

2. STUDI PUSTAKA

2.1. *Maintenance* (Perawatan)

2.1.1. Definisi

Maintenance merupakan serangkaian aktivitas untuk menjaga agar fasilitas atau peralatan senantiasa dalam keadaan siap pakai (Harsanto, 2013). *Maintenance* atau perawatan sendiri memiliki tujuan utama untuk menjaga fasilitas atau mesin produksi selalu berada pada kondisi optimal serta tidak mudah mengalami kerusakan. Kegiatan dari *maintenance* ini memegang pengaruh yang sangat besar dalam kualitas produk yang dihasilkan, keselamatan pengguna, kapasitas produksi, dan biaya produksi. Itulah mengapa kegiatan *maintenance* sangat butuh untuk dilakukan. Tujuan dari *maintenance* sendiri adalah :

1. Memperpanjang usia dari mesin ataupun aset;
2. Memastikan terjaganya fungsi dari mesin ataupun aset, mulai dari sistem, efisiensi, serta kualitas produk;
3. Menjamin kesiapan untuk produksi;
4. Menjamin keselamatan dan keamanan pekerja.

2.1.2. Bentuk dari *Maintenance*

Dari cara penanganannya, *maintenance* dibagi menjadi dua, yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*.

Planned maintenance adalah kegiatan *maintenance* yang terjadwal dan diorganisir agar penerapannya berkelanjutan. Tujuan utama dari adanya *planned maintenance* adalah untuk mengurangi *cost* yang akan dihasilkan oleh *unplanned maintenance*. *Planned maintenance* sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. *Preventive Maintenance*

Menurut Kimura (1997), *preventive maintenance* (perawatan pencegahan) adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilaksanakan setelah jangka waktu tertentu, atau ketika sistem tertentu telah digunakan, untuk mengurangi kemungkinan kegagalannya. Kegiatan ini umumnya meliputi inspeksi, perbaikan dan pergantian *part*, *cleaning*, pelumasan, penyesuaian *setting* dan kalibrasi pada sistem yang akan dipelihara. Harapannya dengan menggunakan *preventive maintenance* kinerja mesin bisa dijaga pada performa idealnya dan mengurangi adanya kerusakan *part* yang tiba-tiba

2. Predictive Maintenance

Predictive maintenance merupakan perbaikan atau pergantian komponen yang dilakukan berdasarkan hasil estimasi waktu yang terdekat dengan terjadinya kerusakan mesin atau komponen (Ebeling, 1997). Tentunya umur atau *lifespan* dari setiap komponen dari mesin berbeda-beda.

Unplanned maintenance adalah kegiatan *maintenance* yang tidak terjadwal atau terjadi secara tiba-tiba. *Unplanned maintenance* merupakan suatu reaksi akibat adanya gangguan atau kegagalan pada suatu proses. *Unplanned maintenance* ini tentunya merugikan karena proses produksi akan terhambat serta kinerja mesin pastinya tidak optimal. Waktu yang dibutuhkan dalam penanganan dari *unplanned maintenance* umumnya akan lebih lama dibandingkan dengan *planned maintenance*. *Unplanned maintenance* hanya memiliki dua jenis, yaitu :

1. Breakdown Maintenance

Breakdown maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan ketika mesin mengalami kerusakan sehingga mesin tidak dapat beroperasi dengan normal atau proses produksi berhenti sepenuhnya (Prabowo, et al, 2018). *Breakdown maintenance* memiliki peran untuk mencegah kerusakan yang berlebih. Penanganan ini bersifat sementara.

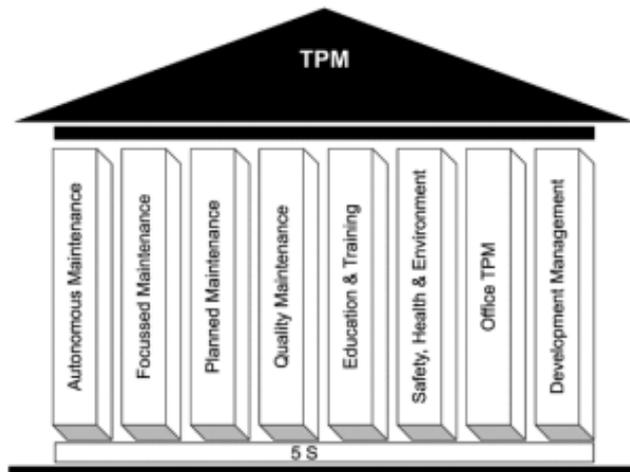
2. Corrective Maintenance

Corrective maintenance adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian termasuk penyetelan dan reparasi yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima (Leflar, 1998). Perbaikan dapat berupa modifikasi terhadap mesin serta pergantian *part* sesuai dengan kebutuhan. Tujuan utamanya mempelajari sebab terjadinya kerusakan serta cara mengatasinya dengan cepat dan benar serta mengembalikan kepada kondisi optimal nya.

