

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada tahap ini disajikan hasil penelusuran literatur yang membahas berbagai pendekatan dan metode yang digunakan dalam penelitian terdahulu terkait gangguan mesin, *downtime* produksi, peningkatan biaya operasional, serta strategi perawatan mesin. Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode yang relevan, serta melihat efektivitas solusi yang telah diterapkan di berbagai industri. Pencarian referensi dilakukan melalui *Google Scholar* dengan kata kunci seperti *maintenance*, *downtime* mesin produksi, biaya perawatan mesin, metode perawatan mesin.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Dari hasil pencarian tersebut ditemukan sejumlah penelitian yang berfokus pada pengendalian kerusakan mesin, peningkatan keandalan peralatan produksi, dan penerapan perawatan mandiri untuk mengurangi frekuensi perbaikan dan biaya tidak terencana. Beragam metode yang digunakan dalam penelitian-penelitian tersebut menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan pendekatan yang akan diterapkan dalam penelitian ini.

Penelitian pertama Isbandi (2020), melakukan penelitian mengenai penyusunan sistem perawatan pada mesin penggiling padi Type KD-550 HM. Permasalahan utama yang diidentifikasi adalah tidak adanya sistem perawatan yang terstruktur sehingga kerusakan lebih banyak ditangani secara *breakdown maintenance*. Melalui analisis deskriptif dan penyusunan jadwal *preventive maintenance*, penelitian ini menghasilkan tabel perencanaan perawatan harian, mingguan, dan berkala guna mengurangi kerusakan berulang. Sementara itu, Kamil (2018), meneliti mesin bor DMU pada area tambang PT. SP yang mengalami frekuensi kerusakan tinggi pada komponen seperti O-Ring dan Hose Hydraulic Pump. Dengan pendekatan reliabilitas dan analisis biaya penggantian komponen, ditentukan interval penggantian optimal untuk menekan *downtime* dan biaya perawatan, sehingga perawatan yang semula bersifat reaktif berubah menjadi preventif berbasis keandalan.

Syhabuddin (2019), melakukan analisis *Reliability Centered Maintenance (RCM)* pada mesin bubut CY-L1640G di PT. Polymindo Permata. Melalui

tahapan *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*, *Pareto*, dan *Logic Tree Analysis*, ditentukan komponen kritis seperti *Electric System* dan *Shaft*, dengan interval perawatan optimal berdasarkan keandalan *Weibull* dan *Mean Time To Failure (MTTF)*, sehingga diperoleh jadwal inspeksi 255 jam operasi. Di sisi lain, Wahyudi (2024), menerapkan *Total Productive Maintenance (TPM)* pada mesin injection molding di PT. X. Permasalahan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* yang rendah (54,15%) diatasi dengan analisis *Six Big Losses* dan implementasi 8 Pilar TPM, menghasilkan peningkatan OEE menjadi 61,29%, serta terjadi penurunan signifikan pada *minor stoppage* dan *defect losses*, menunjukkan efektivitas penerapan TPM terstruktur.

Polewangi (2019), melakukan penelitian pada mesin boiler di industri kelapa sawit, yang mengalami *downtime* hingga 4610 menit per tahun. Dengan perhitungan OEE dan analisis *Fishbone*, penelitian ini mengidentifikasi akar penyebab *downtime* dan merumuskan strategi perawatan *preventive* sehingga efektivitas mesin meningkat. Berbeda dengan itu Maritha (2022), meneliti penerapan *Computerized Maintenance Management System (CMMS)* dan evaluasi perawatan *preventif* pada komponen mesin produksi, dengan pendekatan perbandingan *availability* sebelum dan sesudah penerapan jadwal *maintenance* digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa digitalisasi dan penjadwalan perawatan berkala mampu menurunkan kerusakan tak terduga dan meningkatkan ketersediaan mesin.

Alimakarin (2023), melakukan penelitian mengenai kerusakan mesin bor duduk di CV Maja Teknik. Dengan pendekatan analisis keandalan dan distribusi *Weibull*, ditemukan bahwa *Mean Time Between Failures (MTBF)* mesin hanya 111,3 jam, menandakan mesin memasuki *fase wear-out*, sehingga direkomendasikan *preventive maintenance* dengan interval penggantian komponen berbasis $R(t)$. Sementara itu Ardiyansah (2024), melakukan analisis kerusakan sistem *electrical* pada mesin CNC Plasma Cutting di PT. Kenertec Power System. Penelitian ini menyoroti kerusakan kabel kontrol PLC, PCB, dan motor servo, yang berdampak langsung pada nilai *availability* mesin, sehingga disarankan *preventive maintenance* rutin dan pelatihan teknisi internal agar tidak bergantung pada pihak luar.

Pamungkas (2021), menganalisis komponen kritis pada sistem boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya. Melalui analisis distribusi kerusakan

dan simulasi keandalan, ditemukan bahwa nilai reliabilitas komponen hanya berada pada rentang 23–50%, sehingga dilakukan penentuan *interval preventive maintenance* optimal (14–47 hari) berdasarkan target $R(t) \geq 60\%$. Sebagai pembandingan Wibowo (2021), menerapkan RCM berbasis FMEA dan Logic Tree Analysis pada mesin bubut CZ6232A di PT TDE, menghasilkan klasifikasi tindakan perawatan seperti *Time Directed*, *Condition Directed*, dan *Finding Failure*, serta menentukan komponen dengan *Risk Priority Number (RPN)* tertinggi (Bearing = 360) sebagai prioritas utama dalam penurunan *downtime*.



