

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka serta teori-teori yang melandasi dan mendukung setiap langkah yang dilakukan dalam penelitian.

2.1 Perawatan (*Maintenance*)

Maintenance adalah aktivitas Perawatan yang dilakukan secara sengaja (sadar) terhadap suatu fasilitas dengan menganut suatu sistematika tertentu untuk mencapai hasil telah ditetapkan (Sisjono dan Iwan Koswara, 2004). Sedangkan menurut (*Menurut Lindley R. Higgis & R. Keith Mobley*) *maintenance* atau pemeliharaan adalah suatu kegiatan yang dilakukan secara berulang-ulang dengan tujuan agar peralatan selalu memiliki kondisi yang sama dengan keadaan awalnya. *Maintenance* juga dilakukan untuk menjaga peralatan tetap berada dalam kondisi yang dapat diterima oleh penggunanya. (*Maintenance Engineering Handbook, Sixth Edition McGraw-Hill, 2002. 149*).

Secara garis besar tindakan *maintenance* diklasifikasikan menjadi dua hal yaitu:

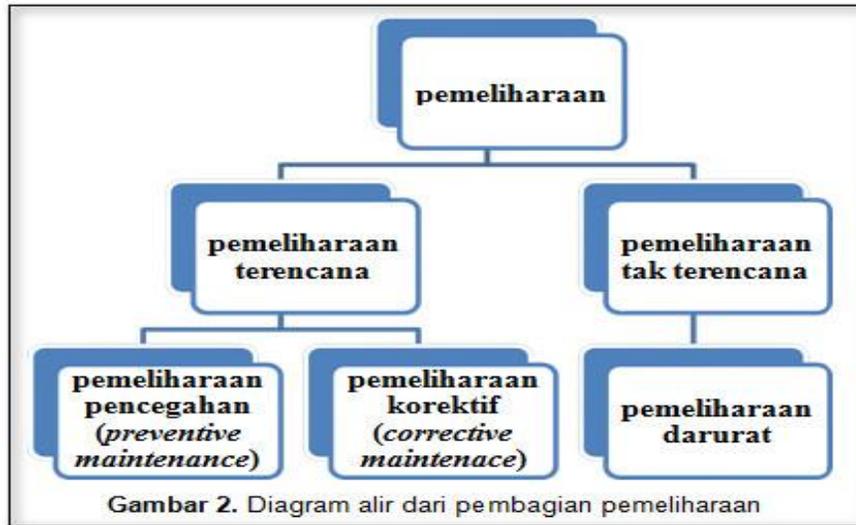
- Pemeliharaan terencana (*Planned Maintenance*):

Pemeliharaan terencana adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terorganisir untuk mengantisipasi kerusakan peralatan di waktu yang akan datang, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. (Anthony, 1992. 112)

- Pemeliharaan tak terencana (*Unplanned Maintenance*)

Pemeliharaan tak terencana adalah yaitu pemeliharaan darurat, yang didefinisikan sebagai pemeliharaan dimana perlu segera dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang serius, misalnya hilangnya produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk keselamatan kerja. (Anthony, 1992. 67)

Berikut gambar klasifikasi *maintenance* secara garis besar :



Gambar 2.0 Klasifikasi kegiatan *maintenance*.

(Sumber: Corder, Anthony, 1992)

Secara umum klasifikasi *maintenance* adalah sebagai berikut :

- Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Adalah inspeksi periodik atau secara berkala untuk mendeteksi kondisi yang mungkin menyebabkan produksi berhenti atau berkurangnya fungsi mesin dikombinasikan dengan pemeliharaan untuk menghilangkan, mengendalikan, kondisi tersebut dan mengembalikan mesin ke kondisi semula atau dengan kata lain deteksi dan penanganan diri kondisi abnormal mesin sebelum kondisi tersebut menyebabkan cacat atau kerugian. (Setiawan, 2008. 76). Dengan *preventive maintenance* guna mencegah *downtime* dan biaya *maintenance* tinggi.

- Pemeliharaan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Adalah *maintenance* yang dilakukan dengan tujuan agar instalasi dapat bekerja dengan sesuai fungsinya serta mencegah *downtime* yang tidak perlu, karena suatu gejala kerusakan dapat diketahui secara dini. Pelaksanaan *predictive maintenance* membutuhkan pemantauan kondisi dan kerusakan komponen kritis.

- Pemeliharaan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Adalah studi tentang seluruh kegagalan peralatan untuk menentukan tindak lanjut apa yang dibutuhkan untuk mencegah terulangnya kembali kegagalan.

- Pemeliharaan Breakdown (*Breakdown Maintenance*)

Adalah suatu *system maintenance* dimana peralatan akan diperbaiki jika peralatan tersebut telah gagal beroperasi sesuai dengan kriteria perencanaannya.

Ada 7 elemen dari pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) menurut (Dhillon,2006. 99) yaitu:

- 1) Inspeksi: memeriksa secara berkala (*periodic*) bagian-bagian tertentu untuk dapat dipakai dengan membandingkan fisiknya, mesin, listrik, dan karakteristik lain untuk standar yang pasti,
- 2) Kalibrasi: mendeteksi dan menyesuaikan setiap perbedaan dalam akurasi untuk material atau parameter perbandingan untuk standar yang pasti,
- 3) Pengujian: pengujian secara berkala (*periodic*) untuk dapat menentukan pemakaian dan mendeteksi kerusakan mesin dan listrik,
- 4) Penyesuaian: membuat penyesuaian secara periodik untuk unsur variabel tertentu untuk mencapai kinerja yang optimal,
- 5) *Servicing*: pelumasan secara periodik, pengisian, pembersihan, dan seterusnya, bahan atau barang untuk mencegah terjadinya dari kegagalan yang baru,
- 6) Instalasi: mengganti secara berkala batas pemakaian barang atau siklus waktu pemakaian atau memakai untuk mempertahankan tingkat toleransi yang ditentukan.
- 7) *Alignment*: membuat perubahan salah satu barang yang ditentukan elemen variabel untuk mencapai kinerja yang optimal.

