

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Mesin Forklift

Forklift adalah mesin yang menggunakan dua garpu untuk mengangkat dan menempatkan beban ke posisi yang biasanya sulit dijangkau. Berdasarkan cara pengoperasiannya, *forklift* dibedakan menjadi 2 jenis yaitu manual transmission, *forklift* jenis ini memiliki pedal yang sama seperti mobil pada umumnya, di antaranya ada pedal gas, kopling, dan rem. Syahroni (2017) Pengoperasian *forklift* ini lebih sulit dibanding automatic. dan automatic transmission Pada umumnya *forklift* automatic lebih mudah dioperasikan dari pada manual. Yang membedakan adalah tuas handlenya. Tuas handle untuk automatic *forklift* ada 4 bagian, yaitu naik-turun, maju-mundur, cangkil, geser kiri-kanan (Syahroni, 2017). Pada gambar 2.1 dibawah ini merupakan bagian-bagian dasar dari *forklift* dan fungsinya :



Gambar 2.1 Bagian-bagian mesin *forklift* (Syahroni, 2017)

1. *Fork* adalah bagian utama dari sebuah *forklift* yang berfungsi sebagai penopang untuk membawa dan mengangkat barang.
2. *Carriage* merupakan bagian dari *forklift* yang berfungsi sebagai penghubung antara mast dan fork.
3. *Mast* adalah satu bagian yang berupa dua buah besi tebal yang terkait dengan hydrolic system dari sebuah *forklift*. Mast ini berfungsi untuk lifting dan tilting.

4. *Overhead guard* merupakan pelindung bagi seorang *forklift driver*. Fungsi pelindungan ini terkait dengan safety user dari kemungkinan terjadinya barang yang jatuh saat diangkat atau diturunkan.
5. *Counter weight* merupakan bagian penyeimbang beban dari sebuah *forklift*. Letaknya berlawanan dengan posisi *fork*.

2.2 Perawatan (Maintenance)

2.2.1 Definisi perawatan

Perawatan atau maintenance adalah aktivitas agar suatu komponen atau sistem yang rusak dapat dikembalikan atau diperbaiki dalam suatu kondisi tertentu pada periode tertentu. (Ebeling, 1997) (dalam Ekawati et al., 2016). Menurut pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa maintenance merupakan suatu tindakan pemeliharaan atau menjaga fasilitas maupun memperbaiki fasilitas yang rusak sehingga saat akan digunakan fasilitas tersebut dapat bekerja sesuai dengan fungsinya (Ekawati et al., 2016).

Al-Turki (2011) (dalam Ansori & Muatajib, 2013) memodelkan proses perawatan sebagai proses transformasi ringkas dalam sistem perusahaan. Proses pemeliharaan yang dilakukan akan mempengaruhi tingkat ketersediaan (*availability*) fasilitas produksi, laju kerusakan, kualitas produk akhir (*end product*), ongkos produksi, dan keselamatan operasi. Faktor-faktor ini selanjutnya akan mempengaruhi tingkat keuntungan (*profitability*) perusahaan (Ansori & Muatajib, 2013). Proses perawatan yang dilakukan tidak saja membantu kelancaran produksi sehingga produk yang dihasilkan tepat waktu diserahkan kepada pelanggan, tapi juga menjaga fasilitas dan perawatan tetap dalam efektif dan efisien dimana sasarannya adalah mewujudkan nol kerusakan (*zero breakdown*) pada mesin-mesin yang beroperasi (Ansori & Muatajib, 2013).

2.2.2 Tujuan Perawatan

Secara garis besar, perawatan bertujuan untuk mencegah keausan dan kerusakan yang akan timbul secara tidak terduga pada sebuah mesin sehingga pada akhirnya dapat mengganggu jalannya proses produksi (Purnama et al., 2015). Secara rinci tujuan utama dari kegiatan perawatan adalah:

1. Mesin dan seluruh perlengkapan produksinya siap pakai.
2. Mengurangi atau memperlambat tingkat keausan dan kerusakan pada mesin.
3. Untuk mendapatkan biaya perawatan serendah mungkin dengan melakukan kegiatan perawatan secara teratur dan terencana.
4. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk tersebut dan supaya kegiatan produksi tidak terganggu.
5. Meningkatkan kemampuan berproduksi agar dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
6. Menjaga kualitas produksi yang termasuk dalam golongan *critical* unit, yaitu :
 - a. Kerusakan fasilitas tersebut akan membahayakan keselamatan pekerja.
 - b. Kerusakan fasilitas akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
 - c. Kerusakan fasilitas akan menyebabkan kemacetan diseluruh proses produksi.
 - d. Modal yang ditanamkan dalam proses tersebut adalah mahal.

