan pemeliharaan dapat mencakup pemeliharaan fasilitas seperti pada mesin dan peralatan, serta melakukan kegiatan perbaikan, penyesuaian, maupun penggantian komponen guna menjaga kualitas hasil produksi (Patria Adhistian, 2023). Adapun manfaat dari suatu kegiatan perawatan (*maintenance*), yaitu: (Muhaemin & Nugraha, 2022)

1. Kegiatan yang dapat dilakukan secara berkelanjutan, dan dapat dijadikan sebagai agenda utama dalam kegiatan operasi, baik dalam bidang manufaktur ataupun jasa, khususnya bagi perusahaan dengan mesin yang beroperasi sepanjang waktu.
2. Mesin ataupun peralatan lain yang dimiliki menjadi salah satu aset yang telah diperhitungkan jangka panjang sehingga diperlukan sebuah ketahanan yang optimal dalam proses produksi.
3. Upaya dalam meningkatkan kapasitas mesin karena perbaikan berkelanjutan, sehingga produk yang telah selesai tidak akan diproses ulang lagi, dan kapasitas akan terus bertambah.
4. Dengan peningkatan kapasitas, tingkat persediaan bahan baku akan cenderung berkurang, yang pada akhirnya membantu menjaga kondisi penyimpanan tetap stabil dan optimal.
5. Kerusakan berat yang terjadi pada mesin ataupun fasilitas produksi lain dapat dihindari, kondisi ini dicapai melalui penerapan pemeliharaan sistematis yang memungkinkan deteksi dini terhadap potensi kegagalan.

6. Biaya operasi akan menjadi lebih rendah, karena kapasitas meningkat dan persediaan rendah, maka membuat biaya operasi akan menjadi lebih rendah, sehingga tidak diperlukan tambahan biaya akibat proses pengerjaan ulang.
7. Produktivitas cenderung meningkat, apabila efisiensi biaya operasional dapat dicapai, dengan asumsi jumlah *output* yang dihasilkan tetap stabil.

Secara umum kegiatan perawatan dalam suatu kegiatan industri dibagi atas 2 (dua) jenis, yaitu: (Muhaemin & Nugraha, 2022)

1. Perawatan yang direncanakan (*Planned Maintenance*)

Perawatan terencana merupakan suatu kegiatan perawatan/perawatan yang dilakukan berdasarkan rencana yang sebelumnya telah disusun. Perawatan perbaikan ini dilakukan berdasarkan hasil produk yang tidak sesuai rencana, baik dari segi kualitas, biaya, maupun ketepatan waktu. Dalam implementasinya, perawatan terencana disusun melalui pendekatan yang sistematis dengan mengacu pada analisis data historis kerusakan, tingkat keandalan (*reliability*), serta karakteristik operasional peralatan. Pendekatan ini memungkinkan kegiatan pemeliharaan dilaksanakan secara terstruktur dan terjadwal, sehingga tidak hanya berfokus pada tindakan korektif, tetapi juga mengedepankan upaya preventif. Dengan demikian, perawatan terencana berperan dalam meningkatkan kinerja dan ketersediaan peralatan (*availability*), menjaga konsistensi mutu hasil produksi, serta mengoptimalkan efisiensi biaya pemeliharaan dalam jangka panjang.

2. Perawatan yang tidak direncanakan (*Unplanned Maintenance*)

Perawatan yang tidak terencana merupakan jenis perawatan yang berdasarkan pada informasi atau perintah mengenai tahapan dalam proses manufaktur, dan adanya ketidaksesuaian. Perawatan ini menjadi kegiatan yang dilakukan untuk mengatasi masalah yang terjadi secara tiba-tiba dan memiliki potensi yang dapat menimbulkan dampak yang lebih parah. Secara konseptual, perawatan tidak terencana dikategorikan sebagai tindakan pemeliharaan korektif yang dilaksanakan setelah terjadinya kegagalan fungsi atau penyimpangan kinerja peralatan. Pelaksanaannya cenderung tidak terjadwal dan dipengaruhi oleh tingkat urgensi kerusakan yang terjadi. Kondisi tersebut berimplikasi pada terganggunya kontinuitas proses

produksi, meningkatnya risiko kerusakan lanjutan, serta bertambahnya beban biaya akibat kebutuhan perbaikan yang bersifat mendesak. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme pengendalian yang memadai, seperti sistem deteksi dini dan prosedur respons cepat, guna mengurangi frekuensi serta dampak dari perawatan tidak terencana.

Selain itu, kegiatan perawatan yang dilakukan dalam kegiatan industri juga memiliki 2 (Dua) jenis utama, sebagai berikut: (Muhaemin & Nugraha, 2022)

1. *Preventive maintenance*

Perawatan preventif merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan guna mengantisipasi terjadinya kerusakan yang dapat diprediksi, serta untuk mendeteksi kondisi maupun situasi yang berpotensi menyebabkan mesin/peralatan tidak berfungsi dengan baik. Dalam implementasinya, *preventive maintenance* yang diterapkan oleh perusahaan umumnya diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama, yaitu *routine maintenance* dan *periodic maintenance*. Secara konseptual, perawatan preventif tersebut dapat dibedakan menjadi perawatan rutin dan pemeliharaan berkala. Perawatan rutin merupakan kegiatan perawatan yang dilaksanakan secara konsisten, sedangkan perawatan berkala dilakukan berdasarkan interval waktu tertentu, seperti harian, mingguan, maupun bulanan. Sedangkan, perawatan rutin didefinisikan sebagai aktivitas perawatan yang dilakukan secara berkesinambungan berdasarkan periode waktu yang telah ditetapkan, seperti mingguan, bulanan, hingga tahunan. Selain itu, pemeliharaan preventif dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori, salah satunya adalah pemeliharaan berkelanjutan, yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan selama proses produksi masih berlangsung.

2. *Corrective Maintenance*

*Corrective maintenance* didefinisikan sebagai kegiatan perawatan yang dilaksanakan setelah peralatan mengalami kerusakan sehingga tidak mampu berfungsi secara optimal. Penerapan kebijakan yang hanya menitikberatkan pada *corrective maintenance* tanpa didukung oleh *preventive maintenance* berpotensi menimbulkan gangguan hingga penghentian proses produksi, terutama apabila terjadi kerusakan mendadak pada fasilitas produksi yang digunakan. Dalam perspektif manajemen pemeliharaan, *corrective maintenance* menitikberatkan pada tindakan perbaikan

guna mengembalikan fungsi peralatan ke kondisi operasionalnya. Pelaksanaannya yang bersifat tidak terencana menyebabkan adanya ketidakpastian dalam waktu perbaikan serta penggunaan sumber daya. Oleh karena itu, pendekatan ini perlu dikendalikan secara sistematis agar dampaknya terhadap efisiensi produksi dan keandalan peralatan dapat diminimalkan.

