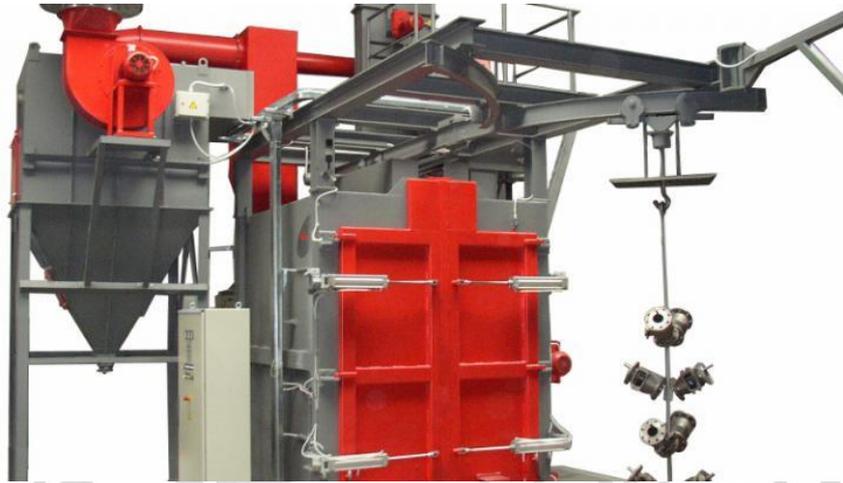


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Hanger Shot Blast



Gambar 2.1 Mesin *Hanger Shot Blast* Kazo

Mesin *Hanger Shot Blast* adalah mesin yang digunakan untuk membersihkan pasir dan kotoran-kotoran yang menempel pada benda coran dengan cara menembakkan *steel shot*. Disini produk cor akan digantung dan dimasukkan ke dalam ruangan kemudian ditembak dengan *Steel Shot*. Proses ini dilakukan selama 20 menit dalam satu produk cornya. Mesin *Hanger Shot Blast* mempunyai komponen seperti *screw conveyor*, *bucket elevator*, *hanger rotator*, *crane*, *dust collector*, *motor*, *impeller*, *shot gate and support*, *rotary screen*, dan *control panel*.

2.2 Maintenance (Perawatan)

Menurut Kurniawan (2013), perawatan adalah kegiatan didalam suatu sistem produksi dimana fungsinya berupa objek dengan cara pemeliharaan, perbaikan, penggantian, pembersihan, penyetelan dan pemeriksaan. Oleh karena itu, perawatan sangat penting untuk dilakukan guna menjaga stabilitas mesin terhadap produksi pada perusahaan. Pemeliharaan merupakan gabungan dari berbagai kegiatan yang dilaksanakan guna menjaga suatu mesin atau komponen untuk memperbaiki hingga dapat beroperasi seperti semula. Menurut Ansori dan Mustajib (2013), perawatan atau pemeliharaan (*maintenance*) merupakan konsepsi dari

semua pekerjaan yang bertujuan agar mesin atau fasilitas dalam kondisi baik seperti semula dengan menjaga dan mempertahankan kualitasnya.

Menurut Moubray (1997), *Maintenance* adalah tindakan untuk memastikan fisik sistem berjalan terus menerus sesuai tujuan sistem tersebut. Menurut Tarigan dkk (2013), faktor produksi yang harus dioptimalkan salah satunya adalah mesin produksi. Nilai *downtime* yang minimum dapat dikatakan bahwa sistem perawatan berjalan dengan optimal seperti semula. Pemahaman tentang istilah perawatan yakni terdapat beberapa kegiatan seperti berikut (Kurniawan, 2013) :

1. *Inspection*

Kegiatan pengecekan terhadap fasilitas produksi untuk mengetahui keberadaan atau kondisinya.

2. *Repair*

Kegiatan terhadap mesin produksi untuk mengembalikan kondisi mesin ketika ada gangguan yang bersifat perbaikan kecil, sehingga dapat beroperasi Kembali.

3. *Overhaul*

Kegiatan repair yang memiliki sifat perbaikan besar, sehingga mengganggu kegiatan produksi dan membutuhkan biaya besar.

4. *Replacement*

Kegiatan dalam perawatan dengan cara mengganti komponen mesin yang rusak.

