

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 *Total Productive Maintenance***

##### **2.1.1 *Konsep Total Productive Maintenance***

TPM (*Total Productive Maintenance*) adalah salah satu alat pada prinsip lean manufacturing yang digunakan untuk meningkatkan reliability proses kerja maupun mesin dengan pendekatan pemeliharaan secara menyeluruh untuk mencapai level produksi yang optimal. Keandalan mesin atau uptime dari mesin kadang tidak dapat diprediksi dan tidak dapat dipertahankan, sehingga suatu sistem untuk mempertahankan kinerja peralatan pada performa optimum mesti dirancang dan diterapkan. TPM adalah bagian dari program manufaktur yang ditujukan untuk meningkatkan efektifitas dengan ketergantungan pada komitmen dan partisipasi dari seluruh karyawan (Djatna & Alitu, 2015).

TPM juga merupakan salah satu aspek kunci dalam sistem manajemen mutu. Konsep TPM berusaha untuk meningkatkan produktivitas dengan cara melakukan pemeliharaan yang tepat untuk mengurangi kerugian. Ada enam kerugian yang dapat dicegah (Agustiady & Cudney, 2016):

1. Kerusakan / *Breakdowns*
2. Pengaturan dan Penyesuaian / *Setup and adjustments*
3. Masa tunggu / *Idling*
4. Penghentian minor / *Minor stoppages*
5. Kualitas / *Quality*
6. Pengulangan Pekerjaan / *Rework*

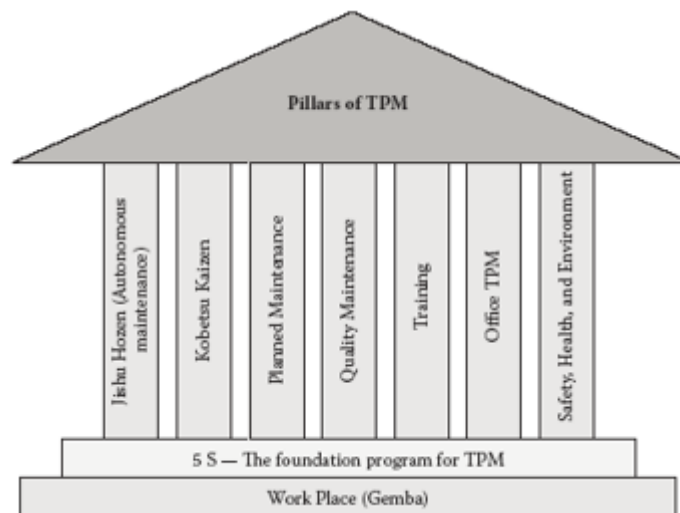
Kerugian *breakdowns* serta *setup and adjustments*, memengaruhi ketersediaan peralatan. Kerugian dari *idling* dan *minor stoppages* memengaruhi efisiensi peralatan. Kerugian *quality* dan *rework*, adalah hasil dari penurunan kualitas keluaran produksi. Adapun tiga tujuan utama TPM antara lain yaitu (Agustiady & Cudney, 2016):

1. Mengurangi waktu henti peralatan yang tidak direncanakan.
2. Menghilangkan hambatan antar departemen
3. Mengurangi cacat yang berhubungan dengan peralatan

Dalam referensi lain tujuan dari TPM adalah untuk meningkatkan kepuasan kerja melalui cara-cara berikut (Cudney, Furterer, & Dietrich, 2013):

1. Pengurangan kerusakan
2. Mengurangi masalah kualitas
3. Mengurangi insiden keselamatan / lingkungan
4. Mengurangi biaya
5. Peningkatan keluaran
6. Keunggulan kompetitif perawatan darurat dan perawatan yang tidak terencana minimal.