2.2 Keandalan (*Reliability*)

Kata *realibility* (keandalan) disadur dari kata *reliable* yang berarti handal. Sedangkan kata *realibility* sendiri dapat diartikan sebagai keandalan. Namun, definisi sebenarnya dari *reliability* adalah peluang sebuah komponen, sub-sistem, atau sistem melakukan fungsinya dengan baik, seperti yang dipersyaratkan, dalam kurun waktu tertentu dan dalam kondisi operasi tertentu pula (Dieter, 2004. 45)

2.2.1 Konsep Keandalan

Salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses produksi adalah keandalan komponen sub-sistem atau sistem produksi untuk tidak mengalami kegagalan dalam jangka waktu tertentu. Penerapan teori keandalan

dapat membantu untuk memperkirakan peluang suatu komponen, sub-sistem, atau sistem dapat melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu tertentu dalam kondisi tertentu. Konsep dasar keandalan adalah fungsi laju bahaya (*hazard rate functions*), $\lambda(t)$. Fungsi laju bahaya memberikan cara yang lain dalam menjelaskan distribusi kegagalan. Keandalan menjadi sangat penting karena akan mempengaruhi biaya pemeliharaan yang pada akhirnya mempengaruhi profitabilitas perusahaan.

2.2.2 Fungsi Keandalan

Keandalan dari suatu komponen sub-sistem atau sistem adalah probabilitas untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu t atau lebih. Fungsi keandalan terhadap waktu dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$F(t)$ = fungsi padat peluang (pdf)

$R(t)$ = keandalan (*reability*)

$f(t)$ = probabilitas kegagalan

2.2.3 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan persatuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, sub-sistem, atau sistem. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{f}{T} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total waktu operasi.

2.2.4 Mean Time to Failure (MTTF)

Keandalan suatu sistem seringkali dinyatakan dengan bentuk angka yang menyatakan masa pakai sistem tersebut yang dinotasikan E(T) dan sering disebut rata-rata waktu kerusakan atau MTTF (*Mean Time to Failure*).

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \dots\dots\dots(2.4)$$

2.2.5 Model Distribusi dalam Keandalan

Parameter-parameter keandalan dapat diketahui atau diperkirakan dengan memakai metode parametrik, data keandalan dicocokkan dengan beberapa distribusi probabilitas, seperti distribusi Eksponensial, Normal, *Weibull* dan sebagainya. Untuk menyatakan distribusi kerusakan, pertama harus ditentukan distribusi data dan kemudian mencari parameternya. Sebagai contoh persamaan pada distribusi *Weibull* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Persamaan pada Distribusi *Weibull*.

Keterangan	<i>Weibull</i> 2 Parameter	<i>Weibull</i> 3 Parameter
Probability Density Function	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$
Comulative Density Function	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$
Fungsi Keandalan	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$
Laju Kegagalan	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$
Mean Time To Failure	$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$	$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt$

(sumber : Jardine, 1973. 169)

Keterangan :

β = Parameter bentuk

η = Parameter skala

γ = Parameter lokasi

2.3 *Failure Modes and effect Analysis (FMEA)*

Metode *Failure Modes and effect Analysis* (FMEA) adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh engineers untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan efeknya. FMEA merupakan teknik evaluasi tingkat keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek dari kegagalan dari sistem tersebut. Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem.

Secara umum, FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu :

Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklusnya.

Efek dari kegagalan tersebut terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses. FMEA merupakan alat yang digunakan untuk menganalisa keandalan suatu sistem dan penyebab kegagalannya untuk mencapai persyaratan keandalan dan keamanan sistem, desain dan proses dengan memberikan informasi dasar mengenai prediksi keandalan sistem, desain, dan proses. Terdapat lima tipe FMEA yang bisa diterapkan dalam sebuah industri manufaktur, yaitu :

System berfokus pada fungsi sistem secara global

Design berfokus pada desain produk

Process berfokus pada proses produksi, dan perakitan

Service berfokus pada fungsi jasa

Software berfokus pada fungsi *software*

Berikut ini adalah tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan penerapan FMEA:

- Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya.

- Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
- Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses.
- Untuk membantu fokus *engineer* dalam mengurangi perhatian terhadap produk dan proses, dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.

Dari penerapan FMEA pada perusahaan, maka akan dapat diperoleh keuntungan – keuntungan yang sangat bermanfaat untuk perusahaan, (Ford Motor Company, 1992) antara lain:

- Meningkatkan kualitas, keandalan, dan keamanan produk
- Membantu meningkatkan kepuasan pelanggan
- Meningkatkan citra baik dan daya saing perusahaan
- Menurangi waktu dan biaya pengembangan produk
- Memperkirakan tindakan dan dokumen yang dapat mengurangi resiko

Sedangkan manfaat khusus dari proses FMEA bagi perusahaan adalah:

- Membantu menganalisis proses manufaktur baru.
- Meningkatkan pemahaman bahwa kegagalan potensial pada proses manufaktur harus dipertimbangkan.
- Mengidentifikasi defisiensi proses, sehingga para *engineer* dapat berfokus pada pengendalian untuk mengurangi munculnya produksi yang menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan yang diinginkan atau pada metode untuk meningkatkan deteksi pada produk yang tidak sesuai tersebut.
- Menetapkan prioritas untuk tindakan perbaikan pada proses.
- Menyediakan dokumen yang lengkap tentang perubahan proses untuk memandu pengembangan proses manufaktur atau perakitan di masa datang.