2.3 Reliability/Keandalan

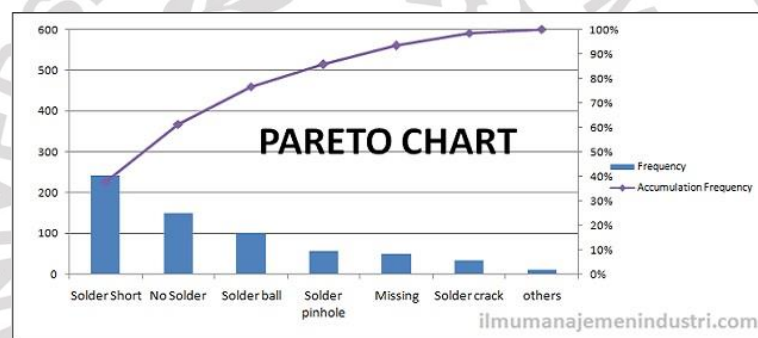
Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas komponen, peralatan, mesin, atau sistem tetap beroperasi dengan baik sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam interval waktu dan kondisi tertentu (Govil, 1990) (dalam Ansori & Muatajib, 2013).

Dalam menyatakan berfungsi tidaknya suatu fasilitas/peralatan tertentu, kita bisa menyatakannya dalam nilai keandalan dari fasilitas/peralatan tersebut. Keandalan menyatakan konsep kesuksesan operasi atau kinerja dan ketiadaan

kerusakan. Ketidakandalan/kekurangandalan menyatakan kebalikannya. Teori keandalan menguraikan kegunaan interdisiplin, probabilitas, statistik, dan pemodelan stokastik, dikombinasikan dengan pengetahuan rekayasa kedalam desain dan pengetahuan ilmu mekanisme kerusakan, untuk mempelajari berbagai aspek keandalan (Blischke & Murthy, 2000) (dalam Ansori & Muatajib, 2013).

2.4 Diagram Pareto

Diagram pareto adalah histogram data yang mengurutkan data dari yang frekuensinya terbesar hingga terkecil. Diagram pareto dibuat untuk menemukan masalah atau penyebab yang merupakan kunci dalam penyelesaian masalah dan perbandingan terhadap keseluruhan (Vidiasari et al., 2015). Berikut contoh diagram pareto yang bisa di lihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.2. Pareto Chart (Ramadhani et al., 2015).

2.5 Failure Rate Function $\lambda(t)$

$\lambda(t)$ dikenal sebagai nilai resiko atau fungsi nilai kerusakan (kesalahan). Nilai ini memberikan alternatif pemecahan untuk menjelaskan distribusi kerusakan. Nilai kerusakan dalam beberapa kasus, dapat dikategorikan menjadi 3, antara lain (Kurniawan, 2013):

1. Decrease Failure Rate (DFR)

Terjadi jika karakteristik kerusakan menurun (berkurang), misalnya kerusakan catat proses, retak, *spare part* yang *reject*, kontrol kualitas yang buruk, dan kemampuan kerja yang buruk. Hal ini dapat diantisipasi dengan melakukan perawatan *screening*, kontrol kualitas, dan *test*

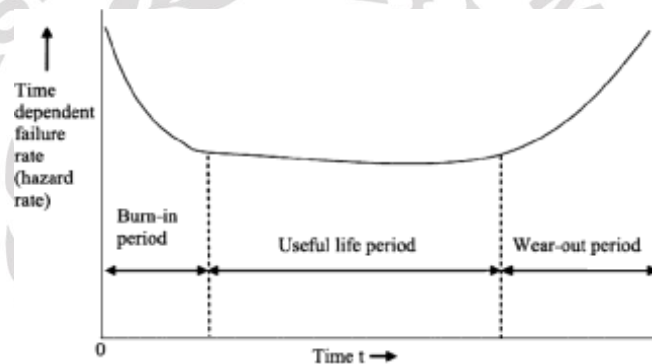
level penerimaan. Kondisi seperti ini memiliki karakteristik yang biasa disebut **Burn-In**

2. *Constan Failure Rate (CFR)*

Terjadi bila karakteristik kerusakan konstan, misalnya kerusakan mesin akibat Huan eror, dan lingkungan. Hal ini dapat diantisipasi dengan melakukan *Redundancy*, dan pelatihan. Kondisi mesin berada dalam kondisi prima. Yang disebut *useful-life*.

3. *Increase Failure Rate (IFR)*

Terjadi bila karakteristik kerusakan meningkat (bertambah), misalnya kerusakan mesin akibat korosi, usia, *fatigue*, friksi. hal ini diantisipasi dengan melakukan perawatan *preventif*, penggantian *spare part* dan teknologi, dengan kata lain *part* yang tidak berfungsi dapat diperbaiki, dan mesin tetap bekerja. Kondisi ini biasanya disebut **Wear-Out**.