Dalam implementasinya, walau ada sedikit perbedaan nama-nama pilar seperti yang dituliskan oleh Ahuja (2009), TPM memiliki 8 pilar yang merupakan inti dari konsep TPM, berikut merupakan gambar dari pilar tersebut (Agustiady & Cudney, 2016):



**Gambar 2.1 Pilar dari TPM**

Sumber: (Agustiady & Cudney, 2016)

### 2.1.2 Studi Literatur Penerapan *Total Productive Maintenance*

Ahuja (2009) menyatakan bahwa di antara berbagai program manufaktur, Total Quality Management (TQM), Just-in-Time (JIT), Total Maintenance

Produktif (TPM) dan Total Keterlibatan Karyawan (TEI) program sering disebut sebagai komponen "World Class Manufacturing". Walaupun tentu saja selalu ada tantangan pada penerapannya, seperti sebuah penelitian yang menunjukkan bahwa keberlanjutan selama proses implementasi tergantung pada faktor-faktor seperti kurangnya fokus dan komitmen dari manajemen puncak dan manufaktur, pengalihan prioritas, dan kurangnya keahlian dan keterampilan dapat menghambat peningkatan kinerja atau bahkan justru kemunduran proses tersebut (Hooi & Leong, 2017). Sedangkan penelitian Aspinwall & Elgharib (2013) pada perusahaan manufaktur di Inggris ukuran besar dan menengah menyimpulkan bahwa implementasi TPM membutuhkan tingkat kompetensi yang tinggi di mana orang perlu menjadi terbiasa dan terampil dengan konsep, praktik dan ketentuan TPM. Phogat & Gupta (2017) melakukan penelitian untuk mengidentifikasi masalah utama operasi pemeliharaan dalam pemenuhan organisasi manajemen pemeliharaan yang efisien dalam operasi manufaktur. Masalah-masalah ini adalah kurangnya komunikasi, kurangnya tolok ukur, kurangnya pemberdayaan, kurangnya komitmen karyawan terhadap pemeliharaan, kurangnya kerja tim, kurangnya pelatihan, kurangnya perencanaan strategis yang tepat, kurangnya dukungan manajemen puncak, kurangnya OEE yang tepat, kurangnya kesadaran tentang keselamatan dan kesehatan dan kurangnya pengukuran kinerja yang efektif.

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

### **2.2.1 Konsep Overall Equipment Effectiveness (OEE)**

*Equipment Effectiveness* menunjukkan seberapa efektif suatu peralatan digunakan. *Overall Equipment Effectiveness* yaitu efektivitas mesin dibandingkan dengan mesin yang ideal sebagai persentase. OEE pada dasarnya adalah rasio waktu penuh produktif untuk waktu produksi yang direncanakan. Namun, OEE dapat dihitung sebagai produk ketersediaan (*availability*), kinerja (*performance*), dan kualitas (*quality*) (Vijayakuma & Gajendran, 2014).

$$OEE = Availability \times Performance Rate \times Quality Rate$$

a) *Availability*

Menurut Vijayakuma & Gajendran (2014) *availability* adalah rasio dari waktu pengoperasian terhadap waktu produksi yang direncanakan. Hal ini mewakili persentase jadwal saat peralatan itu tersedia untuk beroperasi dan juga memperhitungkan *Down Time Losses*.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *availability* adalah sebagai berikut:

$$\text{Availability} = \frac{\text{Available Time} - \text{Unplanned Downtime}}{\text{Available Time}}$$

b) *Performance Rate*

*Performance rate* adalah peningkatan dengan menghilangkan peralatan yang tidak berproses dengan semestinya dan penghentian kecil dan mengurangi kehilangan kecepatan. *Performance rate* mengukur kerugian produktivitas dari siklus lambat dan waktu yang tersisa yang disebut juga waktu operasi bersih. *Performance* merupakan rasio waktu operasi bersih (*net operating time*) hingga waktu operasi (*operating time*) (Vijayakuma & Gajendran, 2014).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *performance* adalah sebagai berikut:

1. *Operating Time*

$$\text{Operating Time} = \text{Available Time} - \text{Unplanned Downtime}$$

2. *Idle Run Rate*

$$\text{Idle run rate} = \text{Number of parts per minute}$$

3. *Output*

$$\text{Output (Quantity of Product)} = \text{Operating Time} / \text{Actual Cycle Time}$$

4. *Net Operating Time*

$$\text{Net Operating Time (Productivity)} = \frac{\text{Output} \times \text{Actual Cycle Time}}{\text{Actual Operating Time}}$$

5. *Rate Efficiency*

$$\text{Rate Efficiency} = \text{Processed Amount} \times \left( \frac{\text{Actual Cycle Time}}{\text{Actual Operating Time}} \right)$$

