

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengendalian Kualitas

Menurut (Douglas C. Montgomery, 2009 : 4). Mutu atau kualitas sudah menjadi faktor paling penting didalam konsumen mengambil keputusan dalam memilih antara produk dan pelayanan. Fenomena ini terjadi, pada konsumen seorang individu, sebuah organisasi industri, toko ritel, bank atau institusi keuangan atau program pertahanan militer. Oleh karena itu pemahaman dan meningkatkan kualitas faktor utama keberhasilan dalam bisnis, untuk meningkatkan pertumbuhan dan daya saing.

Menurut (Douglas C. Montgomery, 2009 : 6). Mutu berarti kesesuaian penggunaan. Defenisi modern, Kualitas berbanding terbalik proporsi terhadap variabilitas/ penyimpangan. Ada dua aspek umum kesesuaian penggunaan: kualitas desain dan kualitas kesesuaian. Semua barang dan jasa yang dihasilkan dalam berbagai kelas atau tingkat kualitas. Ini merupakan variasi dalam kelas tingkat kualitas yang ada dan akibatnya istilah teknis yang tepat adalah kualitas desain.

Kualitas kesesuaian adalah seberapa baik produk tersebut memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan oleh desain. Kualitas kesesuaian dipengaruhi oleh faktor-faktor, mencakup pilihan untuk kontrol proses manufaktur, pengujian,

dan kegiatan pemeriksaan yang digunakan, sejauh mana prosedur ini diikuti dan tenaga kerja termotivasi untuk mencapai kualitas.

Menurut (Dale H. Besterfield, 2009 : 2). Ketika kualitas digunakan, biasanya kita berpikir tentang suatu produk atau jasa yang sangat baik yang memenuhi atau melebihi harapan kami. Kualitas dapat diukur sebagai berikut:

$$\text{Dimana: } Q = \frac{P}{E}$$

Q = kualitas

P = persepsi

E = Harapan

Jika q lebih besar dari 1,0, maka pelanggan memiliki perasaan yang baik tentang produk atau jasa. Tentu saja, penentuan P dan E kemungkinan besar akan didasarkan pada persepsi, organisasi menentukan kinerja dan menentukan harapan pelanggan. Harapan pelanggan terus-menerus menjadi lebih meminta.

Ada banyak sekali definisi dan pengertian dari kualitas itu sendiri, yang sebenarnya definisi atau pengertian yang satu dengan definisi atau pengertian yang lain memiliki kesamaan. Berikut pengertian kualitas menurut beberapa ahli yang banyak dikenal, antara lain : (Dorothea Wahyu Ariani, 2005 : 3)

- *Juran* (1962), “kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan atau manfaatnya.”

- Crosby (1979), "kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan yang meliputi *availability, delivery, reability, maintainability*, dan *cost effectiveness*."
- Deming (1982), "kualitas harus bertujuan memenuhi kebutuhan pelanggan sekarang dan di masa mendatang. "
- Feigenbaum (1991), "kualitas merupakan keseluruhan karakteristik produk dan jasa yang meliputi *marketing, engineering, manufacture*, dan *maintenance*, dimana produk dan jasa tersebut dalam pemakaiannya akan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan."
- Scherkenbach (1991), "kualitas ditentukan oleh pelanggan; pelanggan menginginkan produk dan jasa yang sesuai dengan kebutuhan dan harapannya pada suatu tingkat harga tertentu yang menunjukkan nilai produk tersebut."
- Elliot (1993), "kualitas adalah sesuatu yang berbeda untuk orang yang berbeda dan tergantung pada waktu dan tempat, atau dikatakan sesuai dengan tujuan."
- Goetch dan Davis (1995), "kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berkaitan dengan produk, pelayanan, orang, proses, dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan."

2.1.1 Dimensi Kualitas

Menurut (Douglas C. Montgomery, 2009 : 4). Dimensi kualitas dari kualitas produk dapat dijelaskan dan dievaluasi dalam beberapa cara. Ini sering penting untuk membedakan dimensi-dimensi yang berbeda kualitas. Gravin (1987) menyediakan sebuah diskusi yang sangat baik dari delapan komponen atau dimensi kualitas, kami meringkas poin-poin penting tentang dimensi kualitas sebagai berikut:

1. *Performance*

Potensi pelanggan yang biasanya dilihat dari kinerja produk untuk menentukan apakah bisa melakukan fungsi yang spesifik dan menentukan seberapa baik perlakuannya.

2. *Reliability*

Kepercayaan pelanggan terhadap produk karena keandalannya atau karena kerusakan yang rendah.

3. *Durability*

Tingkat ketahanan/awet produk atau lama umur produk.

4. *Serviceability*

Kemudahan produk itu bila akan diperbaiki atau kemudahan memperoleh komponen produk tersebut.

5. *Aesthetic*

Daya tarik visual estetika produk, sering mempertimbangkan faktor-faktor seperti gaya, warna, bentuk, kemasan alternatif, karakteristik sensori taktil dan fitur lainnya.

6. *Features*

Biasanya, pelanggan menyukai produk yang berkualitas dengan fitur yang memiliki kinerja yang mengesankan yang dilihat berdasarkan karakteristik.

7. *Percieved Quality*

Dalam banyak kasus, pelanggan bergantung pada reputasi masa lalu dari perusahaan tentang kualitas produknya. Reputasi ini secara langsung dipengaruhi oleh kegagalan dari produk yang sangat terlihat untuk umum atau yang membutuhkan penarikan kembali produk dan bagaimana pelanggan diperlakukan ketika masalah kualitas yang terkait dengan produk dilaporkan. Persepsi kualitas, loyalitas pelanggan dan bisnis yang berulang akan erat.

8. *Conformance to standart*

Kita biasanya memikirkan suatu produk berkualitas tinggi sebagai salah satu yang dapat memenuhi persyaratan digunakan/ditempatkan.

2.1.2 *Quality Engineering*

Menurut (Douglas C. Montgomery, 2009 : 8). Istilah Rekayasa kualitas masing-masing produk memiliki sejumlah elemen yang bersama-

sama menggambarkan apa yang pengguna atau konsumen pikir tentang kualitas. Parameter ini sering disebut sebagai karakteristik kualitas. Kadang-kadang disebut kritik terhadap karakteristik kualitas (CTQ). karakteristik mutu dapat menjadi beberapa jenis:

1. fisik : panjang, berat, tegangan, viskositas
2. Indra : rasa, penampilan, warna
3. Orientasi waktu : keandalan, keawetan, rekayasa

Quality engineering adalah himpunan kegiatan operasional, manajemen dan perusahaan rekayasa yang digunakan untuk memastikan bahwa karakteristik mutu produk diperlukan dan tingkat nominal variabilitas sekitar tingkat-tingkat harapan minimal

2.2 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data dilakukan untuk melakukan atau memastikan bahwa data yang telah dikumpulkan cukup secara objektif. Pengujian kecukupan data yang dilakukan dengan berpedoman pada konsep statistik, yaitu derajat ketelitian dan tingkat keyakinan/kepercayaan.

Untuk menetapkan beberapa jumlah observasi yang seharusnya dibuat N' maka disini harus diputuskan terlebih dahulu beberapa tingkat kepercayaan (*convedence level*) dan derajat ketelitian (*degree of accurancy*) untuk pengukuran kerja ini.

Derajat ketelitian dan tingkat keyakinan digunakan untuk mencerminkan tingkat kepastian yang dilakukan oleh pengukur. Berikut adalah rumus dari Uji Kecukupan Data :

$$N' = \left(\frac{10 \sqrt{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}}{\sum X_i} \right)^2$$

Dimana: Tingkat keyakinan sebesar 95%

Derajat ketelitian sebesar 20%

Banyaknya sampel (N) = 80

X = Data cacat produk N-002

N' = Jumlah data teoritis

Jika dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus tersebut maka dapat dibuat hipotesa, $N' \leq N$, maka data dianggap cukup, sedangkan jika $N' > N$ data dianggap tidak cukup (kurang) dan perlu dilakukan penambahan data. (Sritomo Wignjosoebroto, 1995 : 184).

2.3 Pengendalian Kualitas Proses Statistik Data Atribut

Menurut (Dale H. Besterfield, 2009 : 316). Data atribut digunakan apabila ada pengukuran yang tidak memungkinkan untuk dilakukan, misalnya goresan, kesalahan, warna, atau ada bagian yang tidak hilang. Dalam Proses statistik ini ada dua kelompok besar peta pengendalian kualitas proses statistik untuk data atribut, yaitu berdasarkan distribusi binomial dan yang berdasarkan

distribusi poisson. Yang berdasarkan distribusi binomial merupakan kelompok pengendalian untuk unit-unit ketidaksesuaian, seperti *p-chart* yang menunjukkan proporsi ketidaksesuaian dalam sampel atau sub kelompok dan peta pengendali lain adalah banyaknya ketidaksesuaian (*np-chart*).

Pengendalian proporsi kesalahan (*p-chart*) dan banyaknya kesalahan (*np-chart*) digunakan untuk mengetahui apakah cacat produk yg dihasilkan masih dalam batas yang disyaratkan.

Berdasarkan fungsi dan kegunaannya, peta pengendali atribut dibagi menjadi 4 macam, yaitu: (Dale H. Besterfield, 2009 : 317)

1. Peta pengendali p (*p-chart*)

Digunakan untuk mengendalikan proporsi unit yang tidak memenuhi syarat kualitas yang dihasilkan dalam suatu proses.

2. Peta pengendali np (*np-chart*)

Digunakan untuk mengendalikan banyaknya unit yang tidak memenuhi spesifikasi dalam suatu pemeriksaan.

