

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Metode Taguchi / *Robust Design*

##### 2.1.1 Definisi *Quality* (Mutu / Kualitas)

Kualitas memiliki banyak sekali definisi yang berbeda-beda yang disebabkan oleh karena pengertian kualitas dapat diterapkan diberbagai dimensi kehidupan. Definisi secara konvensional, kualitas menggambarkan karakteristik langsung dari suatu produk seperti performansi, keandalan, mudah dalam penggunaan, estetika, dan sebagainya. Sedangkan secara strategik, menyatakan bahwa kualitas adalah segala sesuatu yang mampu memenuhi keinginan atau kebutuhan pelanggan. Selain itu, pengertian kualitas tersebut juga muncul menurut beberapa ahli yaitu :

- *Juran* (1962) : ‘kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan dan manfaatnya’
- *Crosby* (1979) : ‘kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan yang meliputi *availability, reliability, maintainability*, dan *cost effectiveness*’.
- *Deming* (1982) : ‘kualitas harus bertujuan memenuhi kebutuhan pelanggan sekarang dan di masa yang akan datang’.
- *Feigenbaum* (1991) : ‘kualitas adalah keseluruhan karakteristik produk dan jasa yang meliputi *marketing, engineering, manufacture*, dan *maintenance*, dalam mana 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 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 yang diharapkan’.
- *Vincent gaspersz* : ‘kualitas sebagai segala sesuatu yang dapat memuaskan pelanggan atau sesuai dengan persyaratan dan kebutuhan pelanggan. Selain itu didefinisikan juga bahwa kualitas sebagai konsistensi peningkatan dan penurunan variasi karakteristik produk, agar dapat memenuhi spesifikasi dan kebutuhan, guna meningkatkan kepuasan pelanggan internal maupun eksternal’.
- Perbendaharaan ISO 8402 dan dari standar nasional Indonesia (SNI 10-8402-1991) : ‘kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu’.

Ada beberapa dimensi kualitas untuk industri manufaktur dan jasa. Dimensi ini digunakan untuk melihat dari sisi manakah kualitas dinilai. Yang dimaksud dimensi kualitas yang telah diuraikan oleh Gavin (1996) untuk industri manufaktur meliputi :

- *Performance* yaitu kesesuaian produk dengan fungsi utama produk itu sendiri atau karakteristik operasi dari suatu produk.
- *Feature* yaitu ciri khas produk yang membedakan dari produk lain yang merupakan karakteristik pelengkap dan mampu menimbulkan kesan yang baik bagi pelanggan.
- *Reliability* yaitu kepercayaan pelanggan terhadap produk karena keandalannya atau karena kemungkinan kerusakan yang rendah.
- *Conformance* yaitu kesesuaian produk dengan syarat atau ukuran tertentu atau sejauh mana karakteristik desain dan operasi memenuhi standar yang telah ditetapkan.
- *Durability* yaitu tingkat ketahanan / awet atau lama umur produk.
- *Serviceability* yaitu kemudahan produk itu bila akan diperbaiki atau kemudahan memperoleh komponen produk tersebut.
- *Aesthetics* yaitu keindahan atau daya tarik dari produk tersebut.
- *Perception* yaitu fanatisme konsumen akan merek suatu produk tertentu karena citra atau reputasi produk itu sendiri.

### **2.1.2 Pengertian Pengendalian Kualitas**

Untuk menjaga konsistensi kualitas produk dan jasa yang dihasilkan dan sesuai dengan tuntutan kebutuhan pasar, perlu dilakukan pengendalian kualitas atas aktivitas proses yang dijalani. Dari pengendalian kualitas yang berdasarkan inspeksi dengan penerimaan produk yang memenuhi syarat dan penolakan yang tidak

memenuhi syarat sehingga banyak bahan, tenaga, dan waktu yang terbuang muncul pemikiran untuk menciptakan sistem yang dapat mencegah timbulnya masalah mengenai kualitas agar kesalahan yang terjadi tidak terulang lagi.

Menurut *Vincent gaspersz*, pengendalian kualitas merupakan aktivitas teknik dan manajemen melalui mana kita mengukur karakteristik kualitas dari *output* kemudian membandingkan hasil pengukuran itu dengan spesifikasi *output* yang diinginkan pelanggan, serta mengambil tindakan perbaikan yang tepat apabila ditemukan perbedaan antara performansi aktual dan standar.

Pengendalian kualitas statistik merupakan teknik penyelesaian masalah yang digunakan untuk memonitor, mengendalikan, menganalisis, mengelola, dan memperbaiki produk dan proses menggunakan metode-metode statistik.

Pada dasarnya performansi kualitas dapat ditentukan dan diukur berdasarkan karakteristik kualitas yang terdiri dari beberapa sifat atau dimensi berikut:

1. Fisik: Panjang, berat, diameter, tegangan, kekentalan, dan lain- lain.
2. *Sensory* (berkaitan dengan panca indera): rasa, penampilan, warna, bentuk, model, dan lain- lain.
3. Orientasi waktu: *reliability*, *serviceability*, *maintainability*, dan lain- lain.
4. Orientasi biaya: berkaitan dengan dimensi biaya yang menggambarkan harga atau ongkos dari suatu produk yang harus dibayarkan oleh konsumen.

Pada dasarnya suatu pengukuran perfomansi kualitas dapat dilakukan pada tiga tingkat, yaitu :

1. Pengukuran pada tingkat proses, yang mengukur setiap langkah atau aktivitas dalam proses dan karakteristik *input* yang diserahkan oleh pemasok (*supplier*) yang mengendalikan karakteristik *output* yang diinginkan. Tujuan dari pengukuran pada tingkat ini adalah mengidentifikasi perilaku yang mengatur setiap langkah dalam proses dan menggunakan ukuran-ukuran ini untuk mengendalikan operasi serta memperkirakan *output* yang akan dihasilkan sebelum *output* itu diproduksi atau diserahkan ke pelanggan. Beberapa contoh ukuran pada tingkat proses adalah lama waktu menjawab panggilan telepon, banyaknya panggilan telepon yang tidak dikembalikan ke pelanggan, konformasi terhadap waktu penyerahan yang dijanjikan, persentase material cacat yang diterima dari pemasok, siklus waktu produk (*product cycle times*), banyaknya inventori setengah jadi (*work in process inventory*), dan lain-lain.
2. Pengukuran pada tingkat *output*, yang mengukur karakteristik *output* yang dihasilkan dibandingkan terhadap spesifikasi karakteristik yang diinginkan pelanggan. Beberapa contoh ukuran pada tingkat *output* adalah: banyaknya unit produk yang tidak memenuhi spesifikasi tertentu yang ditetapkan (banyak produk cacat), tingkat efektivitas dan efisiensi produksi, karakteristik kualitas dari produk yang dihasilkan, dan lain-lain.

3. Pengukuran pada tingkat *outcome*, yang mengukur bagaimana baiknya suatu produk memenuhi kebutuhan dan ekspektasi pelanggan. Pengukuran pada tingkat *outcome* merupakan tingkat tertinggi dalam pengukuran performansi kualitas. Beberapa contoh pengukuran pada tingkat *outcome* adalah: banyaknya keluhan pelanggan yang diterima, banyaknya produk yang dikembalikan oleh pelanggan, tingkat ketepatan waktu penyerahan produk tepat waktu sesuai dengan waktu yang dijanjikan, dan lain-lain.

Kegiatan pengendalian kualitas antara lain akan meliputi aktivitas-aktivitas sebagai berikut :

- Perencanaan kualitas pada saat merancang (desain) produk dan proses pembuatannya.
- Pengendalian dalam penggunaan segala sumber material yang dipakai dalam proses produksi (*incoming material control*).
- Pengamatan terhadap performansi dari produk atau proses.
- Membandingkan performansi yang ditampilkan tadi dengan standard-standar yang berlaku.
- Mengambil tindakan apabila terdapat-terdapat penyimpangan-penyimpangan yang cukup signifikan (*accept or reject*) dan apabila perlu dibuat tindakan untuk mengoreksinya.