Gambar 2.3 Kurva *Bathub-Shape* (Kurniawan, 2013)

2.6 Uji *Chi Square*

Uji *Chi-Square* ini mencakup perhitungan distribusi frekuensi kumulatif yang akan terjadi di bawah distribusi teoritis serta membandingkan dengan distribusi frekuensi kumulatif hasil observasi. Distribusi teoritis tersebut merupakan representasi dari apa yang diharapkan dibawah H_0 . Tes ini menetapkan apakah perbedaan tersebut terjadi karena kebetulan saja. Distribusi *sampling* menunjukkan apakah perbedaan yang diamati mungkin terjadi apabila observasi benar-benar suatu sampel random dari teoritis tersebut. Berikut rumus yang digunakan (Purnama et al., 2015) :

$$x^2 = \sum_1 \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

O_i = Frekuensi hasil pengamatan pada klasifikasi ke- i

E_i = Frekuensi yang diharapkan pada klasifikasi ke- i

- Jika frekuensi observasi dan frekuensi harapan tidak jauh berbeda, maka $O_i - E_i$ kecil sehingga x^2 juga kecil dan sebaliknya, sehingga semakin besar makin besar x^2 pula kemungkinan kedua frekuensi berbeda sehingga ditolak.
- Metode :
 - Hitung frekuensi harapan kategori i sesuai dengan H_0 .
 - Untuk setiap kategori, kurangkan frekuensi observasi dengan frekuensi harapan dan kuadratkan hasilnya, kemudian bagi dengan frekuensi harapan.
 - Jumlah untuk setiap kategori untuk mendapatkan nilai.
- Keputusan :
Distribusi sampling x^2 berdistribusi chi-square dengan derajat bebas $df = n - 1$. Jika kemungkinan yang berkaitan dengan munculnya x^2 dibawah $H_0 \leq \alpha$, maka H_0 ditolak jika H_0 tidak diterima.

2.6.1 Chi-Square Sebagai Uji Goodness Of Fit

Menurut Usman dan Akbar (2006) uji chi-Square juga dapat dipergunakan untuk memutuskan apakah distribusi probabilitas tertentu, seperti binomial, poisson, atau normal adalah distribusi yang cocok untuk dipergunakan pada persoalan tertentu. Kemampuan ini menjadi penting, karena dalam mengambil keputusan berdasarkan data statistik haruslah ditentukan suatu distribusi probabilitas yang paling mewakili distribusi data yang sedang ditinjau.

Melalui uji chi-square data diketahui seberapa jauh asumsi yang dipergunakan dalam suatu distribusi dapat dipergunakan. Dengan kata lain, uji chi-square memungkinkan untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara distribusi frekuensi observasi dengan distribusi frekuensi teoretisnya. Pada kasus ini ketepatan (goodness of fit) dari suatu distribusi teoretis terhadap distribusi observasi dapat ditentukan.

2.6.2 Uji Kolmogorov-Smirnov

Menurut Suryono (2015) uji Kolmogorov-Smirnov adalah suatu goodness of fit test, artinya yang diperhatikan adalah tingkat kesesuaian antara distribusi serangkaian harga sampel (skor yang di observasi) dengan suatu distribusi teoritis tertentu. Tes ini menetapkan apakah skor-skor dalam sampel dapat secara masuk akal dianggap berasal dari suatu populasi dengan distribusi teoritis itu.

Dalam tes ini mencakup perhitungan distribusi frekuensi kumulatif yang akan terjadi dibawah distribusi teoritisnya, serta membandingkan distribusi frekuensi itu dengan distribusi frekuensi hasil observasi. Distribusi teoritis tertentu merupakan representasi dari apa yang diharapkan dibawah . Tes ini menetapkan suatu titik dimana kedua distribusi itu (teoritis dan observasi) memiliki perbedaan terbesar.

Misalnya $F_0(X)$ = suatu fungsi distribusi frekuensi kumulatif yang sepenuhnya ditentukan, yakni distribusi kumulatif teoritis dibawah H_0 . Artinya untuk harga N yang sembarang besarnya, harga $F_0(X)$ adalah proporsi kasus yang diharapkan mempunyai skor yang sama atau kurang dari pada X . Misalnya $S_N(X)$ = distribusi frekuensi kumulatif yang diobservasi dari suatu sampel random dengan N observasi. Dimana X adalah sembarang skor yang mungkin, $S_N(X) = k/N$, dimana k sama dengan banyaknya observasi yang sama atau kurang dari X . Dibawah hipotesis nol bahwa sampel itu telah ditarik dari distribusi teoritis tertentu, maka diharapkan bahwa untuk setiap harga X , $S_N(X)$ harus jelas mendekati $F_0(X)$. Artinya dibawah H_0 kita akan mengharapkan selisih antara $S_N(X)$ dan $F_0(X)$ adalah kecil dan nada dalam batas-batas kesalahan random.

Tes Kolmogorov-Smirnov memusatkan perhatian pada penyimpangan (deviasi) terbesar. Harga $F_0(X) - S_N(X)$ terbesar dinamakan deviasi maksimum.

$$D_{hitung} = \text{Maximum } |F_0(X) - S_N(X)|$$

Menurut Usman dan Akbar (2006) uji Kolmogorov-Smirnov berfungsi untuk menguji kesesuaian antara distribusi harga-harga yang diobservasi dengan distribusi teoretis tertentu (uniform, normal, maupun poisson).