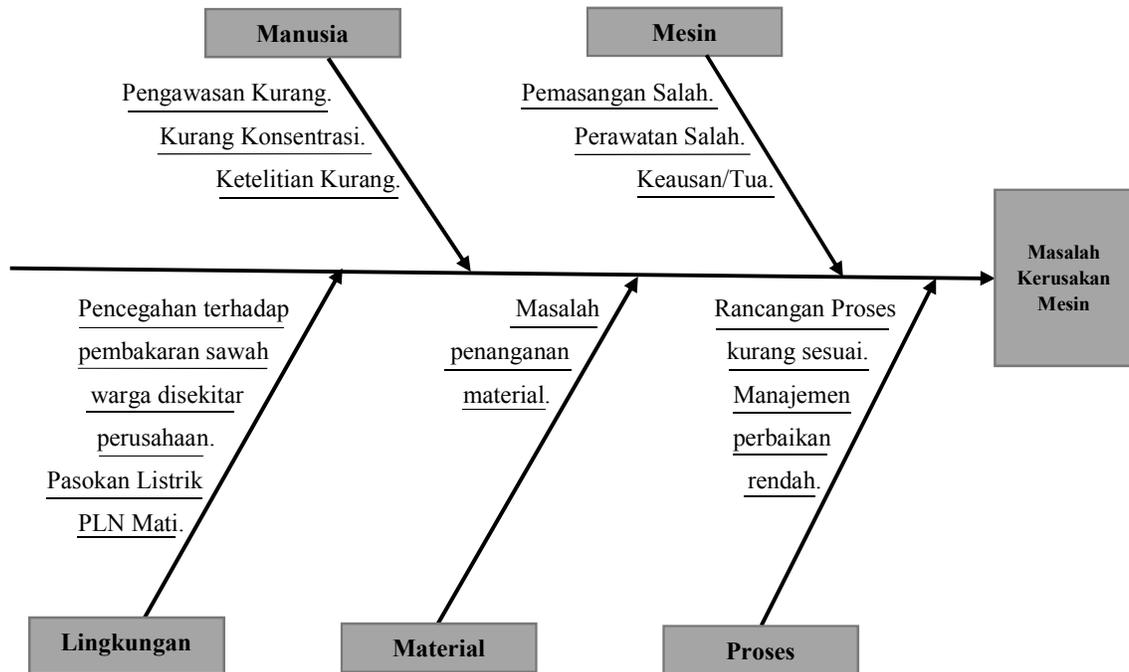
FMEA memiliki kegunaan antara lain :

- Ketika diperlukan tindakan *preventive* atau pencegahan sebelum masalah terjadi.
- Ketika ingin mengetahui atau mendata alat deteksi yang ada jika terjadi kerusakan.
- Pemakaian proses baru.
- Perubahan atau pergantian komponen peralatan.
- Pindahan komponen atau proses ke arah baru.

FMEA juga dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah dijelaskan oleh diagram sebab akibat / *fishbone* berikut ini :

2.3.1 Diagram Sebab Akibat/Fishbone

Melalui diagram sebab akibat/*fishbone* pada gambar berikut akan diketahui penyebab tingginya faktor kerusakan mesin.



Gambar 2.1 Diagram *Fishbone* (Sumber: Penulis, 2017)

Output dari Proses FMEA adalah:

- Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses.
- Daftar *critical characteristic* dan *significant characteristic*.
- Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.
- (*Risk Priority Number*) RPN identik dengan tingkat kegawatan (*risk severity*) yaitu hasil perkalian dari masing-masing nilai dampak dan kemungkinan. Tingkat

prioritas risiko (*Risk Priority Number-RPN*) adalah hasil perkalian dari masing-masing tingkat kegawatan kejadian dan deteksi.

Nilai prioritas risiko (RPN) merupakan perkalian dari :

$$\text{RPN} = (\text{NILAI DAMPAK}) \times (\text{NILAI KEMUNGKINAN}) \times (\text{NILAI DETEKSI})$$

Total nilai RPN ini dihitung untuk tiap-tiap kesalahan yang mungkin terjadi. Bila proses tersebut terdiri dari kelompok-kelompok tertentu maka jumlah keseluruhan RPN pada kelompok tersebut dapat menunjukkan bahwa betapa gawatnya kelompok proses tersebut bila suatu kesalahan terjadi. Jadi terdapat tingkat prioritas tertinggi untuk jenis kesalahan dan jenis kelompok proses. Setelah dilakukan perhitungan RPN untuk masing-masing potensi kesalahan maka dapat disusun prioritas berdasarkan nilai RPN tersebut. Apabila digunakan skala 10 untuk masing-masing variable maka nilai tertinggi RPN adalah $= 10 \times 10 \times 10 = 1000$. Bila digunakan skala 5, maka nilai tertinggi adalah $= 5 \times 5 \times 5 = 125$. Terhadap nilai RPN tersebut dapat dibuat klasifikasi tinggi, sedang dan rendah atau ditentukan secara umum bahwa untuk nilai RPN di atas 250 (*cut-off points*) harus dilakukan penanganan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kesalahan dan dampaknya serta pengendalian deteksinya. Penentuan klasifikasi atau nilai batas penanganan ditentukan oleh kepala tim atau oleh manajemen sesuai dengan jenis proses yang dianalisis.

Idealnya semua kesalahan yang menimbulkan dampak tinggi harus dihilangkan sepenuhnya. Penanganan dilakukan secara serentak untuk ketiga aspek, yaitu meningkatkan kemampuan untuk mendeteksi kesalahan, mengurangi dampak kesalahan bila terjadi. Kesalahan ini dapat disebabkan oleh berbagai hal ; misalnya pompa tidak bekerja, kebocoran slang gas, pompa air radiator tidak bekerja dan lain-lain. Sedangkan cara untuk mencegah dampak kesalahan bila sudah terjadi adalah dengan cara menyusun suatu prosedur pemeriksaan berkala terhadap semua peralatan tersebut.