Tujuan utama dilakukannya sistem manajemen perawatan menurut *Japan Institute of Plan Maintenance* dan *Consultant TPM India* sebagai berikut (Ansori dan Mustajib, 2013) :

1. Pemakaian fasilitas produksi lebih lama.
2. Ketersediaan optimum dari fasilitas produksi.
3. Menjamin kesiapan operasional seluruh fasilitas yang diperlukan pada saat pemakaian darurat.
4. Menjamin keselamatan operator dan pemakaian fasilitas.

5. Membantu kemampuan mesin dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan fungsinya
6. Mendukung pengurangan pemakaian dan penyimpanan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijakan perusahaan.
7. Melaksanakan kegiatan maintenance secara efektif dan efisien agar tercapai tingkat biaya perawatan serendah mungkin (lowest maintenance cost).
8. Kerjasama yang kuat dengan fungsi-fungsi utama dalam perusahaan untuk mencapai tujuan utama perusahaan untuk mendapatkan keuntungan sebesar- besarnya.

2.2.1 Jenis – Jenis Perawatan

Menurut Prawirosentono (2007), Perawatan dikategorikan dalam beberapa jenis, yaitu :

1. Planned maintenance (perawatan terencana) adalah aktivitas perawatan yang dilakukan berdasarkan rencana acuan pada alur proses produksi. Adapun perawatan terencana dibagi menjadi dua jenis sebagai berikut :
 - a. *Preventive maintenance* adalah aktivitas perawatan yang dilakukan dengan periode waktu tetap atau kriteria tertentu. Tujuannya produk yang dihasilkan sesuai dengan rencana sebelumnya.
 - b. *Corrective maintenance* adalah aktivitas perawatan ketika hasil produksi tidak sesuai dengan rencana seperti dari faktor kualitas, biaya maupun waktu produksi.
2. Unplanned maintenance (perawatan tidak terencana) merupakan aktivitas perawatan karena terdapat indikasi proses produksi yang tiba-tiba menghasilkan produk cacat.
3. *Emergency maintenance* merupakan aktivitas perawatan mesin saat keadaan darurat agar tidak menimbulkan akibat yang lebih parah dari kerusakan mesin tersebut

2.3 Pengumpulan Data

Data yang harus dikumpulkan meliputi, *downtime*, fungsi sub sistem (komponen) dan informasi sistem. Pengumpulan data terdiri dari dua metode, adalah :

1. Metode Observasi

Observasi dilakukan dengan pengamatan secara langsung untuk mendapatkan data mengenai segala hal yang berhubungan dengan masalah yang diteliti di objek penelitian.

2. Metode Wawancara

Wawancara secara langsung dengan pihak-pihak yang berkompeten seperti Manajer Produksi, Kepala Bagian Produksi, Bagian Perawatan Mesin, dan pihak lain yang berhubungan dengan data yang diperlukan untuk penelitian.

2.4 Definisi Downtime

Pengertian Downtime menurut Jr.Patton (1995) dapat diartikan sebagai berhentinya mesin pada saat proses produksi sedang berlangsung sehingga menyebabkan mesin harus segera diperbaiki dengan melibatkan engineering dalam perbaikannya.

Gasper (1992) berpendapat bahwa *downtime* merupakan lama waktu mesin atau komponen yang tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Hal ini bisa terjadi ketika sebuah mesin atau komponen mengalami kerusakan sehingga mengganggu kinerja dan kualitas pada produksi. Pada dasarnya prinsip yang utama dalam perawatan (*maintenance*) adalah meminimalisasi adanya *downtime*, sehingga pergantian komponen mesin atau suatu sistem sangat penting digunakan untuk menekan laju kerusakan pada batas minimum. Pada penelitian ini difokuskan pada proses pembuatan keputusan penggantian komponen (*replacement*) serta penentuan interval pemeriksaan dengan sistem kriteria minimasi *downtime*, sehingga tujuan utama dari manajemen sistem perawatan adalah agar bisa memperpendek periode kerusakan ke titik batas minimum dan dapat dicapai sebagai bentuk pengoptimalan tindakan *preventive*.