### 2.1.3 Pengertian Metode Taguchi atau *Robust Design*

Metode Taguchi pertama kali dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapat tugas untuk memperbaiki sistem komunikasi di Jepang. Dr. Genichi Taguchi memiliki latar belakang *engineering*, juga mendalami statistika dan matematika tingkat lanjut, sehingga ia dapat menggabungkan antara teknik statistik dan pengetahuan *engineering*. Ia mengembangkan metode Taguchi untuk melakukan perbaikan kualitas dengan metode percobaan ‘baru’, artinya melakukan pendekatan lain yang memberikan tingkat kepercayaan yang sama dengan SPC (*Statistical Process Control*).

Taguchi memiliki pandangan yang berbeda mengenai kualitas, ia tidak hanya menghubungkan biaya dan kerugian dari suatu produk saat proses pembuatan produk tersebut, akan tetapi juga dihubungkan pada konsumen dan masyarakat. “Kualitas adalah kerugian setelah produk digunakan oleh masyarakat di samping kerugian yang disebabkan oleh mutu produk itu sendiri”.

Taguchi menghasilkan disiplin dan struktur dari disain eksperimen. Hasilnya adalah standarisasi metodologi disain yang mudah diterapkan oleh investigator. Adapun konsep Taguchi adalah :

1. Kualitas seharusnya didisain ke dalam suatu produk dan bukan diinspeksi ke dalamnya.
2. Kualitas dapat diraih dengan baik dengan cara meminimasi deviasi target.

Produk tersebut harus dirancang sedemikian rupa hingga dapat mengantisipasi faktor lingkungan yang tak terkontrol.

3. Biaya dari kualitas seharusnya diperhitungkan sebagai fungsi deviasi dari standar yang ada dan kerugiannya harus diperhitungkan juga kedalam sistem.

Konsep Taguchi dibuat dari penelitian W.E. Deming, bahwa 85% kualitas yang buruk diakibatkan oleh proses *manufacturing* dan hanya 15% dari pekerja. Di dalam metode Taguchi hasil eksperimen harus dianalisa untuk dapat memenuhi satu atau lebih kondisi berikut ini :

1. Menentukan kondisi yang terbaik atau optimum untuk sebuah produk atau sebuah proses.
2. Memperkirakan kontribusi dari masing-masing faktor.
3. Memperkirakan respon atau akibat yang mungkin dari kondisi optimum.

#### **2.1.4 Kelebihan dan Kekurangan Metode Taguchi**

Kelebihan dari penggunaan metode Taguchi adalah :

1. Dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan jika dibandingkan dengan menggunakan percobaan *full factorial*, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya.
2. Dapat melakukan penghematan terhadap rata-rata dan variasi karakteristik kualitas sekaligus, sehingga ruang lingkup pemecahan masalah lebih luas.
3. Dapat mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas melalui perhitungan *Average* dan Rasio S/N, sehingga faktor-faktor yang berpengaruh tersebut dapat diberikan perhatian khusus.

Sedangkan kekurangan dari metode Taguchi ini adalah apabila percobaan ini dilakukan dengan banyak faktor dan interaksi, akan terjadi pembauran beberapa interaksi oleh faktor utama. Akibatnya, keakuratan hasil percobaan akan berkurang, jika interaksi yang diabaikan tersebut memang benar-benar berpengaruh terhadap karakteristik yang diamati.

#### **2.1.5 *Seven Point Taguchi***

Menurut Robert H. Lochner & Joseph E. Matar (1990), filosofi Taguchi dapat dirangkum menjadi 7 elemen dasar (*seven point Taguchi*) :

1. Dimensi penting dari kualitas produk yang diproduksi adalah total kerugian yang diteruskan oleh produk tersebut ke konsumen.
2. Dalam era ekonomi yang penuh persaingan, perbaikan kualitas secara terus menerus dan pengurangan biaya adalah penting untuk dapat bertahan dalam bisnis.
3. Perbaikan yang terus menerus meliputi pengurangan variasi dari karakteristik produk dari nilai target mereka.
4. Kerugian yang diderita konsumen akibat produk yang bervariasi seringkali mendekati proporsi deviasi kuadrat dari karakteristik dari nilai targetnya.
5. Kualitas akhir dan biaya proses produksi ditentukan oleh perluasan yang besar dari desain *engineering* dari produk dan proses produksinya.
6. Variasi dari produk atau proses dapat dikurangi dengan mengeksplorasi efek nonlinear dari parameter produk atau proses pada karakteristik.

7. Desain eksperimen statistik dapat digunakan untuk mengidentifikasi *setting* parameter dari produk atau proses yang akhirnya dapat mengurangi variasi.

#### **2.1.6 Tahap-tahap dalam Desain Produk / Proses Menurut Taguchi**

Dalam metode Taguchi terdapat 3 tahap untuk mengoptimasi desain produk atau produksi yaitu :

1. *System Design*

Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau inovasi proses. Konsep mungkin berasal dari percobaan sebelumnya, pengetahuan alam / teknik, perubahan baru atau kombinasinya. Tahap ini adalah untuk memperoleh ide-ide baru dan mewujudkannya dalam produk baru atau inovasi proses.

2. *Parameter Design*

Tahap ini merupakan pembuatan secara fisik atau *prototype* matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan secara statistik. Tujuannya adalah mengidentifikasi *setting* parameter yang akan memberikan performansi rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi dari target.

3. *Tolerance Design*

Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada masyarakat akibat penyimpangan produk.

### 2.1.7 Karakteristik Kualitas menurut Taguchi

Setiap produk didesain untuk menghasilkan fungsi tertentu. Beberapa karakteristik pengukuran, biasanya menunjukkan karakteristik kualitas, digunakan untuk mengekspresikan sejauh mana sebuah produk menjalankan fungsinya. Di dalam banyak kasus, karakteristik kualitas biasanya merupakan kuantitas pengukuran tunggal seperti berat, panjang, jam. Beberapa pengukuran subjektif produk seperti “baik”, “buruk”, dan “rendah” juga kerap kali digunakan.

Karakteristik kualitas adalah hasil suatu proses yang berkaitan dengan kualitas. Karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi dapat dibagi menjadi 3 kategori (Peace, {1993}, h 46) :

#### 1. *Nominal is the best*

Karakteristik kualitas yang menuju suatu nilai target yang tepat pada suatu nilai tertentu. Yang termasuk kategori ini adalah :

|           |          |         |           |
|-----------|----------|---------|-----------|
| Berat     | Panjang  | Lebar   | Kerapatan |
| Ketebalan | Diameter | Luas    | Kecepatan |
| Volume    | Jarak    | Tekanan | Waktu     |

#### 2. *Smaller the better*

Pencapaian karakteristik dimana apabila semakin kecil (mendekati nol; nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik. Contoh yang termasuk kategori ini adalah:

|                  |                    |              |
|------------------|--------------------|--------------|
| Pemborosan Panas | Persen Kontaminasi | Hambatan     |
| Penyimpangan     | Kebisingan         | Produk Gagal |
| Waktu Proses     | Waktu Respon       | Kerusakan    |

### 3. *Larger the better*

Pencapaian karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (tak terhingga sebagai nilai idealnya). Contoh dari karakteristik ini adalah :

Kekuatan                      Kekuatan Tarik      Efisiensi

Waktu antar Kerusakan    Ketahanan Terhadap Korosi

#### 2.1.8 *Orthogonal Array (OA)*

*Orthogonal Array* (OA) merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh.

*Orthogonal Array* diciptakan oleh Jacques Handmard pada tahun 1897, dan mulai diterapkan pada perang dunia II oleh Plackett dan Burman. Matriks Taguchi secara matematis identik dengan matriks Hardmard, hanya kolom dan barisnya dilakukan pengaturan lagi. Keuntungan *Orthogonal Array* adalah kemampuannya untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang minimum. Jika pada percobaan terdapat 7 faktor dengan level 2, maka jika menggunakan *full factorial* akan diperlukan  $2^7$  buah percobaan. Dengan *Orthogonal Array*, jumlah percobaan yang perlu dilakukan dapat dikurangi sehingga akan mengurangi waktu dan biaya percobaan.