Hitung ulang RPN yang tersisa untuk mengetahui hasil dari tindak lindung yang dilakukan. Segera setelah tindak lindung risiko dilaksanakan, harus dilakukan pengukuran ulang atau perkiraan nilai deteksi, nilai dampak dan nilai kemungkinan timbulnya kesalahan. Setelah itu dilakukan perhitungan nilai tingkat prioritas risiko

kesalahan tadi. Hasil tindak lindung tadi harus menghasilkan penurunan nilai RPN yang cukup signifikan ke tingkat yang cukup aman. Bila belum tercapai maka tetap perlu dilakukan tindak lindung lebih lanjut. Contohnya dengan menggunakan ilustrasi pada langkah pencegahan. Berapa kira-kira penurunan RPN bila dibandingkan dengan kondisi awal, yaitu tanpa adanya tindakan *preventive* dan dengan tindakan *preventive*.

2.4 Preventive Maintenance

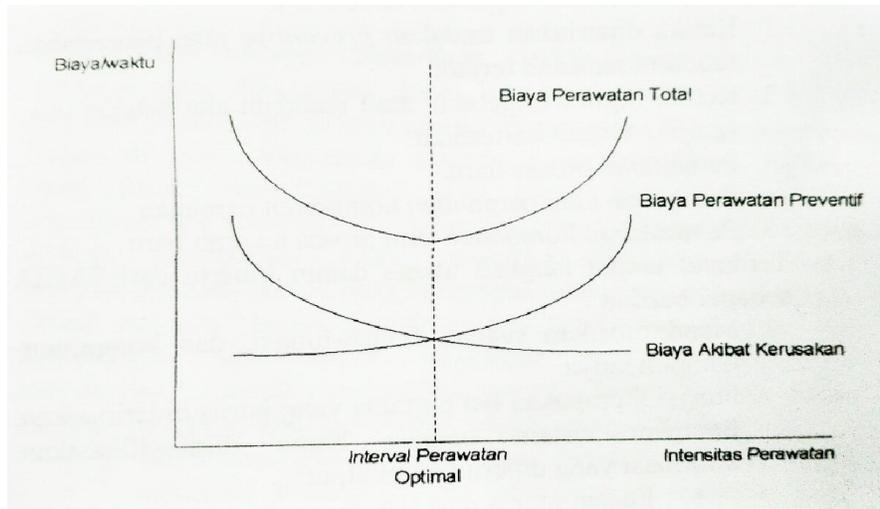
Pada bagian ini akan dibahas mengenai pengertian umum dari *preventive maintenance* dan interval keandalan optimum.

2.4.1 Pengertian Umum

Preventive Maintenance (PM) merupakan jenis *maintenance* yang intervalnya konstan. Pekerjaan yang dilakukan termasuk perbaikan, penggantian dan *maintenance* peralatan dengan tujuan untuk menghindari kerusakan yang tidak diharapkan katika sedang digunakan. Tujuan dari program PM ini adalah meminimasi total biaya perbaikan dan *downtime* mesin (mesin diukur dari *loss production*).

2.4.2 Interval Maintenance Optimum Berdasarkan Nilai Keandalan.

Pendekatan yang sering dilakukan untuk melakukan PM salah satunya berdasarkan analisis statistik dan keandalan dari kerusakan mesin. Dengan PM berdasarkan *statistical-reliability* (S-R) ini, bertujuan untuk meminimumkan total biaya. Contoh dari model PM pada komponen adalah komponen tersebut harus diganti ketika sudah mencapai usia tertentu. Hal tersebut memungkinkan untuk dilakukan jika biaya dari *maintenance* pencegahan ini lebih kecil dari biaya kerusakan. Peralatan yang sering dirawat mengakibatkan peralatan dapat berfungsi dengan baik, tetapi biaya *maintenance* mahal, demikian pula sebaliknya. Untuk itu diperlukan suatu interval *maintenance* yang dapat mengoptimalkan seluruh biaya *maintenance* dan keandalan seperti dijelaskan pada Gambar 2.2 berikut:

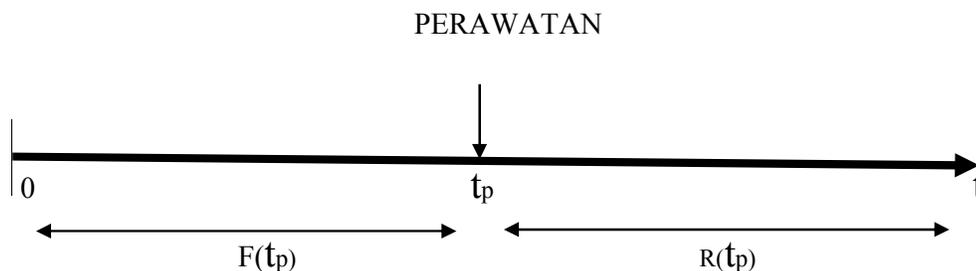


Gambar 2.2 Hubungan Interval *Maintenanace* dengan biaya
(sumber : Wahyudi dan Amelia, 2000. 31)

Interval *maintenance* optimum tergantung pada :

- Distribusi waktu kerusakan.
- Biaya *maintenance* pencegahan, yang terdiri dari :
- Biaya tenaga kerja untuk *maintenance* pencegahan.
- Biaya kerusakan, antara lain terdiri dari :
- Biaya tenaga kerja perbaikan kerusakan
- Biaya akibat perbaikan kerusakan yang merupakan biaya *lost production*.