2.5 Histogram

Histogram adalah alat untuk menunjukkan variasi data pengukuran, seperti berat badan sekelompok orang, tebal plat besi, dan sebagainya (Nasution, 2015). Seperti halnya dengan pareto chart, histogram berbentuk bar graph yang menunjukkan distribusi frekuensi. Tetapi, histogram berbeda dengan pareto chart karena bar graph tidak digambar menurun dari kiri ke kanan. Histogram menunjukkan data pengukuran, seperti berat, temperature, tinggi, dan sebagainya. Dengan cara demikian, histogram dapat digunakan untuk menunjukkan variasi setiap proses (Nasution, 2015).

Histogram adalah diagram batang yang menunjukkan tabulasi dari data yang diatur berdasarkan ukurannya. Tabulasi data ini umumnya dikenal sebagai distribusi frekuensi. Histogram menunjukkan karakteristik – karakteristik dari data yang dibagi – bagi menjadi kelas – kelas. Pada histogram frekuensi sumbu x menunjukkan nilai pengamatan dari tiap kelas. Histogram dalam bentuk “normal” atau bentuk lonceng yang menunjukkan bahwa banyak data yang berada dalam rata – rata.

2.6 Reliability (Keandalan)

Menurut Ebellling (1997) *reliability* adalah probabilitas suatu komponen atau sistem akan beroperasi sesuai dengan fungsi yang ditetapkan dalam jangka waktu tertentu ketika digunakan dalam kondisi operasional tertentu. Keandalan juga dapat diartikan kemampuan suatu peralatan untuk bertahan dan tetap beroperasi sampai batas waktu tertentu.

Sedangkan menurut Riezna (dalam Afrizon, Hergo & Firdaus. 2018) menjelaskan bahwa nilai keandalan didefinisikan sebagai suatu probabilitas dari sebuah alat atau item untuk dapat melakukan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan.

2.7 Fungsi Keandalan

Fungsi keandalan (*Reliability*) diartikan sebagai banyaknya kemungkinan sebuah mesin atau komponen dapat bekerja dengan baik tanpa terjadi kegagalan

maupun pada suatu periode waktu t dalam keadaan operasi standar. Sehingga dapat dirumuskan oleh Gasperz (1998) sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (21)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t F(t)dt \quad (2.2)$$

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

Dimana : $R(t)$ adalah distribusi keandalan yang merupakan probabilitas bahwa waktu kerusakan lebih besar atau sama dengan t , sedangkan $F(t)$ adalah fungsi distribusi kegagalan atau kerusakan dari mesin.

2.8 Kerusakan

Menurut Ansori (2013) Karakteristik kerusakan pada peralatan umumnya tidak sama meskipun dioperasikan pada waktu yang bersamaan, karakteristik yang sama akan memberikan selang waktu terjadinya kerusakan yang berbeda. Karena kerusakan suatu alat atau komponen tergantung pada variabel waktu dan untuk mengetahui variabel waktu kerusakan digunakan fungsi padat probabilitas.

2.9 Fungsi Padat Probabilitas

Oconnor (2002) menyatakan kegiatan perawatan digunakan fungsi kepadatan probabilitas karena kerusakan komponen tergantung pada variabel waktu dimana fungsi padat probabilitas antar selang waktu tertentu $(t_x t_y)$, maka :

$$\int_{t_x}^{t_y} f(t)dt \quad (2.3)$$

Probabilitas terjadinya kerusakan antara t_a dan t_z adalah :

$$\int_{t_x}^{t_y} f(t)dt = 1 \quad (2.4)$$

2.10 Fungsi Distribusi Kumulatif

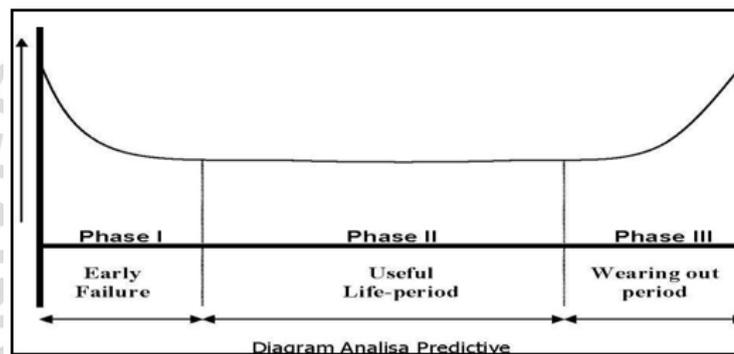
Menurut Ansori (2013) Fungsi distribusi kumulatif pada perawatan adalah probabilitas kerusakan yang merupakan probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu tertentu, yang secara matematis sebagai berikut :