Tabel 2.1. Ringkasan Tinjauan Pustaka

No	Peneliti	Objek	Permasalahan	Solusi	Metode	Tools	Hasil penelitian
1	Isbandi (2021)	Mesin Penggiling Padi dan Penepung Type KD- 550 HM	Belum ada sistem perawatan terstruktur, Mesin hanya diperbaiki jika sudah rusak (<i>breakdown maintenance</i>), belum ada <i>interval</i> perawatan dan pengecekan komponen	Menyusun jadwal perawatan <i>preventif</i> berdasarkan komponen mesin, Menentukan urutan pengecekan dan metode perbaikan, Mengklasifikasikan <i>service</i> harian, mingguan, bulanan	Observasi langsung & dokumentasi kondisi mesin, Analisis deskriptif untuk menyusun prosedur perawatan, Perencanaan <i>maintenance</i> berbasis <i>interval</i> pemeriksaan	Penelitian ini lebih bersifat penyusunan sistem perawatan secara teknis (<i>technical maintenance table</i>)	Tersusun tabel perencanaan perawatan (<i>maintenance checklist</i>), Operator mengetahui komponen yang dicek, cara perawatan, dan frekuensi pengecekan, Menggeser pola dari perawatan reaktif menjadi <i>preventif</i>

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Objek	Permasalahan	Solusi	Metode	Tools	Hasil penelitian
2	Kamil dkk. (2007)	Mesin Bor (DMU1 dan DMU2) pada Area I Penambangan Batu Kapur PT. SP, khususnya komponen O- Ring dan Hose Hydraulic Pump	Kerusakan berulang pada komponen mesin bor (<i>O-Ring & Hose</i>), Tidak ada <i>interval</i> penggantian komponen yang optimal, Perawatan bersifat <i>breakdown maintenance</i> menyebabkan meningkatkan biaya dan <i>downtime</i> .	Menentukan interval penggantian komponen optimal berdasarkan nilai reliabilitas komponen dan perbandingan biaya <i>preventive vs failure replacement</i> , Menyusun jadwal perawatan berdasarkan <i>reliability</i>	<i>Reliability- Centered Preventive Maintenance</i>	Perhitungan probabilitas kegagalan ($F(t)$), Model Ekspektasi Biaya Perawatan untuk mencari <i>interval</i> optimal	<i>Interval</i> penggantian maksimum untuk <i>O-Ring DMU1</i> = 272 minggu, Interval penggantian minimum untuk <i>Hose Hydraulic Pump DMU2</i> = 30 jam operasi mesin.
3	Syhabuddin (2019)	Mesin Bubut CY-L1640G di PT. Polymindo Permata	Banyak kegiatan korektif (<i>breakdown maintenance</i>), <i>downtime</i> tinggi pada mesin bubut	Menerapkan RCM untuk menentukan tugas perawatan optimal	RCM dan analisis keandalan	FMEA, Pareto, IDT, LTA, Perhitungan interval pemeriksaan	Komponen kritis: <i>Electric System</i> (RPN tertinggi = 196), Shaft (RPN 119), Gear (RPN 72).

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Objek	Permasalahan	Solusi	Metode	Tools	Hasil penelitian
4	Wahyudi dkk. (2024)	Mesin Injection Molding di P.T. X (Produsen timba plastik) yang memiliki <i>OEE</i> rendah dan belum memiliki sistem perawatan terstruktur.	Perawatan mesin masih bersifat <i>reactive maintenance</i> (mesin rusak baru diperbaiki), Belum ada jadwal perawatan <i>preventif</i> yang terstruktur, <i>Six Big Losses</i> , terutama <i>Idling & Minor Stoppage</i> dan <i>Defect Losses</i> sangat tinggi	Menerapkan <i>Total Productive Maintenance (TPM)</i> berbasis 8 Pilar <i>TPM</i> , Menyusun jadwal perawatan <i>preventif</i> dan <i>checklist</i> inspeksi harian/mingguan/bulanan, Pelatihan operator (<i>autonomous maintenance</i>) dan pembuatan <i>checksheet</i> inspeksi mesin	Studi kasus berbasis implementasi <i>TPM</i>	<i>OEE Analysis</i> , <i>Six Big Losses Analysis</i> , <i>Fishbone Diagram (Root Cause Analysis)</i> , <i>Eight Pillars of TPM Framework</i> , <i>Checklist Perawatan / Planned Maintenance Sheet</i>	<i>OEE</i> meningkat dari 54,15% menjadi 61,29% setelah <i>TPM</i> diterapkan, <i>Performance Rate</i> naik dari 63,41% menjadi 68,29%, <i>Idling & Minor Stoppage Losses</i> turun dari 27,42% menjadi 22,35%, <i>Defect Losses</i> turun dari 10,30% menjadi 6,44%

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Objek	Permasalahan	Solusi	Metode	Tools	Hasil penelitian
5	Polewangi (2019)	Mesin Boiler pada Industri Kelapa Sawit	Terjadi penurunan kinerja mesin boiler akibat <i>downtime</i> tinggi, Total <i>downtime</i> mencapai 4610 menit, menyebabkan keterlambatan produksi, Biaya operasional meningkat karena proses <i>recovery</i> membutuhkan waktu (1920 menit)	Dilakukan analisis <i>OEE</i> untuk mengukur efektivitas mesin	Pengumpulan data primer melalui observasi dan wawancara operator serta teknisi <i>maintenance</i> , Perhitungan <i>Performance Efficiency</i> , <i>Availability Ratio</i> , <i>Rate of Quality</i> , dan <i>OEE</i>	<i>OEE Analysis (Availability, Performance, Quality)</i> , <i>Six Big Losses Approach (downtime, idling, speed loss, defect, dll.)</i> , <i>Fishbone Diagram</i>	Nilai <i>OEE</i> terendah = 25,67% (bulan Januari) dan tertinggi = 74,35% (bulan Maret), <i>Availability Ratio</i> terendah disebabkan <i>downtime</i> 4610 menit & <i>recovery</i> 1920 menit.

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Objek	Permasalahan	Solusi	Metode	Tools	Hasil penelitian
6	Maritha dkk. (2019)	Mesin Oven PT Sandang Asia Maju Abadi	<i>Downtime</i> tinggi, kerusakan 1723 kali, pemeliharaan reaktif	Dilakukan dengan <i>Fishbone</i> dan <i>OEE</i> untuk merumuskan strategi perawatan <i>preventif</i> .	<i>RCM dan Age Replacement, FMEA, RPN, LTA</i>	<i>FMEA, RPN, LTA Distribusi Keandalan, Flowchart RCM</i>	Biaya turun 26,749%, keandalan naik 30,249%, <i>downtime</i> turun 315.006 menit
7	Almakarin dkk. (2023)	Mesin Bor Duduk di CV Maja Teknik	Terjadi kerusakan berulang pada mesin bor (alur pasak aus, korosi, getaran, kelistrikan bermasalah)	Menerapkan perawatan <i>preventif (preventive maintenance)</i> dengan penjadwalan perawatan terencana	Gabungan kualitatif dan kuantitatif	Perhitungan <i>MTBF</i> dan <i>distribusi Weibull</i> untuk menganalisis keandalan	Ditemukan <i>MTBF</i> mesin DM1 = 111,3 jam dengan parameter <i>Weibull</i> $\alpha = 105,648$ dan $\beta = 1,199$ Menunjukkan mesin memasuki <i>fase wear-out</i> (rawan kerusakan).