*Orthogonal Array* metode Taguchi telah menyediakan berbagai matriks OA untuk pengujian faktor-faktor dengan 2 dan 3 level dengan kemungkinan untuk pengujian *multiple level* (Ross,[1998],h.70). Berikut adalah contoh dari OA L9 yaitu :

Tabel 2.1 Tabel *Orthogonal Array* L9

| <b><i>Runs</i></b> | <b><i>Level</i></b> |   |   |   |
|--------------------|---------------------|---|---|---|
| 1                  | 1                   | 1 | 1 | 1 |
| 2                  | 1                   | 2 | 2 | 2 |
| 3                  | 1                   | 3 | 3 | 3 |
| 4                  | 2                   | 1 | 2 | 3 |
| 5                  | 2                   | 2 | 3 | 1 |
| 6                  | 2                   | 3 | 1 | 2 |
| 7                  | 3                   | 1 | 3 | 2 |
| 8                  | 3                   | 2 | 1 | 3 |
| 9                  | 3                   | 3 | 2 | 1 |

### 2.1.9 Langkah-langkah Pelaksanaan Percobaan Taguchi atau *Robust Design*

#### 1. Penentuan Variabel Tak Bebas (Karakteristik Kualitas)

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas mana yang diselidiki.

Dalam percobaan Taguchi, variabel tak bebas adalah karakteristik kualitas yang terdiri dari tiga kategori :

- a. *Measurable Characteristic* ( Karakteristik yang dapat diukur ) : semua hasil akhir yang diamati dapat diukur dengan skala kontinu seperti

dimensi, berat, tekanan, dan lain-lain. Dalam karakteristik yang dapat diukur dapat diklarifikasikan atas :

- *Nominal is the best*
- *Smaller the better*
- *Larger the better*

- b. *Attribute Characteristic* ( Karakteristik atribut ) : hasil akhir yang diamati tidak dapat diukur dengan skala kontinu, tetapi dapat diklarifikasikan secara kelompok. Seperti kelompok kecil, menengah, besar, sangat besar. Bisa juga dikelompokkan berdasarkan berhasil / tidak.
- c. *Dynamic Characteristic* (Karakteristik dinamis ) : merupakan fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai *signal* atau *input* dan *ouput* sebagai hasil dari *signal*.

## 2. Identifikasi Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Variabel bebas ( faktor ) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan diidentifikasi. Dalam suatu percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselidiki, hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-

faktor yang dianggap penting saja yang diselidiki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah dengan :

a. *Brainstorming*

*Brainstorming* merupakan pemikiran kreatif tentang pemecahan suatu masalah, tanpa melihat apakah yang diungkapkan itu masuk akal atau tidak. *Brainstorming* akan lebih baik jika dimulai dengan diskusi kelompok, untuk memberikan gambaran tentang masalah yang akan dihadapi ditinjau dari semua sudut pandang yang berbeda. Kemudian setiap orang pada diskusi ini mengungkapkan faktor-faktor yang mungkin berpengaruh pada masalah yang dihadapi tanpa takut dikritik oleh orang lain, sebab mungkin pendapat dan pandangan satu orang berbeda dengan pendapat yang lain tentang suatu masalah. Setelah semua faktor-faktor yang diungkapkan dicatat, dilakukan penyaringan menjadi faktor yang akan diamati dan faktor yang diabaikan. Pada tahap ini pemulihan berdasarkan pembatasan urgensi masalah, masalah teknis, kemungkinan pelaksanaan dan lain-lain.

b. *Flowcharting*

Pada metode ini yang dilakukan adalah mengidentifikasi faktor-faktor melalui *flowchart* proses pembuatan obyek yang diamati. Dengan melihat pada *flowchart* maka untuk masing-masing tahap diidentifikasi faktor-faktor yang mungkin berpengaruh.

c. *Cause-effect diagram*

Diagram ini sering disebut Diagram Ishikawa, merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab (faktor-faktor) yang potensial.

Dimulai dengan menyatakan variabel bebas yang akan diamati. Kemudian secara sistematis diurutkan penyebab yang mungkin berpengaruh pada variabel tak bebas yang diamati. Akibat ada di sebelah kanan dan penyebab ada di sebelah kirinya dengan garis miring penghubung. Dari sebab-sebab utama dapat dijabarkan beberapa penyebab yang lebih spesifik sebagai penyebab sekunder. Biasanya penyebab utama terdiri atas material, mesin, peralatan, metode, operator atau penyebab lainnya.

3. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam metode Taguchi keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda.

Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita kendalikan. Sedangkan faktor gangguan ( *noise factor* ) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita kendalikan, atau faktor yang nilainya tidak ingin kita kendalikan (Peace, [1993],h.77). Walaupun

dapat kita kendalikan, faktor gangguan akan mengeluarkan biaya yang mahal. Faktor gangguan terdiri atas (Belavendram,[1995],h.43) :

- External ( *outer* ) noise

Semua gangguan dari kondisi lingkungan atau luar produksi.

- Internal ( *inner* ) noise

Semua gangguan dari dalam produksi sendiri.

- Unit to unit noise

Perbedaan antara unit yang diproduksi dengan spesifikasi yang sama.

#### 4. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Tetapi banyaknya level akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga menaikkan ongkos percobaan.

Level faktor dapat dinyatakan secara kuantitatif seperti temperatur : 20°C, 35°C ; kecepatan : 30 km/jam, 45 km/jam dan lainnya. Dapat pula dinyatakan secara kualitatif jika skala numerik tidak digunakan pada level faktor tersebut. Level juga dapat dinyatakan secara *fixed* seperti tekanan, temperatur, waktu, dan lain-lain atau dipilih secara *random* dari beberapa kemungkinan yang ada seperti pemilihan mesin, operator dan lainnya.

## 5. Identifikasi Interaksi Faktor Kontrol

Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih yang mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas jika dibandingkan faktor yang mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri (Peace,[1993],h.85).

Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan pada penentuan proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada penyebab utama sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan hadirnya interaksi (Peace,[1993],h.86).

Jumlah interaksi yang terlalu banyak akan meningkatkan biaya percobaan dan tidak efisien dalam penggunaan waktu. Maka penentuan dilakukan hanya antar faktor yang mengalami interaksi saja. Ini tergantung pada jenis industri, proses *engineering* dan lain-lain.

## 6. Perhitungan Derajat Kebebasan (*Degrees of Freedom*)

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati (Bagchi,[1993],h.114). Jika  $n_A$  dan  $n_B$  adalah jumlah perlakuan untuk faktor A dan faktor B maka :

Dof untuk faktor A =  $n_A - 1$

Dof untuk faktor B =  $n_B - 1$

Dof untuk interaksi faktor A dan B =  $(n_A - 1)(n_B - 1)$

Jumlah total Dof =  $(n_A - 1)(n_B - 1) + (n_A - 1)(n_B - 1)$

## 7. Pemilihan *Orthogonal Array* (OA)

Dalam pemilihan *Orthogonal Array* haruslah memenuhi pertidaksamaan (Ross,[1988],h.74):

$$f_{LN} \geq f_{\text{yang diperlukan untuk faktor dan interaksi}}$$

Dimana :

$$f = \text{Dof / derajat kebebasan}$$

$$f_{LN} = \text{Jumlah trial} - 1$$

$$f_{\text{yang diperlukan untuk faktor dan interaksi}} = \text{Jumlah total Dof}$$

Dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah faktor yang diamati yaitu :

- a. Jika semua faktor adalah 2 level : pilih jenis OA untuk 2 level faktor
- b. Jika semua faktor adalah 3 level : pilih jenis OA untuk 3 level faktor
- c. Jika beberapa faktor adalah 2 level dan lainnya 3 level : pilih mana yang *dominant* dan gunakan *Dummy Treatment*, Metode Kombinasi atau *Metode Idle Coloumn* (Ross,[1988],h.109-112 & 137-145)

- d. Jika terdapat campuran 2, 3, atau 4 level faktor : lakukan modifikasi OA dengan *metode Merging Coloumn* (Ross,[1988],h.101-109)

#### 8. Penugasan untuk Faktor dan Interaksinya pada *Orthogonal Array*

Penugasan faktor-faktor baik berupa faktor kontrol maupun gangguan dan interaksi-interaksinya pada *orthogonal array* terpilih dengan memperhatikan :

1. Grafik *Linear*
2. *Table Triangular*

Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik *linear* mengidentifikasi berbagai kolom kemana faktor-faktor dapat ditugaskan dan kolom berikutnya mengevaluasi interaksi dari faktor-faktor tersebut. *Table triangular* berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor ( kolom-kolom) dalam suatu OA (Ross,[1988],h.78-80).