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt \quad (2.5)$$

Dimana $F(t)$ menyatakan distribusi kumulatif, dan jika $t \rightarrow \infty$, maka $F(t) \rightarrow 1$

2.11 Failure Mode (Laju Kerusakan)

Laju kerusakan (*Failure mode*) merupakan *dynamic object* yang mempunyai performa yang berubah terhadap waktu. Plot tingkat kegagalan dengan bentuk bak mandi disebut *Bathtub Curve*, dan model dengan tingkat kegagalan bak mandi disebut *Bathtub Curve model*. Dengan demikian, *kurva bathtub* dapat menjelaskan perilaku kegagalan dari kumpulan komponen yang tidak dapat diperbaiki. Menurut Ebeling (1997), *Bathtub Curve* dicirikan oleh tiga fase yaitu fase penggunaan awal, fase penggunaan normal dan fase aus seperti dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Grafik Laju Kerusakan (*failure Mode*) terhadap waktu
Sumber : Ebeling (1997)

Berikut ini adalah penjelasan dari *Bathup Curve* yang terbagi menjadi tiga daerah kerusakan, daerah kerusakan tersebut adalah :

1. *Early Failure*

Daerah ini merupakan periode berawalanya suatu komponen beroperasi atau dapat dikatakan komponen masih baru sehingga *reability* masih 100%, dengan periode waktu (t) yang pendek. Didalam grafik ditunjukkan pada *early failure* yang semula tinggi akan semakin turun seiring berjalannya waktu atau dapat dikatakan dengan istilah *Decreasing Failure Rate (DFR)*. Hal ini dapat disebabkan akibat proses *manufacture* atau fabrikasi yang kurang sempurna.

2. *Useful Life-Perform*

Menurut Gasperz (2001) pada periode ini disebut *Constan Failure Rate (CFR)* dimana *failure rate* nya mengalami laju kerusakan yang rendah dan konstan terhadap penambahan waktu. Didalam daerah ini, sebagian besar umur komponen atau sistem berada dan dalam periode ini tidak dapat ditentukan apakah sistem dapat berjalan sesuai standart atau belum. Persamaan reliability pada *useful life time* yang dimana mengalami *failure reate* yang konstan adalah :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

Persamaan diatas digunakan untuk mesin atau komponen yang masih baru sehingga tingkat keandalanya diasumsikan pada keadaan $R(t) = 1$.

Sedangkan untuk komponen atau mesin yang sudah tidak baru lagi atau sudah pernah mengalami *maintenance* sebelumnya, persamaan dapat ditulis dengan :

$$R(t) = Me^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

Dimana :

$R(t)$ = Nilai Keandalan (%)

M = Nilai Keandalan setelah dilakukan kegiatan *maintenance* (%)

λ = Laju Kerusakan

t = Periode waktu yang diinginkan

3. *Wearing Out Region*

Pada periode ini adalah periode akhir umur pakai dari mesin atau komponen. Laju kerusakan mengalami kenaikan yang tinggi seiring dengan berjalannya waktu atau bisa disebut *Increasing Failure Rate (IFR)*. Akhir dari periode ini adalah ketika *Reliability* ini mencapai 0 atau ketika mesin tidak dapat diperbaiki lagi.

2.12 Fungsi Distribusi Kerusakan

Fungsi distribusi ini sangat penting karena berhubungan erat dengan probabilitistik. Dalam penerapan *preventive maintenance*, data waktu kerusakan yang akan dihitung merupakan hasil pengukuran maka data ini termasuk dalam data

kontinu. Oleh karena itu, distribusi yang digunakan untuk menghitung waktu kerusakan dan waktu perbaikan adalah dengan distribusi Normal (*Gaussian*), Lognormal, *Exponensial*, dan *Weibull*.