Model *maintenance* pencegahan yang didasarkan pada selang waktu kerusakan dapat dijelaskan pada Gambar 2.2 berikut,



Gambar 2.3 Model *Preventive Maintenance*.

(sumber : Mann, 1995. 107)

T_p adalah selang waktu (interval) aktivitas *maintenance* pada mesin yang dihitung dari *maintenance* pencegahan yang dilakukan sebelumnya. Model ini bertujuan meminimumkan rata-rata biaya pada setiap unit waktu dimana dengan meminimasi rasio dari ekspektasi biaya setiap siklus dan ekspektasi panjang siklus didapatkan nilai (t_p). Persamaan total biaya per satuan waktu adalah.

$$C(t_p) = \frac{\text{Ekspektasi biaya persiklus}}{\text{Ekspektasi panjang siklus}} \dots\dots\dots(2.5)$$

- Ekspektasi biaya per siklus terdiri dari biaya kerusakan per siklus dan biaya kerusakan per siklus dan biaya *maintenance* per satuan waktu tersebut.
- Biaya kerusakan per siklus dapat dirumuskan sebagai berikut :
 = (Biaya kerusakan per siklus) x (Probabilitas terjadinya *failure* sampai interval t_p). Dimana probabilitas terjadinya *failure* selama periode t_p merupakan fungsi kumulatif $F(t_p)$.
- Sedangkan biaya *maintenance* dapat dirumuskan sebagai berikut :
 = (Biaya *maintenance* per satuan waktu) x (Probabilitas sistem berfungsi setelah dilakukan *maintenance* pada t_p). Dimana probabilitas sistem berfungsi (*survival function*) merupakan fungsi realibilitas $R(t_p)$.

Sehingga persamaan total biaya per satuan waktu menjadi :

$$C(t_p) = \frac{c_f \int_0^{t_p} f(t)dt + c_p \int_{t_p}^{\infty} f(t)dt}{\int_0^{t_p} t f(t)dt + t_p \int_{t_p}^{\infty} f(t)dt} \dots\dots\dots(2.6)$$

Bila mesin mempunyai distribusi kerusakan Weibull dan biaya kerusakan lebih besar daripada biaya *maintenance*, maka interval *maintenance* optimal dapat ditentukan. Sehingga dapat diketahui persamaan yang meminimumkan total biaya per satuan waktu :

$$C(t_p) = \frac{c_f \cdot [1 - R(t_p)] + c_p \cdot R(t_p)}{\int_0^{t_p} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} dt} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan parameter keandalan untuk distribusi *weibull* yang dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Untuk perhitungan biaya kerusakan dan biaya *maintenance* sebagai berikut:

$$C_f = (C_{tr} + C_r)xT \dots\dots\dots(2.8)$$

$$C_p = C_{tp} xTi \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

- C_f = biaya kerusakan per siklus
- C_p = biaya *maintenance* per siklus
- t_p = interval *maintenance*
- C_{tr} = biaya tenaga kerja perbaikan kerusakan
- C_r = biaya akibat perbaikan kerusakan (*loss production*)
- T_r = waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan
- C_{tp} = biaya tenaga kerja *maintenance*
- T_i = waktu yang diperlukan untuk melakukan *maintenance*.

Dengan melakukan perhitungan nilai C (t_p) dimulai dari nilai t_p yang kecil sampai yang besar akan didapatkan nilai C (t_p) yang minimal.

2.5 Statistical Process Control (SPC)

Pengendalian proses statistik adalah alat utama yang digunakan dalam membuat produk dengan benar sejak awal. Tujuan pengendalian proses statistik adalah menyelidiki dengan cepat terjadinya sebab-sebab terduga atau pergeseran proses sedemikian rupa sehingga penyelidikan terhadap suatu proses dan tindakan membenaran dapat dilakukan sebelum terlalu banyak produk yang tidak sesuai spesifikasi diproduksi. Salah satu alat pengendalian proses untuk maksud tersebut digunakan grafik pengendali (Montgomery, 1993. 221).

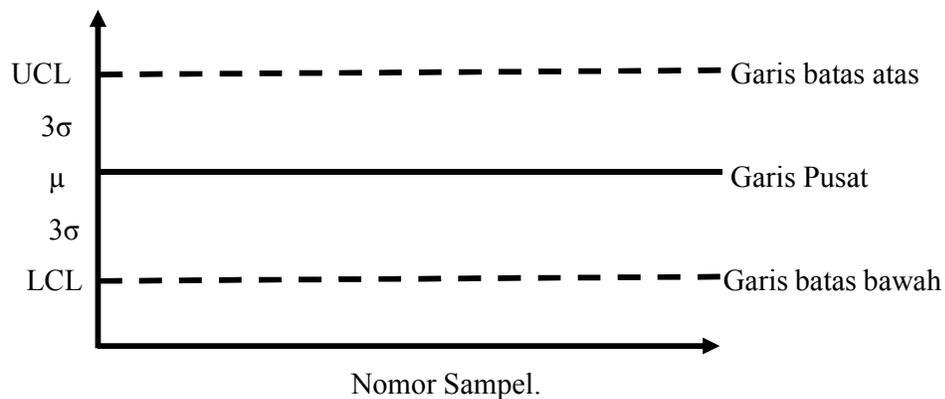
2.5.1 Grafik Pengendali (Control chart)

Dalam SPC salah satu alat untuk mendeteksi penyebab keragaman adalah dengan grafik pengendali (*control chart*). Salah satu tujuan dari pengendalian proses dengan *control chart* adalah untuk mengurangi sampai seminimal mungkin variasi yang timbul dalam proses dan meningkatkan ketelitian dari suatu proses sesuai target yang ditetapkan. Dengan kata lain *control chart* adalah peralatan berupa grafik untuk memonitor aktivitas proses yang dijalankan.