### 3. *Predictive Maintenance*

*Predictive Maintenance* merupakan suatu pendekatan pemeliharaan yang berbasis kondisi (*condition-based maintenance*) dengan memanfaatkan teknik prediktif untuk menentukan waktu pelaksanaan perawatan secara optimal. Pendekatan ini didasarkan pada aktivitas pemantauan kondisi peralatan secara kontinu, sehingga tindakan pemeliharaan dapat dilakukan secara tepat berdasarkan kebutuhan aktual sistem. Metode ini memungkinkan dilakukannya deteksi dini terhadap potensi kegagalan melalui pemanfaatan berbagai teknik prediksi, seperti analisis data historis (termasuk penerapan *machine learning*), evaluasi integritas fisik komponen (meliputi kondisi visual, tingkat keausan, serta perubahan karakteristik warna), penggunaan metode statistika inferensial, serta pendekatan rekayasa lainnya. Dengan demikian, *predictive maintenance* berperan dalam meningkatkan keandalan sistem sekaligus mengurangi risiko terjadinya kegagalan yang tidak terencana.

Berdasarkan uraian diatas, manajemen perawatan menjadi salah satu pendekatan yang sangat sistematis dalam memastikan mesin-mesin yang digunakan dalam kegiatan produksi tetap menjalankan fungsinya dengan baik. Pelaksanaan perawatan perlu diarahkan sesuai dengan kondisi peralatan agar fungsi mesin dapat dipertahankan selama digunakan pada kegiatan produksi. Pengelolaan kegiatan perawatan sangat diperlukan guna mengantisipasi gangguan yang berpotensi menghambat jalannya proses produksi. Manajemen perawatan bertujuan meminimalkan adanya gangguan serta waktu henti (*downtime*) yang menghambat operasional, sekaligus meningkatkan produktivitas dan mendukung keselamatan kerja serta kelancaran proses produksi (Purwanto et al., 2025).

### 2.1.3 *Downtime* (Waktu Henti)

*Downtime* merupakan suatu kondisi dimana mesin atau peralatan tidak dapat menjalankan fungsi operasionalnya sebagaimana mestinya, sehingga aktivitas produksi mengalami penghentian, baik yang disebabkan oleh gangguan teknis maupun kondisi tertentu yang tidak direncanakan. Salah satu bentuk *downtime* adalah *breakdown*, yaitu kondisi ketika mesin mengalami kerusakan pada saat proses produksi berlangsung sehingga tidak mampu beroperasi secara normal dan memerlukan tindakan pemeriksaan serta perbaikan oleh *personel maintenance*. Dengan demikian, *breakdown* dapat dipahami sebagai bentuk penghentian operasi yang terjadi akibat kegagalan atau kerusakan peralatan yang menghambat mesin dalam menjalankan fungsi produksinya (Tammya & Herwanto, 2021).

Dalam pengukuran kinerja peralatan, penentuan *Downtime* harus dilakukan secara konsisten karena klasifikasi status waktu yang dapat memengaruhi nilai produktivitas. Pentingnya klasifikasi status peralatan secara tidak ambigu dalam penerapan OEE, karena perbedaan definisi terhadap elemen waktu dapat menghasilkan perbedaan nilai indikator yang signifikan (Schiraldi & Varisco, 2020). Waktu henti (*downtime*) dapat dibedakan menjadi *planned downtime* dan *unplanned downtime*. *Planned downtime* didefinisikan sebagai waktu penghentian yang telah direncanakan sebelumnya sehingga dikeluarkan dari waktu produksi yang direncanakan atau *loading time*. Sebaliknya, *unplanned downtime* didefinisikan sebagai penghentian yang tidak direncanakan akibat gangguan atau kegagalan peralatan dan secara langsung mengurangi waktu operasi aktual. Waktu produksi aktual diperoleh dengan mengurangi waktu produksi terencana dengan *unscheduled downtime* akibat gangguan peralatan (Park & Hur, 2020).

Dengan demikian, *planned downtime* tidak secara langsung diperlakukan sebagai kehilangan waktu ketersediaan mesin karena telah dikeluarkan dari *loading time*, sedangkan *unplanned downtime* menjadi waktu kehilangan yang mengurangi *operation time*. Pemisahan tersebut penting agar *downtime* tidak dihitung ganda dalam analisis efektivitas mesin. Identifikasi, pengukuran, dan juga pengendalian *downtime* menjadi prioritas utama dalam menentukan strategi peningkatan produktivitas. Permasalahan *downtime* menunjukkan bahwa keterlibatan operator dalam aktivitas pemeliharaan yang

selama ini masih menjadi tanggung jawab penuh teknisi *maintenance* sangat penting (Purnama Sari Dewi & Rayhany Zuhri, 2025).

#### **2.1.4 Overall Equipment Effectiveness (OEE)**

Analisis OEE menjadi salah satu pendekatan yang digunakan dalam menilai tingkat efektivitas mesin atau sistem dengan memperhitungkan beberapa komponen utama dalam proses perhitungannya. Selain itu, OEE dapat memberikan gambaran bagaimana alat bekerja dan memberikan perhitungan yang tepat guna mengetahui kinerja mesin atau peralatan yang digunakan. Pengukuran efektivitas melalui analisis OEE dapat membantu memberikan gambaran mengenai kondisi operasional peralatan selama proses produksi berlangsung. Keakuratan OEE dalam mengukur efektivitas dapat memberikan peluang bagi semua perusahaan khususnya dapat diterapkan di bidang manufaktur, sehingga dapat melakukan usaha perbaikan untuk proses tersebut (Kurniawan & Prihatiningsih, 2021).

Adapun tujuan akhir dari penggunaan OEE ini yaitu memaksimalkan tingkat efektivitas dari sebuah mesin/peralatan yang digunakan. Melalui pengukuran tersebut, kondisi efektivitas peralatan dapat diketahui berdasarkan kehilangan yang terjadi selama proses operasional. OEE juga menjadi salah satu cara dalam mengukur kerugian akibat gangguan produksi, dengan melakukan eliminasi enam kerugian besar atau yang biasa disebut dengan *six big losses* yang menjadi faktor penyebab kegagalan operasi suatu mesin/peralatan (Zulfatri et al., 2020). Terdapat 3 (tiga) rasio utama yang digunakan guna memperoleh nilai OEE, yaitu: (Bagus et al., 2025)