2.12.1 Distribusi Weibull

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang sangat banyak digunakan untuk menghitung laju kerusakan karena distribusi ini baik untuk digunakan laju kerusakan meningkat maupun laju kerusakan menurun. Dengan demikian distribusi ini dapat digunakan untuk menganalisa resiko karena dapat menduga umur pakai (*life time*) komponen. Menurut *Ebeling* (1997), terdapat dua parameter yang digunakan yaitu :

β (Beta) = parameter bentuk (*shape parameter*)

θ (Teta) = parameter skala (*scale parameter*)

Dengan kedua parameter dari distribusi *weibull* ini, maka didapatkan beberapa fungsi – fungsi, yaitu :

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.8)$$

2. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.9)$$

3. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cummulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \exp \left[\left(-\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.10)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad (2.11)$$

2.12.2 Distribusi Normal

Distribusi Normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan keausan (kelelahan) dan sebagai pendekatan yang baik untuk proses kegagalan. Distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. Kurva dari distribusi normal ini berbentuk lonceng(genta) yang bergantung pada dua parameter yaitu nilai tengah (μ) dan standar deviasi (σ) menurut Ebeling (1997). Fungsi-fungsi dari Distribusi Normal yaitu :

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.12)$$

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

2. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2} \right) \quad (2.14)$$

Untuk $-\infty < t < \infty$

Dimana t = waktu

3. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cummulative Density Function*)

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad (2.15)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right) \beta} \quad (2.16)$$

2.12.3 Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal memiliki dua buah parameter yang digunakan yaitu parameter bentuk (s) dan parameter lokasi (t_{med}). Lognormal memiliki banyak bentuk seperti distribusi weilbul, berikut ini adalah beberapa fungsi dari distribusi lognormal, yaitu :

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.17)$$

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \quad (2.18)$$

2. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{\ln(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.19)$$

Untuk $-\infty < t < \infty$ atau,

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{1}{2s^2} \ln\left(\frac{t}{t_{med}}\right)^2\right) \quad (2.20)$$

3. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cummulative Density Function*)

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \text{ atau} \quad (2.21)$$

$$F(t) = \Phi\left(-\frac{1}{s} \ln\frac{t}{t_{med}}\right) \quad (2.22)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1-\Phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)\beta} \quad (2.23)$$

2.12.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial dapat digunakan dalam mencari selisih mmaupun selang waktu didalam peluang tertentu. Menurut Nahmias (2001) distribusi *Eksponensial* mempunyai laju kerusakan yang bersifat konstan terhadap waktu dengan kata lain probabilitas kerusakan tidak tergantung pada umur komponen atau alat. Menurut *Ebeling* (1997) parameter yang digunakan didalam eksponensial yaitu λ yang diartikan sebagai rata-rata datangnya keruskaan terjadi. Dengan $\lambda(t) = \lambda$, $t \geq 0$, $\lambda > 0$, sehingga dihasilkan fungsi- fungsi sebagai berikut :

1. Fungsi Keandalan (*Reliability Function*)

$$R(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.24)$$

2. Fungsi Kepadatan Probabilitas (*Probability Density Function*)

$$f(t) = \exp(-\lambda t) \quad (2.25)$$

Untuk $-\infty < t < \infty$, dimana $t = \text{waktu}$

3. Fungsi Kumulatif Kerusakan (*Cummulative Density Function*)

$$F(t) = 1 - \lambda \exp(-\lambda t) \quad (2.26)$$

4. Fungsi Laju Kerusakan (*Hazard Rate Function*)

$$\lambda t = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \quad (2.27)$$

2.13 Mean Time To Failure

Menurut (Ansori & Imron, 2013), keandalan untuk suatu sistem seringkali dinyatakan dalam bentuk angka yang menyatakan ekspektasi masa pakai sistem atau alat tersebut, yang dinotasikan dengan $E [T]$ dan sering disebut rata – rata waktu kerusakan atau *mean time to failure* (MTTF). MTTF hanya digunakan pada komponen atau alat yang sering mengalami kerusakan dan harus diganti dengan komponen atau alat baru. Rata – rata kerusakan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E [T] = \int_0^{\infty} t \cdot f \cdot (t) dt \quad (2.28)$$

$$E [T] = - \int_0^{\infty} t \frac{dR}{dt} dt = -tR(t)I_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.29)$$

Karena $R(\infty)$ adalah 0, sehingga diperoleh :

$$E [T] = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.30)$$

Berikut ini merupakan perhitungan MTTF masing – masing distribusi sebagai berikut :

1. Distribusi Weibull

$$MTTF = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.31)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$ dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

2. Distribusi Normal

$$MTTF = \mu \quad (2.32)$$

3. Distribusi Lognormal

$$MTTF = \mu \quad (2.33)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.34)$$

2.14 Mean Time To Repair

Menurut (Ansori & Imron, 2013) MTTR adalah rata – rata waktu komponen untuk dilakukan perbaikan atau perawatan (*repair*). MTTR didasarkan atas

lamanya perbaikan dan penggantian komponen yang mengalami kerusakan (*failure*). MTTR dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E [T] = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.35)$$

Perhitungan MTTR untuk tiap distribusi dinyatakan sebagai berikut :

1. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.36)$$

Nilai $\theta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$ dapat dilihat pada tabel dari fungsi Gamma.

2. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad (2.37)$$

3. Distribusi Lognormal

$$MTTR = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}} \quad (2.38)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.39)$$

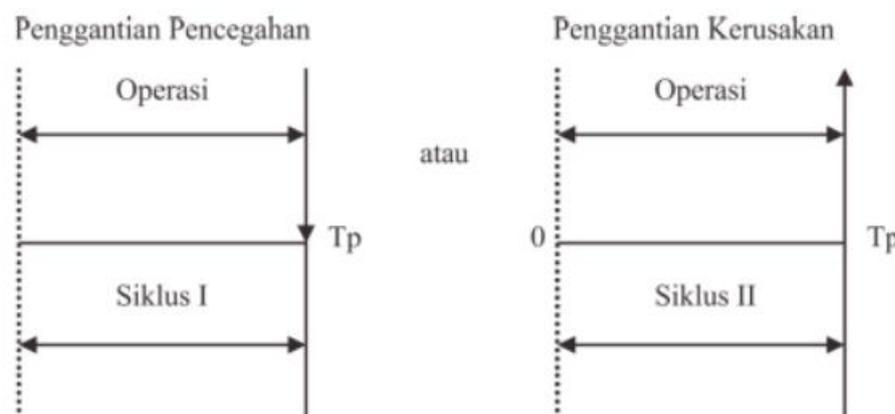
2.15 Age Replacement

Model *Age Replacement* menurut AKS Jardine (1997). adalah metode yang digunakan dalam menentukan penjadwalan penggantian komponen berdasarkan interval waktu kerusakan yang memperhatikan umur pakai dari komponen tersebut dengan kriteria minimasi downtime. Metode ini dapat menghindari pergantian komponen baru yang relatif cepat dari waktu pergantian sebelumnya sehingga dapat meminimasi biaya. Jadi apabila pergantian komponen sudah dilakukan, maka penggantian komponen selanjutnya berdasarkan interval waktu yang telah ditentukan.

Model ini cocok diterapkan pada komponen yang mempunyai interval waktu pengantiannya tidak akan mempengaruhi komponen lainnya atau apabila terdapat kerusakan komponen dalam satu set mesin maka hanya ada satu komponen rusak saja yang akan dilakukan penggantian. Asumsi lain dalam model ini adalah apabila

persediaan komponen selalu ada dan mesin yang sudah digantikan komponennya akan dapat kembali pada kondisi sebelumnya. Pada model *Age Replacement* ini terdapat dua siklus penggantian pencegahan, yaitu :

1. Siklus 1 yaitu pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan, ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian sesuai yang telah direncanakan sebelumnya.
2. Siklus 2 pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan, ditentukan melalui komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya.



Gambar 2.3 Road Map pemilihan Tindakan
Sumber : Jardine, (1973)

2.15.1 Perawatan Penggantian Pencegahan Age Replacement

Dalam model *Age Replacement* saat untuk dilakukan pergantian pencegahan adalah tergantung pada umur pakai dari komponen. Penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali interval penggantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan. Persamaan penentuan interval penggantian pencegahan dapat ditulis sebagai berikut :

$$D(tp) = \frac{Tp.R(tp)+Tf.(1-R(tp))}{(tp+TP).R(tp)+(M(tp)+Tf).(1-R(tp))} \quad (2.40)$$