2.2. Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance atau biasa dikenal dengan TPM merupakan sebuah metode untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaan mesin dalam proses produksi. TPM merupakan pendekatan yang dikenalkan di Jepang oleh Seichi Nakajima yang di kembangkan untuk mendukung *Preventive Maintenance System*. Menurut Purnomo (2019), tujuan utama dari adanya TPM adalah adanya *zero breakdown, zero defects, dan zero accident* sepanjang siklus hidup mesin. Menurut Heizer (2006), TPM mencakup hal-hal berikut :

1. Merancang mesin handal yang mudah dioperasikan dan dirawat;
2. Menekankan total biaya awal saat membeli mesin untuk memastikan servis dan pemeliharaan berada dalam batas yang ditentukan biaya;
3. Mengembangkan rencana pemeliharaan preventif yang memanfaatkan praktik terbaik operator dan pemeliharaan departemen;
4. Pelatihan karyawan tentang pengoperasian dan pemeliharaan mesin.



Gambar 2.1. Susunan 8 Pilar TPM.

Sumber : Yuniawan, et al, (2014). Measurement of production line performance based on OEE extension, *The Japan Society of Mechanical Engineers*. DOI : 10.1299/jsmemsd.2014.57

Gambar 2.1 merupakan susunan pilar pilar penunjang TPM. Dasar dari berlakunya TPM itu adalah adanya konsep dari 5S. 5S sendiri merupakan suatu konsep yang untuk dilakukannya *continuous improvement*. Dengan menerapkan konsep ini maka masalah yang ada akan terlihat jelas. 5S sendiri terdiri dari

1. *Sort (Seiri)*
2. *Set in Order (Seiton)*
3. *Sweep (Seiso)*
4. *Standardize (Seiketsu)*
5. *Sustain (Shitsuke)*

Di atas dasar 5S tersebut, terdapat delapan pilar penunjang yaitu :

1. *Autonomous Maintenance*
Mendorong peranan operator dalam pemeliharaan sehari-hari;
2. *Focused Maintenance*

- Memprioritaskan kerugian dan menghilangkannya secara berkala;
3. *Planned Maintenance*
Mengupayakan untuk *zero breakdown*;
 4. *Quality Maintenance*
Mengupayakan untuk *zero defects*;
 5. *Training & Education*
Mendorong untuk berkembangnya setiap orang dengan memberikan edukasi dan pelatihan;
 6. *Safety, Health & Environment*
Mengupayakan untuk *zero accident*;
 7. *Office TPM*
Mendorong untuk semua kalangan pekerja melakukan TPM bahkan bagian atasan pada karyawan;
 8. *Early Equipment Management*
Belajar dari pengalaman sebelumnya sehingga saat melakukan pembaharuan alat bisa melakukan perawatan dengan mudah dan cepat.

2.3. OEE (Overall Equipment Effectiveness)

2.3.1. Definisi

Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah sebuah indikator untuk menghitung kemampuan dari peralatan dan biasanya digunakan untuk menghitung performa dari peralatan dalam presentase (Hariputra, 2023). OEE menjadi metrik inti untuk mengukur keberhasilan program implementasi TPM (Samuel et al, 2002). OEE ini nantinya akan memberikan gambaran mengenai seberapa baik mesin atau peralatan yang digunakan untuk membuat produk dalam jangka waktu tertentu. Dengan adanya itu dapat mengetahui kemampuan mesin untuk bekerja, efisiensi produksi, dan kualitas output yang dihasilkan. OEE sendiri dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*.

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (2.1)$$

1. Availability

Availability didefinisikan sebagai peluang sebuah komponen atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan pada waktu tertentu yang berada pada kondisi normal

(Ebeling, 1997). Secara umum, *Availability* ini merupakan suatu faktor yang menunjukkan rasio atau persentase dari tingkat kesiapan alat atau mesin yang akan digunakan. Perhitungan dari *Availability* dituliskan sebagai berikut :

$$Availability = \frac{Operating\ Time}{Planned\ Production\ Time} \times 100\% \quad (2.2)$$

$$Operating\ Time = Planned\ Production\ Time - Downtime \quad (2.3)$$

Operating time merupakan hasil dari *planned production time* dikurangi dengan *downtime*. *Planned production time* sendiri merupakan perencanaan awal seberapa lama mesin akan bekerja. *Down time* merupakan seberapa lama mesin tersebut dilakukan perbaikan.