##### **1. Availability**

*Availability* (ketersediaan) dapat diartikan sebagai sebuah perbandingan yang menggambarkan seberapa besar durasi yang dimanfaatkan guna menjalankan aktivitas operasional mesin atau peralatan. Dalam kajian OEE, *availability* merepresentasikan tingkat kesiapsiagaan peralatan dalam memenuhi waktu operasi yang telah direncanakan. Pengukurannya didasarkan pada rasio antara waktu operasi efektif terhadap waktu produksi terjadwal, dengan mempertimbangkan pengaruh *Downtime* yang terjadi. Oleh karena itu, parameter ini berperan penting dalam mengevaluasi keandalan operasional serta efektivitas pemanfaatan waktu produksi. Adapun rumus dalam menentukan nilai ketersediaan, yaitu:

$$Availability = \frac{Operation\ Time}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (2.1)$$

a. *Loading Time*

Durasi yang tersedia setiap hari maupun setiap bulan yang kemudian dikurangi oleh durasi waktu henti pada peralatan yang telah dijadwalkan sebelumnya (*planned downtime*). Secara konseptual, *loading time* merepresentasikan alokasi waktu produksi bersih yang menjadi dasar dalam analisis ketersediaan peralatan. Penetapannya dilakukan dengan mengeliminasi waktu henti terencana, sehingga diperoleh waktu yang relevan untuk aktivitas operasional. Oleh karena itu, parameter ini memiliki peran penting dalam memastikan ketepatan perhitungan OEE serta dalam mengevaluasi efektivitas pemanfaatan waktu produksi. Adapun formula dari waktu pembebanan (*loading time*), yaitu:

$$Loading\ Time = available\ time - planned\ downtime \quad (2.2)$$

b. *Operation Time*

Selisih yang didapatkan dari waktu loading setelah dikurang dengan durasi mesin/peralatan yang tidak beroperasi. Secara teoritis, *operation time* merepresentasikan durasi operasional aktual yang digunakan oleh peralatan dalam menjalankan proses produksi. Nilai ini diperoleh setelah mengurangi waktu henti, khususnya yang bersifat tidak terencana, dari *loading time*. Dengan demikian, parameter ini berfungsi sebagai indikator dalam menilai tingkat utilisasi efektif peralatan terhadap waktu produksi yang tersedia. Adapun formula untuk *operation time*, yaitu:

$$Operation\ Time = loading\ time - unplanned\ downtime \quad (2.3)$$

2. *Performance*

*Performance* didefinisikan sebagai perbandingan yang menunjukkan tingkat kemampuan mesin/peralatan dalam menghasilkan suatu barang atau hasil produksi. Secara teoritis, *performance* merepresentasikan tingkat efisiensi kinerja peralatan dengan membandingkan *output* aktual terhadap kapasitas produksi ideal yang dapat dicapai. Nilainya mencerminkan sejauh mana peralatan beroperasi pada kondisi

optimal, dengan mempertimbangkan adanya penurunan kecepatan maupun gangguan minor selama proses produksi. Oleh karena itu, parameter ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas pemanfaatan waktu operasi dalam menghasilkan *output* yang maksimal. Adapun formula dalam pengukuran *performance*, yaitu: (Tammya & Herwanto, 2021)

$$Performance = \frac{\text{Jumlah Produksi} \times \text{Waktu Siklus}}{\text{Operation Time}} \times 100\% \quad (2.4)$$

### 3. *Quality*

*Quality* merupakan ukuran yang digunakan guna mengevaluasi sejauh mana mesin atau peralatan mampu menghasilkan produk yang memenuhi standar kualitas. Secara konseptual, indikator ini merefleksikan proporsi *output* yang sesuai dengan spesifikasi dibandingkan dengan total hasil produksi. Nilai *quality* yang tinggi menunjukkan tingkat kesesuaian produk yang optimal, sedangkan nilai yang rendah mengindikasikan adanya deviasi kualitas yang dapat memengaruhi efektivitas proses produksi. Oleh karena itu, parameter ini penting dalam menilai konsistensi mutu serta sebagai dasar dalam upaya peningkatan kualitas secara berkelanjutan. Adapun rumus dalam perhitungan *quality*, yaitu: (Tammya & Herwanto, 2021)

$$Quality Ratio = \frac{\text{Jumlah Produksi} - \text{Reject}}{\text{Jumlah Produksi}} \times 100\% \quad (2.5)$$

### 4. Perhitungan OEE

Setelah mengetahui nilai-nilai dari tiga kategori utama, selanjutnya nilai OEE dapat diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan formula, yaitu:

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (2.6)$$

Analisis hasil dari perhitungan OEE disesuaikan dengan *World Class Standard* yang sebelumnya telah ditentukan oleh Seiichi Nakajima dalam literatur *Japan Institute of Plant Maintenance*, sebagai berikut:

**Tabel 2. 1** Standar *World Class* OEE

| Kategori            | <i>World Class Standard</i> |
|---------------------|-----------------------------|
| <i>Availability</i> | ≥90%                        |
| <i>Performance</i>  | ≥95%                        |

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| <b>Quality Rate</b>                    | $\geq 99\%$ |
| <b>Overall Equipment Effectiveness</b> | $\geq 85\%$ |

Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) juga memiliki tingkat klasifikasi yang berbeda-beda diantaranya sebagai berikut: (Syahfudin et al., 2022)

**Tabel 2. 2** Tingkat Klasifikasi nilai OEE

| Persentase Nilai OEE         | Keterangan           |
|------------------------------|----------------------|
| <b>OEE &gt; 95%</b>          | Unggul               |
| <b>85% &lt; OEE &lt; 95%</b> | Bagus                |
| <b>75% &lt; OEE &lt; 85%</b> | Diterima             |
| <b>65% &lt; OEE &lt; 75%</b> | Standar              |
| <b>OEE &lt; 65%</b>          | Tidak Dapat Diterima |

1.  $OEE < 65\%$  menunjukkan efektivitas peralatan masih sangat rendah, dan mengindikasikan adanya kerugian yang signifikan serta tingkat daya saing perusahaan yang rendah.
2.  $65\% < OEE < 75\%$  menunjukkan kinerja peralatan berada pada tingkat standar dan memerlukan upaya perbaikan.
3.  $75\% < OEE < 85\%$  menunjukkan efektivitas peralatan telah berada pada tingkat yang dapat diterima, namun peningkatan kinerja tetap diperlukan agar nilai mencapai 85% untuk standar kelas dunia.
4.  $85\% < OEE < 95\%$  menunjukkan tingkat efektivitas peralatan yang baik dan telah mencapai *world-class*.
5.  $OEE > 95\%$  menunjukkan tingkat efektivitas peralatan yang sangat tinggi, yang mencerminkan pencapaian kinerja kelas dunia dengan tingkat daya saing yang sangat unggul.