#### 9. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

a. Jumlah Replikasi

Replikasi diperlukan dengan tujuan sebagai berikut :

- Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen.
- Memungkinkan kita untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata-rata dari suatu faktor.

Selain itu, dikemukakan pula bahwa penambahan replikasi akan mengurangi tingkat kesalahan percobaan secara bertahap, namun jumlah replikasi dalam suatu percobaan dibatasi oleh sumber yang ada yaitu waktu, tenaga, biaya, dan fasilitas.

b. Randomisasi

Dalam percobaan, selain faktor-faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap suatu variabel, juga terdapat faktor-faktor lain yang tidak dapat dikendalikan atau tidak diinginkan seperti kelelahan operator, naik atau turun daya mesin, dan lain-lain. Hal tersebut dapat mempengaruhi hasil percobaan. Pengaruh faktor-faktor tersebut diperkecil dengan menyebarkan pengaruh selama percobaan melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan.

Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk :

- Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan.

- Memberikan kesempatan yang sama pada setiap unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
- Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (*independent*) satu sama lain.

Jika replikasi dengan tujuan yang memungkinkan dilakukannya *test* signifikan, maka randomisasi bertujuan menjadikan *test* tersebut *valid* dengan menghilangkan sifat bias.

Pelaksanaan percobaan Taguchi adalah melakukan pengerjaan berdasarkan *setting* faktor pada OA dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti pada randomisasi.

#### 10. Analisis Data

Pada analisis dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, yaitu meliputi pengumpulan data, perhitungan serta penyajian data yang sesuai dengan suatu percobaan yang dipilih.

Pada analisis data ini dilakukan dengan menggunakan metode uji hipotesis 2 proporsi dengan menggunakan *Minitab*14.

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

- *Stat*
- *Basic Statistic*

- 2 – *Proportion*
- Pilih *summarized data*, lalu isi kolom yang tersedia sesuai dengan data yang ada
- Pilih *Option*, lalu isi kolom yang tersedia
- Klik OK

Selain itu dilakukan perhitungan dan pengujian data dengan penerapan rumus-rumus pada data hasil percobaan. Pengolahan data yang dilakukan terbagi menjadi 2 bagian besar, yaitu perhitungan *main effect* dan perhitungan tambahan lainnya seperti *loss function*.

#### 11. Perhitungan *Main Effect*

Yang dimaksud dengan *main effect* adalah pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksi terhadap hasil. Perhitungannya sendiri terbagi menjadi dua metode, yaitu :

- Metode *Average* / Metode Standar (Metode Rata-rata)

Perhitungan dengan metode ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksi terhadap nilai tengah dari hasil yang diharapkan.

- Metode S/N Rasio (*Signal to Ratio*)

Perhitungan dengan metode ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksi terhadap sebaran dari hasil yang diharapkan.

Rasio S/N digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data (paling sedikit dua untuk satu *trial*) ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variansi yang timbul (Ross.[1988],h.172).

Terdapat beberapa jenis rasio S/N sesuai dengan tipe karakteristik kualitas yaitu *smaller the better*, *nominal is the best*, dan *larger the better*. Rasio S/N yang digunakan untuk mengevaluasi *trial-trial* percobaan tergantung pada tipe karakteristik kualitas yang diamati.

Taguchi mengkategorikan faktor-faktor menjadi *Controllable Factors* dan *Noise Factors*. Sebagai contoh, pada percobaan pembuatan kue, terdapat faktor-faktor yang dapat diidentifikasi yaitu faktor gula, mentega, telur, susu, dan tepung. Dan semua faktor-faktor tersebut disebut *Controlled Factors* karena dapat dikendalikan. Selain itu juga terdapat faktor-faktor eksternal yang tidak didisain ke dalam percobaan yang mempengaruhi hasil percobaan, misalnya faktor kelembaban, distribusi suhu oven, dan lain-lain. Faktor-faktor eksternal ini disebut

*Noise Factors* dan pengaruhnya terhadap hasil keluaran percobaan dinamakan *noise*.

Rasio S/N bertujuan untuk mengukur sensitifitas dari karakteristik kualitas dari faktor yang dapat dikontrol terhadap pengaruh faktor eksternal yang tidak dikontrol. Dalam suatu percobaan bertujuan untuk mendapat nilai rasio S/N terbesar, karena dengan semakin besar rasio S/N maka variasi produk disekitar nilai target semakin kecil.

Untuk menganalisa hasil eksperimen yang terjadi dari dua pengulangan atau lebih sebaiknya menggunakan rasio S/N daripada menggunakan metode *average*, karena rasio S/N akan memberi 2 macam keuntungan yaitu :

- Rasio S/N menyediakan petunjuk untuk memilih level optimum berdasarkan variasi minimum disekitar target dan juga nilai rata-rata yang mendekati target.
- Rasio S/N menawarkan perbandingan objektif diantara 2 set percobaan yang dilihat dari variasi di sekitar target dan penyimpangan rata-rata dari nilai target.

Rumus *S/N Ratio* :

$$S/N = -10\log_{10}(MSD)$$

MSD (*Mean Square Deviation*) memiliki 3 jenis, tergantung dari karakteristik kualitas yang dipakai, yaitu *Smaller the better*, *Nominal is the best*, *Larger the better*.

Untuk *Smaller the better* :

$$\text{MSD} = (y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots) / n$$

Untuk *Larger the better* :

$$\text{MSD} = \left( \frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \frac{1}{y_3^2} + \dots \right) / n$$

Untuk *Nominal is the best* :

$$\text{MSD} = \left[ \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \right]^{-1}$$

Dimana :

$y_1, y_2, y_3, \dots$  = Hasil percobaan

$y_0$  = Nilai target

$n$  = Jumlah pengulangan

$s$  = Standar deviasi

## 12. Taguchi's *Quality Loss Function*

Tujuan dari *Quality Control* adalah untuk mengontrol atau mengendalikan variasi fungsional dan masalah-masalah yang berkaitan. Oleh karena tidak adanya evaluasi secara kuantitatif terhadap masalah kualitas dan kerugian kualitas, masalah-masalah dari QC dan pemecahannya dilihat secara subyektif. Tujuan dari *Quality Cost Function* adalah untuk mengevaluasi secara kuantitatif dari kerugian kualitas yang disebabkan oleh variasi fungsional.

Untuk melakukan perhitungan *Loss Function*, maka digunakan rumus antara lain :

- Untuk karakteristik kualitas *Nominal is the best* dan *Smaller the better*:

$$k = \frac{A_0}{\Delta^2}$$

- Untuk Karakteristik kualitas *Larger is better* :

$$k = A_0 \times \Delta^2$$

Dimana :

$k$  = koefisien biaya

$A_0$  = rata-rata biaya per tahun

$\Delta^2$  = toleransi

Tabel 2.2 Rumus *Loss Function* untuk masing-masing karakteristik

| Karakteristik Kualitas     | Rumus                                                              |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>Nominal is the best</i> | $L = k \left[ \sigma^2 + (\bar{y} - y_0)^2 \right]$                |
| <i>Smaller the better</i>  | $L = k \left( \sigma^2 + \bar{y}^2 \right)$                        |
| <i>Larger the better</i>   | $L = \frac{k}{\mu^2} \left\{ 1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right\}$ |

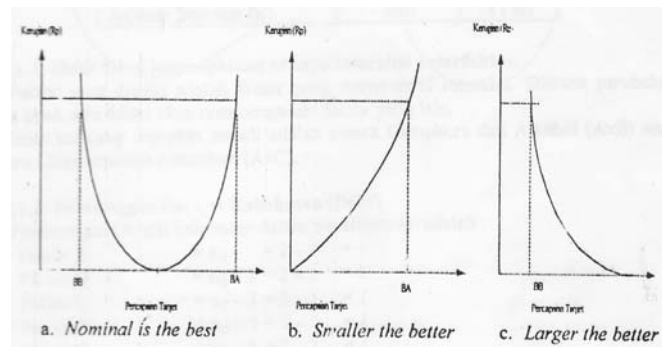
Dimana :

$\bar{y}$  = rata-rata hasil percobaan

$y_0$  = nilai target

$\sigma$  = standar deviasi

*Loss function* digunakan dalam mengukur performansi karakteristik kualitas dalam pencapaian nilai target (*Target Value*) yaitu nilai yang ideal dari performansi karakteristik tersebut). Semakin dekat penyimpangan produk dari nilai target yang ditetapkan, maka semakin baik pula mutunya.