3. Peta pengendali c (*c-chart*)

Digunakan untuk melakukan pengujian terhadap kualitas proses produksi dan banyaknya pada suatu unit produksi.

4. Peta pengendali u (*u-chart*)

Digunakan untuk mengukur banyaknya kesalahan untuk satu unit produk.

Berikut merupakan tabel yang menyajikan rumus-rumus yang digunakan dalam membuat peta pengendali data atribut :

Tabel 2.1 Rumus Peta Pengendali Data Atribut *P-Chart* dan *Np-Chart*

No	Rumus	Peta Pengendali p (<i>p-chart</i>)	Peta Pengendali np (<i>np-chart</i>)
1	Proporsi	$p = \frac{x}{n}$	$p = \frac{x}{n}$
2	<i>Central Line</i>	$CL_p = \frac{\sum_{i=1}^g pi}{g} = \frac{\sum_{i=1}^g xi}{n.g}$	$CL_{np} = 3\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^g xi}{g}}$
3	<i>Upper Control Line</i> (UCL)	$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
4	<i>Lower Control Line</i> (LCL)	$LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$UCL_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

Tabel 2.2 Rumus Peta Pengendali Data Atribut *C-Chart* dan *U-Chart*

No	Rumus	Peta Pengendali c (<i>c-chart</i>)	Peta Pengendali u (<i>u-chart</i>)
1	Proporsi	$p = \frac{x}{n}$	$ui = \frac{ci}{n}$
2	<i>Central Line</i>	$CL_c = \frac{\sum_{i=1}^g ci}{g}$	$CL_u = \frac{\sum_{i=1}^g ci}{n.g}$
3	<i>Upper Control Line</i> (UCL)	$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$
4	<i>Lower Control Line</i> (LCL)	$UCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$UCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

Keterangan :

$\bar{p}$ = garis pusat pengendali proporsi kesalahan

$n\bar{p}$ = garis pusat pengendali banyaknya kesalahan

$\bar{c}$ = garis pusat pengendali c

$\bar{u}$ = garis pusat pengendali tiap unit

x_i = banyaknya kesalahan tiap sampel atau sub kelompok dalam observasi

c_i = banyaknya kesalahan tiap sampel atau sub kelompok dalam observasi

p_i = proporsi kesalahan tiap sampel

n = banyaknya sampel yang diambil tiap observasi

g = banyaknya observasi yang dilakukan

Langkah-langkah yang digunakan untuk membuat peta pengendali data atribut:

1. Pilih karakteristik kualitas

Langkah pertama dalam prosedur ini adalah untuk menentukan penggunaan peta kendali.

2. Tentukan banyaknya sampel dan observasi

Banyaknya sampel mempengaruhi jenis peta pengendali yang akan digunakan.

3. Kumpulkan data

Data yang dikumpulkan disesuaikan dengan jenis peta pengendali yang dipilih.

4. Tentukan garis pusat dan batas kontrol

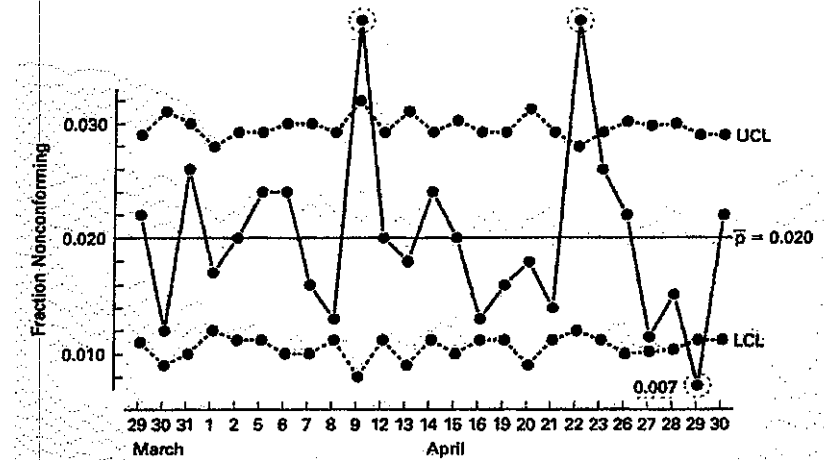
Setiap peta pengendali memiliki perhitungan garis pusat dan batas kontrol masing-masing (lihat tabel 2.3 dan 2.4)

5. Menetapkan revisi garis tengah dan batas kontrol

Jika ada data yang keluar dari batas kendali, refisi dapat dilakukan dengan cara menghitung ulang garis tengah dan batas kontrol dengan tidak memasukkan data yang keluar batas itu.

6. Apabila data pengamatan menunjukkan bahwa proses berada dalam pengendalian statistical, tentukan kapabilitas proses menghasilkan produk yang sesuai (tidak cacat) sebesar: $(1 - \bar{P})$ atau $(100\% - \bar{P}\%)$, hal ini serupa dengan proses menghasilkan produk cacat sebesar $(\bar{P})$. (Vincent Gazpers, 1998 : 152).

Berikut merupakan contoh gambar peta kendali hasil perhitungan data atribut, yaitu:



Gambar 2.1 Peta Kontrol Data Atribut

2.4 Pengendalian Kualitas Proses Statistik Data Variabel

Menurut (Dale H. Besterfield, 2009 : 182). Pengendalian kualitas data variabel sering disebut juga metode peta pengendali untuk data variabel. Metode ini digunakan untuk menggambarkan variasi atau penyimpangan yang terjadi pada kecenderungan memusat dan penyebaran observasi. Terdapat 2 jenis peta pengendali dalam data variabel, yaitu:

a. Peta Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$) dan Jarak ($\bar{R}$)

Peta Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$) adalah peta pengendali untuk melihat apakah proses masih dalam batas kendali atau tidak. Kondisi tersebut dapat dilihat dari produk yang sedang dalam proses. Proses produksi dikatakan baik apabila produk berada di sekitar garis pusat (*central line*).

Peta Pengendali Jarak ($\bar{R}$) adalah peta yang digunakan untuk mengetahui

tingkat ketepatan proses (tingkat akurasi) yang diukur dengan cara mencari jarak (*range*) dari sampel yang diambil.

Tabel 2.3 Rumus Peta Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$) dan Jarak ($\bar{R}$)

No	Rumus	Peta Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$)	Peta Pengendali Jarak ($\bar{R}$)
1	<i>Central Line</i>	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^g X_i}{g}$	$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^g R_i}{g}$
2	<i>Upper Control Limit (UCL)</i>	$\bar{X} = \bar{\bar{X}} + A2.R$	$R = \bar{R}.D4$
3	<i>Lower Control Limit (LCL)</i>	$\bar{X} = \bar{\bar{X}} - A2.R$	$R = \bar{R}.D3$
4	Menentukan Rata-rata (X) dan Jarak (R)	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$	$R = X_{\max} - X_{\min}$

b. Peta Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$) dan Standar Deviasi (S)

Peta Pengendali Standar Deviasi (S) digunakan untuk mengukur tingkat keakurasian proses. Berikut adalah rumus yang dipakai :

Tabel 2.4 Rumus Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$) dan Standar Deviasi (S)

No	Rumus	Peta Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$)	Peta Pengendali Standar Deviasi (S)
1	<i>Central Line</i>	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^g X_i}{g}$	$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^g S_i}{g}$

Tabel 2.4 Rumus Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$) dan Standar Deviasi (S)
(Lanjutan)

No	Rumus	Peta Pengendali Rata-Rata ($\bar{X}$)	Peta Pengendali Standar Deviasi (S)
2	<i>Upper Control Limit</i> (UCL)	$\bar{X} = \bar{\bar{X}} + A3.S$	$S = B4.\bar{S}$
3	<i>Lower Control Limit</i> (LCL)	$\bar{X} = \bar{\bar{X}} - A3.S$	$S = B3.\bar{S}$
4	Menentukan Rata-rata (X) dan Standar Deviasi (S)	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$	$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$

Keterangan tabel :

n = banyaknya sampel tiap observasi

g = banyaknya observasi yang dilakukan

X_i = data per sub kelompok yang diambil

R_i = jarak tiap sub kelompok

S_i = standar deviasi untuk setiap sub kelompok

$\bar{X}_i$ = rata-rata tiap sub kelompok

2.5 DMAIC (*Define, Measure, Analysis, Improve, Control*)

Menurut (Douglas C. Montgomery, 2009 : 45). DMAIC adalah prosedur struktur pemecahan masalah secara luas yang digunakan dalam

nilai SIPOC. Organisasi dan peta *value stream* menawarkan banyak secara khusus visual dan memfasilitasi pemahaman tentang apa yang perlu diubah dalam suatu proses. Diagram SIPOC adalah peta tingkat tinggi proses. SIPOC adalah singkatan untuk menentukan pemasok, *input*, proses, *output* dan pelanggan, seperti:

1. Pemasok adalah mereka yang memberikan informasi, materi atau item lain dalam proses.
2. Saran atau masukan adalah informasi atau bahan yang disediakan
3. Proses ini adalah serangkaian langkah-langkah mutlak diperlukan untuk melakukan pekerjaan itu.
4. Keluarannya merupakan produk, layanan atau informasi yang dikirim kepada pelanggan
5. Pelanggan adalah pelanggan eksternal atau tindakan bisnis internal.

Berikut adalah aspek-aspek yang harus diperhatikan dalam menentukan suatu masalah :

1. Spesifik, menjelaskan secara tepat apa yang salah, bagian proses mana yang salah dan apa salahnya.
2. Dapat diamati, menjelaskan bukti-bukti nyata suatu masalah. bukti-bukti tersebut dapat diperoleh baik melalui laporan internal maupun umpan balik pelanggan.
3. Dapat diukur, menunjukkan lingkup masalah dalam suatu ukuran.