• H_0 : distribusi frekuensi observasi = teoretis

H_a : distribusi frekuensi observasi \neq teoretis

•Yang dibandingkan adalah distribusi frekuensi kumulatif hasil pengamatan dengan distribusi frekuensi kumulatif yang terjadi dibawah distribusi teoretis tertentu (di representasikan dalam H_0)

•Metode :

- Tentukan distribusi kumulatif teoritis ($F_0(X)$)
- Tentukan distribusi kumulatif observasi ($S_N(X)$) yang sesuai dengan interval $F_0(X)$
- Hitung selisih $F_0(X) - S_N(X)$
- Hitung deviasi maksimum (simpangan terbesar)
- $D = \max |F_0(X) - S_N(X)|$

Dengan :

$F_0(X)$ = fungsi distribusi frekuensi kumulatif teoretis dibawah H_0 (proporsi kasus yang diharapkan mempunyai skor $\leq X$)

$S_N(X)$ = distribusi frekuensi kumulatif observasi dari suatu sampel dengan N observasi. $S_N(X) = K/N$ dengan k = banyaknya observasi yang $\leq k$

2.7 Distribusi Kerusakan

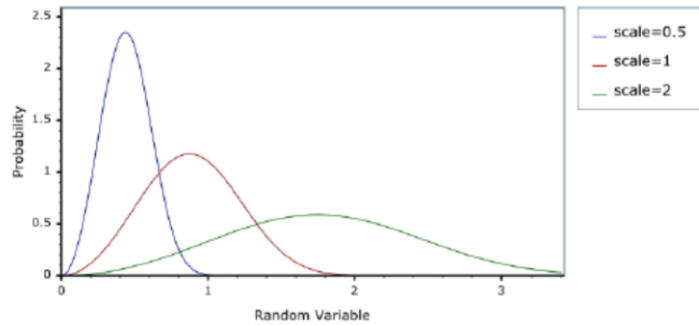
Distribusi kerusakan adalah informasi mengenai umur pakai suatu peralatan. Distribusi yang digunakan pada penelitian ini adalah distribusi yang menggunakan variabel acak yang kontinyu (waktu, jarak, temperatur). Adapun distribusi kerusakan yang umum digunakan sebagai model distribusi keandalan yaitu (Taufik & Septyani, 2016) :

1. Distribusi Weibull
2. Distribusi Normal
3. Distribusi Lognormal
4. Distribusi Eksponensial

2.7.1 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan distribusi empiris yang paling banyak digunakan dan muncul pada hampir semua karakteristik kegagalan produk karena mencakup ketiga frase kerusakan yang mungkin terjadi pada distribusi kerusakan. Parameter yang digunakan dalam Distribusi Weibull ini adalah θ yang disebut

parameter skala (*scale parameter*) dan β yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Parameter β berguna untuk menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk dan parameter skala (θ) mempengaruhi nilai tengah dari pola data (Taufik & Septyani, 2016) .



Gambar 2.4 Pola Distribusi Weibull (Taufik & Septyani, 2016)

Fungsi-fungsi dari Distribusi Weibull adalah:

- Fungsi kepadatan peluang

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

- Fungsi keandalan

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

- Mean Time to Failure(MTTF)

$$MTTF = \int_0^\infty e^{-\frac{t}{n}^\beta} dt$$

- Nilai laju kerusakan

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

Dimana :

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

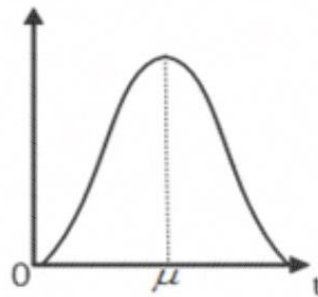
$\lambda(t)$ = Laju Kerusakan

MTTF = Rata-rata Waktu kerusakan

- T = Waktu $t \geq 0$
- β = Shape parameter $\beta > 0$
- n = Scala parameter untuk life time, $n > 0$
- e = 2,7183

2.7.2 Distribusi Normal

Parameter yang digunakan distribusi normal adalah μ (nilai tengah) dan σ (standar deviasi). Distribusi normal seringkali disebut dengan Gaussian Distribution, dimana distribusi ini memiliki ciri simetris di sekitar rata-rata dengan sebaran di distribusi yang ditentukan oleh σ (Taufik & Septyani, 2016).



Gambar 2.5 Pola Distribusi Normal (Taufik & Septyani, 2016)

Fungsi-fungsi distribusi normal adalah :

- Fungsi Probabilitasnya

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp\left(\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dt;$$

Untuk $-\infty \leq t \leq \infty; \sigma > 0 < \mu < \infty$

- Fungsi keandalannya

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

- Laju kerusakannya

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

- MTTF = μ

Dimana :

$f(t)$ = Probabilitas Kerusakan

$R(t)$ = Fungsi Keandalan

$\lambda(t)$ = Laju Kerusakan

t = Interval Waktu

σ = Standart Deviasi

μ = Rata-rata sampel

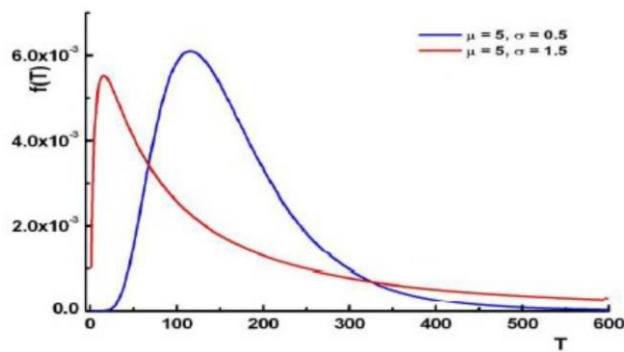
$\phi(z)$ = Tabel $\phi(z)$

π = 3,14

MTTF = Rata-rata waktu Kerusakan

2.7.3 Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal menggunakan dua parameter yaitu s sebagai parameter bentuk (shape parameter) dan t_{med} sebagai parameter lokasi (location parameter) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan (Taufik & Septyani, 2016).