2. Performance

Performance dapat diartikan sebagai kemampuan kinerja dari alat atau mesin dengan dilihat dari kuantitas produk yang dihasilkan dibandingkan dengan jumlah ideal. *Performance* merupakan suatu faktor yang menunjukkan rasio atau persentase dari tingkat keefektifan dari alat atau mesin yang digunakan. Perhitungan dari *Performance* dituliskan sebagai berikut :

$$Performance = \frac{Cycle\ time \times Processed\ Amount}{Operating\ Time} \times 100\% \quad (2.4)$$

$$Performance = \frac{Actual\ Run\ Rate}{Ideal\ Run\ Rate} \times 100\% \quad (2.5)$$

$$Actual\ Run\ Rate = \frac{Total\ Actual\ Output}{Operating\ Time} \times 100\% \quad (2.6)$$

Perhitungan dari *Performance* sendiri bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu mengalikan *cycle time* dengan *processed amount* lalu membaginya dengan *operating time* dan membandingkan *actual run rate* dengan *ideal run rate*. *Cycle time* merupakan lama waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk dari tahap awal sampai pada akhir. *Actual run rate* merupakan jumlah produksi aktual mesin per satuan waktu, sedangkan *ideal run rate* merupakan jumlah produksi ideal per satuan waktu. *Total actual output* merupakan hasil jumlah produksi yang didapatkan selama *operating time*.

3. Quality

Quality dapat diartikan sebagai Kemampuan dari mesin untuk membuat produk yang bagus dan sesuai dengan standart yang diterapkan. *Quality* merupakan salah satu faktor yang menunjukkan perbandingan antara produk yang baik dengan produk cacat (*defect*). Perhitungan dari *quality* dituliskan sebagai berikut :

$$Quality = \frac{Good Amount}{Processed Amount} \times 100\% \quad (2.7)$$

$$Good Amount = Processed Amount - Defect \quad (2.8)$$

Good Amount merupakan hasil produk yang dianggap bagus dan bebas dari cacat. Hasil ini didapatkan dari *processed amount* (jumlah keseluruhan produk yang dihasilkan) dikurangi dengan produk *defect* atau produk yang cacat.

2.3.2. Penilaian Skor OEE

Menurut JIPM (Japan Institute of Plant Management), standart *benchmark* yang sesuai untuk diterapkan secara global sebagai berikut :

1. OEE = 100%

Produksi dianggap sempurna jika memproduksi produk tanpa cacat, bekerja dalam *performance* yang cepat, dan tidak ada *downtime*.

2. OEE = 85% - 99%

Produksi dianggap kelas dunia. Bagi banyak perusahaan, skor ini merupakan skor yang cocok untuk dijadikan *goal* jangka panjang.

3. OEE = 60% - 84%

Produksi dianggap wajar, tapi menunjukkan ada ruang yang besar untuk *improvement*.

4. OEE = 40%

Produksi dianggap memiliki skor yang rendah, tapi dalam kebanyakan kasus dapat dengan mudah di-*improve* melalui pengukuran langsung (misalnya dengan menelusuri alasan-alasan *downtime* dan menangani sumber-sumber penyebab *downtime* secara satu per satu).

2.4. MTTR (*Mean Time To Repair*)

Menurut Hermita (2020) MTTR (*Mean Time To Repair*) atau *serviceability* merupakan sebuah indikator kemampuan dari *skill* operator dan *serviceability* dari mesin dalam mengatasi

setiap kerusakan. *Mean Time To Repair* sendiri dapat diartikan sebagai waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan pada mesin setiap kali ada kerusakan. MTTR sendiri merupakan sebuah parameter untuk mengukur keandalan dari suatu mesin ataupun sistem yang bekerja. Perhitungan dari MTTR dapat dituliskan sebagai berikut :

$$MTTR = \frac{\text{Total Repair Time}}{\text{Total Repair}} \quad (2.9)$$

Total repair time sendiri merupakan total waktu perbaikan dari dari semua permasalahan yang terjadi dan sudah termasuk dalam waktu yang dibutuhkan dalam *set-up* dan *testing* mesin sampai pada menghasilkan produk sesuai dengan kondisi normal. *Total repair* merupakan total berapa kali dari perbaikan mesin ataupun sistem selama mesin atau sistem tersebut berjalan. MTTR ini juga memiliki kaitan dengan *maintainability*. *Maintainability* adalah usaha atau biaya untuk melakukan suatu perawatan (pemeliharaan) (Fatma, 2020). Semakin rendahnya hasil MTTR yang dihasilkan maka tingkat *maintainability* akan semakin tinggi dan hal tersebut merupakan hasil yang baik, begitu pula sebaliknya.