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Objek	Permasalahan	Solusi	Metode	Tools	Hasil penelitian
8	Ardiyansah & Desmira (2024)	Mesin <i>CNC Plasma Cutting</i> di <i>PT Kenertec Power System</i>	Kerusakan terjadi pada sistem electrical mesin <i>CNC</i> (kerusakan kabel kontrol <i>PLC</i> , <i>PCB</i> korslet, motor servo error)	Melakukan <i>preventive maintenance</i> berkala agar <i>availability</i> tetap di atas standar 90%	Studi Literatur dan Observasi langsung di lapangan (praktek industri)	Analisis <i>Availability</i> Mesin sebagai indikator performa alat	<i>Availability</i> mesin <i>CNC Plasma Burny</i> stabil di kisaran 91–95% (di atas standar perusahaan 90%)

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Objek	Permasalahan	Solusi	Metode	Tools	Hasil penelitian
9	Pamungkas dkk. (2021)	Komponen kritis Boiler pada PLTU Nagan Raya (Pembangkit Listrik Tenaga Uap)	PLTU mengalami frekuensi kerusakan tinggi (<i>downtime</i>) pada komponen boiler, Sistem perawatan yang digunakan masih <i>corrective maintenance</i> (dibiarkan rusak dulu baru diperbaiki).	Mengimplementasikan <i>Preventive Maintenance</i> dengan menentukan <i>interval</i> perawatan optimal berdasarkan nilai keandalan (target 60%).	Pengumpulan data <i>TTF</i> , Menentukan distribusi kerusakan, Menghitung parameter distribusi dan nilai keandalan, Simulasi interval <i>preventive maintenance</i> hingga nilai $R(t) \geq 60\%$.	<i>Preventive Maintenance</i>	Interval perawatan awal berdasarkan MTTF: 36–79 hari dengan keandalan rendah (23–50%), Setelah diterapkan <i>Preventive Maintenance</i> , diperoleh: - Interval waktu optimal: 14–47 hari - Nilai keandalan naik menjadi $\geq 60\%$

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Objek	Permasalahan	Solusi	Metode	Tools	Hasil penelitian
10	Wibowo dkk. (2021)	Mesin Bubut CZ6232A di PT TDE (perusahaan manufaktur suku cadang)	Mesin bubut mengalami <i>downtime</i> 3,93% / 6.600 menit dalam 1 tahun, Banyak komponen mengalami <i>breakdown</i> berulang (Motor penggerak, Eretan, Sistem pendingin, dll.)	Menerapkan <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i> , Menentukan jenis tindakan perawatan spesifik (<i>CD, TD, FF</i>) per komponen sebagai dasar <i>preventive maintenance</i>	Observasi dan pengumpulan data <i>downtime</i> komponen, <i>RCM</i> .	<i>FMEA, Logic Tree Analysis (LTA), Task Selection RCM</i>	Komponen dengan <i>RPN</i> tertinggi = <i>Bearing</i> (360), <i>Stator</i> (288), Rotor (288) dikategorikan paling kritis dan membutuhkan perawatan khusus.

2.2. Dasar Teori

Dalam bagian ini, dilakukan penjabaran mengenai segala teori yang bersumber dari para ahli sebagai acuan serta referensi pada penelitian berlangsung yang dipelajari pada mata kuliah Rekayasa dan Desain, Proses dan Biaya Manufaktur serta Analisis dan Perancangan Sistem Kerja.

2.2.1. Mesin Bor

Mesin bor merupakan salah satu jenis mesin yang efisien karena kegunaannya yang dapat melubangi jenis berbagai jenis material (Almakarin & Abizhar, 2023). Mesin bor bekerja dengan cara rotasi cepat atau memutar yang bisa menjadikan mata bor menembus permukaan material. Adapun jenis mesin bor yang digunakan pada perusahaan serta umkm pada umumnya sebagai pendukung dalam proses produksi.

1. Bor Meja

Mesin bor meja merupakan mesin bor yang diletakkan atau dipasangkan pada meja, yang memiliki kegunaan untuk membuat lubang dengan presisi tinggi pada bagian material seperti kayu, logam dan plastik. Mesin bor meja ini memiliki stuktur yang lebih efisien dibandingkan dengan bor tangan, sehingga mampu menghasilkan lubang yang lebih akurat dan seragam (Azizul, 2020). Mesin bor meja ini digunakan dalam bengkel, industri permesinan, dan pekerjaan fabrikasi yang perlu ketepatan yang sangat tinggi.



Gambar 2.1. Mesin Bor Meja
Sumber: Azizul (2020).

2. Bor Tegak

Mesin bor tegak adalah jenis mesin bor yang memiliki rangka atau bentuk tegak dengan mata bor yang dipasangkan di bagian atas dan meja kerja di bagian tengah, dan digunakan untuk mengebor material dengan akurasi yang tinggi. Mesin bor tegak juga sering dijumpai pada industri permesinan dan fabrikasi karena kegunaan dalam melakukan pengeboran yang stabil dan presisi pada logam, kayu, atau bahan lainnya (Azizul, 2020).



Gambar 2.2. Mesin Bor Tegak
Sumber: Azizul (2020).

3. Bor Koordinat

Mesin bor koordinat adalah mesin bor yang dirancang untuk melakukan pengeboran dengan tingkat presisi tinggi dengan posisi yang telah ditentukan berdasarkan koordinat (Almakarin & Abizhar, 2023). Mesin bor koordinat juga ada pada industri manufaktur dan permesinan, terutama untuk pekerjaan yang sangat membutuhkan akurasi yang tinggi dalam pembuatan lubang, seperti dalam pembuatan cetakan, komponen mesin, dan peralatan presisi lainnya. Mesin ini dilengkapi dengan sistem penggerak yang memungkinkan pergerakan meja kerja dalam arah X dan Y, sehingga operator dapat menentukan posisi pengeboran dengan tepat. Beberapa model pada mesin bor koordinat juga dilengkapi dengan sistem digital atau CNC untuk kelancaran proses pengeboran.