Gambar 2.6 Pola Distribusi Lognormal (Taufik & Septyani, 2016)

Fungsi-fungsi dari distribusi Lognormal adalah :

- Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \frac{\hat{a}}{t.s\sqrt{2\zeta}} \exp \left\{ -\frac{1}{2s^2} [\text{Int} - t_0]^2 \right\}$$

- Fungsi keandalan

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

- Laju kegagalan

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

- Mean Time to Repair(MTTR)

$$MTTF = \exp(\mu + (0,5 \cdot s^2))$$

Dimana

$f(t)$ = Probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

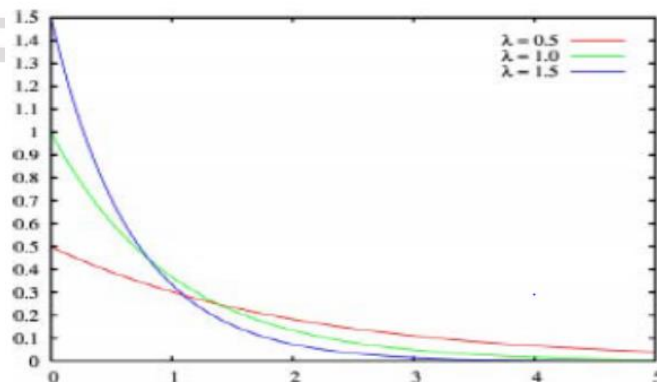
$\lambda(t)$ = Laju kerusakan

μ = Rata-ratas

s = Variasi

2.7.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial memiliki laju kerusakan yang konstan terhadap waktu. Distribusi ini paling mudah untuk dianalisa. Parameter distribusi yang digunakan adalah λ (laju kerusakan), yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi (Taufik & Septyani, 2016).



Gambar 2.7 Distribusi Eksponensial (Taufik & Septyani, 2016)

Fungsi-fungsi dari distribusi eksponensial adalah :

- Fungsi kepadatan peluang

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Untuk $t \geq 0, \lambda > 0$

- Fungsi keandalan

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

- Nilai laju kerusakan

$$\lambda(t) = \lambda$$

- Mean Time to Failure(MTTF)

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda}$$

Dimana

$f(t)$ = probabilitas kerusakan

$R(t)$ = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$ = Laju Kerusakan

MTTF = Rata-rata Waktu kerusakant

t = Waktu $t \geq 0$

λ = Kecepatan rata-rata terjadinya kerusakan

e = 2,7183

2.8 *Input Anilizer Pada Software Arena V5*

Penentuan distribusi statistik dengan cara uji kecocokan distribusi data waktu antar kerusakan dengan metode Chi Kuadrat (X^2) atau dengan uji Kolmogorov Smirnov menggunakan bantuan *software* Arena V5. Model distribusi yang biasa digunakan untuk memodelkan distribusi waktu antar kerusakan adalah distribusi normal, lognormal, eksponensial dan weibull (Ebeling,1997) (dalam Kurniawan, 2018).

Berikut langkah-langkah uji distribusi menggunakan *software* arena v5:

- a. Buka aplikasi Notepad, ketikkan data yang akan dicari data distribusinya dengan urutan vertical. Kemudian simpan file tersebut dengan format .txt
- b. Buka *software* arena v5 kemudian cari dan buka *input analyzer* pada menu *Tools*. *input analyzer* adalah fasilitas dari *software* arena yang berguna untuk mencari distribusi yang sesuai dari data historis yang sudah dikumpulkan. Misalnya waktu antar kegagalan.
- c. Setelah *input analyzer* dibuka, buat lembar kerja baru dengan memilih menu *New*.
- d. Pilih menu *File* kemudian *Data File*, lalu opsi *Use Existing*.
- e. Pilih file text yang telah dibuat sebelumnya lalu klik open. Maka akan muncul gambar grafik.
- f. Pilih menu *Fit* kemudian *Fit All*. Maka akan muncul distribusi yang cocok dengan data yang di uji.

2.9 Model Penggantian Age Replacement

Model *Age Replacement* yaitu dimana interval waktu penggantian komponen dengan memperhatikan umur pemakaian dari komponen tersebut, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang akan diganti dalam waktu yang relatif singkat, jika terjadi suatu kerusakan model ini akan menyesuaikan kembali jadwalnya setelah penggantian komponen dilakukan, baik akibat terjadinya kerusakan maupun hanya bersifat sebagai perawatan pencegahan. Dengan rumus sebagai berikut (Karunia et al., 2017):

$$d(t_p) = \frac{T_p \cdot R(t_p) + T_f \cdot (1 - R(t_p))}{(t_p + T_p) \cdot R(t_p) + (M(t_p) + T_f) \cdot (1 - R(t_p))}$$

Keterangan :

$d(t_p)$ = Nilai total downtime persatuan waktu

$R(t_p)$ = Tingkat kehandalan pada saat t_p .