Pada *control chart*, data karakteristik kualitas dari pemeriksaan diplotkan sepanjang sumbu *vertical* dan sumbu *horizontal* yang mempresentasikan sampel

dari karakteristik kualitas yang ditentukan. Pada *control chart* terdapat tiga garis yaitu garis pusat (*Center Line, CL*), garis batas atas (*Upper Control Limit, UCL*) dan garis batas bawah (*Lower Control Limit, LCL*). Jika dalam pengeplotan data ternyata semua titik berada diantara garis batas atas dan garis batas bawah maka dalam statistik, proses produksi yang dilakukan adalah terkendali. sebaliknya jika titik berada diluar garis batas yang telah ditentukan maka proses dikatakan tak terkendali dan perlu dicari penyebabnya untuk perbaikan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut :

Karakteristik kualitas



Gambar 2.4 Grafik Pengendali (*Control chart*)

(sumber : Montgomery,1993. 187)

Dimana: $UCL = \mu + 3\sigma$

$CL = \mu$

$LCL = \mu - 3\sigma$

μ = nilai rata-rata dari data yang diplotkan.

σ = standar deviasi

2.5.2 Average Run Length (ARL)

Di dalam masing-masing tipe *control chart* terdapat kemampuan untuk menemukan pergeseran kualitas proses yang menggunakan fungsi karakteristik operasi. Fungsi karakteristik operasi pada grafik x-bar dapat digunakan dengan

mengambil ukuran sampel $n=1$. Sehingga dapat diketahui probabilitas tidak akan mendeteksi pergeseran pada sampel berikutnya atau risiko β adalah :

$$\beta = \Phi [L - k\sqrt{n}] - \Phi[-L - k\sqrt{n}] \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

- β = Probabilitas tidak akan mendeteksi pergeseran
- Φ = fungsi distribusi kumulatif normal
- L = batas kontrol
- k = tingkat pergeseran
- n = ukuran sampel

Kemudian dapat diketahui probabilitas akan mendeteksi pergeseran pada jumlah sampel pertama berikutnya adalah $1-\beta$. Sehingga untuk mengetahui probabilitas mendeteksi pergeseran pada sampel ke k berikutnya adalah :

$$\beta^{k-1}(1-\beta) \dots\dots\dots(2.11)$$

Dari rumus 2.10 dapat diketahui jumlah sampel yang harus diambil sebelum terdeteksi pergeseran yang dapat disebut *Average Run Length* (ARL) adalah:

$$ARL = \sum k\beta^{k-1}(1-\beta) = \frac{1}{1-\beta} \dots\dots\dots(2.12)$$

2.6 Replacement (Penggantian)

Pada bagian ini akan dibahas mengenai *replacement*, yang berupa pengertiannya dan penentuan interval *replacement*.

2.6.1 Pengertian Umum

Replacement (penggantian) adalah penggantian komponen yang rusak menjadi komponen yang baru lagi. Kegiatan ini dilakukan apabila:

- Komponen /item tidak dapat diperbaiki
- Lebih menguntungkan mengganti komponen daripada memperbaiki.

Replacement berkaitan dengan jumlah komponen yang dibutuhkan, didefinisikan :

- $N(t)$ = jumlah kerusakan selama t
- = jumlah *replacement* selama t
- = jumlah *sparepart* yang diperlukan selama t

Probabilitas terjadi *replacement* sebanyak n kali selama

$$t = P\{N(t) = n\}$$

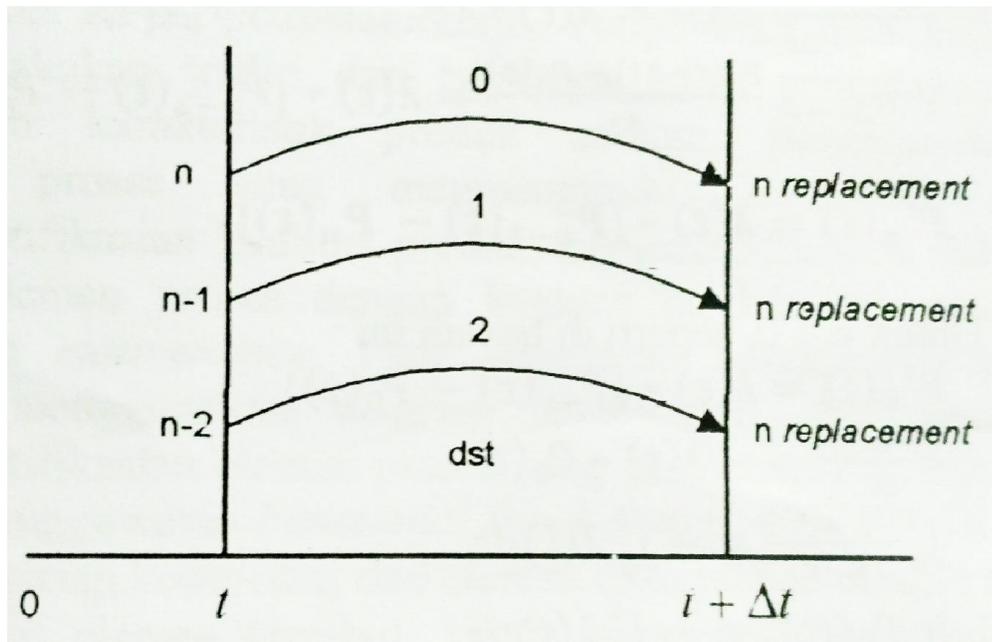
$$= P_n(t) \dots\dots\dots(2.13)$$

Sedangkan untuk probabilitas terjadi *replacement* sebanyak ' n ' kali selama:

$$(t + \Delta t) = P\{N(t + \Delta t) = n\}$$

$$= P_n(t + \Delta t) \dots\dots\dots(2.14)$$

Diagram banyaknya penggantian dengan memperhatikan perubahan waktu ' t ' dan perubahan waktu $t + \Delta t$ terhadap n penggantian dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Perubahan Waktu ' t ' dan ' $t + \Delta t$ ' terhadap ' n ' Pergantian

(sumber : Bagus, 2008.)