Gambar 2.3. Mesin Bor Koordinat

Sumber: Azizul (2020).

4. Bor Tangan

Bor tangan adalah alat pengeboran dengan cara digerakkan secara manual dan digunakan untuk membuat lubang pada material seperti kayu, logam, dan beton. Mesin tangan pada umumnya berukuran kecil, ringan, dan mudah dibawa, sehingga dapat mudah dijumpai pada pekerja konstruksi, perbengkelan, dan perabotan rumah tangga (Almakarin & Abizhar, 2023).



Gambar 2.4. Mesin Bor Tangan

Sumber: Azizul (2020).

2.2.2. Komponen Utama Mesin Bor Tangan

Berikut merupakan bagian-bagian mesin bor tangan

1. Kabel. Kabel pada mesin bor tangan berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dari sumber daya ke mesin bor, memungkinkan motor bekerja dan menggerakkan mata bor.

2. Mata Bor (*Drill Bit*). Mata bor merupakan komponen untuk melubangi atau mengebor benda kerja maupun material yang akan dilubangi.
3. *Chunk* (Kepala Bor). *Chunk* merupakan komponen untuk tempat memasang mata bor.
4. Trigger (Saklar Pemicu). Merupakan komponen tombol atau saklar untuk menghidupkan dan mematikan mesin bor.
5. Motor Listrik. Motor listrik yaitu salah satu komponen yang menggerakkan mesin bor.
6. *Switch Forward/Reverse*. Merupakan tombol untuk mengatur kecepatan dan mengatur arah putaran mata bor (searah jarum jam atau berlawanan) serta berguna untuk memasang atau melepas sekrup.
7. Baterai. Komponen baterai pada mesin bor adalah bagian yang menyimpan dan menyediakan energi listrik untuk menggerakkan motor bor tanpa memerlukan sambungan langsung ke sumber listrik.
8. Ventilasi Udara. Lubang untuk mengeluarkan udara panas agar mesin tidak cepat panas (*overheating*).

2.2.3 Maintenance Mesin

Maintenance adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan secara terencana maupun tidak terencana untuk menjaga, memperbaiki, atau mengembalikan fungsi suatu peralatan, sistem, atau fasilitas agar dapat beroperasi dengan ideal. Tujuan dari *maintenance* meliputi pencegahan kerusakan, perpanjangan usia pakai, peningkatan efisiensi, serta memastikan keamanan dan keandalan operasional. Kegiatan ini mencakup inspeksi rutin, perbaikan, penggantian suku cadang, hingga pembaruan perangkat lunak, tergantung pada jenis aset yang dikelola. Dengan manajemen *support* yang baik, perusahaan atau individu dapat meminimalkan risiko gangguan operasional dan biaya perbaikan mendadak.

Menurut Hidayat (2010), kegiatan perawatan (*maintenance*) bertujuan untuk memastikan bahwa aset fisik yang dimiliki tetap mampu beroperasi secara berkelanjutan sesuai dengan fungsi dan harapan pengguna terhadap aset tersebut. *Maintenance* merupakan salah satu cara efektif untuk meningkatkan keandalan suatu sistem. Kegiatan tersebut dapat bersifat terencana dan tidak terencana. Hanya ada satu bentuk kegiatan *support* yang tidak terencana, yakni *crisis support*, dimana tindakan *support* tersebut dibutuhkan sesegera mungkin untuk mencegah kerusakan yang lebih parah seperti *misfortune of generation*

atau alasan keselamatan. Kegiatan pemeliharaan secara umumnya dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu pemeliharaan preventif (*preventif upkeep*) dan perbaikan setelah terjadi kerusakan (*remedial support*). Penentuan jenis pemeliharaan yang digunakan didasarkan pada karakteristik kerusakan peralatan, apakah dapat diprediksi atau terjadi secara tidak terduga. Selain itu, aspek biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan kegiatan tersebut juga menjadi pertimbangan penting. Pemeliharaan sering dikaitkan dengan faktor utama dalam keandalan sistem, karena permasalahan keandalan kerap berasal dari aspek pendukung (*support*). Oleh sebab itu, diperlukan strategi pemeliharaan yang tepat guna meningkatkan kualitas dan kestabilan kinerja sistem produksi.

2.2.4 Downtime Mesin Produksi

Dalam konteks industri, sistem perawatan merujuk pada serangkaian kegiatan pemeliharaan yang dirancang untuk menjaga agar mesin dan fasilitas tetap berfungsi dengan baik, yang bertujuan untuk meminimalkan *downtime* serta kerusakan. Terdapat beberapa tipe pemeliharaan yang umum diterapkan, seperti perawatan pencegahan yang dilakukan secara berkala untuk mencegah kerusakan sebelum terjadi, dan perawatan prediktif yang memanfaatkan analisis informasi untuk memprediksi kapan kerusakan mungkin terjadi, sehingga tindakan dapat diambil sebelum masalah muncul. Dengan demikian, sistem perawatan memainkan peran penting dalam memastikan efisiensi operasional dan kualitas pelayanan di berbagai sektor.

Menurut Polewangi (2019) sistem perawatan adalah serangkaian kegiatan yang dirancang untuk menjaga dan meningkatkan kinerja peralatan, dalam hal ini boiler, agar tetap berfungsi dengan optimal. Tujuan utama dari sistem perawatan adalah untuk mencegah terjadinya kerusakan, mengurangi waktu henti (*downtime*), serta menekan biaya perawatan dibandingkan dengan biaya perbaikan yang lebih besar, jika kerusakan sudah terjadi. Menurut Ahmadi & Hidayah (2017) pemeliharaan merupakan serangkaian aktivitas yang bertujuan untuk menjaga agar fungsi suatu sistem produksi tetap berjalan secara berkelanjutan, sehingga sistem tersebut mampu menghasilkan output sesuai dengan yang diharapkan. Serta pemeliharaan juga memiliki pengertian kegiatan yang dilakukan untuk menjaga sistem peralatan agar pekerjaan dapat sesuai dengan pesanan. Perawatan juga dapat diartikan sebagai serangkaian kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas pabrik, serta melakukan perbaikan

maupun penyesuaian yang diperlukan agar kondisi operasi produksi tetap berjalan dengan baik sesuai rencana yang telah ditetapkan.