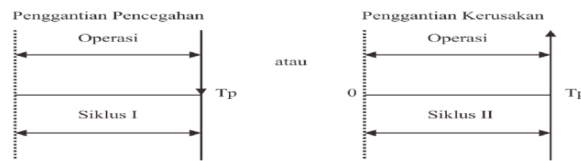
- T_f = Waktu untuk melakukan penggantian kerusakan
- T_p = Waktu untuk melakukan penggantian pencegahan
- tp = Interval waktu penggantian pencegahan
- $M(tp)$ = Waktu rata-rata terjadinya suatu kerusakan, jika penggantian dilakukan saat tp .

$$M(tp) = \frac{MTTF}{1-R(tp)}$$

Pada model *Age Replacement* ini terdapat dua siklus operasi, yaitu :

Siklus 1 : Siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian pencegahan. Ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur pengantian sesuai dengan yang telah direncanakan.

Siklus 2 : Siklus pencegahan yang diakhiri dengan kegiatan penggantian kerusakan. Ditentukan melalui komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya.



Gambar 2.8. Siklus Model *Age Replacement* (Ansori & Muatajib, 2013)

2.10 Penentuan Interval Waktu Perawatan

Menurut Gasperz (1996) dalam Kurniawan (2013) komponen yang memiliki distribusi kegagalan peluang tertentu dengan fungsi peluang $f(t)$, maka nilai harapan banyaknya kegagalan yang terjadi dalam interval waktu $(0, tp)$.

$$H(t_p) = \sum_{t=0}^{t_p-1} [1 + H(t_p - 1 - i)] \int_i^{i+1} f(t) dt$$

Dengan $H(0) = 0$. Jadi $tp = 0$, maka $H(tp) = H(0) = 0$

Misalnya $tp = 1$, maka nilai harapan banyaknya kegagalan (kerusakan) komponen sistem dalam interval waktu $(0, 1)$ sebagai berikut :

$$H(1) = [1 + H(0)] \int_0^1 f(t) dt$$

Selanjutnya apabila $tp = 2$, maka nilai harapan banyaknya kegagalan (kerusakan) komponen sistem dalam interval waktu $(0,2)$ sebagai berikut :

$$H(2)=[1+H(1)]\int_0^1 f(t)dt + [1 + H(0)] \int_1^2 f(t)dt$$

Jika suatu komponen sistem itu memiliki distribusi kerusakan mengikuti distribusi normal $X\sim N(\mu,\sigma^2)$, dengan fungsi kepekatan peluang (Gasperz,1996)(dalam Kurniawan, 2013), maka:

$$f(t) = \frac{1}{\delta\sqrt{2\delta}} \exp - \left[\frac{(t-i)^2}{2\delta^2} \right]$$

Maka nilai harapan dari banyaknya kerusakan komponen sistem dalam interval waktu $(0,tp)$:

$$(tp) = \sum_{i=0}^{tp-1} [1 + H(tp - 1 - i)] \frac{1}{\delta\sqrt{2\delta}} \int_i^{i+1} \exp - \left[\frac{(t-i)^2}{2\delta^2} \right] dt$$

Fungsi kegagalan yang menyebar mengikuti distribusi normal $X;N(\mu, \sigma^2)$ maka bentuk integral dari fungsi normal dalam interval waktu tertentu $(t1,t2)$ adalah sebagai berikut :

$$\frac{1}{\delta\sqrt{2\delta}} \int_{t1}^{t2} \exp - \left[\frac{(t-i)^2}{2\delta^2} \right] dt = f \left[\frac{(t2-i)}{\delta} \right] - f \left[\frac{(t1-i)}{\delta} \right]$$

Dimana F = Tabel Distribusi Normal Kumulatif Z atau tabel $\Phi(z)$

2.11 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).