Dari gambar diatas,terdapat ' n ' *replacement* pada saat ' $t + \Delta t$ ',tergantung pada jumlah *replacement* pada saat ' t ' dari selama Δt . Dari gambaran tersebut maka dapat dibuat persamaan:

$$P\{N(t + \Delta t) = n\} = \sum_{i=1}^n P\{N(t + \Delta t) = n | N(t) = i\} * P\{N(t) = i\}$$

$$P_n(t + \Delta t) = P\{\text{tidak rusak selama } \Delta t\} * P_n(t) + P\{\text{rusak selama } \Delta t\} * P_{n-1}(t) \dots\dots\dots(2.15)$$

Rumus diatas mengikuti hukum *conditional probability*,yaitu:

$$P(A|B) = \frac{P(AB)}{P(B)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Sebagai gambaran awal bahwa :

$$P \{ \text{rusak selama } \Delta t \} = \lambda(t) * \Delta t \dots\dots\dots(2.17)$$

Dari persamaan diatas, maka didapat :

$$P_n(t+\Delta t) = (1-\lambda(t)*\Delta t) * P_n + \lambda(t) * \Delta t * P_{n-1}(t)$$

$$P_n(t+\Delta t) = P_n(t) - \lambda(t) * \Delta t * P_n(t) + \lambda(t) * \Delta t * P_{n-1}(t)$$

$$P_n(t+\Delta t) - P_n(t) = \lambda(t) * \Delta t * \{P_{n-1}(t) - P_n(t)\}$$

$$\frac{P_n(t+\Delta t) - P_n(t)}{\Delta t} = \lambda(t) * \{P_{n-1}(t) - P_n(t)\}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_n(t+\Delta t) - P_n(t)}{\Delta t} = \lambda(t) * \{P_{n-1}(t) - P_n(t)\}$$

$$P'_n(t) = \lambda(t) * \{P_{n-1}(t) - P_n(t)\} \dots\dots\dots(2.18)$$

Untuk n = 0, seperti dibawah ini:

$$P'_0(t) = \lambda(t) * \{P_{-1}(t) - P_0(t)\}$$

$$\frac{d(P_0(t))}{dt} = \lambda(t) * P_0(t)$$

$$\int_0^t \frac{d(P_0(t))}{dt} = - \int_0^t \lambda(t) dt$$

$$\ln P_0(t) \int_0^t = - \int_0^t \lambda(t) dt$$

$$\ln P_0(t) = - H(t)$$

$$P_0(t) = e^{-H(t)} \dots\dots\dots(2.19)$$

Rumus tersebut menjelaskan bahwa probabilitas terhadap 0 *replacement* selama 't'. Untuk n = 1, seperti langkah-langkah diatas maka dapat ditentukan bahwa :

$$P_1(t) = H(t) * e^{-H(t)} \dots\dots\dots(2.20)$$

Untuk n = 2 dan seterusnya berlaku rumus :

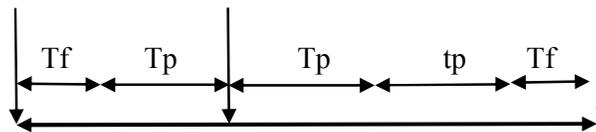
$$P \{ N(t) = n \} = P_0(t) * \frac{H^n(t)}{n!} * e^{-H(t)} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

N(t): banyaknya *sparepart* yang dibutuhkan

2.6.2 Penentuan Interval *Replacement Optimum*

Komponen sebagian besar yang ada didalam suatu peralatan akan mengalami aus ketika komponen tersebut sering digunakan secara rutin atau terus menerus. Pada saat itu maka diperlukan suatu penggantian (*replacement*). Interval yang tepat dalam melakukan penggantian sangat penting dalam menghemat biaya yang akan dikeluarkan. Semakin sering dilakukan *replacement* maka biaya yang dikeluarkan semakin besar. Begitu sebaliknya semakin jarang dilakukan *replacement* maka biaya akibat kerusakan yang terjadi akan lebih besar lagi.



Gambar 2.6 Kebijakan Penggantian

(sumber : Jardine, 1973)

Menurut Jardine (1973) penggantian dapat dilakukan seperti Gambar 2.6 Pada kebijakan penggantian ini terdapat dua kemungkinan yaitu penggantian dilakukan setelah mencapai umur penggantian yang telah ditetapkan (t_p) dan penggantian dilakukan saat terjadi kerusakan sebelum waktu penggantian yang telah dijadwalkan. Kedua kemungkinan ini bertujuan untuk menentukan umur *replacement* komponen yang optimal untuk meminimasi ekspektasi total biaya penggantian per satuan waktu. Nilai dari interval penggantian ini dipengaruhi oleh:

- Distribusi waktu antar kerusakan komponen.
- Biaya *preventive maintenance*, diantaranya biaya tenaga kerja, harga komponen dan *loss production* akibat *preventive maintenance*.
- Biaya kerusakan, diantaranya biaya tenaga kerja, harga komponen dan *loss production* akibat kerusakan.

Persamaan total biaya penggantian per satuan waktu $C(t_p)$ yaitu :

$$C(t_p) = \frac{\text{Ekspektasi total biaya penggantian per siklus}}{\text{ekspektasi panjang siklus}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana ekspektasi total biaya penggantian persiklus yaitu (biaya siklus *preventive* x probabilitas siklus) + (biaya siklus *failure* x probabilitas siklus *failure*). Sedangkan untuk ekspektasi panjang siklus yaitu (panjang siklus *preventive* x probabilitas siklus *failure*).