Keterangan rumus :

t_p = Interval waktu penggantian pencegahan

T_f = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan komponen

T_p = Waktu untuk melakukan penggantian *preventive*

$R(t_p)$ = Probabilitas terjadinya penggantian pencegahan pada saat t_p

$M(t_p)$ = Waktu rata – rata terjadinya kerusakan jika penggantian perbaikan pada masa t_p yang dapat dicari dengan rumus $M(t_p)$

$$M(t_p) = \frac{MTTF}{1-R(t_p)} \quad (2.41)$$

2.16 Perhitungan Reliability Tindakan Perawatan Pencegahan

Peningkatan keandalan dapat ditempuh dengan cara perawatan pencegahan. Perawatan pencegahan dapat mengurangi pengaruh *wear-out* dan menunjukkan hasil yang signifikan terhadap umur mesin. Model keandalan berikut ini mengasumsi sistem kembali ke kondisi baru setelah menjalani perawatan pencegahan. Menurut Ebeling (1997) keandalan pada saat t dinyatakan sebagai berikut :

$$R(m) = R(t) \text{ untuk } 0 \leq t < T \quad (2.42)$$

$$R_m(t) = R(t-T) \text{ untuk } T \leq t < 2T$$

Dimana :

T = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan

$R_m(t)$ = keandalan dari sistem perawatan pencegahan

$R(t)$ = keandalan sistem tanpa perawatan pencegahan

$R(T)$ = peluang dari keandalan hingga perawatan pencegahan pertama

$R(t-T)$ = peluang dari keandalan antar $t-T$ setelah sistem dikembalikan pada kondisi awal pada saat T

Secara umum persamaannya adalah sebagai berikut :

$$R_m(t) = T(t)^n \cdot R(t-T) \quad (2.43)$$

Untuk $nT \leq t < (n+1)T$ dan $n = 0, 1, 2, \dots$

Dimana

n = jumlah perawatan pencegahan yang telah dilakukan sampai saat ini

T = interval waktu perawatan pencegahan

$R(t)^n$ = probabilitas dari keandalan hingga n selang waktu perawatan

$R(t-nT)$ = probabilitas keandalan waktu $t-nT$ dari perawatan *preventive* terakhir

Rumus untuk tiap – tiap distribusi sebelum adanya perawatan *preventive* adalah sebagai berikut :

1. Distribusi Weibull

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.44)$$

2. Distribusi Normal

$$R(t) = \exp \left[1 - \Phi \left[\frac{t-\mu}{\sigma} \right] \right] \quad (2.45)$$

3. Distribusi Lognormal

$$R(t) = \exp \left[\left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.46)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = \exp (-\lambda t) \quad (2.47)$$

Sedangkan rumus untuk tiap – tiap distribusi setelah tindakan perawatan *preventive* dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Distribusi Weibull

$$R(t-nT) = \exp \left[- \left(\frac{t-nT}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.48)$$

2. Distribusi Normal

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{(t-nT)-\mu}{\sigma} \right) \quad (2.49)$$

3. Distribusi Lognormal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{(t-nT)}{t_{med}}\right) \quad (2.50)$$

4. Distribusi Eksponensial

$$R(t) = \exp(-\lambda(t-nT)) \quad (2.51)$$

2.17 Biaya Perawatan Berdasarkan Interval Waktu Perawatan

Dengan dilakukannya perhitungan biaya perawatan kita akan dapat mengetahui berapa jumlah biaya yang dikeluarkan untuk perawatan berdasarkan interval waktu yang sudah dibahas sebelumnya. Menurut Kurniawan (2013) Manfaat yang diperoleh adalah manajemen dapat mengetahui dengan pasti biaya yang paling rendah pada periode tertentu, sehingga dapat dilakukan evaluasi. Pengembangan dari masalah ini merupakan asumsi bahwa kebijaksanaan penggantian preventif harus selalu ada dalam interval waktu, dengan kerusakan serendah mungkin (Kurniawan, 2013). Waktu perawatan yang optimal antara kegiatan penggantian preventif, dapat diketahui dengan memilih interval waktu yang memiliki biaya terendah. Apabila interval waktu yang optimal diperoleh, maka biaya perawatan yang paling minimum dapat diketahui. (Rahman,2001) (dalam Kurniawan, 2013).

$$C(tp) = \frac{C_p + C_f * H(tp)}{tp} \quad (2.52)$$

Dimana :

$C(tp)$ = Biaya perawatan dalam interval waktu

C_p = Biaya penggantian satu komponen

C_f = Biaya penggantian kerusakan

$H(tp)$ = Banyaknya kerusakan dalam interval waktu $(0, tp)$ merupakan Nilai harapan.