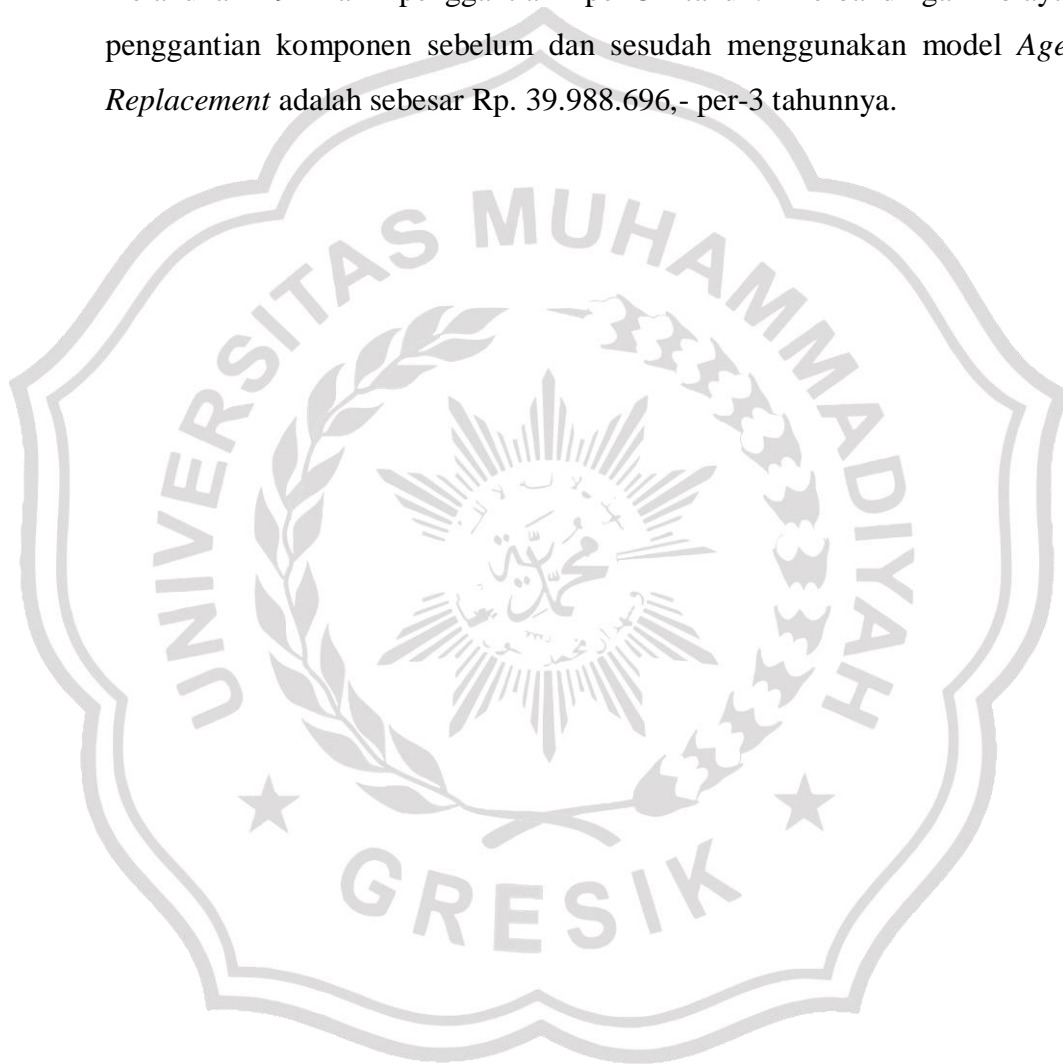
2.12 Penelitian Terdahulu

1. Siti Roudhotul Haririn, diah wulandari (2019). **“Perancangan Perawatan Sebagai Pengoptimalan Biaya Downtime Pada Mesin *Flying Shear* Menggunakan Metode *Age Replacement* Di PT. HANIL JAYA STEEL”**. Penelitian ini bertujuan untuk dapat meminimalkan biaya pemeliharaan mesin *Flying shear* secara berkala dan teratur yang meliputi waktu kegiatan pemeliharaan sehingga hal ini akan memberikan hasil produksi yang optimal secara berkala. Hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan penggantian pencegahan yang optimal yaitu pada interval ke 24 atau setelah mesin *flying shear* melakukan pemotongan sebanyak 17.640 ton dengan total biaya sebesar Rp. 77.636.417,034. Dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan perawatan pencegahan mesin *flying shear* komponen blade secara terjadwal. Sehingga perusahaan dapat mempertimbangkan hasil penelitian ini sebagai acuan penggantian pencegahan, dengan harapan mendapatkan biaya downtime yang minimal.
2. Chintya Ekawati, Kusmaningrum, Fifi Herni Mustofa (2016). **“Jadwal Perawatan Preventive Pada Mesin Dyeing Menggunakan Metode *Age Replacement* Di PT. NOBEL INDUSTRIES”**. Penelitian ini bertujuan untuk penjadwalan perawatan yang optimal pada Komponen yang sering mengalami kerusakan (kritis) adalah air *pressure switch*, diapram dan main *shaft*. Dengan hasil perhitungan interval penggantian pencegahan untuk komponen air preassure switch yaitu pada titik 89 hari dengan ekspektasi biaya penggantian Rp 37.780/hari, pada komponen diapram yaitu pada titik 127 hari dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 23.539/hari sedangkan pada komponen main shaft pada titik 92hari dengan ekspektasi biaya penggantian sebesar Rp 27.861/hari.
3. Muhammad Al Farobi, Muslimin (2019). **“Perencanaan *Preventive Maintenance Routine Spot Cooler* Pada *Plastic Injection Molding* Di**

PT. X". Penelitian ini bertujuan untuk Menentukan Nilai MTTF dan MTTR komponen kritis, Menentukan interval penggantian komponen kritis, Menentukan interval pemeriksaan komponen kritis, Menentukan tingkat *availability* total komponen kritis. Hasil penelitian ini ialah Nilai MTTF dan MTTR komponen Kondensor adalah 109.0599 jam dan 0.2223 jam. Nilai ini digunakan untuk menentukan nilai interval penggantian dan interval pemeriksaan, Dari nilai MTTF dan MTTR didapatkan interval penggantian dan interval pemeriksaan yaitu 350 jam dan 684 jam. Interval waktu penggantian dan pemeriksaan tersebut digunakan sebagai dasar dalam pembuatan jadwal preventif guna meminimasi *downtime* mesin, Tingkat *availability* total komponen Kondensor adalah 98.84%. *Availability* Total tiap komponen berada pada grade kelas dunia yaitu diatas 90% sesuai standar JIPM (Japan Institute Plant Maintenance) sehingga menunjukkan gambaran pemanfaatan waktu yang tersedia sudah sangat baik untuk operasi mesin.