6. *Speed Efficiency*

$$\text{Speed Efficiency} = \text{Design (Ideal) Cycle Time} / \text{Actual Cycle Time}$$

## 7. Performance Rate

$$\text{Performance} = \frac{\text{Total Production Parts} / \text{Operating Time}}{\text{Idle run rate}}$$

### c) Quality Rate

*Quality rate* merupakan peningkatan dengan menghilangkan cacat produk sehingga menghasilkan produk yang sesuai dengan standar yang ditetapkan (Vijayakuma & Gajendran, 2014).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung *quality* adalah sebagai berikut:

$$\text{Quality Rate} = \frac{\text{Total Produced Parts} - \text{Defects Parts}}{\text{Total Produced Parts}}$$

## 2.3 Six Sigma

### 2.3.1 Prinsip Six Sigma

*Six sigma* adalah sistem manajemen bisnis yang digunakan perusahaan dalam mengimplementasikan pergerakan jaminan kualitas secara efektif dan dapat mereduksi biaya (Saludin, 2016). Nama *six sigma* diambil dari *terminology* statistik yaitu *sigma* ( $\sigma$ ) artinya standar deviasi. Menurut Saludin (2016) nilai probabilitas pada kisaran  $\pm 6\sigma$  untuk, distribusi norma sekitar rata-rata 0,99999966. Standar *six sigma* ( $6\sigma$ ) pada proses produksi mengartikan laju cacat proses akan 3,4 cacat per sejuta unit.

*Six sigma* memiliki 5 fase atau tahap (DMAIC) yaitu *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*. Fase pertama yaitu fase *define* merupakan sebagai proposal lengkap sebenarnya dalam *six sigma*. Menurut Saludin, (2016) *six sigma* merupakan masalah apa yang terjadi dalam proses dan tujuan atau target dari proyek tersebut. Setelah fase *define* diterima, tahap selanjutnya yaitu fase *measure*. Fase *measure* dilakukan pengukuran pada *output*, hasil dari pengukuran ini memberikan informasi mengenai hasil akhir indentifikasi cacat yang dimaksud pada fase *define* sebelumnya. Data hasil pengukuran pada fase *measure* ini memberikan patokan dasar sehingga mampu memberikan gambaran kuantitas target perbaikan yang telah dicantumkan pada fase *define*.

Setelah data terkumpul pada fase *measure* selanjutnya yaitu menganalisa pada fase *analyze* tujuan utama fase ini adalah untuk mencari hubungan variabel-variabel pengaruh yang menyebabkan cacat produk atau menyumbang deviasi keluaran. Tahap *analyze* ini, perusahaan dapat menegaskan kembali pernyataan permasalahan sehingga permasalahan tersebut mampu ditangani dengan lebih baik dan solusi yang lebih efektif pada tahap fase *improve*. Fase *improve* ini merupakan fase yang sangat sensitif dimana berbagai variabel pengaruh dicoba dan data tersebut terkumpul diregresi kemudian diuji hipotesis dan dicari korelasi dengan menggunakan ANOVA untuk memastikan hasil yang optimal. Fase *improve* ini juga diuji kemungkinan hasil fase *analyze* yang salah sehingga memerlukan perubahan perilaku dan lain-lain oleh karena itu memungkinkan pendekatan solusi yang optimal. Tahap terakhir pada fase *six sigma* yaitu fase *control* dimana pada fase ini solusi yang optimal selanjutnya akan diimplementasikan untuk jangka panjang oleh karena itu diperlukan rencana cara *control* yang baik dengan menggunakan *chart* maupun dengan statistik/secara kuantitas, rencana perubahan proses maupun dokumen dan audit rutin yang diperlukan (Saludin, 2016).