Gambar 2.1 *Loss Function*

## 2.2 *Preventive Maintenance*

### 2.2.1 Pengertian Pemeliharaan (*Maintenance*)

Tujuan pemeliharaan adalah untuk memelihara kemampuan sistem dan mengendalikan biaya sehingga sistem harus dirancang dan dipelihara untuk mencapai standar mutu dan kinerja yang diharapkan. Pemeliharaan meliputi segala aktifitas yang terlibat dalam penjagaan peralatan sistem dalam aturan kerja (Dwiningsih, 2005, p3-4). Kebanyakan dari sistem *engineering* pasti dipelihara, diperbaiki jika terjadi kegagalan, dan suatu kegiatan dilakukan atas sistem tersebut agar sistem tersebut tetap dapat bekerja (Patrick, 2004, p401).

Menurut Assauri (2008, p134) *maintenance* merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dengan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasional produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan.

Perawatan berperan penting dalam kegiatan produksi dari suatu perusahaan yang menyangkut kelancaran atau kemacetan produksi, agar produk dapat diproduksi dan diterima konsumen tepat pada waktunya tanpa mengalami keterlambatan dan menjaga agar tidak terdapat sumber daya kerja yang menganggur karena kerusakan (*failure*) pada mesin sewaktu proses produksi sehingga dapat meminimalkan biaya kehilangan produksi atau jika dimungkinkan biaya tersebut dapat dihilangkan.

Dengan demikian, perawatan memiliki fungsi yang sama pentingnya dengan fungsi-fungsi lain dari suatu perusahaan. Dengan adanya perawatan diharapkan

semua fasilitas dan mesin yang dimiliki oleh perusahaan dapat dioperasikan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.

Ada beberapa hal yang menjadi tujuan utama dilakukannya aktifitas perawatan mesin, yaitu (Assauri, 2008, p134):

- Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
- Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi kebutuhan produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
- Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpanan yang diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama jangka waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.
- Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien untuk keseluruhannya.
- Memperhatikan dan menghindari kegiatan – kegiatan operasi mesin serta peralatan yang dapat membahayakan keselamatan kerja.
- Mengadakan suatu kerjasama yang erat dengan fungsi – fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan, dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan yaitu tingkat keuntungan atau *return investment* yang sebaik mungkin dan total biaya serendah mungkin.

## 2.2.2 Kategori Pemeliharaan

Konsep pemeliharaan dibagi menjadi dua kategori yaitu pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*) dan pemeliharaan pemogokan (*corrective maintenance*).

### 2.2.2.1 Pemeliharaan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Melibatkan pelaksanaan pemeriksaan rutin dan *service* yang menjaga fasilitas dalam kondisi yang baik. Tujuan pemeliharaan pencegahan adalah untuk membangun sistem yang mengetahui kerusakan potensial dan membuat pergantian atau perbaikan yang akan mencegah kerusakan. Pemeliharaan pencegahan jauh lebih besar daripada sekedar menjaga mesin dan fasilitas tetap berjalan. Konsep ini juga melibatkan perancangan sistem manusia dan teknik yang menjaga proses produktif tetap bekerja dalam toleransinya. Penekanannya adalah pada pemahaman proses dan membiarkannya bekerja tanpa gangguan.

Pemeliharaan pencegahan berarti dapat menentukan kapan suatu peralatan perlu *diservice* atau direparasi. Kerusakan terjadi pada tingkat yang berbeda-beda selama umur produk. Tingkat kerusakan yang tinggi disebut kehancuran sebelum waktunya (*infant mortality*) terjadi pada awal mulai produksi di banyak perusahaan terutama perusahaan elektronik. Harus dicatat bahwa *infant mortality* banyak disebabkan karena penggunaan yang tidak wajar, oleh karena itu perlunya manajemen membangun sistem pemeliharaan yang meliputi seleksi personel dan pelatihan.

*Preventive Maintenance* (Ebeling, 1997, p189) merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik, dimana seperangkat tugas pemeliharaan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian dan penyamaan dilakukan.

Oleh karena itu, dimungkinkan pembuatan suatu jadwal pemeliharaan dan perawatan yang sangat cermat dan rencana produksi yang lebih tepat. *Preventive maintenance* ini sangat penting karena kegunaannya yang sangat efektif didalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk dalam golongan *critical unit*. Sebuah fasilitas atau peralatan produksi akan termasuk dalam golongan “*critical unit*”, apabila :

- Kerusakan fasilitas produksi akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
- Kerusakan fasilitas produksi ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
- Kerusakan fasilitas produksi atau peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan atau keselamatan para pekerja.
- Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas ini sudah cukup besar (mahal).

Dalam prakteknya *preventive maintenance* yang dilakukan oleh suatu perusahaan pabrik dapat dibedakan atas *Routine Maintenance* dan *Periodic Maintenance* (Assauri, 2008, p135).

### 1. *Routine Maintenance*

*Routine Maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari. Sebagai contoh dari kegiatan *routine maintenance* adalah pembersihan fasilitas atau peralatan, pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan oli, serta pengecekan bahan bakarnya dan mungkin termasuk pemanasan (*warmingup*) dari mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai berproduksi sepanjang hari.

### 2. *Periodic Maintenance*

*Periodic maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara periodik atau dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, lalu meningkat setiap satu bulan sekali, dan akhirnya setiap satu tahun sekali. *Periodic maintenance* dapat pula dilakukan dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi tersebut sebagai jadwal kegiatan, misalnya setiap seratus jam kerja mesin sekali, lalu meningkat setiap lima ratus jam kerja mesin sekali dan seterusnya, Jadi sifat kegiatan *maintenance* ini tetap secara periodik atau berkala. Kegiatan *periodic maintenance* ini jauh lebih berat daripada kegiatan *routine maintenance*. Sebagai contoh dari kegiatan *periodic maintenance* adalah pembongkaran karburator ataupun pembongkaran alat-alat dibagian sistem aliran bensin, *setting* katup-katup pemasukan dan pembuangan *cylinder* mesin dan pembongkaran mesin atau fasilitas tersebut untuk penggantian pelor roda (*bearing*), serta *service* dan *overhaul* besar ataupun kecil.

### 2.2.2.2 Pemeliharaan Pemogokan (*Corrective Maintenance*)

Adalah perbaikan secara remedial ketika terjadi peralatan yang rusak dan kemudian harus diperbaiki atas dasar prioritas atau kondisi darurat. Apabila biaya pemeliharaan lebih mahal daripada biaya reparasi ketika proses tersebut mogok, maka barangkali perlu membiarkan proses itu mogok baru diperbaiki. Akan tetapi perlu dipertimbangkan akibat pemogokan secara penuh karena akan mengganggu proses secara keseluruhan. Manajer operasi perlu mempertimbangkan keseimbangan antara pemeliharaan pencegahan dan pemeliharaan pemogokan karena berdampak pada persediaan, uang, serta tenaga kerja.

Dalam hal ini, kegiatan *corrective maintenance* bersifat perbaikan pasif yaitu menunggu sampai kerusakan terjadi terlebih dahulu, kemudian baru diperbaiki agar fasilitas produksi maupun peralatan yang ada dapat dipergunakan kembali dalam proses produksi sehingga operasi dalam proses produksi dapat berjalan lancar dan kembali normal.

Menurut Patrick (2001, p401), *Corrective Maintenance* dapat dihitung sebagai MTTR (*mean time to repair*) dimana *time to repair* ini meliputi beberapa aktifitas yang biasanya dibagi menjadi 3 grup, yaitu:

- *Preparation Time*

Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menemukan orang untuk mengerjakan perbaikan, waktu tempuh ke lokasi kerusakan, membawa peralatan dan uji perlengkapan.

- *Active Maintenance Time*

Adalah waktu sebenarnya yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan tersebut. Meliputi waktu untuk mempelajari peta perbaikan sebelum aktifitas perbaikan yang sebenarnya dimulai serta waktu yang dihabiskan untuk memastikan bahwa kerusakan yang ada telah selesai diperbaiki. Bahkan terkadang juga meliputi waktu untuk membuat dokumentasi atas proses perbaikan yang sudah dilakukan ketika hal tersebut harus diselesaikan sebelum perlengkapan tersedia. Contohnya *Aircraft*.