#### **2.1.5 Six Big Losses**

*Six big losses* merupakan salah satu pendekatan yang digunakan sebagai kerangka analitis untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi faktor-faktor dominan yang berkontribusi terhadap rendahnya nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) pada suatu mesin. Melalui pendekatan ini, dilakukan pengukuran serta analisis kuantitatif terhadap tingkat kontribusi masing-masing jenis kerugian. Adapun komponen kerugian yang dianalisis meliputi *breakdown losses*, *setup and adjustment losses*, *idling and minor*

*stoppage losses, reduced speed losses, process defect losses, serta yield/scrap losses* yang diuraikan sebagai berikut: (Novendria & Hartini, 2025)

### 1. *Breakdown Losses*

Kerugian ini muncul sebagai akibat dari terjadinya kerusakan atau kegagalan fungsi pada mesin, yang menyebabkan mesin tidak mampu beroperasi sesuai dengan kondisi normal, sehingga mengganggu kelancaran dan kontinuitas proses produksi. *Breakdown losses* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: (Wahid et al., 2022)

$$\text{Breakdown Losses} = \frac{\text{Total Downtime}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (2.7)$$

### 2. *Setup and Adjustment Losses*

Kerugian ini timbul sebagai konsekuensi dari berkurangnya waktu produksi akibat pelaksanaan aktivitas penyesuaian dan proses *setup* yang dilakukan oleh operator mesin. Kegiatan pergantian dari satu jenis produk ke produk lainnya diklasifikasikan sebagai bagian dari *setup and adjustment*. Adapun persamaan yang dapat digunakan, sebagai berikut:

$$\text{Setup and Adjustment Losses} = \frac{\text{Total Setup and adjustment loss}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (2.8)$$

### 3. *Idling and minor stoppage Losses*

Kerugian ini timbul sebagai akibat dari kondisi mesin yang berada dalam keadaan tidak beroperasi (*idle*) yang disebabkan oleh adanya gangguan pada suatu tahapan proses, sehingga menghambat kelangsungan proses lainnya. *Minor stoppages* didefinisikan sebagai penghentian operasi peralatan dalam durasi yang relatif singkat akibat gangguan yang bersifat sementara. Adapun persamaan yang dapat digunakan, sebagai berikut:

$$\text{Idling and Minor Stoppage Losses} = \frac{\text{Non Productive Time}}{\text{Loading time}} \times 100\% \quad (2.9)$$

#### 4. *Reduced Speed Losses*

Kerugian ini timbul sebagai akibat dari pengoperasian mesin pada tingkat kecepatan yang berada di bawah kapasitas optimal yang telah ditentukan pada tahap perancangan. Kondisi tersebut mengakibatkan penurunan efektivitas kinerja mesin dalam menghasilkan *output*. Adapun persamaan yang digunakan, sebagai berikut: (Iqbal Yamin et al., 2025)

$$Reduce\ Speed\ Losses = \frac{Operating\ Time - (Ideal\ Cycle\ Time \times Total\ Product\ Process)}{Loading\ time} \times 100\% \quad (2.10)$$

$$Reduce\ Speed\ Losses = 100\% - Performance\ Rate \quad (2.11)$$

#### 5. *Process Defect Losses*

Produk yang dihasilkan dengan tingkat ketidaksesuaian terhadap standar kualitas akibat ketidaksempurnaan proses produksi memerlukan tindakan perbaikan ulang (*rework*) serta berpotensi menghasilkan scrap. Kerugian yang timbul dari aktivitas tersebut, baik dalam bentuk tambahan biaya tenaga kerja maupun waktu yang diperlukan untuk melakukan pengolahan ulang atau perbaikan produk cacat, diklasifikasikan sebagai bagian dari *process defect*. Adapun persamaan yang digunakan, sebagai berikut:

$$Defect\ Losses = \frac{Total\ Reject \times Ideal\ Cycle\ Time}{Loading\ time} \times 100\% \quad (2.12)$$

#### 6. *Yield/Scrap Losses*

Kerugian ini muncul pada tahap awal proses produksi ketika kondisi operasional belum mencapai keadaan yang stabil. Selama periode transisi tersebut, yaitu sejak proses dimulai hingga tercapainya kestabilan operasi, produk yang dihasilkan cenderung tidak memenuhi spesifikasi kualitas yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, hasil produksi pada fase ini dikategorikan sebagai *yield loss*. Adapun persamaan yang digunakan, sebagai berikut:

$$Yield/Scrap\ Losses = \frac{Ideal\ cycle\ time \times scrap}{loading\ time} \times 100\% \quad (2.13)$$

### 2.1.6 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan salah satu pendekatan perawatan terstruktur guna mengetahui jenis perawatan yang diperlukan mesin/peralatan dalam operasionalnya (Fadillah & Fitriani, 2025). RCM mengutamakan pada perawatan sebelum terjadi kerusakan agar masalah yang sering terjadi bisa dihindari. Penerapan RCM berfungsi sebagai sarama dalam menentukan strategi perawatan yang paling efektif dalam menjaga performa mesin agar tetap berjalan secara optimal (Widyaningrum & Winati, 2022).

Dengan menggunakan pendekatan RCM, informasi akan langkah-langkah harus dilakukan agar memastikan mesin ataupun peralatan dapat beroperasi dan bekerja secara optimal. Selain itu, manfaat menggunakan pendekatan ini adalah kemampuan meningkatkan kegiatan perawatan secara lebih efektif karena dapat mengurangi waktu mesin tidak beroperasi, sehingga waktu penggunaan suatu mesin/peralatan bisa digunakan dengan lebih efisien. Manfaat lain dari pendekatan ini yaitu mampu mengarahkan kegiatan pemeliharaan mesin/peralatan pada komponen yang paling penting (Azhari et al., 2024).

Dalam penerapannya, analisis RCM memiliki 7 (tujuh) tahap, yang meliputi: (Wibowo et al., 2021)

#### 1. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi

Tahapan ini disusun dengan mengacu pada sejumlah kriteria yang berkaitan dengan aspek keselamatan dan lingkungan, yakni sebagai berikut:

- a. Sistem yang memiliki perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) atau biaya perawatan pencegahan yang tinggi.
- b. Sistem yang memiliki tindakan perbaikan segera (*corrective maintenance*) beserta biayanya yang tinggi.
- c. Sistem yang berperan penting dalam menyebabkan gangguan total atau sebagian (*shutdown*) dalam pengumpulan informasi yang berfungsi untuk memahami lebih dalam tentang sistem tersebut beserta cara kerjanya.

#### 2. Pendefinisian Batas Sistem

Definisi dari batas sistem digunakan untuk menentukan apa saja yang termasuk dan tidak termasuk dalam sistem yang dianalisis dengan menggunakan metode RCM.

Definisi ini menjelaskan apa saja yang menjadi masukan dan keluaran dari sistem tersebut. Proses penetapan batas sistem dilakukan secara konseptual dengan menetapkan ruang lingkup analisis berdasarkan keterkaitan fungsional antar komponen yang relevan. Penegasan batas ini penting untuk menjaga konsistensi dalam proses identifikasi fungsi dan kegagalan, serta untuk menghindari bias akibat masuknya elemen di luar sistem yang dikaji. Dengan demikian, hasil analisis yang diperoleh menjadi lebih valid, terfokus, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3. Deskripsi Sistem dan *Functional Block Diagram*

Deskripsi sistem pada pendekatan ini diperlukan guna memberikan pemahaman mengenai komponen yang terdapat dalam sistem serta mekanisme kerja pada masing-masing bagian. Selain itu, penggunaan diagram blok fungsional bertujuan dalam mengidentifikasi sistem secara lebih detail sekaligus menggambarkan alur fungsi yang terjadi pada sistem tersebut.