### 2.3.2 Fase/Tahapan *Define*

Ringkasan fase *define* dapat membantu seseorang dalam mengetahui dan memahami tahapan ataupun proses *define* dengan baik. Dalam ringkasan *define* terdapat maksud ataupun tujuan *define*, *tools* atau peralatan *define*, dan hasil atau keluaran *define*. Tahapan *define* memiliki maksud dan tujuan yang hendak dicapai, yaitu (Saludin, 2016):

1. Mengidentifikasi persyaratan kualitas bagi para pelanggan
2. Menetapkan proyek yang akan dikerjakan dan *team charter*
3. Menggambarkan proses yang akan dikerjakan/SIPOC

Setelah mengetahui maksud dan tujuan yang hendak dicapai, maka diperlukan *tools* atau peralatan yang dapat membantu proses pengerjaan tersebut, yaitu (Saludin, 2016):

1. Proses pemetaan
2. Cakupan proyek

3. CE matriks/QFD
4. Pareto *chart/stratification analysis*
5. Manajemen proyek
6. Perubahan manajemen

Setelah mengetahui maksud dari tahapan *define* dan *tools*, maka selanjutnya adalah hasil ataupun keluaran. Berikut merupakan hasil ataupun keluaran dari ringkasan tahapan *define* (Saludin, 2016):

1. *Team* dan *project charter*
2. Pernyataan masalah
3. Cakupan proyek
4. Rencana waktu kerja
5. Keuntungan pada finansial
6. Data verifikasi kebutuhan pelanggan
7. Pemetaan level tinggi
8. Pengukuran kapabilitas dan acuan dasar untuk perbaikan

Secara garis besar pada proses *define* memiliki 3 bagian utama, yaitu:

1. Menyiapkan dan menganalisis *project charter*
2. Melakukan analisis SIPOC (*supplier-input-process-output-customer*)
3. Menganalisis VoC (*voice of customer*)

### **2.3.3 Fase/Tahapan *Measure***

Ringkasan fase *measure* berguna untuk membantu seseorang dalam pengerjaan tahapan *measure*. Pada ringkasan fase *measure* terdapat 3 tahapan pengerjaan yaitu tujuan atau maksud fase *measure*, *tools* atau peralatan yang digunakan dalam fase *measure*, dan hasil atau keluaran dari pengerjaan tersebut. Fase/tahapan *measure* ini memiliki maksud dan tujuan yaitu:

1. Mengembangkan pengukuran proses-variabel tidak bebas Y
2. Menentukan unjuk kerja sebagai pedoman dan menentukan kesenjangan yang ada
3. Identifikasi variabel masukan X yang menyebabkan variasi Y

Selanjutnya tahapan yang dilakukan setelah mengetahui maksud atau tujuan fase *measure* adalah mengetahui *tools* yang akan digunakan, sebagai berikut:

1. Pemetaan proses
2. Matriks sebab-akibat/*fishbone*
3. FMEA
4. Analisa kapabilitas proses
5. *Gauge R&R*
6. Melakukan Teknik grafik (contoh: *run chart*, *control chart*, *histogram*)
7. Manajemen perubahan

Setelah mengetahui maksud dari tahapan *measure* dan *tools*, maka selanjutnya adalah hasil ataupun keluaran. Berikut merupakan hasil ataupun keluaran dari ringkasan tahapan *measure* (Saludin, 2016):

1. Mengukur parameter keluaran
2. Tingkat hasil
3. Cacat teridentifikasi
4. Pengumpulan data
5. Analisa pengukuran (GR&R)
6. Mengukur patokan dasar

#### **2.3.4 Fase/Tahapan *Analyze***

Ringkasan fase/tahapan *analyze* menjelaskan bahwa ada 3 tahapan dalam melakukan ringkasan, yaitu tujuan atau maksud fase *analyze*, *tools* atau peralatan yang digunakan dalam fase *analyze*, dan hasil atau keluaran dari pengerjaan tersebut. Di bawah ini merupakan gambar dari ringkasan mengenai tujuan yang hendak dicapai dari tahapan *analyze*:

1. Prioritaskan variabel masukan
2. Menentukan penyebab
3. Memastikan KPIV dengan data yang ada

Selanjutnya tahapan yang dilakukan setelah mengetahui maksud atau tujuan fase *analyze* adalah mengetahui *tools* yang akan digunakan, sebagai berikut:



1. Pemetaan proses
2. Korelasi dan regresi
3. Manajemen perubahan
4. Pembelajaran multi-variabel
5. Pengujian dengan hipotesis
6. Menggunakan Teknik grafik (*run chart, control chart, histogram, pareto, scatter diagram*).