4. Muhammad Robby Kurniawan, Said Salim Dahda, Deny Andesta (2018). **"Penentuan Interval Penggantian Komponen Kritis Pada Mesin *Dryer* (Studi Kasus : PT. SUMBER MAS INDAH PLYWOOD)"**. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen yang pernah mengalami kerusakan pada mesin *dryer* serta mengetahui efek kerusakan komponen pada mesin *dryer*, Menentukan komponen kritis pada mesin *dryer*, menentukan interval waktu penggantian komponen kritis pada mesin *dryer*, menghitung biaya perawatan pada mesin *dryer*. Dengan hasil penelitian tersebut adalah Dari hasil identifikasi data kerusakan mesin *dryer* tahun 2015 sampai tahun 2017 telah diketahui ada 53 komponen mesin *dryer* yang pernah mengalami kerusakan yang bisa dilihat pada tabel 4.4., Berdasarkan hasil analisis FMEA, diketahui bahwa komponen mesin *dryer* yang sering mengalami kerusakan adalah baut bawah *roll dryer* dengan nilai RPN 168 yang menyebabkan *roll dryer* tidak bisa berputar dengan lancar. Maka dari itu baut bawah *roll dryer* disebut sebagai komponen kritis, Dari hasil perhitungan penentuan interval penggantian komponen kritis menggunakan model *Age Replacement* dengan kriteria

minimasi *downtime*, diperoleh hasil bahwa interval waktu yang optimal untuk melakukan penggantian baut bawah *roll dryer* adalah pada interval ke 86 hari. Kerusakan akan semakin bertambah parah dan membutuhkan waktu yang lebih lama apabila tidak dilakukan perawatan, Dari perhitungan total penggantian pencegahan baut bawah *roll dryer* diketahui biaya usulan perawatannya yaitu sebesar Rp. 23.808.087,- dengan melakukan 9 kali penggantian per-3 tahun. Perbandingan biaya penggantian komponen sebelum dan sesudah menggunakan model *Age Replacement* adalah sebesar Rp. 39.988.696,- per-3 tahunnya.



2.13 Riset Gap Penelitian Terdahulu.

Tabel 2.1 Riset gap penilitian terdahulu.

NO	NAMA DAN JUDUL	TAHUN	METODE PENENTUAN KOMPONEN KRITIS		PENGUMPULAN DATA			OBJEK PENELITIAN	
			PARETO	FMEA	T	W	K	M	JASA
1	Siti Roudhotul Haririn, diah wulandari. "Perancangan Perawatan Sebagai Pengoptimalan Biaya Downtime Pada Mesin Flying Shear Menggunakan Metode Age Replacement Di PT. HANIL JAYA STEEL".	2019			√			√	
2	Chintya Ekawati, Kusmaningrum, Fifi Hemi Mustofa. "Jadwal Perawatan Preventive Pada Mesin Dyeing Menggunakan Metode Age Replacement Di PT. NOBEL INDUSTRIES"	2016			√			√	
3	Muhammad Al Farobi, Muslimin "Perencanaan Preventive Maintenance Routine Spot Cooler Pada Plastic Injection Molding Di PT. X"	2019			√			√	
4	Muhammad Robby Kurniawan, Said Salim Dahda, Deny Andesta. "Penentuan Interval Penggantian Komponen Kritis Pada Mesin Dryer (Studi Kasus : PT. SUMBER MAS INDAH PLYWOOD)"	2018		√	√	√		√	
5	Muhammad Asyiruddin. "Menentukan interval waktu penggantian komponen kritis pada mesin forklift yang optimal menggunakan metode age replacement di UD. Anugrah	2020	√		√	√		√	

Keterangan : T = Tulis W = wawancara K = kuisisioner M=manufaktur

Dari tabel *research Gap* diatas terdapat persamaan dan perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya, uraian persamaan dan perbedaan tersebut adalah sebagai berikut :

- Persamaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu metode dan pengumpulan data yang dilakukan, dimana metode yang dipakai yaitu *Age Replacement*, sedangkan pengumpulan datanya sama-sama menggunakan pengamatan tertulis.
- Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah dari segi objek penelitian yang digunakan, kalau penelitian terdahulu objek yang dipakai di perusahaan manufaktur, sedangkan pada penelitian ini menggunakan objek pada persahaan jasa. Untuk penentuan komponen kritis pada penelitian ini menggunakan diagram pareto, pada penelitian yang di lakukan Muhammad Robby Kurniawan penentuan komponen kritis menggunakan metode FMEA sedangkan penelitian yang dilakukan peneliti lainnya sudah di tentukan komponen kritis.