4. Fungsi Sistem dan Kegagalan Fungsi

Fungsi sistem merupakan kemampuan yang diinginkan agar sistem dapat bekerja secara optimal. Adapun kegagalan fungsi dapat didefinisikan sebagai suatu kondisi di mana suatu komponen atau sistem tidak mampu mencapai standar prestasi yang sebelumnya telah ditentukan. Dimana, fungsi merupakan sebuah standar akan tingkat kerja mesin yang diinginkan dan juga seberapa baik mesin dapat berjalan sesuai dengan standar kinerja yang telah ditentukan.

5. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

*Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan sebuah pendekatan terstruktur guna mengidentifikasi serta mencegah berbagai permasalahan yang berpotensi terjadi pada produk maupun proses permasalahan tersebut. FMEA dapat menjadi bagian guna mencari tahu berbagai kemungkinan-kemungkinan kegagalan yang dapat menyebabkan suatu fungsi tidak berjalan dengan baik, serta dapat memastikan bagaimana pengaruh dari setiap kegagalan tersebut. FMEA dilakukan dengan menghitung *Risk Priority Number* (RPN) yang berdasarkan pada kriteria tingkat keparahan (*severity*), probabilitas (*occurrence*), dan deteksi (*detection*).

#### 6. *Logic Tree Analysis (LTA)*

*Logic Tree Analysis (LTA)* bertujuan untuk menentukan tingkat prioritas terhadap setiap mode kegagalan serta melakukan evaluasi terhadap fungsi dan kegagalan fungsi sehingga kondisi setiap mode kegagalan menjadi berbeda. Tabel *Logic Tree Analysis (LTA)* berisi informasi mengenai jumlah dan jenis kesalahan serta bagaimana kesalahan tersebut terjadi, analisis mengenai tingkat keparahannya, serta berisi informasi tambahan lain yang mungkin nantinya akan diperlukan (Azhari et al., 2024). Evaluasi kekritisitas dalam LTA melibatkan berbagai faktor, yang meliputi: (Simanungkalit et al., 2023)

- 1) *Evident*, yaitu apakah operator dapat mendeteksi secara langsung ketika terjadi gangguan pada sistem mesin. Aspek ini dievaluasi untuk menilai tingkat visibilitas kegagalan dalam kondisi operasi normal. Dengan demikian, dapat ditentukan sejauh mana suatu gangguan dapat teridentifikasi secara cepat guna mendukung pengambilan tindakan yang tepat.
- 2) *Safety*, yaitu apakah mode kegagalan tersebut berpotensi menimbulkan bahaya terhadap keselamatan kerja. Aspek ini dianalisis guna menilai tingkat risiko terhadap keselamatan kerja yang mungkin timbul akibat kegagalan sistem. Dengan pendekatan ini, potensi bahaya dapat diidentifikasi secara sistematis, sehingga memungkinkan perencanaan tindakan mitigasi yang efektif untuk meminimalkan risiko terhadap operator dan lingkungan kerja.
- 3) *Outage*, yaitu apakah mode kegagalan tersebut menyebabkan mesin berhenti sebagian atau secara keseluruhan. Faktor ini bertujuan guna menilai sejauh mana kegagalan memengaruhi kontinuitas operasi mesin. Pemahaman terhadap potensi penghentian sebagian maupun total memungkinkan perencanaan tindakan mitigasi yang lebih tepat, sehingga gangguan produksi dapat diminimalkan dan kinerja sistem tetap terjaga secara optimal.
- 4) *Category*, yaitu pengelompokan komponen yang dilakukan berdasarkan tingkat kekritisitas setelah dilakukan analisis sebelumnya. Pengelompokan ini dilakukan untuk mempermudah penentuan prioritas dalam perencanaan perawatan, dengan menekankan perhatian pada komponen yang memiliki dampak paling signifikan terhadap kinerja sistem dan keselamatan operasional. Selain itu, klasifikasi ini

juga membantu dalam pengalokasian sumber daya secara efisien serta mendukung strategi pemeliharaan yang lebih terfokus dan efektif. Dimana, hasil pengkategorian tersebut terdiri atas 4 (empat) indikator, yaitu:

- a) *Category A (safety problem)*, komponen yang memiliki potensi untuk menimbulkan bahaya terhadap keselamatan operator serta berdampak negatif pada lingkungan.
- b) *Category B (outage problem)*, komponen yang memiliki kemungkinan menimbulkan kegagalan pada seluruh sistem atau pada sebagian subsistem.
- c) *Category C (economic problem)*, komponen yang berkemungkinan menyebabkan kegagalan pada seluruh sistem maupun sebagian bagiannya, sekaligus menimbulkan kerugian perusahaan akibat penurunan efektivitas atau kinerja fungsional komponen tersebut.
- d) *Category D (hidden failure)*, komponen yang mengalami penurunan fungsi secara tidak terdeteksi dan sulit diamati oleh operator, karena posisinya tersembunyi dari jangkauan pandangan langsung.

#### 7. *Task Selection*

Tahap terakhir pada proses analisis *Reliability Centered Maintenance* (RCM), yaitu pemilihan tindakan. Dimana, pada tahap ini ditentukan beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan terkait dengan kegagalan tersebut. Tahap ini mencakup proses penilaian secara sistematis terhadap berbagai alternatif kebijakan pemeliharaan dengan mempertimbangkan pola kegagalan, tingkat kritisitas, serta konsekuensi operasional yang ditimbulkan. Pemilihan tindakan dilakukan dengan mengacu pada prinsip efektivitas dan efisiensi, sehingga strategi yang ditetapkan mampu meningkatkan keandalan sistem sekaligus menekan potensi kerugian. Selain itu, aspek implementatif seperti ketersediaan sumber daya, kemudahan penerapan, dan kesinambungan program pemeliharaan turut menjadi dasar dalam menetapkan keputusan yang paling rasional.

Pemilihan *task selection* dilakukan berdasarkan hasil identifikasi dan evaluasi kegagalan melalui FMEA dan LTA. Hasil FMEA digunakan untuk mengetahui mode kegagalan, penyebab, dampak, dan tingkat prioritas kegagalan, sedangkan LTA digunakan untuk mengidentifikasi konsekuensi dari setiap mode kegagalan. Hasil

kedua analisis tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam menentukan tindakan pemeliharaan yang sesuai dengan karakteristik masing-masing kegagalan (Kusnadi et al., 2020).

#### **2.1.7 Reliability (Keandalan)**

*Reliability* atau keandalan merupakan kondisi ketika sebuah sistem, mesin, maupun komponen mampu bekerja selama periode tertentu sesuai kondisi operasional yang sudah ditentukan, tanpa mengalami gangguan fungsi maupun kerusakan. Kegiatan perawatan suatu mesin/peralatan tidak dapat luput dari pembicaraan tentang keandalan (*reliability*). Dimana, suatu keandalan menjadi salah satu alat perbandingan akan keberhasilan dari suatu sistem perawatan, dan juga keandalan dapat digunakan sebagai penentu penjadwalan perawatan (Simanungkalit et al., 2023).