- *Delay Time (Logistic Time)*

Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menunggu datangnya komponen dari mesin yang harus diperbaiki.

Tindakan *corrective* ini dapat memakan biaya perawatan yang lebih murah dari pada tindakan *preventive*. Hal tersebut dapat terjadi apabila kerusakan terjadi disaat mesin atau fasilitas tidak melakukan proses produksi. Namun saat kerusakan terjadi selama proses produksi berlangsung maka biaya perawatan akan mengalami peningkatan akibat terhentinya proses produksi.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tindakan *corrective* memusatkan permasalahan setelah permasalahan itu terjadi, bukan menganalisa masalah untuk mencegahnya agar tidak terjadi.

### 2.2.3 Syarat-Syarat yang Diperlukan Agar Pekerjaan Bagian Pemeliharaan Dapat Efisien

Menurut Assauri (2008, p144) pelaksanaan kegiatan pemeliharaan dari peralatan di suatu perusahaan tergantung pada kebijakan (*policy*) perusahaan itu yang kadang-kadang berbeda dengan kebijakan perusahaan lainnya. Kebijakan bagian pemeliharaan biasanya ditentukan oleh pimpinan tertinggi (*top management*) perusahaan. Walaupun kebijakan (*policy*) telah ditentukan, tetapi didalam pelaksanaan kebijaksanaan tersebut, manajer bagian pemeliharaan harus memperhatikan enam prasyarat agar pekerjaan bagian pemeliharaan dapat efisien. Keenam prasyarat tersebut adalah :

1. Harus ada data mengenai mesin dan peralatan yang dimiliki perusahaan.

Dalam hal ini data yang dimaksudkan adalah seluruh data mengenai mesin atau peralatan seperti nomor, jenis (*types*), umur dan tahun pembuatan, keadaan atau kondisinya, pembebanan dalam operasi (*operating load*) produksi yang direncanakan per jam atau kapasitas, bagaimana operator menjalankan atau meng-*handle* mesin-mesin tersebut, berapa *maintenance crew*, kapasitas dan keahliannya, ketentuan yang ada, jumlah mesin dan sebagainya.

Dari data ini akan ditentukan banyaknya kegiatan pemeliharaan yang dibutuhkan dan yang mungkin dilakukan.

2. Harus ada *planning* dan *scheduling*.

Dalam hal ini harus disusun perencanaan kegiatan pemeliharaan untuk jangka panjang dan jangka pendek, seperti *preventive maintenance*, inspeksi, keadaan yang diawasi, peminyakan (*lubrication*), pembersihan, reparasi kerusakan, pembangunan bengkel baru dan sebagainya. Di samping itu *planning & scheduling* ini menentukan apa yang akan dikerjakan dan kapan dikerjakan serta urutan pengerjaan atau prioritasnya dan dimana dikerjakannya. Perlu pula direncanakan banyaknya tenaga pemeliharaan yang harus ada supaya pekerjaan pemeliharaan dapat efektif dan efisien.

3. Harus ada surat perintah (*work orders*) yang tertulis.

Surat perintah ini memberitahukan atau menyatakan tentang :

- a. Apa yang harus dikerjakan.
- b. Siapa yang mengerjakannya dan yang bertanggung jawab.
- c. Dimana dikerjakan apakah di luar atau di bagian di dalam pabrik.

Kalau di dalam pabrik, bagian mana yang mengerjakannya.

- d. Ditentukan berapa tenaga dan bahan atau alat-alat yang dibutuhkan dan macamnya.
- e. Waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan pekerjaan tersebut dan waktu selesainya.

4. Harus ada persediaan alat-alat atau *spareparts* (*stores control*).

Oleh karena untuk pelaksanaan kegiatan pemeliharaan ini dibutuhkan adanya *spareparts* (alat-alat) dan material, maka *spareparts* dan material ini harus disediakan dan diawasi. Dengan *stores control* ini, maka manajer bagian pemeliharaan harus selalu berusaha supaya *spareparts* dan material atau onderdil-onderdil tetap ada pada saat dibutuhkannya dan investasi dari persediaan (*stores*) ini adalah minimum (dalam arti cukup tidak kurang dan tidak berlebihan). Jadi perlu dijaga agar tetap tersedia onderdil-onderdil, alat-alat dan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam jumlah yang cukup dengan suatu investasi yang minimum.

5. Harus ada catatan (*records*).

Catatan tentang kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dan apa yang perlu untuk kegiatan *maintenance* tersebut. Jadi perlu ada catatan dan gambaran (peta) yang menunjukkan jumlah dan macam serta letak peralatan yang ada dan karakter dari masing-masing peralatan (mesin mesin) ini, serta catatan tentang *inspection* intervalnya berapa lama, serta biaya *maintenance*. Di samping itu perlu pula dibuat catatan mengenai gambaran produksi seperti jam produksi yang berjalan, waktu berhenti, dan jumlah produksi.

6. Harus ada laporan, pengawasan, dan analisis (*reports, control, and analysis*).

Laporan (*reports*) tentang *progress* (kemajuan) yang kita adakan, pembetulan yang telah kita adakan dan pengawasan. Kalau pemeliharannya baik, maka ini

sebenarnya berkat *report & control* yang ada, di mana kita dapat melihat efisiensi dan penyimpangan-penyimpangan yang ada. Di samping itu juga perlu dilakukan penganalisisan tentang kegagalan - kegagalan yang pernah terjadi dan waktu terhenti. Analisis ini penting untuk dapat digunakan dalam pengambilan keputusan akan kegiatan atau kebijaksanaan pemeliharaan.

## **2.2.4 Konsep-Konsep Pemeliharaan**

### **2.2.4.1 Konsep *Breakdown* dan *Downtime***

Suatu barang atau produk dikatakan rusak ketika barang atau produk tersebut tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik lagi. Hal yang sama juga terjadi pada mesin atau peralatan di dalam sistem produksi pada industri manufaktur. Ketika suatu mesin atau alat tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik atau sebagaimana mestinya, maka mesin atau alat tersebut dikatakan mengalami kerusakan atau *breakdown*.

Pada dasarnya, *downtime* didefinisikan sebagai waktu suatu sistem atau komponen tidak dapat digunakan (tidak berada dalam kondisi yang baik) sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan sesuai yang diharapkan. *Downtime* terjadi ketika unit mengalami masalah seperti kerusakan yang dapat mengganggu performansi keseluruhan termasuk kualitas produk yang dihasilkan atau kecepatan produksinya, sehingga membutuhkan waktu untuk mengembalikan fungsi unit tersebut pada kondisi semula. Konsep *downtime* terdiri dari beberapa unsur, yaitu :

1. *Supply delay*, yaitu waktu untuk memperoleh komponen (*part*) yang dibutuhkan dalam proses perbaikan. *Supply delay* dapat terdiri dari *lead time* administrasi, *lead time* produksi, dan waktu transportasi komponen pada lokasi perbaikan.
2. *Maintenance delay*, yaitu waktu untuk menunggu ketersediaan sumber daya *maintenance* untuk melakukan suatu proses perbaikan. Sumber daya *maintenance* dapat berupa personil, alat bantu atau alat tes.
3. *Access time*, yaitu waktu untuk mendapatkan akses langsung ke komponen yang rusak.
4. *Diagnosis time*, yaitu waktu untuk menentukan penyebab kerusakan dan langkah perbaikan yang harus ditempuh untuk memperbaiki kerusakan tersebut.
5. *Repair or replacement time*, yaitu waktu aktual untuk menyelesaikan proses pemulihan setelah permasalahan dapat diidentifikasi dan akses ke komponen yang rusak dapat dicapai.
6. *Verification and alignment*, yaitu waktu untuk memastikan bahwa fungsi dari suatu unit telah kembali pada kondisi operasi semula.