4. Dapat dikendalikan, masalah harus dapat diselesaikan dalam rentang waktu tertentu. Apabila masalah terlalu besar maka dapat dipecah-pecah sehingga dapat lebih dikendalikan.

- *Measure*

Measure adalah fase mengukur tingkat kinerja saat ini, sebelum mengukur tingkat kinerja biasanya terlebih dahulu melakukan analisis terhadap sistem pengukuran yang digunakan. Tujuan dari langkah pengukuran ini adalah untuk mengevaluasi dan memahami kondisi saat ini proses. Ini melibatkan pengumpulan data untuk mengukur kualitas, aliran biaya dan waktu / siklus. (Douglas C. Montgomery, 2009 : 50)

Faktor-faktor penting seperti waktu yang dihabiskan dalam melakukan berbagai kegiatan kerja dan waktu menunggu dihabiskan untuk proses penambahan. Memutuskan apa dan berapa banyak data untuk dikumpulkan merupakan tugas penting dan harus memiliki data yang memadai agar memungkinkan untuk analisis dan pemahaman menyeluruh kinerja proses saat ini terhadap metrik kunci.

Data dapat dikumpulkan dengan memeriksa catatan sejarah, tapi ini tidak selalu berhasil, karena sejarah mungkin tidak lengkap, metode catatan menjaga kemungkinan telah berubah dari waktu ke waktu dan dalam banyak kasus, pertimbangan informasi yang Anda tidak pernah

dipertahankan. Akibatnya, seringkali diperlukan untuk mengumpulkan data saat ini melalui penelitian observasional.

Hal ini dapat dilakukan dengan proses pengumpulan data untuk jangka waktu terus menerus (seperti setiap jam selama dua minggu) atau dapat dibuat dengan sampling arus data yang relevan. Bila ada banyak unsur manusia dalam sistem, sampling yang mungkin berguna untuk bentuk sampling melibatkan pekerja pada saat mengamati secara acak dan mengklasifikasikan aktivitas mereka dalam kategori yang sesuai. Dalam bisnis dan transaksi layanan, Anda mungkin perlu untuk mengembangkan langkah-langkah yang tepat dan sistem pengukuran untuk mencatat informasi yang spesifik untuk organisasi. (Douglas C. Montgomery, 2009 : 51)

Hal ini menunjukkan lagi perbedaan besar antara manufaktur dan jasa, sistem dan data tentang sistem pengukuran kinerja sering ada di manufaktur, karena permintaan data biasanya lebih jelas dalam manufaktur dari pada layanan. Data yang dikumpulkan selama langkah pengukuran dapat ditampilkan dalam berbagai bentuk, seperti histogram, diagram batang dan daun, kinerja grafik, diagram dan grafik Scatter Pareto. (Douglas C. Montgomery, 2009 : 51)

- *Analysis*

Menurut (Douglas C. Montgomery, 2009 : 52). Pada tahap analisis, tujuannya adalah data digunakan dalam pengukuran untuk mulai menentukan hubungan sebab dan akibat dalam proses dan memahami berbagai sumber variabilitas. Dengan kata lain, dalam analisis kita ingin menentukan penyebab potensial dari cacat, masalah kualitas, masalah pelanggan, siklus waktu dan masalah yang dilalui, atau limbah dan inefisiensi dalam pengerjaan proyek.

Hal tersebut penting dilakukan untuk memisahkan sumber-sumber variabilitas dalam penyebab umum dan penyebab dapat ditetapkan. secara umum, penyebab umum adalah sumber variabilitas yang dibangun ke dalam sistem atau proses itu sendiri, sedangkan penyebab umumnya dapat ditetapkan hasil dari sumber eksternal. Menghilangkan penyebab variabilitas biasanya berarti proses perubahan, sementara menghilangkan salah satu penyebab yang dapat ditetapkan secara umum untuk menghilangkan masalah khusus ini.

Ada alat yang potensial bermanfaat dalam tahap analisis. Di antaranya adalah kontrol grafis, yang berguna untuk memisahkan variabilitas penyebab umum yang dapat ditetapkan; statistikal pengujian hipotesis dan perkiraan interval keyakinan, yang dapat digunakan untuk menentukan apakah perbedaan kondisi operasi-operasi menghasilkan hasil

yang secara statistik signifikan berbeda dan memberikan informasi mengenai presisi dengan parameter yang dinilai menguntungkan, dan analisis regresi, yang memungkinkan model untuk variabel hasil dari keuntungan untuk variabel input independen dalam membangun. Dan Modus kegagalan dan analisis dampak (FMEA) adalah salah satu alat yang berguna dalam tahap analisis. FMEA digunakan untuk memprioritaskan sumber-sumber variabilitas potensi yang berbeda, kegagalan, kesalahan, atau cacat pada produk atau proses relatif.

- *Improve*

Berbagai jenis perangkat yang dapat digunakan dalam langkah perbaikan. Merancang ulang proses untuk meningkatkan alur kerja dan mengurangi bottlenect dan barang dalam proses akan membuat ekstensif menggunakan diagram alur dan / atau peta *value stream*. Kadang-kadang pengecekan *error* (merancang sebuah operasi sehingga dapat menjadi hanya satu cara yang benar) operasi akan berguna.

Pada langkah untuk memperbaiki, berpikir kreatif membuat perubahan spesifik mungkin dalam proses dan hal-hal lain yang dapat mereka lakukan memiliki dampak yang diinginkan pada kinerja proses.

Percobaan desain adalah alat statistik yang paling utama dalam langkah peningkatan. Rancangan percobaan dapat diterapkan untuk proses fisik yang nyata atau model simulasi komputer dari proses ini dan dapat

digunakan untuk menentukan faktor yang mempengaruhi hasil dari sebuah proses dan untuk menentukan faktor parameter optimal. (Douglas C. Montgomery, 2009 : 53)

- *Control*

Tujuan langkah kontrol untuk menyelesaikan semua pekerjaan proyek yang tersisa dan menyerahkan proses diperbaiki untuk pemilik proses bersama dengan rencana pengendalian proses dan prosedur lain yang diperlukan untuk memastikan bahwa keuntungan dari proyek ini akan dilembagakan. Itu adalah tujuannya adalah untuk memastikan bahwa keuntungan dapat membantu dalam proses dan, jika mungkin, perbaikan akan dilakukan dalam proses yang sama lain dalam proses bisnis. (Douglas C. Montgomery, 2009 : 54)

2.6 *Statistical Process Control (SPC)*

Menurut (Dale H. Besterfield, 2009 : 78). *Statistical Process Control (SPC)* adalah sebuah perangkat dan teknik *Total Quality Management* yang bersifat kuantitatif. SPC berfungsi untuk memonitor berbagai proses operasional. SPC dapat mengidentifikasikan dan membedakan apakah sebuah proses dalam keadaan variasi normal atau abnormal. SPC tidak mampu mendeteksi seluruh permasalahan yang timbul, sehingga dalam perkembangannya muncul beberapa metode pendekatan teknis yang

diperkirakan dapat mendukung metode SPC tersebut, seperti “*developing tools for process troubleshooting*” dan “*problem solving*”.

Metode pendekatan tersebut didukung oleh beberapa perangkat kerja yang berfungsi menyelaraskan fluktuasi abnormal yang timbul dalam sebuah aktivitas proses, yaitu *Kaoru Ishikawa's Seven Basic Tools For Quality* dan *Dorian Shanin's Statistical Engineering*.

Seven Tool of Quality adalah metode yang digunakan untuk membantu memahami fungsi-fungsi organisasi kerja sebagai faktor-faktor peningkatan proses operasional industrialisasi. Adapun ketujuh perangkat kerja yang dimaksud adalah diagram *cause-and-effect*, *cheeck sheet*, diagram kontrol, *flow chart*, histogram, diagram pareto, dan diagram *scatter*. *Seven tools of quality* dikembangkan oleh Kaoru Ishikawa, seorang “*quality pioneer*” berkebangsaan Jepang

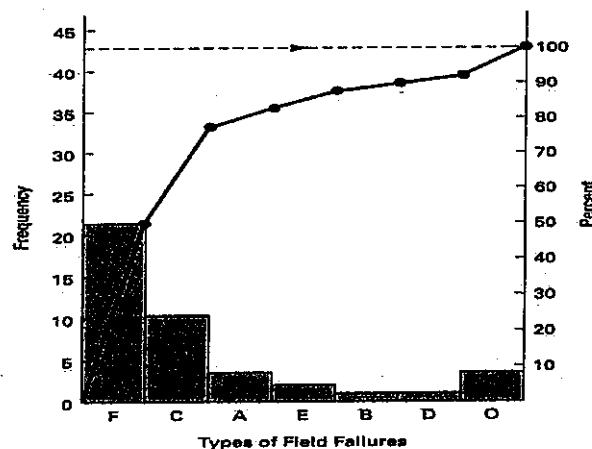
a. Digram Pareto

Diagram pareto diperkenalkan oleh ahli ekonomi, yaitu Alfredo Pareto (1848-1923). Joseph Juran kemudian mengembangkan konsep ini sehingga dapat diterapkan di berbagai bidang.

Menurut (Dale H. Besterfield, 2009 : 78), diagram pareto merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah. Kegunaan diagram pareto, antara lain adalah:

1. Membantu menemukan permasalahan yang paling penting untuk segera diselesaikan (ranking tertinggi) sampai dengan masalah yang tidak harus segera diselesaikan (ranking terendah)
2. Mengidentifikasi masalah yang paling penting yang mempengaruhi usaha perbaikan kualitas dan memberikan petunjuk dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk menyelesaikan masalah.
3. Membandingkan kondisi proses, misalnya ketidaksesuaian proses sebelum dan setelah diambil tindakan perbaikan terhadap proses.