Berdasarkan definisi, keandalan (*reliability*) dapat dikelompokkan menjadi 5 (lima) komponen utama, yaitu: (Mulyono Putro et al., 2019)

1. Probabilitas, merupakan salah satu bagian utama, yang meliputi *input* berupa angka yang digunakan untuk mengevaluasi reliabilitas suatu sistem, serta merupakan indeks kuantitatif yang digunakan untuk menilai apakah suatu sistem layak digunakan. Nilai indeks berkisar antara 0-1, dimana indeks dengan angka 0 akan menunjukkan kejadian yang pasti tidak terjadi, sedangkan nilai indeks 1 akan menunjukkan kejadian yang pasti terjadi.
2. Kemampuan yang diharapkan, menunjukkan bahwa syarat untuk menentukan tingkat kepuasan perlu dijelaskan secara jelas. Di mana, masing-masing unit mempunyai standar untuk menetapkan kemampuan yang diharapkan. Dalam perspektif keandalan, kemampuan yang diharapkan merepresentasikan tingkat performa sistem dalam memenuhi fungsi operasional sesuai standar yang telah ditentukan.
3. Tujuan diinginkan, di mana penggunaan mesin atau peralatan perlu dijelaskan secara jelas, karena terdapat berbagai langkah dalam memproduksi sebuah barang konsumen. Penetapan tujuan penggunaan mesin secara jelas berperan penting dalam memastikan setiap peralatan beroperasi sesuai fungsinya dan standar yang ditetapkan.

4. Waktu (*Time*), komponen berkaitan dengan tingkat kerja sistem, sehingga kecepatan atau jadwal dari kerja sistem tersebut dapat ditentukan.
5. Kondisi Pengoperasian, dimana terdapat faktor lingkungan seperti getaran, kelembapan, dan kondisi geografis, menjadi salah satu hal yang mempengaruhi proses pengoperasian. Kondisi pengoperasian yang dipengaruhi oleh lingkungan dapat berdampak signifikan terhadap keandalan mesin, termasuk tingkat keausan komponen dan kestabilan operasional.

### 2.1.8 Fungsi Distribusi Kerusakan

Informasi dasar terkait umur pakai peralatan dalam suatu populasi dapat direpresentasikan melalui distribusi kerusakan. Peralatan dapat mengalami kegagalan melalui berbagai pola. Distribusi *exponential*, *weibull*, normal, dan lognormal merupakan jenis distribusi kerusakan yang umum digunakan karena mampu menggambarkan berbagai fase kegagalan yang berbeda. Adapun uraian dari keempat distribusi kerusakan tersebut adalah sebagai berikut: (Hakim et al., n.d.)

#### 1. Distribusi *Exponential*

Distribusi *Exponential* merupakan salah satu model probabilitas yang paling luas digunakan dalam kajian keandalan sistem. Distribusi ini dicirikan oleh laju kegagalan yang bersifat tetap (konstan) sepanjang waktu. Apabila waktu hingga terjadinya kegagalan (*time to failure*) suatu komponen mengikuti pola distribusi *Exponential*, maka perilaku tersebut dapat direpresentasikan melalui suatu parameter tertentu. Apabila selang waktu antar terjadinya kegagalan dalam suatu sistem mengikuti pola distribusi *Exponential*, maka:

##### a. Fungsi Keandalan Distribusi *Exponential*

$$R(t) = e^{-\lambda(t)} \quad (2.14)$$

##### b. Laju Kegagalan Distribusi *Exponential*

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.15)$$

##### c. Waktu Rata-Rata Kegagalan Distribusi *Exponential*

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

## 2. Distribusi *Weibull*

Selain distribusi *Exponential* yang umum digunakan dalam evaluasi keandalan sistem, distribusi *Weibull* juga banyak diterapkan. Distribusi ini merupakan salah satu model probabilitas yang paling luas diterapkan dalam analisis data kegagalan, karena distribusi *Weibull* memiliki kemampuan untuk merepresentasikan berbagai tahapan kerusakan, yaitu fase kegagalan awal (*early failure*), fase operasi normal, serta fase keausan (*wear out*). Karakteristik masing-masing fase tersebut ditentukan oleh nilai parameter bentuk (*Shape parameter*) pada fungsi distribusi *Weibull*. Adapun fungsi-fungsi yang digunakan pada distribusi *Weibull*, sebagai berikut:

### a. Fungsi Kepadatan Kerusakan

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e \left[ -\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta} \right] \quad (2.17)$$

Dimana untuk  $t > 0$

$\alpha$  = parameter skala dengan  $\alpha > 0$

$\beta$  = parameter bentuk dengan  $\beta > 0$

### b. Fungsi Kumulatif

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e \left[ -\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta} \right] \quad (2.18)$$

### c. Fungsi Keandalan

$$R(t) = e \left[ -\left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta} \right] \quad (2.19)$$

### d. Fungsi Laju Kerusakan

$$r(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \quad (2.20)$$

## 3. Distribusi Normal

Distribusi normal, atau dikenal pula sebagai distribusi Gaussian, merupakan salah satu distribusi probabilitas yang paling banyak digunakan dalam merepresentasikan karakteristik penyebaran data. Fungsi kerapatan probabilitas (*Probability Density*

*Function*/PDF) pada distribusi ini memiliki sifat simetri terhadap nilai rata-rata (*mean*). Derajat penyebaran data di sekitar *mean* diukur menggunakan standar deviasi, sehingga kedua parameter utama dalam distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi. Secara matematis, bentuk PDF dari distribusi normal dapat dinyatakan melalui suatu persamaan tertentu. Adapun persamaan *Probability Density Function* dari distribusi normal, yaitu:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.21)$$

Dimana, apabila selang waktu antar kegagalan pada suatu sistem mengikuti distribusi normal, maka:

a. Fungsi Keandalan Distribusi Normal

$$R(t) = 1 - \Phi \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad (2.22)$$

b. Laju Kegagalan Distribusi Normal

$$\lambda(t) = \frac{\exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2]}{\int_t^{\infty} \exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2] dt} \quad (2.23)$$