#### **2.2.4.2 Konsep Keandalan (*Reliability*)**

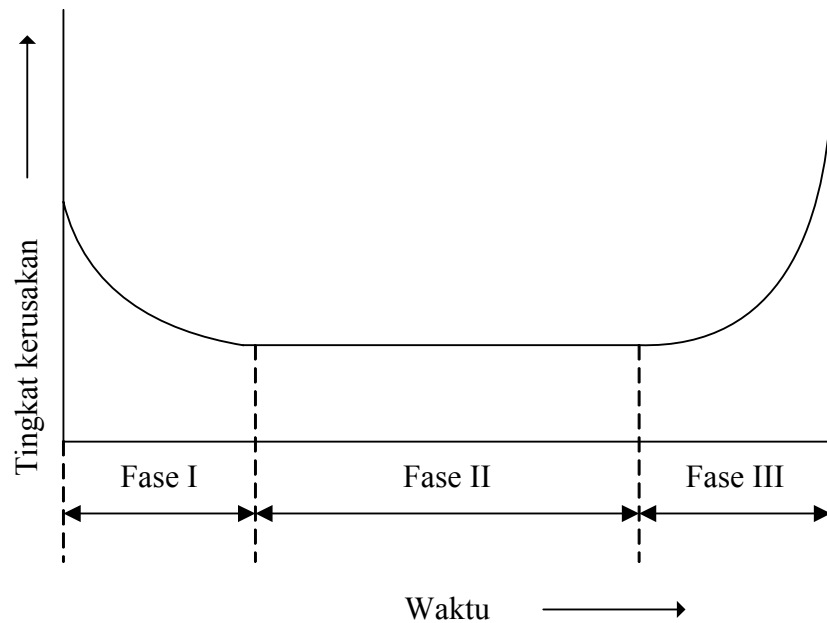
Yang dimaksud dengan keandalan (*reliability*) adalah probabilitas sebuah komponen atau sistem untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan untuk suatu periode tertentu ketika digunakan pada kondisi operasi yang telah ditetapkan. Keandalan juga berarti probabilitas dari sebuah mesin atau peralatan untuk tidak mengalami kerusakan selama proses berlangsung.

Fungsi keandalan dapat dinotasikan  $R(t) = P(\text{peralatan beroperasi pada saat } t)$ .

Empat elemen pokok dalam konsep *reliability* ini adalah :

1. *Probability* (peluang), dimana nilai *reliability* adalah berada diantara 0 dan 1.
2. *Performance* (kinerja), artinya bahwa keandalan merupakan suatu karakteristik performansi sistem, dimana suatu sistem yang andal harus dapat menunjukkan performansi yang memuaskan jika dioperasikan. Dalam hal ini performansi yang diharapkan atau tujuan yang diinginkan, harus digambarkan secara jelas dan spesifik. Untuk setiap unit terdapat suatu standar untuk menentukan apa yang dimaksud dengan performansi atau tujuan yang diharapkan.
3. *Time* (waktu), sebagai parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem. Dalam hal ini, konsep *reliability* dinyatakan dalam suatu periode waktu. Peluang suatu sistem untuk digunakan selama setahun akan berbeda dengan peluang sistem tersebut untuk digunakan dalam sepuluh tahun.
4. *Condition* (kondisi), artinya perlakuan yang diterima suatu sistem memberikan pengaruh terhadap tingkat *reliability*. Dalam hal ini, kondisi lingkungan akan mempengaruhi umur sistem atau peralatan, seperti suhu, kelembaban dan kecepatan gerak. Hal ini menjelaskan bagaimana perlakuan yang diterima sistem dapat memberikan tingkat keandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya.

Terkait dengan *reliability* suatu sistem terdapat hal yang perlu diperhatikan yaitu kegagalan atau kerusakan, dimana sistem tersebut tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. Karakteristik kegagalan (produk, mesin, atau peralatan) dalam perjalanan sehubungan dengan waktu dapat digambarkan seperti grafik dibawah ini.



Grafik 2.1 Bath-Up Curve

- Fase I, disebut *Burn-in Region*, yaitu wilayah dimana mesin atau peralatan baru digunakan. Pada wilayah ini terjadi penurunan resiko kerusakan (*Decreasing Hazard Rate*). Kerusakan yang terjadi misalnya disebabkan kurangnya pengendalian kualitas produksi, pengecekan yang tidak sesuai, material di bawah standar, ketidaksempurnaan rancangan, kesalahan proses atau pemasangan awal.

- Fase II, disebut wilayah *Useful Life* atau fase umur pakai. Dalam hal ini, fase kerusakannya konstan (*Constant Hazard Rate*). Pada wilayah ini, kerusakan tidak dapat diprediksi, sehingga sering disebut kerusakan acak. Contoh penyebab terjadinya kerusakan pada fase ini adalah karena kesalahan operasional.
- Fase III, disebut wilayah *Wareout*, yaitu wilayah dimana umur ekonomis mesin atau peralatan telah habis atau melebihi batas yang diizinkan, sehingga resiko kerusakan akan meningkat (*Increasing Hazard Rate*). Penyebab kerusakannya adalah karena kurangnya perawatan, karena telah dipakai terlalu lama, terjadi karat atau perubahan fisik mesin atau peralatan tersebut. Pada wilayah ini, aktivitas *preventive maintenance* diperlukan untuk mengurangi tingkat kerusakan.

#### 2.2.4.3 Konsep Keterawatan (*Maintainability*)

Keterawatan (*maintainability*) adalah probabilitas bahwa komponen atau sistem yang rusak akan diperbaiki ke dalam suatu kondisi tertentu dalam periode waktu tertentu sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. Keterawatan juga dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu komponen atau sistem untuk bisa diperbaiki pada waktu tertentu.

#### 2.2.4.4 Konsep Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan (*availability*) adalah probabilitas suatu komponen atau sistem menunjukkan fungsi yang diharapkan pada suatu waktu tertentu ketika dioperasikan dalam kondisi operasional tertentu. Ketersediaan juga dapat diinterpretasikan sebagai persentase waktu suatu komponen atau sistem dapat beroperasi pada interval waktu tertentu atau persentase pengoperasian komponen dalam waktu yang tersedia. Angka probabilitas *availability* menunjukkan kemampuan komponen untuk berfungsi setelah dilakukan tindakan perawatan terhadapnya. Dengan demikian semakin besar nilai *availability* menunjukkan semakin tinggi kemampuan komponen tersebut, atau dapat dikatakan semakin nilai *availability* mendekati satu, maka semakin baik keadaan komponen tersebut untuk dapat beroperasi sesuai fungsinya

#### 2.2.5 Distribusi Kerusakan

Terdapat empat macam jenis distribusi yang umum digunakan untuk mengidentifikasi pola data kerusakan yang terbentuk, yaitu distribusi *Weibull*, *Exponential*, Normal dan Lognormal.

- Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini baik digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Terdapat dua parameter yang

digunakan dalam distribusi ini yaitu  $\theta$  yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan  $\beta$  yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*).

Dalam distribusi *Weibull* yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter  $\beta$ . Nilai-nilai  $\beta$  yang menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam tabel berikut :

Tabel 2.3 Nilai-Nilai Parameter  $\beta$

| Nilai                 | Laju Kerusakan                                           |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|
| $0 < \beta < 1$       | Pengurangan laju kerusakan (DFR)                         |
| $\beta = 1$           | Distribusi <i>Exponential</i> (CFR)                      |
| $1 < \beta < 2$       | Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>concave</i>         |
| $\beta = 2$           | Distribusi <i>Rayleigh</i> (LFR)                         |
| $\beta > 2$           | Peningkatan laju kerusakan (IFR), <i>convex</i>          |
| $3 \leq \beta \leq 4$ | Peningkatan laju kerusakan (IFR), mendekati kurva normal |

Jika parameter  $\beta$  mempengaruhi laju kerusakan maka parameter  $\theta$  mempengaruhi nilai tengah dari pola data.

- Distribusi *Exponential*

Distribusi *Exponential* digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat.

Distribusi ini merupakan distribusi yang paling mudah untuk dianalisa. Parameter yang digunakan dalam distribusi *Exponential* adalah  $\lambda$ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

- Distribusi Normal

Distribusi Normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan (kelelahan) atau kondisi *wearout* dari suatu *item*. Parameter yang digunakan adalah  $\mu$  (nilai tengah) dan  $\sigma$  (standar deviasi). Karena hubungannya dengan distribusi Lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisa probabilitas Lognormal.

- Distribusi Lognormal

Distribusi Lognormal menggunakan dua parameter yaitu  $s$  yang merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) dan  $t_{med}$  sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi *Weibull* juga sesuai dengan distribusi Lognormal.