Berdasarkan hasil teori di atas, maka dapat disimpulkan sistem perawatan atau pemeliharaan adalah serangkaian aktivitas yang bertujuan untuk menjaga, memelihara, dan meningkatkan kinerja peralatan atau sistem produksi agar tetap berfungsi ideal. Tujuan utama dari perawatan ini meliputi pencegahan kerusakan, pengurangan waktu henti (*downtime*), dan pengelolaan biaya perawatan yang efisien. Selain itu, perawatan bertujuan memastikan kelangsungan fungsi sistem produksi sehingga hasil yang diinginkan dapat dicapai sesuai rencana. Hal ini mencakup pemeliharaan, perbaikan, penyesuaian, atau penggantian yang diperlukan demi mencapai kondisi operasi produksi yang memuaskan.

2.2.5. Metode Perawatan Mesin *Total Productive Maintenance (TPM)*

Sistem perawatan adalah suatu pendekatan yang terstruktur yang digunakan untuk menjaga, memperbaiki, dan memastikan fungsi ideal dari berbagai jenis peralatan atau fasilitas, baik dalam konteks pelayanan kesehatan maupun industri. Dalam dunia kesehatan, sistem perawatan terpadu berfokus pada peningkatan koordinasi antara berbagai layanan dan penyedia, dengan tujuan utama untuk meningkatkan kualitas perawatan pasien, mengurangi duplikasi layanan, serta meningkatkan komunikasi antar penyedia perawatan yang berbeda. Pendekatan ini melibatkan integrasi layanan kesehatan dan sosial serta penggunaan tim multidisiplin untuk memberikan perawatan yang lebih terkoordinasi dan efektif bagi pasien.

Total Productive Maintenance (TPM) merupakan suatu sistem pemeliharaan terpadu yang dikembangkan dari konsep *preventif maintenance* dan *corrective maintenance*, serta melibatkan partisipasi seluruh pihak dalam organisasi, terutama operator sebagai pengguna langsung peralatan dalam pelaksanaan kegiatan pemeliharaan mesin. Dalam penerapannya, *TPM* menggabungkan pendekatan *top-down*, yaitu penetapan target dan sasaran oleh manajemen puncak, dengan pendekatan *bottom-up*, yaitu upaya perbaikan berkelanjutan yang dilakukan melalui aktivitas kelompok kecil (*small group activities*) serta berbagai kegiatan peningkatan kinerja di tingkat operasional. *TPM* didefinisikan sebagai upaya berbasis tim lingkup perusahaan untuk membangun kualitas dan produktivitas kedalam sistem produksi dan meningkatkan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*. Seiichi Nakajima, *Vice President Of The Japan Institute Of*

Plant Maintenance, TPM merupakan suatu pendekatan inovatif dalam kegiatan pemeliharaan yang bertujuan untuk mengoptimalkan efektivitas peralatan, meminimalkan bahkan menghilangkan terjadinya kerusakan (*breakdown*), serta melibatkan operator dalam kegiatan pemeliharaan mandiri (*autonomous maintenance*). *Preventif maintenance* adalah aktivitas pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan. Kegiatan ini dilaksanakan secara berkala dan berkesinambungan, serta disesuaikan dengan spesifikasi dan kondisi masing-masing peralatan. *Predictive maintenance* merupakan bagian dari *preventif maintenance* yang berfokus pada upaya memprediksi potensi kerusakan melalui proses pemantauan dan inspeksi secara rutin. *Maintenance prevention* merupakan suatu pendekatan perencanaan pemeliharaan yang bertujuan untuk mengurangi bahkan menghilangkan kebutuhan perawatan melalui perbaikan desain atau sistem. Sementara itu, *maintainability improvement* adalah upaya peningkatan kemudahan dalam pemeliharaan melalui modifikasi atau penyempurnaan peralatan agar lebih andal dan tidak mudah mengalami kerusakan. *Autonomous maintenance* adalah pemeliharaan sederhana yang dilakukan oleh operator mesin. Aktivitas ini umumnya bersifat ringan, seperti pembersihan, pelumasan, dan pemeriksaan dasar, serta tidak memerlukan peralatan khusus maupun keahlian teknis yang kompleks. *Productive maintenance* adalah pengembangan dari konsep *preventif maintenance*, dan *maintainability improvement*, dengan penekanan pada prinsip perancangan yang mempertimbangkan biaya siklus hidup peralatan (*life cycle cost*). Hubungan atau keterkaitan antara *TPM*, *productive maintenance*, dan *preventive maintenance* dapat dijelaskan lebih lanjut melalui Gambar 2.1.

	TPM features	Productive Maintenance Features	Preventive Maintenance Features
Economic Efficiency (profitable PM)	✓	✓	✓
Total Sistem (MP – PM – MI)	✓	✓	
Autonomous Maintenance by Operator (small group netivities)	✓		

Gambar 2.5. Keterkaitan antara *Total Productive Maintenance (TPM)*, *Productive Maintenance*, dan *Preventif Maintenance*

Secara konseptual, TPM memiliki definisi yang *komprehensif* yang mencakup lima unsur yaitu :

1. *TPM* bertujuan untuk memaksimalkan keandalan mesin atau peralatan (efektivitas secara menyeluruh atau lengkap).
2. *TPM* membentuk suatu *PM* menyeluruh demi ketahanan perusahaan secara menyeluruh.
3. *TPM* diterapkan secara terpadu dengan melibatkan berbagai departemen, seperti *engineering*, produksi, dan pemeliharaan.
4. *TPM* melibatkan seluruh karyawan, mulai dari manajemen puncak hingga pekerja di lantai produksi.
5. *TPM* didasarkan pada pengembangan *productive maintenance* melalui konsep *motivating management*, yaitu aktivitas kelompok kecil yang dijalankan secara mandiri.