#### 4. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal merupakan salah satu bentuk distribusi probabilitas yang memiliki hubungan erat dengan distribusi normal. Suatu variabel waktu hingga kegagalan (*time to failure*) pada komponen dikatakan mengikuti distribusi log normal apabila transformasi logaritmiknya, yaitu  $y = \ln T$  berdistribusi normal dengan parameter berupa nilai rata-rata dan varians  $\sigma$ . Apabila distribusi waktu antar terjadinya kegagalan suatu sistem mengikuti pola lognormal, maka:

a. Fungsi Keandalan Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.24)$$

b. Laju Kegagalan Distribusi Lognormal

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

c. Waktu Rata-Rata Kegagalan Distribusi Lognormal

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.26)$$

### 2.1.9 Mean Time To Repair (MTTR)

*Mean Time to Repair* (MTTR) merupakan parameter yang merepresentasikan nilai rata-rata durasi yang diperlukan untuk memulihkan kondisi komponen atau sistem setelah mengalami kegagalan, yang diturunkan dari distribusi probabilitas waktu perbaikan. Parameter ini berperan dalam proses analisis untuk memperkirakan serta menentukan kebijakan perbaikan ketika terjadi kerusakan. MTTR digunakan untuk menggambarkan kemampuan sistem pemeliharaan dalam melakukan pemulihan fungsi secara efisien setelah terjadinya kegagalan. Nilai MTTR yang dihasilkan menjadi indikator penting dalam menilai kualitas proses perbaikan serta efektivitas pengelolaan sumber daya pemeliharaan. Oleh karena itu, parameter ini berkontribusi dalam mendukung peningkatan kinerja operasional melalui pengurangan waktu henti peralatan. Adapun nilai MTTR untuk masing-masing distribusi dapat disajikan sebagai berikut: (Hakim et al., n.d.)

1. Distribusi *Exponential*

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad (2.27)$$

2. Distribusi *Weibull*

$$MTTR = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.28)$$

Dimana, nilai dari  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$  diperoleh dari  $\Gamma(x)$  = tabel fungsi gamma

3. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad (2.29)$$

4. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad (2.30)$$

### 2.1.10 Mean Time To Failure (MTTF)

*Mean Time To Failure* (MTTF) merupakan indikator perhitungan nilai keandalan yang menggambarkan estimasi durasi rata-rata dalam suatu komponen atau sistem dapat beroperasi secara normal sebelum mengalami kegagalan pertama kali. Dimana, parameter ini mempresentasikan rentang waktu operasional sejak sistem mulai diaktifkan hingga terjadi kerusakan yang menyebabkan sistem tidak dapat lagi menjalankan fungsinya (Haq & Riandadari, 2019). Perhitungan MTTF dilakukan setelah mengetahui pola distribusi, sehingga rumus yang digunakan dalam perhitungan MTTF dari setiap distribusi, sebagai berikut: (Eva et al., 2023)

#### 1. Distribusi *Exponential*

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad (2.37)$$

#### 2. Distribusi *Weibull*

$$MTTR = \theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.38)$$

Dimana, nilai dari  $\Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$  diperoleh dari  $\Gamma(x)$  = tabel fungsi gamma

#### 3. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad (2.39)$$

#### 4. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{\text{med}} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad (2.40)$$

## 2.2 Penelitian Terkait

**Tabel 2. 3** Penelitian Terkait

| Peneliti & Tahun     | Judul                                                                                                              | Objek & Variabel                                                                                                                                         | Metode                                                             | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                    | <i>Research Gap</i>                                                                                                                                                                                 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Rusdi et al., 2017) | “Analisis Penentuan Interval Waktu Perawatan <i>Finish Mill</i> Berdasarkan <i>Downtime</i> pada PT. Semen Tonasa” | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objek: Mesin <i>Finish Mill</i></li> <li>• Variabel: <i>Downtime</i>, MTBF, MTBF, <i>Reliability</i></li> </ul> | Analisis Pareto, Distribusi Statistik, <i>Reliability Analysis</i> | Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa diperoleh beberapa komponen kritis yang memiliki tingkat penyebab sebesar 93,51% kegagalan sehingga diperlukan interval perawatan yang optimal berbasis MTBF untuk meminimalkan <i>downtime</i> dan meningkatkan keandalan mesin. | Penelitian ini hanya berfokus pada analisis keandalan berbasis <i>downtime</i> dan MTBF, namun belum melakukan pengukuran efektivitas mesin secara menyeluruh menggunakan pendekatan OEE. Sehingga, |

| Peneliti & Tahun             | Judul                                                                                                                                         | Objek & Variabel                                                                                                                                                                    | Metode                            | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                            | Research Gap                                                                                                                                                          |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                     |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                  | tidak diketahui tingkat kinerja mesin secara keseluruhan                                                                                                              |
| (Priambodo & Mahbubah, 2021) | “Implementasi Metode <i>Overall Equipment Effectiveness</i> Berbasis <i>Six big losses</i> Guna Mengevaluasi Efektivitas Mesin Packing Semen” | <ul style="list-style-type: none"> <li>Objek: Mesin <i>packing</i> semen 40kg</li> <li>Variabel: <i>Availability, Performance, Quality, Six big losses, Failure Mode</i></li> </ul> | OEE, <i>Six big losses</i> , FMEA | Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai OEE diperoleh sebesar 41,25% (<85%). Dimana, <i>Losses</i> terbesar berada pada <i>reduce speed</i> dan <i>idling</i> . Selain itu, RPN tertinggi yaitu tidak ada angkutan, mesin tersumbat, dan tombol macet. | Penelitian ini telah menggunakan metode OEE untuk mengidentifikasi <i>Six big losses</i> serta FMEA, namun belum menggunakan analisis keandalan (RCM) dalam penentuan |

| Peneliti & Tahun           | Judul                                                                                                                                | Objek & Variabel                                                                                                                                                                  | Metode                                      | Hasil                                                                                                                                                                                                                                       | Research Gap                                                                                                                                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                   |                                             |                                                                                                                                                                                                                                             | jangka waktu dan strategi perawatan yang optimal                                                                                                                              |
| (Febriyanti & Fatma, 2018) | “Analisis Efektivitas Mesin Produksi Menggunakan Pendekatan <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> dan <i>Logic Tree Analysis</i> ” | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objek: Mesin <i>Blowing</i> pabrik botol plastik</li> <li>• Variabel: <i>Availability, Performance, Quality, Failure Mode</i></li> </ul> | OEE, FMEA, <i>Logic Tree Analysis</i> (LTA) | <p>Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai OEE yang diperoleh rendah (&lt;85%) yang dipengaruhi <i>performance</i>. Dimana, penyebab utama kegagalan berdasarkan RPN yaitu parisson yang tidak center dan <i>chiller</i> yang tersumbat.</p> | <p>Penelitian ini menggunakan pendekatan OEE dan FMEA dalam menganalisis efektivitas dan kegagalan mesin, namun belum mengembangkan analisis melalui pendekatan RCM dalam</p> |