Gambar diagram pareto adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Diagram Pareto

Langkah-langkah dalam membuat diagram pareto adalah :

1. Tentukan metode pengklasifikasian data : berdasarkan masalah, penyebab, jenis ketidaksesuaian, dll

2. Kumpulkan seluruh data yang diperlukan dan masukkan jumlah dari data-data tersebut.
3. Urutkan data dari yang terbesar sampai dengan yang terkecil.
4. Hitunglah persentase kumulatif dari data tersebut.

b. Diagram Sebab-Akibat (*Cause and Effect Diagram*)

Diagram sebab-akibat dikembangkan oleh Dr.Kaoru Ishikawa pada tahun 1943, sehingga disebut pula diagram Ishikawa. Diagram sebab-akibat menggambarkan garis dan simbol-simbol yang menunjukkan hubungan antara akibat dan penyebab suatu masalah, untuk selanjutnya diambil tindakan perbaikan. Diagram sebab-akibat juga dinamakan diagram tulang ikan (*fish bone*), karena bentuknya yang menyerupai tulang ikan. (Dale H. Besterfield, 2009 : 81)

Manfaat dari diagram sebab-akibat adalah:

1. *Analyzing*

Analisa kondisi aktual untuk perbaikan kualitas produk atau jasa, lebih efisien dalam penggunaan sumber daya, dan dapat mengurangi biaya.

2. *Elimination*

Dapat mengurangi dan menghilangkan kondisi yang menyebabkan ketidaksesuaian produk atau jasa dan keluhan dari pelanggan.

3. *Standarization*

Dapat membuat suatu standardisasi operasi yang ada maupun yang direncanakan.

4. *Education and training*

Pembelajaran pada pihak terkait untuk membuat keputusan dan tindakan perbaikan pada ketidaksesuaian tersebut.

Faktor-faktor penyebab yang menjadi akar masalah biasanya dikategorikan sebagai berikut:

1. Manusia (*Man*)

Berkaitan dengan kurangnya kemampuan dasar pada pelaku proses / tenaga kerja. Faktor fisik, seperti kelelahan, stress, serta faktor *human error* seperti kecerobohan, keteledoran juga termasuk dalam kategori.

2. Bahan Baku (*Material*)

Berkaitan dengan spesifikasi bahan baku yang digunakan tidak sesuai dengan rekomendasi atau standar yang ditentukan.

3. Mesin (*Machines*)

Berkaitan dengan ketidaksesuaian kinerja mesin. Kurangnya *preventive maintenance* pada mesin ataupun alat pendukung (*tools*) yang digunakan dalam proses produksi.

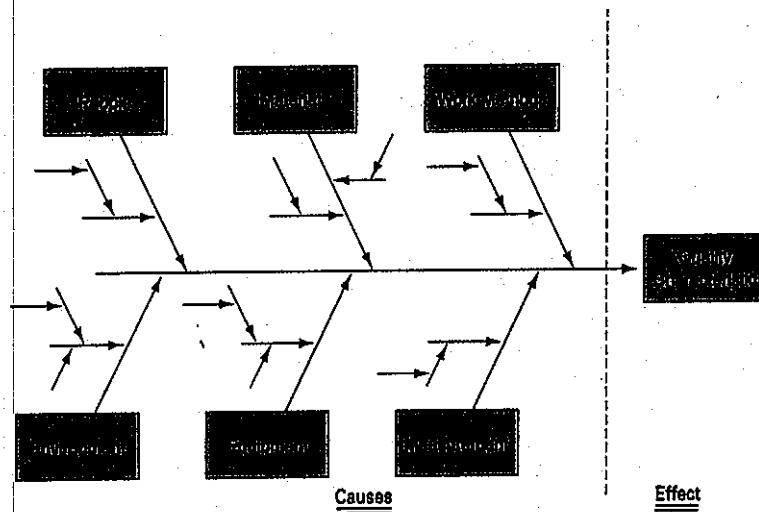
4. Metode (*Methods*)

Berkaitan dengan metode dan prosedur kerja yang tidak sesuai dengan standar. Seperti tidak ada petunjuk, tidak diikuti (diabaikan), tidak standar.

5. Lingkungan (*Environment*)

Berkaitan dengan aspek-aspek di sekitar proses produksi, seperti aspek kebersihan, kesehatan, keselamatan kerja yang dapat menghambat proses produksi.

Contoh penggambaran dari diagram sebab-akibat :



Gambar 2.3 Diagram Sebab-Akibat

Langkah-langkah pembuatan diagram sebab akibat :

1. Tentukan masalah atau sesuatu yang akan diperbaiki atau diamati dan tuliskan dalam kotak paling kanan.

2. Cari faktor utama yang berpengaruh / mempunyai akibat pada masalah dengan kelima faktor, faktor manusia (*man*), mesin (*machine*), bahan baku (*materials*), metode (*method*), dan lingkungan (*environment*).
3. Cari akar masalah dari faktor utama yang lebih terperinci yang berpengaruh dan merupakan akibat dari faktor utama.

2.7 CFME (*Cause Failure Mode Effect*)

Cause Failure Mode Effect (CFME) merupakan diagram yang dikembangkan dari diagram sebab akibat dan digunakan untuk mendeteksi akar penyebab terjadinya permasalahan. Data yang digunakan dalam pembuatan CFME, merupakan data yang digunakan dalam diagram sebab akibat. CFME dibuat berdasarkan dari hasil *brainstorming* (diskusi) dan mempunyai bentuk yang sederhana.

Ishikawa mengatakan bahwa tanda pertama dari suatu masalah adalah gejala (*symptoms*), dan bukan penyebab (*cause*). Oleh karena itu, perlu dipahami apa yang disebut dengan gejala (*symptoms*), penyebab (*cause*), dan akar penyebab (*root cause*). Di tiap penyebab pada diagram sebab akibat, ditentukan atau dicari lagi apa penyebabnya sebagai akar penyebab, dengan terus menerus membuat pertanyaan mengapa hal tersebut bisa terjadi, hingga tidak ada lagi jawaban yang dapat diberikan. Hasil dari CFME dapat mempermudah dalam pembuatan FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*).

Pembuatan CFME bertujuan untuk mengidentifikasi efek, modus, kegagalan, dan akar penyebab.

2.8 FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*)

Menurut (D.H Stamatis, 2003 : 223) FMEA adalah metodologi yang membantu mengidentifikasikan kegagalan potensial dan merekomendasikan tindakan perbaikan untuk memperbaiki kegagalan itu sebelum diberikan pada pelanggan.

Konsep sistem FMEA adalah melakukan sedini mungkin identifikasi masalah yang serius dengan konsep potensial atau desain. Desain FMEA dibuat sebelum produksi dan melibatkan daftar mode kegagalan potensial dan penyebabnya.

Tujuan dari pembuatan FMEA adalah untuk menganalisis desain produk yang memiliki karakteristik pada manufaktur atau proses perencanaan perakitan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan.

Ketika mode kegagalan potensial diidentifikasi, tindakan perbaikan dapat dimulai untuk menghilangkan kecacatan atau mengurangi terjadinya potensi kegagalan yang diakibatkan oleh mereka. FMEA juga mendokumentasikan secara rasional tentang proses manufaktur atau keterlibatan proses perakitan.

Semua FMEA memanfaatkan kejadian dan mendeteksi probabilitas dalam hubungannya dengan kriteria keparahan untuk mengembangkan sejumlah prioritas risiko (RPN) untuk memprioritaskan pertimbangan tindakan korektif. Ini adalah inti utama dalam metodologi dari modus kegagalan dan analisis kritis (FMCA), yang berfokus terutama pada beratnya kegagalan sebagai karakteristik prioritas.

2.8.1 Definisi FMEA

Dalam lingkup yang sempit, sebuah FMEA merangkum pemikiran insinyur (*engineer*) ketika mengembangkan suatu proses. Pendekatan sistematis dan disiplin mental yang biasanya digunakan insinyur (*engineer*) untuk mengembangkan persyaratan proses. (D.H Stamatis, 2003 : 224)

FMEA adalah rekayasa keandalan alat yang :

1. Membantu untuk menetapkan, mengidentifikasi dan mengenal eliminasi dan potensi kegagalan pada sistem, desain atau proses manufaktur sebelum sampai ke pelanggan.
2. Menyediakan struktur untuk lintas-fungsional kritik untuk sebuah desain atau proses
3. Memfasilitasi diskusi bagian dalam departemen
4. Mental disiplin yang baik melalui tim *engineering*, ketika mengkritisi kemungkinan kesalahan dalam produk atau proses.
5. Dokumen hidup yang mencerminkan produk terbaru dan tindakan proses.

6. Pada akhirnya membantu mencegah sebuah masalah.
7. Mengidentifikasi potensi produk atau proses pada mode kegagalan sebelum hal itu terjadi.
8. Menentukan efek dan keparahan dari mode kegagalan.
9. Mengidentifikasi penyebab dan kemungkinan terjadinya mode kegagalan.
10. Mengidentifikasi pengendalian dan efektivitas produk atau proses.
11. Mengukur dan memprioritaskan resiko yang terkait dengan mode kegagalan.
12. Pengembangan dan rencana tindakan dokumen yang akan terjadi untuk mengurangi resiko.

2.8.2 Tipe-Tipe FMEA

Berikut ini adalah tipe-tipe FMEA menurut (D.H Stamatis, 2003 : 224) sebagai berikut:

1. Sistem/konsep - s/CFMEA. Pengendalian nya oleh fungsi sistem. Sistem adalah susunan letak suatu bagian atau subsistem untuk penyelesaian satu atau lebih fungsi. Sistem FMEA adalah khususnya dasar penyelesaian masalah, sebelumnya ditentukan terlebih dahulu spesifikasi hardware.
2. Desain-DFMEA. Suatu desain FMEA digunakan untuk mengatur suatu bagian atau fungsi komponen. Desain/bagian yaitu suatu unit bersifat *hardware* untuk dipertimbangkan penggantian satu bagian dengan

perbaikan. Desain FMEA adalah khusus untuk penyelesaian pengembangan proses nantinya saat spesifikasi hardware telah ditentukan.