tp = Interval waktu

2.18 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Objek Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian

1	Aditya Putra Ramadhan (2015)	Forklift 5 Ton	Penentuan Jadwal Preventive Maintenance Menggunakan Metode Age Replacement Pada Forklift 5 Ton Di PT Swadaya Graha	Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan <i>preventive maintenance</i> dengan menggunakan model <i>Age Replacement</i> , Penentuan penjadwalan interval waktu penggantian kampas rem dengan menggunakan model <i>Age replacement</i> di PT Swadaya Gresik diperoleh interval waktu penggantian yang optimal adalah 322 hari dengan tingkat keandalan komponen diatas 50 % yaitu sebesar 85% sehingga didapatkan 9 kali penggantian komponen dalam 10 tahun kedepan dan mendapat Penghematan biaya <i>downtime</i> sebesar Rp.13.116.000 atau 29,53% dibandingkan dengan sebelum menggunakan metode <i>age replacement</i>
2	Taufik, Selly Septyani (2015)	Komponen Mesin Turbin	Penentuan Interval Waktu Perawatan Komponen Mesin Turbin	Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, komponen kritis dari mesin turbin adalah <i>membrane turbine</i> , <i>bearing</i> dan <i>turning gear</i> dengan interval waktu pemeriksaan untuk setiap komponen kritis

				<p>adalah 960.48 jam atau sekitar 40 hari, 908.57 jam atau sekitar 37 hari dan 1150.28 jam atau sekitar 48 hari. Sedangkan untuk interval komponen pada <i>turbine membrane</i> adalah 3410 jam, <i>bearing</i> adalah 8000 jam dan <i>turning gear</i> adalah 4500 jam. Nilai reliabilitas untuk setiap komponen kritis sebelum dan setelah <i>preventive maintenance</i> tetap sama, namun nilai <i>downtime</i> bagi setiap komponen menurun. Untuk nilai <i>availability</i> total untuk setiap komponen kritis adalah melebihi 95%.</p>
3	Chintya Ekawati, Kusmaningrum, Fifi Herni Mustofa (2016)	Mesin Dyeing	Jadwal Perawatan Preventive maintenance Pada Mesin Dyeing Menggunakan Metode Age Replacement di PT. Nobel Industries	<p>Penelitian dilakukan pada mesin <i>dyeing</i> karena perusahaan hanya memiliki 1 (satu) unit mesin saja, karena biayanya mahal dan menjadi pendukung proses produksi yang sangat penting. Terdapat 3 komponen kritis berdasarkan diagram pareto yaitu <i>air pressure switch</i>, <i>diapram</i> dan <i>main shaft</i>. Hasil perhitungan interval penggantian</p>

				<p>pencegahan untuk komponen <i>air preassure switch</i> adalah 89 hari dengan ekspektasi biaya penggantian Rp 37.780/hari, pada komponen <i>diapram</i> adalah 127 hari dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 23.539/hari sedangkan pada komponen <i>main shaft</i> adalah 92 hari dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 27.861/hari.</p>
4	Rizki Wahyuniardi, Arumsari H., Rizki Triana (2016)	Mesin Milling	Penentuan Interval Perawatan Dengan Menggunakan Age Replacement Di PT. "X"	<p>PT. "X" (Persero) adalah perusahaan yang bergerak dibidang pembuatan pesawat terbang di Indonesia. Pada penelitian ini akan dibuat sistem perawatan <i>preventive</i> untuk komponen kritis yang terdapat pada mesin kritis di PT. "X" yaitu komponen <i>Coller Thrust</i> pada mesin <i>milling</i> AABD06, dengan menghitung interval penggantian pencegahan komponen, sehingga diharapkan dapat mencegah terjadinya kerusakan komponen secara tiba-tiba dan dapat meminimasi <i>downtime</i></p>

				<p>Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh adalah interval waktu penggantian pencegahan yang optimal untuk komponen kritis <i>Collar Thrust</i> adalah setiap 450 jam. Sedangkan interval waktu pemeriksaan optimal adalah 412 jam. Terjadi penurunan total <i>downtime</i> yang diakibatkan kerusakan komponen dari 54,50 jam menjadi 6,94 jam. Dihasilkan pula penurunan total biaya menjadi Rp. 119.902.134,59.</p>
--	--	--	--	--