Makna “*Total*” dalam *Total Productive Maintenance* memiliki tiga pengertian yang mencerminkan karakteristik utama *TPM*, yaitu:

1. Efektivitas total, yang menunjukkan tingkat efisiensi ekonomi atau profitabilitas yang dihasilkan dari penerapan *TPM*.
2. Sistem pemeliharaan total, yang mencakup *Maintenance Prevention (MP)*, *Maintainability Improvement (MI)*, serta *Preventif Maintenance*.
3. Partisipasi total dari seluruh karyawan, termasuk kegiatan pemeliharaan mandiri oleh operator mulai kelompok-kelompok kecil.

Tiga konsep dasar *TPM* yang menjadi landasan dalam penerapannya adalah sebagai berikut:

1. Pendayagunaan kemampuan peralatan (*Overall Equipment Effectiveness*).

Hal ini dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu:

- a. Secara *kuantitatif*, dengan meningkatnya *availability* peralatan serta produktivitas selama waktu operasi.
- b. Secara *kualitatif*, dengan mengurangi produk cacat, menjaga kestabilan proses produksi, serta membaiknya kualitas hasil produksi.

Upaya peningkatan ini diarahkan untuk mengurangi *Six Big Losses* yang menjadi penyebab utama rendahnya efektivitas peralatan.

2. Kegiatan pemeliharaan oleh operator (*Autonomous Maintenance by Operator*).

Kegiatan ini memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan efektivitas peralatan, dengan fokus pada pencegahan penurunan kondisi mesin. Hal tersebut dapat dilakukan melalui:

- a. Pengoperasian peralatan secara tepat dan sesuai prosedur.

- b. Pemeliharaan kondisi peralatan, seperti pembersihan dan pelumasan.
- c. Penyetelan peralatan secara benar dan baik.
- d. Mencatat atau menuliskan data kerusakan dan gangguan awal yang terjadi.

Selain itu operator diminta untuk melakukan pemeriksaan rutin, inspeksi atau pemeriksaan harian serta melaporkan potensi kerusakan yang dapat diketahui secara dini. Operator diharapkan dan sebaiknya mampu melakukan perbaikan sederhana maupun penggantian *sparepart* yang bersifat ringan. Selain itu, operator juga dituntut untuk memberikan laporan secara tepat dan akurat apabila terjadi kerusakan pada peralatan, serta berperan aktif dalam membantu tim pemeliharaan ketika terjadi perbaikan yang bersifat mendadak. Aktivitas kelompok (*Small Group Activities*) dalam *TPM* merupakan bagian dari sistem pemeliharaan terpadu yang dilaksanakan melalui kegiatan kelompok kecil, seperti halnya gugus kendali mutu dalam sistem *Total Quality Control (TQC)*. Meskipun demikian, aktivitas kelompok kecil dalam *TPM* tidak sepenuhnya sama dengan Gugus Kendali Mutu (GKM), terutama dalam hal keterlibatan anggotanya. Dalam *TQC*, partisipasi anggota bersifat sukarela, sedangkan peran *supervisor* dan *manajer* lebih kepada memberikan dukungan. Sebaliknya dalam *TPM*, keterlibatan seluruh anggota bersifat wajib, termasuk *supervisor*, *manajer*, serta *staf* lainnya. Selain itu, tema dan target kegiatan juga memiliki perbedaan. Pada *TQC*, gugus dibentuk berdasarkan tema tertentu dengan target yang disesuaikan pada masing-masing tema tersebut. Sementara itu dalam *TPM*, tema dan target telah ditetapkan terlebih dahulu dengan mengacu pada sasaran tahunan perusahaan, seperti pengurangan waktu *delay*, penurunan biaya, dan peningkatan kinerja lainnya. Meskipun terdapat perbedaan, dalam penerapannya dimungkinkan adanya integrasi antara kegiatan Gugus Kendali Mutu dengan aktivitas kelompok kecil dalam *TPM*, khususnya dalam upaya mencapai target perusahaan yang telah ditetapkan.

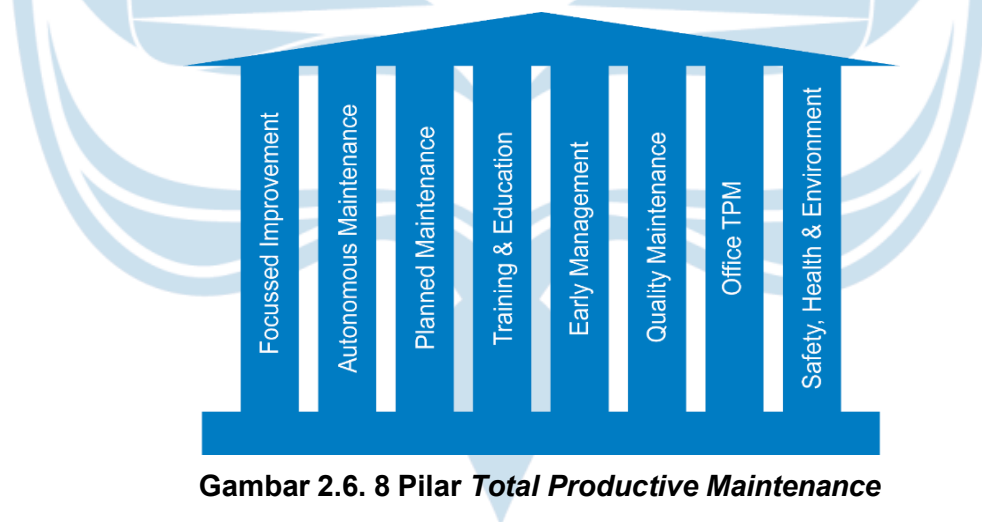
TPM diperlukan untuk mengatasi *Six Big Losses* dalam proses produksi suatu perusahaan. Penerapan *TPM* bertujuan untuk memperjelas bahwa peralatan produksi memiliki tingkat keandalan dan daya tahan yang optimal. Beberapa aspek yang berkaitan dengan *TPM* dalam upaya mengoptimalkan daya tahan peralatan produksi yaitu :

1. *TPM* diterapkan untuk mengembalikan kondisi peralatan produksi agar berada pada kondisi optimal sehingga siap digunakan dalam proses produksi.