3. Manufaktur atau proses-PFMEA. Proses FMEA digunakan untuk mengatur suatu fungsi proses dan karakteristik bagian. Proses manufaktur adalah urutan tugas-tugas yang diatur untuk menghasilkan produk. Proses FMEA bisa terlibat baik dalam fabrikasi sebagai perakitan.

2.8.3 Keuntungan FMEA

Keuntungan yang diperoleh dalam pembuatan produk dan proses FMEA mengarah ke : (D.H Stamatis, 2003 : 226).

1. Keyakinan bahwa semua resiko dapat diidentifikasi lebih awal dan tindakan yang tepat untuk diambil.
2. Prioritas dan dasar pemikiran untuk produk dan proses tindakan berikutnya.
3. Pengurangan *scrap*, pengerjaan ulang, dan biaya produksi
4. Pelestarian untuk produk dan pengetahuan proses.
5. Kegagalan pengurangan lapangan dan biaya garansi.
6. Dokumen untuk resiko dan tindakan untuk kedepannya atau proses.

Dengan cara membandingkan keuntungan FMEA dan kualitas hidup. Pada akhirnya, satu kemungkinan berpendapat bahwa manfaat yang terpenting dari suatu FMEA adalah membantu untuk mengidentifikasi biaya

tak terduga, yang cukup sering terlihat adalah dari segi biaya. Beberapa biaya ini dapat diidentifikasi melalui:

1. Ketidakpuasan pelanggan.
2. Ketidak efisienan pengembangan.
3. Kehilangan bisnis terulang.
4. Tingginya perputaran tenaga kerja.
5. Dan lain-lain.

Dalam studi pembuatan FMEA, dapat dilakukan pada tahap apapun selama pengembangan produk pada proses. Namun, waktu yang ideal untuk memulai FMEA adalah: (D.H Stamatis, 2003 : 227)

1. Ketika sistem baru, desain, proses atau mesin yang sedang dirancang tapi sebelum mereka selesai.
2. Ketika sistem baru, desain, proses atau modifikasi mesin sedang diselesaikan.
3. Ketika aplikasi baru digunakan untuk sistem, desain, proses atau mesin.
4. Ketika kualitas menjadi terlihat keprihatinan.
5. Ketika masalah-masalah keamanan menjadi perhatian.

Ada beberapa asumsi dan persiapan yang harus diperhatikan sebelum dilakukannya proses pembuatan FMEA adalah (D.H Stamatis, 2003 : 228).

1. Mengetahui pelanggan Anda dan kebutuhan mereka.

2. Mengetahui fungsi.
3. Memahami konsep prioritas.
4. Mengembangkan dan evaluasi desain konseptual / proses berdasarkan kebutuhan pelanggan Anda dan strategi bisnis.
5. Komitmen untuk perbaikan terus-menerus.
6. Menciptakan tim yang efektif.
7. Menentukan proyek dan ruang lingkup FMEA.

2.8.4 Skala *Severity*

Menurut (D.H Stamatis, 2003 : 244). Dalam pembuatan FMEA, terdapat tingkatan-tingkatan yang menentukan nilai dari kejadian atau keparahan yang terjadi pada proses pembuatan suatu produk. Berikut adalah tabel dari tingkat keparahan dan kejadian yang menjadi faktor-faktor penentu bahwa suatu produk harus dilakukan perbaikan, sehingga tidak timbul kesalahan lagi dalam pembuatan produk tersebut.

Tingkat keparahan rating, beratnya adalah peringkat numerik dari dampaknya terhadap pelanggan. ketika ada beberapa efek untuk modus kegagalan yang diberikan, masukkan keparahan terburuk pada lembar kerja untuk menghitung risiko. Dalam kasus di mana tingkat keparahan bervariasi tergantung pada waktu, menggunakan scenario terburuk-CAE.

catatan: tidak ada yang istimewa tentang panduan ini. mereka dapat berubah untuk mencerminkan industri, organisasi, produk / desain, atau proses

tersebut. misalnya, industri otomotif telah verrsion sendiri dan mungkin ingin meninjau pedoman dalam AIAG (2001). untuk mengubah pedoman thes, perlu diingat:

1. Daftar seluruh berbagai konsekuensi yang mungkin terjadi (efek)
2. Gaya peringkat konsekuensi dari tinggi ke rendah
3. Mengatasi nilai-nilai ekstrim (nilai 10 dan peringkat 1)
4. Mengisi peringkat lainnya
5. Menggunakan konsensus

Dibawah ini adalah tabel skala *severity* berdasarkan (D.H Stamatis, 2003 : 247) sebagai berikut :

Tabel 2.5 Skala *Severity*

Keparahan	Deskripsi	Skala
Tidak ada	efek tidak diperhatikan oleh pelanggan; kegagalan tidak akan mempunyai efek pada pelanggan	1
sangat kecil	gangguan sangat kecil dengan garis produksi; sebagian kecil produk mungkin harus dikerjakan ulang; cacat diperhatikan oleh pelanggan diskriminatif	2
Kecil	gangguan kecil dengan garis produksi; sebagian kecil (banyak <5%) dari produk mungkin harus dirancang ulang dalam jalur; gangguan proses diatas tapi kecil	3
sangat rendah	gangguan yang sangat rendah untuk lini produksi; sebagian sedang (<10%) dari produk mungkin harus dikerjakan ulang dalam jalur; gangguan proses diatas tapi kecil	4

Tabel 2.5 Skala *Severity* (Lanjutan)

Keparahan	Deskripsi	Skala
Rendah	gangguan rendah untuk lini produksi; sebagian sedang (<15%) dari produk mungkin harus dikerjakan ulang dalam jalur; gangguan proses diatas tapi kecil	5
Moderat	moderat gangguan untuk lini produksi; sebagian sedang (> 20%) dari produk mungkin harus dibuang, proses diatas tetapi beberapa ketidaknyamanan	6
Tinggi	gangguan besar untuk lini produksi; sebagian (> 30%) dari produk mungkin akan dibuang, proses dapat dihentikan; pelanggan puas	7
sangat tinggi	gangguan besar untuk lini produksi; mendekati 100% produk mungkin telah menjadi bekas; diandalkan proses; pelanggan yang sangat puas	8
bahaya dengan peringatan	dapat membahayakan operator atau peralatan; sangat mempengaruhi proses operasi yang aman dan / atau melibatkan ketidakpatuhan dengan peraturan pemerintah; kegagalan akan terjadi dengan peringatan.	9
bahaya tanpa peringatan	dapat membahayakan atau peralatan operator; sangat mempengaruhi proses operasi yang aman dan / atau melibatkan ketidakpatuhan dengan peraturan pemerintah; kegagalan terjadi tanpa peringatan.	10

2.8.5 Skala *Occurrence*

Menurut (D.H Stamatis, 2003 : 249). Peringkat kejadian adalah perkiraan jumlah frekuensi atau jumlah kumulatif dari kegagalan (berdasarkan pengalaman) yang akan terjadi dalam konsep desain kami untuk tujuan tertentu selama hidup dimaksudkan desain. Namun, keahlian kehandalan yang dibutuhkan untuk membangun tabel kejadian. (Ciri khas mungkin frekuensi kegagalan historis, distribusi teoretis, dan statistik kehandalan).

Lancar Pengendalian dan tingkat deteksi Desain dan proses kontrol adalah mekanisme, metode, pengujian, prosedur, atau kontrol yang kita miliki di tempat untuk mencegah modus penyebab kegagalan atau mendeteksi modus kegagalan atau menyebabkan hal itu harus terjadi. (Kontrol saat ini ada). Desain kontrol mencegah atau menemukan modus kegagalan sebelum rilis rekayasa. Proses kontrol mencegah atau mendeteksi modus kegagalan sebelum bagian atau perakitan meninggalkan daerah itu.

Kontrol yang baik mencegah atau mendeteksi penyebab atau mode kegagalan. Pada awal mungkin (idealnya sebelum produksi atau prototipe). Menggunakan metode yang telah teruji. Jadi, langkah berikutnya dalam proses FMEA adalah untuk:

- Analisis direncanakan kontrol untuk sistem anda, bagian, atau proses manufaktur.
- Memahami efektivitas dari kontrol untuk mendeteksi penyebab atau mode kegagalan.

Dibawah ini adalah tabel tingkat kejadian pada proses FMEA berdasarkan (D.H Stamatis, 2003 : 250) sebagai berikut:

Tabel 2.6 Skala *Occurrence*

Kejadian	Deskripsi	Frekuensi	Skala
Kecil	Kegagalan sangat tidak mungkin, tidak ada kegagalan yang terkait dengan proses serupa	<1 dalam 1,500,000	1

Tabel 2.6 Skala *Occurrence* (Lanjutan)

Kejadian	Deskripsi	Frekuensi	Skala
Rendah	Beberapa kegagalan; kegagalan terisolasi yang terkait dengan proses seperti	1 dalam 150,000	2
		1 dalam 15,000	3
Moderat	Sesekali kegagalan terkait dengan proses serupa, tetapi tidak dalam proporsi yang besar	1 dalam 2000	4
		1 dalam 400	5
		1 dalam 80	6
Tinggi	kegagalan yang berulang-ulang; proses serupa sering gagal	1 dalam 20	7
		1 dalam 8	8
Sangat tinggi	Proses kegagalan adalah hampir tak terhindarkan	1 dalam 3	9
		<1 dalam 2	10

2.8.6 Skala *Detection*

Deteksi skala adalah peringkat numerik dari probabilitas bahwa himpunan control akan menemukan penyebab kegagalan tertentu atauodus untuk mencegah bagian yang buruk dari meninggalkan operasi/fasilitas atau untuk mendapatkan konsumen akhir. Dengan asumsi bahwa penyebab kegagalan itu terjadi, menilai kemampuan kontrol untuk menemukan kesalahan desain atau mencegah bagian buruk dari meninggalkan operasi/fasilitas. Dalam kasus pertama, DFMEA yang menjadi masalah. Dalam kasus kedua, PFMEA menjadi perhatian.