2.5. MTBF (*Mean Time Between Failure*)

Mean Time Between Failure (MTBF) biasa juga dikatakan *Mean Time To Failure* (MTTF). Menurut Soesetyo (2014) MTBF merupakan nilai rata-rata interval antar kerusakan dari sebuah distribusi data kerusakan. MTBF sendiri dapat diartikan sebagai waktu rata-rata suatu sistem atau mesin bisa berjalan dengan baik sebelum terjadinya suatu kerusakan. Perhitungan dari MTBF dapat dituliskan sebagai berikut :

$$MTBF = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Total Failure}} \quad (2.10)$$

Total failure merupakan jumlah kegagalan atau jumlah kerusakan yang terjadi selama jangka waktu dari *operating time*. MTBF ini memiliki kaitan dengan *reliability*. *Reliability* sendiri merupakan kemungkinan dimana sebuah mesin ataupun sistem dapat bekerja dengan baik. Nantinya MTBF akan dituliskan dalam satuan jam dan semakin tinggi dari MTBF maka *reliabilitas* dari suatu sistem atau mesin juga akan semakin tinggi. Tingginya MTBF menandakan semakin andalnya sistem atau mesin tersebut.

2.6. Preventive Cost (C_p)

Preventive cost (C_p) merupakan *cost* atau biaya yang ada karena adanya kegiatan dari *preventive maintenance* yang terjadwal. Dengan adanya *preventive cost*, tentunya dapat membantu untuk mengambil keputusan untuk jangka panjang. Perhitungan dari *preventive cost* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$C_p = \{(A + B) \times C\} + D \quad (2.11)$$

Dimana :

- A : Biaya kehilangan produksi/hari
- B : Biaya tenaga kerja (operator)/hari
- C : Waktu untuk *preventive maintenance* (MTTR *planned repair*)
- D : Biaya Komponen

2.7. Failure Cost (C_f)

Failure cost (C_f) merupakan *cost* atau biaya yang timbul karena adanya kerusakan pada mesin diluar perkiraan (*breakdown*) yang menyebabkan kerugian dan terhambatnya waktu produksi. Dengan adanya *failure cost* ini, dapat memperkirakan seberapa besar kerugian yang ditimbulkan akibat kerusakan yang ada.

$$C_f = \{(A + B)\} \times C + D \quad (2.11)$$

Dimana :

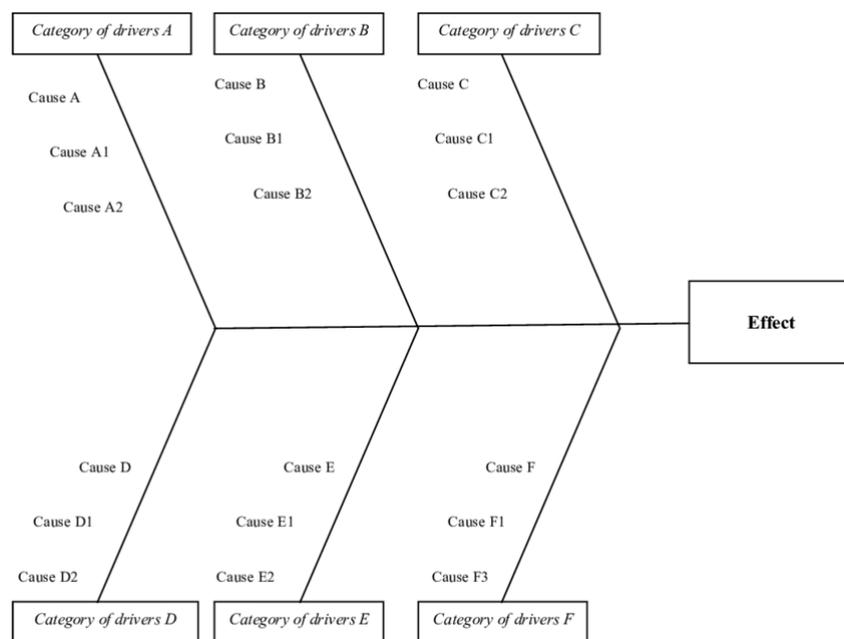
- A : Biaya kehilangan produksi/hari
- B : Biaya tenaga kerja (operator)/hari
- C : Waktu untuk *preventive maintenance* (MTTR *unplanned repair*)
- D : Biaya Komponen