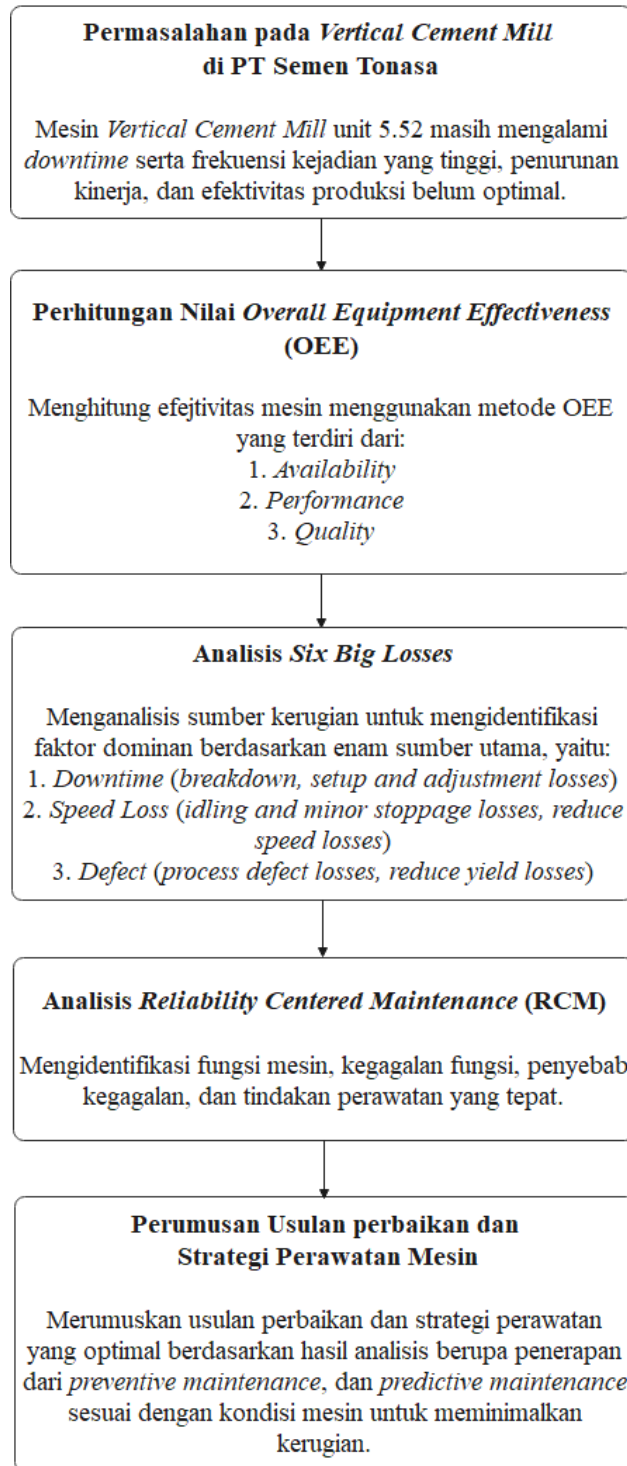
| Peneliti & Tahun                       | Judul                                                                                                                                | Objek & Variabel                                                                                                                                                         | Metode                                   | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                 | Research Gap                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                          |                                          |                                                                                                                                                                                                                                                       | penentuan strategi yang lebih terstruktur.                                                                                                                                                 |
| (Annaufal Dzaki Ramadhan et al., 2025) | “Analisis <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM) untuk Mereduksi <i>Downtime</i> Mesin <i>Vertical Cement Mill</i> di PT XYZ” | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objek: Mesin <i>Vertical Cement Mill</i> plastik</li> <li>• Variabel: <i>Downtime</i>, MTBF, RPN, <i>Reliability</i></li> </ul> | RCM, FMEA, MTBF, <i>Fishbone Diagram</i> | Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan RCM yang digunakan bisa mengurangi terjadinya <i>downtime</i> sebesar 52,7% dengan berdsarkan pada prioritas komponen <i>gearbox</i> , <i>belt conveyor</i> , <i>bucket elevator</i> , dan motor listrik. | Penelitian ini berfokus dalam penerapan RCM dalam mengurangi <i>downtime</i> dan meningkatkan keandalan mesin, namun pada awal penelitian tidak adanya pengukuran efektivitas mesin dengan |

| Peneliti & Tahun        | Judul                                                                                 | Objek & Variabel                                                                                                                                                                  | Metode   | Hasil                                                                                                                                                                                    | Research Gap                                                                                                                        |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                                       |                                                                                                                                                                                   |          |                                                                                                                                                                                          | menggunkan pendekatan OEE sehingga tidak dapat diketahui tingkat kinerja mesin yang menyeluruh                                      |
| (Anwar & Achmadi, 2023) | “Strategi Penjadwalan <i>Set Up Mould Dies</i> Mesin Press dengan Metode OEE dan RCM” | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objek: Mesin <i>Ring Sheet Press</i></li> <li>• Variabel: <i>Availability, Performance, Quality, Six big losses, Downtime</i></li> </ul> | OEE, RCM | Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai OEE yang diperoleh sebesar 77,22% yang termasuk dalam kategori sedang. Dimana, faktor terbesarnya yaitu pada nilai <i>availability</i> yang | Penelitian ini telah menggunakan pendekatan OEE dan RCM, namun kedua metode ini digunakan secara terpisah, sehingga hubungan antara |

| Peneliti & Tahun | Judul | Objek & Variabel | Metode | Hasil                                                      | Research Gap                                                          |
|------------------|-------|------------------|--------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                  |       |                  |        | rendah akibat <i>set up</i> dan <i>adjustment losses</i> . | efektivitas dan keandalan mesin belum dianalisis secara komprehensif. |

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu pada tabel diatas, dapat disimpulkan bahwa OEE dan RCM memiliki fokus analisis yang saling melengkapi untuk mengevaluasi kondisi peralatan produksi. Beberapa penelitian terkait telah mengombinasikan pendekatan OEE, FMEA maupun RCM, namun masih terdapat keterbatasan dalam mengintegrasikan hasil pengukuran efektivitas mesin dengan analisis keandalan secara menyeluruh sebagai dasar dari penentuan strategi pemeliharaan. Penelitian menggunakan pendekatan OEE umumnya berhenti pada identifikasi faktor kehilangan dominan, sedangkan penelitian berbasis RCM lebih berfokus pada pengurangan *downtime*, peningkatan keandalan, serta penentuan tindakan pemeliharaan tanpa terlebih dahulu mengevaluasi nilai efektivitas mesin secara menyeluruh. Selain itu, penelitian terkait *Vertical Cement Mill* yang terdahulu lebih menitikberatkan pada analisis *downtime* dan juga keandalan komponen, sehingga masih belum mengintegrasikan OEE dan RCM dalam satu kerangka analisis. Kondisi tersebut menjadi dasar dalam penelitian ini untuk mengintegrasikan OEE, *Six Big Losses*, dan RCM pada *Vertical Cement Mill* unit 5.52 di PT Semen Tonasa, sehingga hasil evaluasi efektivitas dan identifikasi kehilangan produktivitas dapat digunakan sebagai landasan untuk menentukan komponen kritis serta rekomendasi strategi pemeliharaan yang sesuai dengan kondisi aktual mesin.

### 2.3 Kerangka Pemikiran



**Gambar 2. 1** Kerangka Pemikiran