Ketika ada beberapa kontrol untuk modus kegagalan yang diberikan, catatan terbaik (terendah) untuk menghitung risiko. Untuk mengevaluasi deteksi, ada tabel yang sesuai untuk kedua proses Dan desain. Sama seperti

sebelumnya, namun, jika ada kebutuhan untuk mengubah mereka, ingatlah bahwa persetujuan perubahan dan harus dilakukan oleh tim FMEA dengan konsensus.

Pada titik ini, data untuk kontrol saat ini dan peringkat mereka harus ditransfer ke bentuk FMEA. Harus ada kontrol saat ini untuk setiap penyebab. Jika tidak ada, yang merupakan indikasi yang baik bahwa mungkin ada masalah.

Dibawah adalah tabel skala *detection* berdasarkan (D.H Stamatis, 2003 : 253) sebagai berikut :

Tabel 2.7 Skala *Detection*

Deteksi	Deskripsi	Skala
Hampir tertentu	Proses kontrol hampir pasti akan mendeteksi atau mencegah penyebab potensial	1
Sangat tinggi	Sangat kesempatan kontrol proses yang tinggi akan mendeteksi atau mencegah penyebab modus kegagalan berikutnya	2
Tinggi	Tinggi kesempatan kontrol proses akan mendeteksi atau mencegah penyebab kegagalan potensi modus berikutnya	3
Agak tinggi	Sedang kesempatan tinggi proses kontrol akan mendeteksi atau mencegah penyebab kegagalan potensi modus berikutnya	4
Moderat	Sedang kesempatan proses kontrol akan mendeteksi atau mencegah penyebab kegagalan potensi modus berikutnya	5
Rendah	Kesempatan rendah proses kontrol akan mendeteksi atau mencegah penyebab kegagalan potensi modus berikutnya	6
Sangat rendah	Sangat rendah kesempatan proses kontrol akan mendeteksi atau mencegah penyebab kegagalan potensi modus berikutnya	7

Tabel 2.7 Skala *Detection* (Lanjutan)

Deteksi	Deskripsi	Skala
Terpencil	Remote kesempatan proses kontrol akan mendeteksi atau mencegah penyebab kegagalan potensi modus berikutnya	8
Sangat terpencil	Sangat kesempatan proses remote kontrol akan mendeteksi atau mencegah penyebab kegagalan potensi modus berikutnya	9
Sangat tidak yakin	Tidak ada kontrol proses atau kontrol tidak akan atau tidak dapat mendeteksi potensi penyebab modus kegagalan berikutnya	10

2.8.7 Risk Priority Number

Menurut (Sammy G Shina, 2002 : 27). RPN (*Risk Priority Number*) adalah sebuah calculation numerik dari resiko relatif dari mode kegagalan tertentu, diperoleh dengan mengalikan tingkat keparahan, kejadian dan nomor deteksi dari setiap kegagalan yang tercantum dalam tabel FMEA.

Memahami dan Perhitungan Risiko Tanpa resiko, ada kemajuan sangat sedikit. Risiko dapat dihindarkan dalam sistem apapun, desain atau proses manufaktur. Proses FMEA bantuan dalam mengidentifikasi risiko yang signifikan, kemudian membantu untuk meminimalkan dampak potensial dari risiko. Bukan berarti melalui nomor prioritas risiko, atau umumnya dikenal, RPN indeks. Dalam analisis RPN,, pastikan untuk melihat pola risiko tidak hanya RPN tinggi. (D.H Stamatis, 2003 : 251)

$$RPN = S \times O \times D$$

RPN : *Risk Priority Number*

S : *Severity* (Keparahan)

O : *Occurrence* (Kejadian)

D : *Detection* (Deteksi)

2.9 *Preventive Maintenance* (PM)

2.9.1 *Pengertian Preventive Maintenance*

Preventive maintenance (PM) atau pemeliharaan pencegahan memiliki arti yaitu perawatan dan layanan yang diberikan oleh staf untuk menjaga peralatan dan fasilitas dalam kondisi operasi yang memuaskan dengan menyediakan untuk inspeksi sistematis, deteksi dan koreksi dari kegagalan yang baru terjadi, sebelum terjadi atau sebelum mereka berkembang menjadi cacat yang besar. Pemeliharaan termasuk dalam suatu tes, pengukuran, penyesuaian dan penggantian suku cadang yang dilakukan secara khusus untuk mencegah kegagalan yang terjadi.

Preventive maintenance (pemeliharaan, pencegahan) dapat digambarkan sebagai pemeliharaan atau sistem sebelum kegagalan itu terjadi. Hal tersebut dibagi menjadi dua (2) kelompok, yaitu

1. *Planned maintenance* (Pemeliharaan yang direncanakan).
2. *Condition based maintenance* (Pemeliharaan berdasarkan kondisi).

(http://en.wikipedia.org/wiki/Preventive_maintenance, 11 Juli 2010).

Sedangkan pengertian *maintenance* menurut *Assauri* adalah sesuatu kegiatan untuk menjaga atau memelihara fasilitas dan peralatan pabrik dan mengadakan suatu perbaikan atau penyesuaian / penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan yang direncanakan. (Assauri, 2008 : 134).

Pengertian lain pemeliharaan menurut *Haizer* adalah suatu aktivitas yang berkaitan dengan usaha untuk mempertahankan peralatan atau sistem dalam kondisi layak kerja. (Jay Heyzer, Barry Render, 2005)

Preventive Maintenance menurut (Ebeling, 1997 : 189) adalah kegiatan terjadwal mengenai *downtime* mesin atau *tools*. Kegiatan PM meliputi inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, dan lain sebagainya. PM memperkirakan dan mendiagnosa dan menjadwalkan *tools* atau mesin yang akan mengalami kegagalan awal yang harus diperbaiki pada waktunya. Asumsinya tindakan proaktif banyak mengeluarkan biaya tetapi lebih efisien jika dibandingkan dengan tindakan reaktif (*corrective maintenance*).

2.9.2 Tujuan Pemeliharaan dan Pencegahan

Berikut ini adalah tujuan-tujuan dari *preventive maintenance* :

1. Proses produksi dapat selesai sesuai dengan waktu yang direncanakan.
2. Dapat menjaga kualitas produk yang diproduksi.
3. Memperpanjang usia aset.

4. Mencapai tingkat biaya *maintenance* serendah mungkin.
5. Menjaga dan meningkatkan keselamatan para pekerja.
6. Membantu mengurangi dan penyimpanan yang berada diluar batas dan dapat menjaga modal yang diinvestasikan selama waktu yang telah ditentukan.
7. Mencapai keuntungan yang sebaik mungkin dengan biaya yang terendah.

2.9.3 Konsep, Istilah, Definisi Pemeliharaan dan Pencegahan

Terdapat tiga (3) macam konsep pada pemeliharaan dan pencegahan (*Preventive maintenance*), yaitu :

1. *Reliability* (Keandalan)

Adalah probabilitas pada suatu komponen atau sistem yang akan berjalan sesuai dengan fungsi yang telah ditetapkan untuk jangka waktu tertentu saat komponen tersebut sedang beroperasi. Hal tersebut dimungkinkan karena tidak terjadi kegagalan dari waktu ke waktu. (Ebeling 1997 : 5)

2. *Maintainability* (Pemeliharaan)

Adalah probabilitas suatu komponen atau sistem yang akan gagal untuk dikembalikan atau diperbaiki dalam kondisi jangka waktu setelah pemeliharaan dilakukan sesuai dengan prosedur yang sudah ditentukan atau probabilitas waktu perbaikan di waktu yang telah ditentukan. (Ebeling 1997 : 6)

3. *Availability* (Ketersediaan)

Menurut (Ebeling, 1997 : 6). *Availability* adalah probabilitas suatu komponen atau sistem yang berjalan sesuai dengan fungsi yang diperlukan pada beberapa titik waktu bila digunakan dalam kondisi operasi tertentu. Ketersediaan juga dapat diartikan sebagai persentase komponen yang beroperasi pada setiap waktu.

2.9.4 *Downtime*

Downtime adalah waktu yang dibutuhkan mesin yang mengalami kerusakan, sampai dengan waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dan mesin siap untuk digunakan kembali. *Downtime* terjadi ketika mesin atau *tools* mengalami kerusakan yang akan mempengaruhi keseluruhan termasuk kualitas produk dan kecepatan produksi sehingga membutuhkan sejumlah waktu untuk mengembalikan fungsi unit tersebut pada kondisi semula. (Ebeling, 1997 : 190)

Downtime memiliki beberapa unsur, yaitu:

1. *Supply Delay*

Waktu yang dibutuhkan oleh personal *maintenance* untuk memperoleh komponen yang dibutuhkan dalam proses perbaikan.

2. *Maintenance Delay*

Waktu yang dibutuhkan untuk menunggu ketersediaan sumber daya untuk proses perbaikan.

3. *Access Time*

Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan jalan masuk pada komponen yang mengalami kerusakan.