Setelah mengetahui maksud dari tahapan *analyze* dan *tools*, maka selanjutnya adalah hasil ataupun keluaran. Berikut merupakan hasil ataupun keluaran dari ringkasan tahapan *analyze* (Saludin, 2016):

1. Detail “keterkaitan” dari pemetaan proses
2. Sumber variasi teridentifikasi dan terprioritas
3. Keluaran RED X pada KPIV
4. Mempertegasakan pernyataan masalah
5. Menganalisa nilai dari peluang baru

Fase *analyze* ini terdiri dari bagian (Saludin, 2016):

1. Identifikasi parameter X untuk proses.
2. Identifikasi parameter X yang berkaitan dengan CTQ.
3. Identifikasi parameter X yang memiliki risiko yang tinggi untuk CTQ.
4. Mengembangkan definisi operasional untuk X yang memiliki risiko yang tinggi.
5. Membuat pengukuran untuk X yang berisiko tinggi.
6. Membuat batas kapasitas proses untuk X.
7. Menyeimbangkan X yang memiliki risiko yang tinggi yang keluar dari batas pengendalian.
8. Mempertimbangkan semua variabel-variabel yang mengganggu.
9. Menerapkan cara merancang pindai untuk memperkecil jumlah X yang berisiko tinggi.
10. Mengembangkan hipotesis antara X yang memiliki risiko yang tinggi dengan CTQ.
11. Meninjau fase *analyze* dengan daftar periksa.

Tugas utama pada tahapan ini adalah mencari variabel-variabel pengaruh yang memiliki risiko yang tinggi, artinya variabel-variabel yang dapat mengakibatkan Y deviasi dari ketentuan yang diharapkan. Akan tetapi, percobaan untuk memastikan jika variabel X berisiko tinggi tidak ada, sehingga untuk menentukan variabel yang berisiko tinggi dilakukan berdasarkan nilai korelasi dan determinasi. Maka dari itu, diharapkan untuk mengetahui atau memahami fungsi dari regresi dan ANOVA yang ada pada Minitab.

### 2.3.5 Fase/Tahapan *Improve*

Ringkasan fase *improve* berguna untuk membantu seseorang dalam pengerjaan tahapan *improve*. Pada ringkasan fase *improve* terdapat 3 tahapan pengerjaan yaitu tujuan atau maksud fase *improve*, *tools* atau peralatan yang digunakan dalam fase *improve*, dan hasil atau keluaran dari pengerjaan tersebut. Fase/tahapan *improve* ini memiliki maksud dan tujuan yaitu:

1. Membuat dan memastikan pilihan solusi
2. Memfokuskan KPIV untuk optimalkan keluaran
3. Menghasilkan dan memastikan  $Y = F(X)$

Selanjutnya tahapan yang dilakukan setelah mengetahui maksud atau tujuan fase *improve* adalah mengetahui *tools* yang akan digunakan, sebagai berikut:

1. DOE dan *robust engineering*
2. Korelasi dan regresi
3. Manajemen perubahan
4. Seleksi konsep *Pugh*
5. ANOVA
6. Pengujian hipotesis
7. Pemetaan proses
8. Validasi pengujian dan verifikasi pengujian

Setelah mengetahui maksud dari tahapan *improve* dan *tools*, maka selanjutnya adalah hasil ataupun keluaran. Berikut merupakan hasil ataupun keluaran dari ringkasan tahapan *improve* (Saludin, 2016):

1. Memberikan solusi yang optimal untuk diterapkan
2. Melakukan pengukuran lapangan
3. Rencana komunikasi
4. Pemetaan proses
5. Menganalisis kemungkinan salah dan memberikan solusi
6. Perilaku yang akan diubah

Fase *improve* menggunakan perancangan percobaan untuk dapat menentukan nilai variabel X yang memiliki risiko yang paling tinggi dalam mengoptimalkan titik tengah, sebaran, dan bentuk CTQ. Setelah mengetahui atau mengidentifikasi variabel X yang berisiko tinggi, maka selanjutnya mengidentifikasi dan mengurangi risiko yang ada, dengan mengoptimalkan pemberian nilai X, kemudian memperbaharui dan menentukan kapabilitas. Terakhir, mengidentifikasi tindakan yang perlu dilakukan untuk menetapkan proses yang telah dioptimalkan. Fase *improve* mencakup hal-hal sebagai berikut (Saludin, 2016):