2. *TPM* bertujuan untuk meningkatkan keterlibatan operator dalam kegiatan pemeliharaan peralatan produksi.
3. *TPM* untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam proses pemeliharaan.
4. *TPM* berperan dalam mengembangkan kemampuan dan keterampilan kerja karyawan.
5. *TPM* digunakan untuk mendukung manajemen pemeliharaan serta sebagai upaya pencegahan terhadap kerusakan peralatan produksi.
6. *TPM* bertujuan untuk mendorong penggunaan teknologi pemeliharaan secara efektif dalam pengelolaan peralatan produksi.

TPM memiliki tujuan untuk memperoleh keuntungan yang maksimal melalui hubungan yang erat antara kualitas produk dan kegiatan pemeliharaan mesin yang bersifat *prediktif*. Selain itu, *TPM* juga bertujuan untuk melibatkan seluruh fungsi dalam perusahaan, termasuk bagian produksi, pengembangan, dan administrasi, serta seluruh karyawan mulai dari manajemen puncak hingga operator dan *staf* administrasi.

TPM memiliki delapan pilar utama yang bertujuan untuk membangun keandalan (*reliability*) mesin secara *proaktif*. Delapan pilar tersebut meliputi:



Gambar 2.6. 8 Pilar *Total Productive Maintenance*

1. *Continuous Improvement*

Perbaikan berkelanjutan merupakan salah satu pilar utama dalam penerapan *TPM*. Setiap karyawan didorong untuk melakukan peningkatan secara terus-menerus, meskipun dalam skala kecil. Kegiatan perbaikan ini umumnya melibatkan tim lintas fungsi agar berbagai sudut pandang dan ide dapat dikombinasikan secara optimal.

2. Autonomous Maintenance

Pemeliharaan otonom menempatkan tanggung jawab pemeliharaan dasar yang dilakukan operator. Kegiatan yang dilakukan meliputi pembersihan, pelumasan, pengencangan komponen, inspeksi, serta identifikasi potensi kerusakan. Dengan adanya peran aktif operator, tingkat *downtime* dapat ditekan karena masalah sederhana dapat ditangani tanpa menunggu teknisi.

3. Planned Maintenance

Pemeliharaan terencana, baik yang bersifat preventif maupun corrective, bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan dan downtime. Pengelolaan perawatan yang terjadwal membantu menjaga kinerja aset tetap optimal, menjamin kualitas produk, serta mengurangi potensi keluhan pelanggan.

4. Training and Education

Pilar ini berfokus pada peningkatan kompetensi sumber daya manusia dalam penerapan *TPM*. Kesenjangan keterampilan (*skill gap*) diatasi melalui pelatihan yang berkelanjutan agar implementasi *TPM* dapat berjalan secara efektif dan memberikan hasil yang optimal.

5. Early Equipment Maintenance

Pemeliharaan sejak tahap awal bertujuan untuk mempertimbangkan aspek kemudahan perawatan pada saat perancangan atau pemilihan peralatan baru. Pengalaman sebelumnya digunakan sebagai acuan agar peralatan yang digunakan lebih mudah dirawat dan memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi.

6. Quality Management

Manajemen mutu menjadi bagian penting dalam *TPM* dengan tujuan menghasilkan produk tanpa cacat. Penerapan sistem pengendalian kualitas yang baik akan meningkatkan kepuasan pelanggan serta menjaga konsistensi hasil produksi.

7. In-Office TPM

Penerapan *TPM* tidak hanya terbatas pada area produksi, tetapi juga mencakup fungsi administrasi. Hal ini bertujuan agar seluruh bagian organisasi memiliki pemahaman yang sama terhadap prinsip *TPM* serta mampu mendukung proses utama secara efisien, sekaligus mengurangi hambatan antar departemen.

8. Safety and Health at Work, Environment Protection

Pilar ini menekankan pentingnya keselamatan dan kesehatan kerja (K3) serta perlindungan lingkungan. Setiap aktivitas produksi harus dilaksanakan dengan memperhatikan aspek keselamatan pekerja dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, sehingga tercipta kondisi kerja yang aman dan berkelanjutan.

2.2.6. Biaya Perawatan Mesin

Perawatan pada mesin dilakukan sebagai salah satu upaya untuk menekan laju kerusakan yang dapat menyebabkan hasil produksi menjadi kurang optimal. Setiap mesin memiliki umur ekonomis tertentu. Umur ekonomis tersebut menunjukkan periode penggunaan mesin yang mampu menghasilkan biaya ekuivalen tahunan seragam paling minimum, baik dari sisi kepemilikan maupun pengoperasian. Pelaksanaan perawatan mesin tentunya membutuhkan biaya pemeliharaan. Tahap awal dalam menghitung biaya perawatan mesin adalah menganalisis distribusi frekuensi *breakdown* serta rata-rata *cost of downtime* berdasarkan data historis kerusakan mesin. Setelah perhitungan tersebut dilakukan, langkah berikutnya adalah menentukan kebijakan perawatan yang paling sesuai melalui analisis kebijakan (*repair*) dan pencegahan (*preventif*). Perhitungan ekspektasi total biaya per siklus dapat dilakukan dengan menggunakan rumus dibawah ini (Jardine, 1973).

Ekspektasi Total Biaya ;

$$C_p \int_{t_p}^{\infty} f(t) dt + C_r \int_0^{t_p} f(t) dt \quad (2.1)$$

Ekspektasi Waktu Siklus ;

$$t_p \int_{t_p}^{\infty} f(t) dt + C_r \int_0^{t_p} f(t) dt \quad (2.2)$$

Ekspektasi Total Biaya/ Ekspektasi Waktu Siklus ;

$$C(tp) = \frac{C_p \int_{t_p}^{\infty} f(t) dt + C_r \int_0^{t_p} f(t) dt}{t_p \int_{t_p}^{\infty} f(t) dt + C_r \int_0^{t_p} f(t) dt} \quad (2.3)$$