Angka yang didapat dari *failure cost* ini nantinya akan dibandingkan dengan *preventive cost*. Perbandingan tersebut menjadi dasar perbaikan mana yang lebih menguntungkan untuk dilakukan. Umumnya *failure cost* yang dihasilkan akan lebih tinggi dibandingkan dengan *preventive cost*.

2.8. Fishbone Diagram

Fishbone diagram juga dikenal sebagai *Cause and Effect diagram*, merupakan alat visual yang digunakan untuk menganalisis penyebab-penyebab dari suatu permasalahan yang ada. Diagram ini memiliki struktur berbentuk seperti tulang ikan, dengan garis utama (berada di tengah) yang mewakili masalah utama dan cabang-cabang yang berada di samping mewakili kategori-kategori penyebab potensial. 5 faktor penyebab utama signifikan yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. OEE = 100%
2. Metode kerja (*work method*)
3. Mesin atau peralatan kerja lainnya (*machine/equipment*)
4. Bahan baku (*raw material*)
5. Lingkungan kerja (*work environment*)



Gambar 2.2. Penerapan *Fishbone* Diagram.

Sumber : Coccia, (2020). *Fishbone diagram for technological analysis and foresight*, *Internasional Journal of Foresight an Innovation Policy*.

<https://doi.org/10.1504/IJFIP.2020.10033239>

2.9. Six Big Losses

Six Big Losses merupakan sebuah patokan untuk mengidentifikasi dan mengurangi potensi kerugian dalam proses produksi. Enam kerugian ini merujuk pada waktu produksi yang hilang atau tidak efisien, yang dapat mempengaruhi ketersediaan peralatan dan efisiensi produksi. *Six Big Losses* atau enam kerugian utama ini terdiri dari :

1. Downtime due to Equipment Failures (Downtime Loss):

Kegagalan mesin atau peralatan mengakibatkan waktu produksi berkurang untuk melakukan perbaikan dan pemulihan.

$$\text{Downtime Loss} = \frac{\text{Downtime}}{\text{Planned Production Time}} \times 100\% \quad (2.12)$$

2. Setup and Adjustment Loss (Setup Loss):

Kerugian waktu untuk mengatur atau menyesuaikan peralatan termasuk persiapan, pengaturan, dan penyesuaian mesin.

$$\text{Setup Loss} = \frac{\text{Setup Time}}{\text{Planned Production Time}} \times 100\% \quad (2.13)$$

3. Idling and Minor Stops Loss (Idling Loss):

Baik secara sengaja atau tidak sengaja, berhenti singkat atau *idle* mesin mengurangi waktu produksi.

$$\text{Idling Loss} = \left(100 - \left(\frac{\text{Total Output and actual cycle time}}{\text{Operating Time}}\right)\right)\% \quad (2.14)$$

4. Reduced Speed Loss (Reduced Speed Loss):

Kerugian waktu terjadi ketika mesin berjalan lebih lambat dari yang diharapkan atau diinginkan. Ini dapat terjadi karena masalah teknis, masalah operasional, atau faktor lain yang mempengaruhi kecepatan produksi.

$$\text{Reduced Speed Loss} = \left(100 - \left(\frac{\text{Ideal Cycle Time}}{\text{Actual Cycle Time}}\right)\right)\% \quad (2.15)$$

5. *Defects Loss (Quality Loss):*

Jumlah produk yang hilang atau tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan selama proses produksi yang disebabkan oleh produksi produk yang cacat atau yang membutuhkan pekerjaan ulang.

$$Quality\ Loss = \frac{Total\ Defect\ on\ Process}{Total\ Production} \quad (2.16)$$

6. *Start-up Rejects Loss (Start-up Loss):*

Kerugian waktu terjadi selama awal produksi, terutama saat mesin atau peralatan dimulai, dan mencakup waktu yang dihabiskan untuk memperoleh produk yang memenuhi standar kualitas setelah awal produksi.

$$Startup\ Loss = \frac{Total\ Defect\ on\ startup}{Total\ Production} \quad (2.17)$$