1. Tujuan dari rancangan percobaan
2. Tingkatan pengetahuan proses
3. Beberapa kesalahan dalam perancangan percobaan
4. Perancangan percobaan berlaku untuk 2 faktor
5. Contoh perancangan percobaan
6. Menghindari potensi masalah X
7. Membuat kasus pembelajaran
8. Contoh kasus pembelajaran
9. Mengidentifikasi aksi yang diperlukan untuk mengoptimalkan proses
10. Daftar periksa untuk fase *improve*

### **2.3.6 Fase/Tahapan *Control***

Ringkasan fase *control* berguna untuk membantu seseorang dalam pengerjaan tahapan *control*. Pada ringkasan fase *control* terdapat 3 tahapan pengerjaan yaitu tujuan atau maksud fase *control*, *tools* atau peralatan yang digunakan dalam fase *control*, dan hasil atau keluaran dari pengerjaan tersebut. Fase/tahapan *control* ini memiliki maksud dan tujuan yaitu:

1. Integrase solusi keseluruhan sistem
2. Menentukan perencanaan pengendalian

3. Mempertahankan pencapaian yang telah didapat dan melakukan perencanaan perbaikan selanjutnya.

Selanjutnya tahapan yang dilakukan setelah mengetahui maksud atau tujuan fase *control* adalah mengetahui *tools* yang akan digunakan, sebagai berikut:

1. *Statistical process control*
2. Merencanakan pengendalian pengukuran
3. Teknik grafik
4. *Control Chart*
5. Pembuktian kesalahan
6. Melakukan aksi pencegahan
7. Manajemen perubahan
8. ISO

Setelah mengetahui maksud dari tahapan *control* dan *tools*, maka selanjutnya adalah hasil ataupun keluaran. Berikut merupakan hasil ataupun keluaran dari ringkasan tahapan *control* (Saludin, 2016):

1. Menerapkan perubahan yang disyaratkan
1. Penuntasan rencana *control* dan audit
2. Informasi yang diterima diperbaharui
3. Pemetaan proses diperbaharui
4. Terbentuk statistik pengendalian

Pada fase/tahapan *control* nilai X yang telah teroptimalisasi benar-benar harus diterapkan sebagaimana harusnya dan tidak sensitif terhadap lingkungan. Selain itu, mengurangi kerusakan tambahan yang ada yang berhubungan dengan proses penerapana nilai X yang baru. Fase *control* mencakup hal-hal sebagai berikut (Saludin, 2016):

1. Mengurangi kerusakan tambahan yang berhubungan dengan proses
2. Menstandarkan perbaikan X
3. Menjaga tahapan *control* terhadap X
4. Mengembangkan rencana *control* untuk pertanggung jawaban proses
5. Mendata *six sigma* ke dalam pusat data
6. Menyebarkan perbaikan keseluruh organisasi

## 2.4 Identifikasi awal distribusi kerusakan

Distribusi yang digunakan dalam mengidentifikasi data kerusakan adalah distribusi eksponensial, normal, lognormal, dan Weibull (Ebeling, 1997). Distribusi eksponensial digunakan jika distribusi kerusakan memiliki laju kerusakan konstan terhadap waktu. Distribusi Weibull digunakan untuk laju kerusakan menaik atau menurun. Distribusi normal digunakan untuk memodelkan fenomena *fatigue* dan *wearout*. Namun, distribusi normal tidak bagus untuk menunjukkan *reliability distribution* karena *range* berada dari minus tak hingga sampai plus tak hingga. Distribusi lognormal memiliki kemiripan dengan distribusi Weibull yaitu dapat dipakai untuk bentuk yang bermacam-macam sehingga memungkinkan terjadi pada suatu kasus yang fit pada distribusi Weibull maka juga fit pada distribusi lognormal.