2.2.7. Teori *Preventive Maintenance*

2.2.7.1. Definisi Pemeliharaan *Preventif*

Pemeliharaan *preventif* merupakan salah satu strategi yang sangat penting dalam industri untuk meningkatkan umur pakai mesin serta efisiensi operasional. Melalui penerapan metode yang sistematis, seperti pemantauan kondisi peralatan, penjadwalan pemeliharaan, serta pemanfaatan teknologi, perusahaan dapat mencegah terjadinya kerusakan yang tidak terduga dan menekan biaya pemeliharaan secara keseluruhan. Meskipun dalam implementasinya terdapat berbagai tantangan, manfaat jangka panjang dari pemeliharaan *preventif* terlihat jelas, antara lain dalam peningkatan produktivitas, keselamatan kerja, serta kepuasan tenaga kerja. Dengan dukungan investasi yang tepat dan strategi yang sesuai, pemeliharaan *preventif* dapat menjadi sarana yang efektif dalam mendukung pertumbuhan dan keberlanjutan industri di masa mendatang. Salah satu manfaat utama dari pemeliharaan *preventif* adalah meningkatnya umur pakai mesin. Dengan mencegah terjadinya kerusakan besar yang berpotensi menyebabkan *downtime*, perusahaan dapat menjaga kelangsungan proses produksi. Selain itu, penerapan pemeliharaan *preventif* juga mampu menekan biaya perbaikan, karena kerusakan dalam skala kecil dapat segera ditangani sebelum berkembang menjadi masalah yang lebih besar (Harianto, 2024).

2.2.7.2. Komponen Pemeliharaan *Preventif*

Pemeliharaan *preventif* merupakan praktik penting dalam menjaga kinerja mesin dan mencegah terjadinya kerusakan yang tidak terduga. Salah satu komponen utama dari pemeliharaan *preventif* adalah inspeksi rutin, yang dilakukan untuk memeriksa kondisi mesin secara berkala. Proses ini mencakup pemeriksaan fisik yang melibatkan indra penglihatan, pendengaran, dan peraba untuk mendeteksi tanda-tanda keausan atau kerusakan sebelum masalah menjadi lebih serius. Dengan melakukan inspeksi secara berkala, perusahaan dapat mengidentifikasi potensi masalah lebih awal dan mengambil tindakan yang diperlukan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut (Pamungkas, 2021).

Selain inspeksi, penggantian komponen yang rentan terhadap keausan juga merupakan bagian penting dari pemeliharaan *preventif*. Komponen seperti oli, filter, dan suku cadang lainnya perlu diganti secara teratur agar mesin tetap berfungsi dengan baik. Penggantian ini membantu mencegah kegagalan mesin yang dapat menyebabkan *downtime* yang mahal dan mengganggu proses

produksi. Dengan menerapkan jadwal penggantian yang tepat, perusahaan dapat memastikan bahwa semua komponen beroperasi dalam kondisi optimal dan mengurangi risiko kerusakan mendadak (Kartika & Bangsa, 2022).

Komponen lain yang tak kalah penting dalam pemeliharaan *preventif* adalah pelumasan. Pelumasan yang tepat pada bagian-bagian bergerak mesin sangat penting untuk mengurangi gesekan yang dapat menyebabkan keausan lebih cepat. Proses ini tidak hanya memperpanjang umur mesin tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional. Dengan menjaga komponen mesin dalam kondisi baik melalui pelumasan rutin, perusahaan dapat meminimalkan risiko kerusakan dan memastikan bahwa mesin beroperasi pada tingkat kinerja maksimal.

2.2.7.3. Preventif Maintenance

Preventif maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan yang tidak terduga serta mengidentifikasi kondisi yang berpotensi menyebabkan gangguan pada fasilitas produksi selama proses berlangsung (Assauri, 2014). Kegiatan *preventif maintenance* memiliki peran yang sangat penting karena terbukti efektif dalam menjaga keandalan fasilitas produksi. Metode ini dilakukan melalui upaya pencegahan kerusakan pada mesin, seperti penggantian komponen secara terencana berdasarkan waktu pemakaian, serta pelaksanaan perawatan ringan dan inspeksi guna mengetahui kondisi terkini dari mesin. Contoh kegiatan *preventif maintenance* antara lain pembersihan, pemeriksaan, pelumasan, pengencangan baut, inspeksi berkala, serta *small overhaul*.

Pemeliharaan pencegahan (*preventif maintenance*) merupakan kegiatan inspeksi berkala yang bertujuan mendeteksi kondisi yang berpotensi menyebabkan terhentinya proses produksi atau menurunnya fungsi mesin. Kegiatan ini dikombinasikan dengan tindakan pemeliharaan untuk menghilangkan atau mengendalikan kondisi tersebut serta mengembalikan mesin ke kondisi normal. Dengan kata lain, *preventif maintenance* adalah upaya mendeteksi dan menangani kondisi abnormal mesin sebelum menimbulkan cacat maupun kerugian.

Ruang lingkup kegiatan *preventif maintenance* meliputi inspeksi, perbaikan ringan, pelumasan, serta penyetelan, sehingga peralatan atau mesin dapat beroperasi dengan baik dan terhindar dari kerusakan selama proses produksi.

Terdapat tujuh elemen dalam pemeliharaan pencegahan (*preventif maintenance*), yaitu:

1. Inspeksi, kegiatan pemeriksaan yang dilakukan secara terencana terhadap bagian-bagian tertentu dengan membandingkan kondisi fisik, mekanik, maupun kelistrikan dengan standar yang telah ditetapkan.
2. Kalibrasi, proses untuk mendeteksi serta menyesuaikan penyimpangan tingkat akurasi suatu alat atau parameter agar sesuai dengan standar yang ditentukan.
3. Pengujian, kegiatan pengujian secara periodik yang bertujuan untuk mengetahui kondisi pemakaian serta mendeteksi adanya potensi kerusakan pada sistem mekanik maupun kelistrikan.
4. Penyesuaian, tindakan penyetelan secara berkala terhadap elemen-elemen variabel guna mencapai kinerja peralatan yang optimal.
5. Servicing, kegiatan perawatan rutin seperti pelumasan, pengisian, dan pembersihan, serta tindakan lainnya untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi pada peralatan.
6. Instalasi (penggantian), kegiatan penggantian komponen secara berkala berdasarkan batas umur pakai atau siklus penggunaan, dengan tujuan menjaga tingkat toleransi yang telah ditentukan.
7. Alignment, proses penyelarasan atau penyesuaian posisi komponen tertentu agar kinerja peralatan tetap optimal.