4. *Diagnosis Time*

Waktu yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan dan langkah perbaikan kerusakan.

5. *Replacement or Repair Time*

Waktu aktual yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan pada kerusakan yang telah teridentifikasi, dan akses untuk mencapai komponen yang mengalami kerusakan.

6. *Verification and alignment*

Waktu yang digunakan untuk memastikan apakah unit telah kembali beroperasi sesuai dengan kondisi semula.

2.9.5 Distribusi Kerusakan

Setiap unit yang mengalami kerusakan memiliki karakteristik kerusakan masing-masing. Faktor jenis unit dan lingkungan dapat mempengaruhi karakteristik kerusakan. Untuk menganalisa sebuah jenis kerusakan digunakan beberapa jenis distribusi kerusakan dan perbaikan. Terdapat 4 jenis distribusi yang digunakan untuk mengetahui pola data yang terbentuk, yaitu distribusi *weibull*, *exponential*, *normal* dan *lognormal*. (Ebeling 1997 : 58).

2.9.5.1 Distribusi Weibull

Salah satu distribusi kerusakan yang paling berguna dalam menghitung keandalan (*reliability*) adalah distribusi *weibull*. Distribusi *weibull* digunakan dalam menganalisa keandalan (*reliability*) untuk menentukan laju kerusakan yang meningkat (*increasing*) maupun yang menurun (*decreasing*). Terdapat dua parameter dalam distribusi *weibull*, yaitu beta (β) dan theta (θ).

Beta (β) disebut juga parameter bentuk (*shape parameter*), parameter ini mempengaruhi laju kerusakan. Sedangkan theta (θ) disebut juga parameter skala (*scale parameter*), parameter ini mempengaruhi nilai tengah dari pola data.

Menurut *Ebeling* (1997, 59) terdapat beberapa persamaan dalam perhitungan distribusi *weibull*, yaitu :

1. Fungsi *reliability* $R(t) = e^{-(t/\theta)^\beta}$
2. Fungsi distribusi $f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-(t/\theta)^\beta}$

Untuk menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk maka digunakan parameter beta (β). Pedoman untuk melihat laju kerusakan parameter ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini (*Ebeling*, 1997 : 58)

Tabel 2.8 Parameter Beta (β) *Weibull*

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Pengurangan laju kerusakan (DFR)
$\beta = 1$	Distribusi Eksponensial (CFR)
$1 < \beta < 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), Konkaf
$\beta = 2$	Distribusi Rayleigh
$\beta > 2$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), Konveks
$3 \leq \beta \leq 4$	Peningkatan laju kerusakan (IFR), mendekati kurva normal

Keterangan:

DFR = *Decreasing Failure Rate*

IFR = *Increasing Failure Rate*

CFR = *Constant Failure Rate*

2.9.5.2 Distribusi *Exponential*

Distribusi *exponential* merupakan salah satu distribusi kerusakan yang digunakan untuk perhitungan keandalan (*reliability*) yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi *exponential* memiliki laju kerusakan yang tetap terhadap waktu dengan kata lain probabilitas kegagalan tidak tergantung pada umur alat.

Distribusi ini adalah salah satu distribusi kerusakan yang paling mudah untuk dianalisa. Parameter distribusi *exponential* adalah yang merupakan nilai rata-rata kedatangan kerusakan terjadi.

Menurut (Ebeling, 1997, 42), terdapat beberapa persamaan dalam perhitungan distribusi *exponential*, yaitu

1. Fungsi *reliability* $R(t) = e^{-\lambda t}$
2. Fungsi distribusi $f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \lambda e^{-\lambda t}$

2.9.5.3 Distribusi *Normal*

Distribusi normal digunakan untuk permodelan yang kompleks. Distribusi ini baik digunakan untuk model kelelahan dan fenomena *wearout*. Kerena berhubungan dengan distribusi *lognormal*, maka distribusi *normal* juga dapat digunakan untuk menganalisa probabilitas *lognormal*. (Ebeling, 1997: 69)

Parameter yang digunakan adalah nilai tengah (μ) dan standar deviasi atau varians (σ). Menurut Ebeling (1997, 71), terdapat beberapa persamaan dalam perhitungan distribusi *normal*, yaitu :

1. Fungsi *reliability* $R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)$, dimana $\mu > 0$, $\sigma > 0$ dan $t > 0$
2. Fungsi distribusi $F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(t - \mu)^2}{\sigma^2}\right]$, dimana $-\infty < t < \infty$

2.9.5.4 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter, yaitu parameter s (*shape parameter*) dan t_{med} sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai atau waktu tengah dari kerusakan. Distribusi ini memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai data yang sesuai dengan distribusi *weibull*, sesuai pula dengan distribusi *lognormal*. Menurut (Ebeling, 1997, 73), terdapat beberapa persamaan dalam perhitungan distribusi *lognormal*, yaitu :

1. Fungsi *reliability* $R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)$
2. Fungsi distribusi $F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}st} \exp\left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}}\right)^2\right]$, dimana $t \geq 0$

2.9.6 Identifikasi Kerusakan dan Distribusi Perbaikan

Terdapat beberapa langkah dalam menyelesaikan identifikasi dan perbaikan kerusakan. Identifikasi awal menggunakan metode *Least-Squares Curve-Fitting*. Dalam identifikasi distribusi kerusakan dan perbaikan kompoien digunakan *index of fit* (r) yang merupakan ukuran hubungan linear antara peubah x dan y .

2.9.6.1 Perhitungan *Index of Fit*

Perhitungan *index of fit* digunakan untuk mencari nilai r (koefisien korelasi) yang menunjukkan ukuran hubungan linear antara dua peubah x dan y . Nilai r yang terbesar dipilih untuk selanjutnya digunakan pada perhitungan *Goodness of Fit*. Nilai r terbesar, adalah nilai r yang mendekati nilai 1, artinya terdapat korelasi atau hubungan linear yang kuat diantara peubah x dan y . Rumus umum dalam perhitungan *index of fit*, adalah:

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

Dimana :

i = data waktu ke- t

n = banyak data kerusakan

Perhitungan nilai *index of fit* (r), adalah :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$$

Untuk setiap distribusi nilai X_i dan Y_i berbeda, yaitu :

➤ Distribusi *Weibull*

$$X_i = \ln(t_i)$$

$$Y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right]$$

➤ Distribusi *Exponential*

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - F(t_i)} \right) \right]$$

➤ Distribusi *Normal*

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$$

diperoleh dari Tabel A1 (*standarized normal probability*)

➤ Distribusi *Lognormal*

$$X_i = t_i$$

$$Y_i = Z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)]$$

diperoleh dari Tabel A1 (*standarized normal probability*)

2.9.6.2 Goodness of Fit

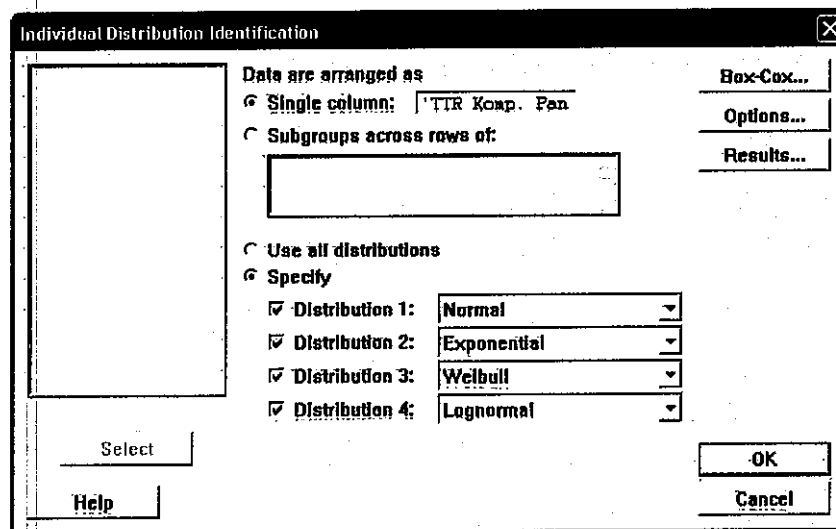
Tahap yang dilakukan setelah perhitungan *Index of Fit*, adalah pengujian dengan metode *Goodness of Fit* yang akan menguji nilai *Index of Fit* terbesar yang dipilih pada perhitungan sebelumnya. Pengujian *Goodness of Fit* dimaksudkan untuk memastikan apakah distribusi data-data yang diuji memiliki kesamaan dengan suatu jenis distribusi tertentu.

Uji *Goodness of Fit* secara manual dapat dilakukan dengan menggunakan (Ebellling, 1997: 392) :

1. *Barlett's Test* untuk distribusi *exponential*
2. *Mann's Test* untuk distribusi *weibull*
3. *Kolmogorov-Smirnov's Test* untuk distribusi *normal* dan *lognormal*.

Namun perhitungan *Goodness of Fit* dapat dilakukan dengan menggunakan *software Minitab 14* yang hasilnya lebih cepat dan akurat. Berikut langkah-langkah pengujian *Goodness of Fit* menggunakan *software Minitab 14*, adalah :

- Pada *worksheet* *minitab 14*, masukan data TTF atau TTR pada kolom C1.
- Pilih menu *Stat ► Quality Stat ► Individual distribution identification* pada *toolbar*.
- Setelah muncul *dialog box*, untuk *single column* masukan dengan kolom C1
- Pada *dialog box*, untuk *Specify, distribution* 1 diisi dengan *Normal*, *distribution* 2 diisi dengan *Lognormal*, *distribution* 3 diisi dengan *Exponential* dan *distribution* 4 diisi dengan *Weibull*.



Gambar 2.4 Window Minitab 14 *Goodness of fit*

- Kemudian klik ok.