Berdasarkan penjabaran dia atas maka persamaan total biaya penggantian persatuan waktu yaitu :

$$C(tp) = \frac{Cp * R(tp) + Cf * [1 - R(tp)]}{(tp + Tp) * R(tp) + [M(tp) + Tf] * [1 - R(tp)]}$$

$$C(tp) = \frac{Cp * R(tp) + Cf * [1 - R(tp)]}{(tp + Tp) * R(tp) \int_0^{tp} t * f(t) + Tf * [1 - R(tp)]}$$

.....(2.23)

Keterangan:

- Cp : biaya penggantian *maintenance* persiklus
- Cf : biaya penggantian karena kerusakan persiklus
- R(tp) : keandalan pada periode tp
- R(t) : keandalan pada periode t
- M(tp) : ekspektasi panjang siklus *failure*
- tp : interval penggantian pencegahan
- Tp : waktu untuk melakukan *preventive replacement* yang ditetapkan pihak *maintenance*.
- Tf : waktu untuk melakukan *replacement* akibat kerusakan yang ditetapkan pihak *maintenance*.

2.7 *Review* Penelitian Terdahulu

Selain bersumber dari jurnal, buku dan makalah, referensi penelitian ini juga menggunakan beberapa penelitian keterkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan oleh penulis. Penelitian yang dilakukan antara lain:

Dalam penelitian Lasmer Samuel (2007) dilakukan analisa penentuan kebijakan *maintenance* dengan menggunakan konsep *total quality maintenance*. Penelitian ini dilakukan dengan metode kualitatif dan kuantitatif. Pengumpulan data kualitatif mencakup mesin yang menjadi objek, penelitian sistem produksi, operator, lingkungan kerja, pedoman kerja. Pengolahan data kuantitatif yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap pengolahan yaitu penentuan karakteristik produk amatan, pengidentifikasian elemen proses yang mempengaruhi kerusakan mesin, pengidentifikasian kualitas produk, pengidentifikasian hubungan antara elemen proses dengan kualitas produk dan

penentuan kebijakan *maintenance*. Pada penentuan karakteristik produk amatan menggunakan diagram pareto dari data kecacatan. Pengidentifikasian elemen proses yang mempengaruhi kerusakan mesin menggunakan *Functional Block Diagram* (FBD). Didalam FBD ini setiap komponen dan elemen ditunjukkan dengan fungsi-fungsi dari elemen tersebut. Untuk mengidentifikasi hubungan antara elemen proses yang mempengaruhi kerusakan mesin dengan menggunakan FMEA dan RCA. Selanjutnya tahap mengidentifikasi kualitas produk terdiri dari dua tahapan yaitu pembuatan *control chart* dan prediksi *control chart*. Tahap selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan kebijakan *maintenance* dengan melihat elemen proses yang telah teridentifikasi dimana elemen proses tersebut mempunyai pengaruh terhadap terjadinya *defect* produk. Tujuannya supaya dapat menerapkan sistem *maintenance* yang baik sehingga kualitas produk dapat terjaga sesuai dengan prinsip *TQM*.

Dalam penelitian Warga Bagus (2008) dilakukan dengan metode kualitatif dan kuantitatif. Pengolahan data kuantitatif yang dilakukan antara lain penentuan objek amatan dan penentuan komponen kritis, penentuan jadwal *preventive maintenance* optimum, serta penentuan jadwal *replacement maintenance* yang optimum pada komponen kritis. Pada tahap penentuan komponen kritis menggunakan metode FMEA dengan nilai RPN paling besar. Interval jadwal *preventive maintenance* dapat ditentukan dengan menggunakan suatu persamaan yang dapat meminimumkan biaya. Biaya-biaya yang dimaksud adalah biaya *loss production* dan biaya tenaga kerja. Pada tahap penentuan jadwal *replacement maintenance* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan yang dapat meminimumkan biaya. Dari penelitian ini dapat dilihat waktu *maintenance* dan waktu penggantian optimum berdasarkan nilai kendalan yang meminimumkan biaya.

Dalam penelitian Selvin Octaria (2010) dilakukan penentuan waktu *preventive maintenance* dan *replacement* komponen kritis pada penelitian dilakukan dengan metode kualitatif dan kuantitatif. Pada metode kuantitatif terdiri dari beberapa tahap yaitu melakukan pengidentifikasian hubungan antara elemen proses dengan kualitas produk dengan metode FMEA, pengidentifikasian kualitas produk, penentuan *preventive maintenance* berdasarkan *reliability*, serta penentuan

preventive replacement yang optimum pada komponen kritis berdasarkan *reliability*.

Pada penelitian ini dilakukan penentuan waktu *preventive maintenance* dan *replacement* komponen kritis pada penelitian dilakukan dengan metode kualitatif dan kuantitatif. Pada metode kuantitatif terdiri dari beberapa tahap yaitu melakukan pengidentifikasian hubungan antara elemen proses dengan kualitas produk dengan metode FMEA, pengidentifikasian kualitas produk, penentuan *preventive maintenance* berdasarkan *reliability*, serta penentuan *preventive replacement* yang optimum pada komponen kritis berdasarkan *reliability*.

Tabel 2.2 *Critical Review*

Peneliti	Tahun	Penentuan Interval <i>Preventive Maintenance</i>		Penentuan Interval <i>Preventive Replacement</i>
		Berdasarkan Pergeseran Kualitas pada <i>Control Chart</i>	Berdasarkan Nilai Keandalan	
Lasmer Samuel	2007	√	√	
Warga Bagus	2008		√	√
Selvin Octaria	2010	√	√	√
Ubaidillah	2017	√	√	√

(sumber : Penulis dari Berbagai Referensi, 2017)