Identifikasi awal untuk menentukan distribusi kerusakan dapat menggunakan metode *least-square* dan mencari nilai *index of fit* ( $r$ ) antara  $x$  dan  $y$  dengan menginputkan data kerusakan ke dalam *software* statistik. Distribusi terpilih adalah yang memiliki nilai  $r$  terbesar karena semakin besar nilai  $r$  menandakan bahwa hubungan linear antara  $x$  dan  $y$  semakin baik. Apabila diperoleh nilai  $r$  sama, kemudian dilakukan uji *goodness of fit* dan dilihat nilai Anderson-Darling terkecil. Setelah distribusi terpilih selanjutnya nilai  $x_i$  dan  $y_i$  mengikuti rumus sesuai dengan jenis distribusinya seperti pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.1 Rumus variabel  $x_i$  dan  $y_i$**

Jenis Distribusi	Variabel $x_i$	Variabel $y_i$
Eksponensial	$t_i$	$\ln \left[ \frac{1}{(1-F(t_i))} \right]$
Weibull	$\ln t_i$	$\ln \left( \ln \left[ \frac{1}{(1-F(t_i))} \right] \right)$
Normal	$t_i$	$\Phi^{-1} [F(t_i)]$
Lognormal	$\ln t_i$	$\Phi^{-1} [F(t_i)]$

$F(t_i)$  menggunakan *median rank* seperti pada persamaan berikut :

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4}$$

Dengan  $i$  adalah data waktu ke- $i$ ,  $n$  adalah jumlah data, dan  $t_i$  adalah nilai data ke- $i$ . Masing-masing distribusi kerusakan memiliki rumus masing-masing

untuk menghitung parameter-parameter nilai MTTF seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Rumus MTTF untuk masing-masing distribusi**

Jenis Distribusi	Fungsi distribusi kumulatif	Fungsi reliabilitas	MTTF
Eksponensial	$1 - e^{-\lambda t}$	$e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda}$
Weibull	$1 - e^{-(t/\theta)^\beta}$	$e^{-(t/\theta)^\beta}$	$\theta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$
Normal	$\Phi \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)$	$1 - \Phi \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)$	$\mu$
Lognormal	$\Phi \left( \frac{1}{s} \ln \frac{1}{t_{med}} \right)$	$1 - \Phi \left( \frac{1}{s} \ln \frac{1}{t_{med}} \right)$	$t_{med} e^{\left( \frac{s^2}{2} \right)}$

## 2.5 Mean Time to Failure (MTTF) dan Mean Time to Repair (MTTR)

*Mean Time to Failure* (MTTF) merupakan nilai rata-rata waktu kegagalan yang akan datang dari sebuah sistem atau komponen. Untuk sistem yang dapat direparasi, maka MTTF adalah masa kerja suatu komponen saat pertama kali digunakan atau dihidupkan sampai unit tersebut akan rusak kembali atau perlu diperiksa kembali.

*Mean Time to Repair* (MTTR) adalah waktu rata-rata untuk waktu pengecekan atau perbaikan saat komponen atau unit tersebut diperiksa sampai komponen atau unit tersebut digunakan atau dihidupkan kembali. Perhitungan MTTF dan MTTR, dapat dilihat pada Tabel 2.2 di atas.

## 2.6 Age Replacement Policy

Umumnya, permasalahan maintenance lebih disukai diperbaiki setelah terjadi. Peningkatan *reliability* dari sebuah komponen dapat dilakukan dengan memperbaiki komponen pada waktu yang optimum (Jardine, 2011). Untuk dapat melakukan perbaikan komponen, maka harus diketahui interval waktu untuk dapat meminimumkan *cost* atau *breakdown*. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *age replacement*.

Model *age replacement* adalah suatu model perbaikan dengan interval waktu memperhatikan usia pemakaian komponen tersebut, sehingga dapat menghindari terjadinya penggantian peralatan yang masih baru dipasang dalam

waktu yang relative singkat. Jika terjadi suatu kerusakan, model akan menyesuaikan kembali penjadwalannya setelah perbaikan dilakukan.

Model penentuan interval *preventive maintenance* berdasarkan *age replacement* dengan kriteria meminimalkan *downtime* menggunakan persamaan sebagai berikut (Jardine, 2011):

$$D(tp) = \frac{T_p * R_{(tp)} + ((1 - R_{(tp)}) * T_f)}{(tp + T_p) * R_{(tp)} + (M(tp) + T_f) * (1 - R_{(tp)})}$$

dengan  $T_p$  adalah interval waktu perawatan preventif,  $F(tp)$  dan  $R(tp)$  seperti yang dijelaskan dalam Tabel 2.2, dan nilai  $M(tp)$  adalah perbandingan MTTF dibagi  $F(tp)$ . Interval terpilih adalah yang memiliki nilai  $D(tp)$  terkecil sekaligus nilai *availability* terbesar.