2.9.7 Perhitungan Parameter

Setelah diketahui jenis distribusi kerusakan, maka selanjutnya adalah mencari parameter dari masing-masing distribusi. Berikut adalah rumus perhitungan parameter untuk masing-masing distribusi:

➤ Distribusi *Weibull*

Parameter : $\beta = b$ dan $\theta = e^{(-a/b)}$

$$\text{Gradien : } b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Intercept : $a = \bar{y} - b\bar{x}$

➤ Distribusi *Exponential*

Parameter : $\lambda = b$

$$\text{Gradien} : b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2}$$

Intercept : $a = \bar{y} - b\bar{x}$

➤ Distribusi *Normal*

Parameter : $\sigma = \frac{1}{b}$ dan $\mu = -\left(\frac{a}{b}\right)$

$$\text{Gradien} : b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n z_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Intercept : $a = \bar{y} - b\bar{x}$

➤ Distribusi *Lognormal*

Parameter : $s = \frac{1}{b}$ dan $t_{\text{med}} = e^{-sa}$

$$\text{Gradien} : b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n z_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Intercept : $a = \bar{y} - b\bar{x}$

2.9.8 MTTF (*Mean Time To Failure*)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah nilai rata-rata atau nilai yang diharapkan (*expected value*) dari suatu distribusi kerusakan (Ebelling, 1997 : 26). MTTF didefinisikan sebagai persamaan :

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

Perhitungan MTTF berbeda untuk masing-masing distribusi yang dipilih berdasarkan sebaran data *Time To Failure* (TTF). Berikut adalah rumus yang digunakan untuk masing-masing distribusi :

➤ Distribusi *Weibull*

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

Ket : nilai $\Gamma(x)$ didapat dari tabel fungsi *Gamma*

➤ Distribusi *Exponential*

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

➤ Distribusi *Normal*

$$MTTF = \mu$$

➤ Distribusi *Lognormal*

$$MTTF = t_{med} \cdot e^{\frac{s^2}{2}}$$

2.9.9 MTTR (*Mean Time To Repair*)

Mean Time To Repair (MTTR) adalah waktu rata-rata untuk melakukan perbaikan pada suatu komponen atau sistem yang mengalami kegagalan (Ebelling, 1997 :192). MTTR didefinisikan dengan persamaan :

$$MTTR = \int_0^{\infty} t h(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t)) dt$$

Perhitungan MTTR berbeda untuk masing-masing distribusi yang dipilih berdasarkan sebaran data *Time To Repair* (TTR). Berikut adalah rumus yang digunakan untuk masing-masing distribusi :

➤ Distribusi *Weibull*

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

Ket : nilai $\Gamma(x)$ didapat dari tabel fungsi *Gamma*

➤ Distribusi *Exponential*

$$MTTR = \frac{1}{\lambda}$$

➤ Distribusi *Normal*

$$MTTF = \mu$$

➤ Distribusi *Lognormal*

$$MTTF = t_{\text{med}} \cdot e^{\frac{s^2}{2}}$$

2.9.10 Perhitungan Interval Waktu Pencegahan

Formulasi rumus perhitungan interval waktu pencegahan untuk meminimasi *downtime* berdasarkan metode *age replacement* adalah sebagai berikut:

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

Keterangan :

$D(tp)$ = total *downtime* per unit waktu untuk penggantian *preventive*.

tp = panjang siklus *preventive*

T_p = waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen kerana tindakan *preventive*.

T_f = waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena adanya kerusakan.

$R(tp)$ = probabilitas dari siklus tindakan pencegahan (*preventive*)

$M(tp)$ = nilai harapan panjang siklus kerusakan (kegagalan)

Rumus nilai tingkat ketersediaan (*availability*), adalah :

$$A(tp) = 1 - D(tp)_{\min}$$

2.9.11 Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan

Perhitungan interval waktu pemeriksaian dimaksudkan agar diketahui waktu optimal aktivitas pemeriksaan secara berkala. Berikut

merupakan rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan interval waktu pemeriksaan:

$$\text{➤ Waktu rata-rata 1x perbaikan } (1/\mu) = \frac{\text{MTTR}}{\text{jam kerja /bln}}$$

$$\text{➤ Waktu rata-rata 1x pemeriksaan } (1/i) = \frac{\text{waktu 1x pemeriksaan}}{\text{jam kerja/bln}}$$

$$\text{➤ Rata-rata kerusakan dalam 1 bulan } (k) = \frac{\text{jumlah kerusakan/bln}}{12 \text{ bulan}}$$

$$\text{➤ Jumlah pemeriksaan optimal } (n) = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}}$$

➤ Rumus nilai tingkat ketersediaan (*availability*), jika dilakukan sebuah n pemeriksaan adalah $A(n) = 1 - D(n)$

$$\text{➤ Dengan perhitungan nilai total } \textit{downtime} \text{ } D(n) = \frac{k}{n \times \mu} + \frac{n}{i}$$

Keterangan : $D(n)$ = total *downtime*

n = jumlah pemeriksaan per satuan waktu

μ = berbanding terbalik dengan $1/\mu$

i = berbanding terbalik dengan $1/i$

2.9.12 Reliability

Reliability didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan suatu fungsi yang diperluka untuk jangka waktu tertentu bila digunakan dengan kondisi operasi lainnya. (Ebeling , 1997 : 5)

Terdapat empat elemen dalam *reliability*, yaitu *probability*, *performace*, waktu dan kondisi.

- *Probability* (peluang), diartikan bahwa setiap *item* memiliki umur yang berbeda antara satu dengan yang lainnya. Hal ini dimungkinkan untuk mengidentifikasi distribusi dari kerusakan suatu *item* untuk mengetahui waktu atau umur pemakaian *item* tersebut.
- *Performance* (kinerja), diartikan bahwa keandalan merupakan karakteristik performasi suatu sistem dimana sistem tersebut harus handal dan menunjukkan performasi yang baik saat dioperasikan.
- Waktu dalam *reliability*, ditentukan dalam suatu periode waktu. Dimana peluang suatu *item* yang digunakan dalam waktu 1 hingga 2 tahun berbeda dengan *item* yang digunakan dalam selang waktu hingga 10 atau 20 tahun.
- Kondisi dalam *reliability* menjelaskan bahwa perlakuan dalam suatu sistem dapat mempengaruhi tingkat *reliability*-nya.

Reliabilitas sangat berkaitan erat dengan kualitas produk dan sering dianggap sebagai bagian dari kualitas. Kualitas dapat didefinisikan secara kualitatif sebagai jumlah produk yang memenuhi persyaratan pengguna (pelanggan).

2.9.13 Keandalan (*Reliability*) Sebelum dan Sesudah *Preventive Maintenance*

Untuk meningkatkan suatu keandalan sistem yang kompleks seringkali dapat dicapai melalui program *preventive maintenance*. Program tersebut dapat mengurangi efek penuaan atau *wear out* dan memiliki dampak signifikan pada kehidupan sistem. (Ebeling, 1997 : 204)

Didalam *reliability* $R(t)$ dinyatakan sebagai sistem *reliability* tanpa dilakukannya pemeriksaan dan pencegahan. Sedangkan $R_m(t)$ dinyatakan sebagai sistem *reliability* sesudah dilakukannya pemeriksaan dan pencegahan.

Nilai keandalan dinyatakan sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} R_m(t) &= R(t) && \text{for } 0 \leq t < T \\ R_m(t) &= R(t) \cdot R(t - T) && \text{for } T \leq t < 2T \end{aligned}$$

Perhitungan $R(t)$ Reliability sebelum preventive

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

Perhitungan $R(T)^n$

$$R(T)^n = \left[1 - \Phi \left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}} \right) \right]^n$$

Perhitungan $R(t - nT)$

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

Perhitungan $R_m(t)$

$$R_m(t) = R(T)^n \times R(t - nT)$$

Keterangan :

$R(t)$ = kehandalan (*reliability*) sistem sebelum perawatan pencegahan

$R_m(t)$ = kehandalan (*reliability*) sistem setelah perawatan pencegahan.

T = interval waktu penggantian pencegahan kerusakan.

$R(T)$ = peluang kehandalan hingga perawatan pencegahan pertama.

$R(t-T)$ = peluang kehandalan antara waktu $t-T$ setelah sistem dikembalikan pada kondisi awal (T).

2.9.14 Perhitungan *Preventive Replacement*

Biaya *preventive replacement* merupakan biaya yang timbul akibat adanya pemeliharaan dan pencegahan terhadap *tools* atau mesin yang sudah dijadwalkan, dan keseluruhan biaya yang harus dikeluarkan perusahaan untuk setiap 1 kali *preventive* pada *dies*.

Berikut adalah rumus dari :

- *Preventive replacement*

$$C_p = (\text{Biaya teknisi} + \text{biaya komponen}) \times T_p$$

- Total biaya *preventive dies* per bulan

$$= \text{Total Biaya Preventive Replacement } (C_p) \times \text{interval penggantian dies}$$

(per jam kerja / bulan)

Keterangan :

T_p = waktu yang dibutuhkan untuk 1x pengerjaan *preventive dies*.

C_p = Biaya *preventive*

2.9.15 Perhitungan Waktu *Downtime*

Waktu *downtime* yaitu waktu dimana suatu *item* mengalami perbaikan, sehingga terjadi penundaan waktu dalam proses produksi. (Ebeling, 1997 : 189)

- Perhitungan *downtime* sebelum *preventive* :

$$Downtime = \frac{\sum TTR}{4 \text{ bulan}}$$

- Perhitungan *downtime* sesudah *preventive* :

$$\text{Jumlah penggantian komponen /bulan} = \frac{\text{Jumlah jam kerja per bulan}}{\text{Age replacement}}$$