### 2.2.6 Perhitungan *Index Of Fit*

Untuk menentukan jenis distribusi yang paling mewakili penyebaran suatu data kerusakan dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Least-Squares Curve-Fitting*. Dalam hal ini, proses yang harus dilakukan adalah mencari nilai *index of fit*

untuk masing-masing distribusi sehingga didapatkan nilai *index of fit* terbesar yang kemudian akan diuji lagi menurut hipotesa distribusinya.

*Index of fit* dihitung dengan mencari nilai  $r$  (koefisien korelasi) yang menunjukkan kekuatan hubungan linear antara variabel  $x$  dan  $y$ . Nilai  $r$  yang semakin mendekati 1 artinya bahwa terdapat korelasi atau hubungan linear yang kuat diantara variabel  $x$  dan  $y$ . Semakin kuat hubungan diantara variabel  $x$  dan  $y$ , maka semakin menyebar membentuk garis lurus atau linear, artinya data-data tersebut semakin mendekati suatu jenis distribusi tertentu. Berikut ini adalah rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai *index of fit* ( $r$ ) untuk masing-masing jenis distribusi.

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

Dimana :  $i$  = data waktu ke- $t$

$n$  = jumlah data kerusakan

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

Dimana nilai  $x_i$  dan  $y_i$  untuk masing-masing jenis distribusi adalah 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

$$x_i = t_i$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \rightarrow \text{diperoleh dari Tabel } Standardized Normal Probabilities$$

- Distribusi Lognormal

$$x_i = \ln(t_i)$$

$$y_i = z_i = \Phi^{-1}[F(t_i)] \rightarrow \text{diperoleh dari Tabel } Standardized Normal Probabilities$$

### 2.2.7 Goodness Of Fit Test

Setelah perhitungan *index of fit* dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengujian *goodness of fit* (uji kebaikan suai) untuk nilai *index of fit* (*r*) terbesar. Pengujian *goodness of fit* bertujuan untuk memastikan bahwa distribusi data –data yang diuji memiliki kecocokan dengan suatu jenis distribusi tertentu. Uji *goodness of fit* dilakukan dengan menggunakan *software minitab14*, dimana uji *goodness of fit* tersebut menggunakan metode *Anderson Darling Test*.

Langkah-langkah *Anderson Darling Test* tersebut adalah :

- Pada *worksheet* baru masukkan data TTF atau TTR pada kolom C1
- Pilih menu *Stat* → *Quality Tools* → *Individual Distribution Identification*

- Pada *dialog box*, untuk *single column* masukkan kolom C1
- Pada *dialog box*, untuk *specify*, pilih semua jenis distribusi (normal, lognormal, eksponensial, weibull)
- Pilih OK

### 2.2.8 Perhitungan Parameter

Setelah jenis distribusi kerusakan telah teridentifikasi, maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai parameter berdasarkan jenis distribusi yang terpilih. Berikut ini adalah rumus perhitungan parameter yang digunakan untuk masing-masing distribusi.

- Distribusi *Weibull*

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

$$\text{Dimana : } a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \text{dan} \quad b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

- Distribusi *Exponential*

Parameter :  $\lambda = b$

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

- Distribusi Normal

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

$$\text{Dimana : } a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \text{dan} \quad b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

- Distribusi Lognormal

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

$$\text{Dimana : } a = \bar{y} - b\bar{x} \quad \text{dan} \quad b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}$$

### 2.2.9 Perhitungan *Mean Time To Failure* (MTTF)

*Mean Time To Failure* (MTTF) merupakan rata-rata selang waktu kerusakan dari suatu distribusi kerusakan. Perhitungan nilai MTTF berbeda-beda sesuai dengan jenis distribusi yang terpilih untuk penyebaran data *Time To Failure* (TTF). Rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai MTTF untuk masing-masing jenis distribusi adalah sebagai berikut :

- Distribusi *Weibull*

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

Nilai  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \rightarrow$  didapat dari nilai  $\Gamma(x)$  pada Tabel *Gamma Function*

- Distribusi *Exponential*

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

- Distribusi Normal

$$MTTF = \mu$$

- Distribusi Lognormal

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

#### 2.2.10 Perhitungan *Mean Time To Repair* (MTTR)

*Mean Time To Repair* (MTTR) merupakan waktu rata-rata dari interval waktu perbaikan atau TTR. Dalam perhitungan nilai MTTR, perbedaan distribusi data TTR untuk setiap komponen kritis juga akan menyebabkan adanya perbedaan untuk cara perhitungan MTTR. Parameter yang digunakan juga berbeda sesuai dengan jenis distribusinya. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk perhitungan nilai MTTR berdasarkan jenis distribusi masing-masing.

- Distribusi *Weibull*

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

Nilai  $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \rightarrow$  didapat dari nilai  $\Gamma(x)$  pada Tabel *Gamma Function*

- Distribusi *Eksponential*

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

- Distribusi Normal dan Lognormal

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

### 2.2.11 Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa pada dasarnya, *downtime* didefinisikan sebagai waktu suatu sistem atau komponen tidak dapat digunakan (tidak berada dalam kondisi yang baik) sehingga membuat fungsi sistem tidak berjalan. Prinsip utama dalam manajemen sistem perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting.

Permasalahannya adalah penentuan waktu terbaik untuk mengetahui kapan penggantian harus dilakukan untuk meminimasi total *downtime*. Konflik yang dihadapi adalah :

1. Peningkatan frekuensi penggantian dapat meningkatkan *downtime* karena penggantian tersebut, tetapi dapat mengurangi waktu *downtime* akibat terjadi kerusakan.

2. Pengurangan frekuensi penggantian akan menurunkan *downtime* karena penggantian, tetapi konsekuensinya adalah kemungkinan peningkatan *downtime* karena kerusakan.

Dari dua kondisi di atas, diharapkan untuk dapat menghasilkan keseimbangan diantara keduanya.

Secara umum, ada dua jenis model standar bagi permasalahan penggantian yaitu :

1. *Block Replacement*

Pada model *block replacement*, tindakan penggantian dilakukan pada suatu interval yang tetap. Model ini digunakan jika diinginkan adanya konsistensi interval penggantian pencegahan yang telah ditentukan, walau sebelumnya telah terjadi penggantian yang disebabkan adanya kerusakan. Jika pada selang waktu  $tp$  tidak terdapat kerusakan, maka tindakan penggantian dilakukan pada suatu interval  $tp$  yang tetap. Jika sistem rusak sebelum jangka waktu  $tp$ , maka dilakukan penggantian kerusakan dan penggantian selanjutnya akan tetap dilakukan pada saat  $tp$  dengan mengabaikan penggantian perbaikan sebelumnya.

2. *Age Replacement*

Pada model ini penggantian pencegahan dilakukan tergantung pada umur pakai dari komponen. Tujuan model ini menentukan umur optimal dimana penggantian pencegahan harus dilakukan sehingga dapat meminimasi *total downtime*. Dalam

metode ini tindakan penggantian dilakukan pada saat pengoperasiannya sudah mencapai umur yang ditetapkan yaitu sebesar  $tp$ .

Jika pada selang waktu  $tp$  tidak terdapat kerusakan, maka dilakukan penggantian sebagai tindakan korektif. Perhitungan umur tindakan penggantian  $tp$  dimulai dari awal lagi dengan mengambil acuan dari waktu mulai bekerjanya sistem kembali setelah dilakukan tindakan perawatan korektif tersebut.

Model penentuan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria minimasi *downtime* yang digunakan adalah *Age Replacement*. Formulasi perhitungan untuk model *age replacement* adalah sebagai berikut :

$$D(tp) = \frac{\text{Total ekspektasi downtime per siklus}}{\text{ekspektasi panjang siklus}}$$

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

Dimana :

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

$tp$  = panjang dari siklus (interval waktu) *preventive*

$T_p$  = *downtime* karena tindakan *preventive* (waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena tindakan *preventive*)

$T_f$  = *downtime* karena kerusakan komponen (waktu yang diperlukan untuk penggantian komponen karena kerusakan)

$R(tp)$  = peluang dari siklus *preventive* (pencegahan)

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

Nilai tingkat ketersediaan (*availability*) dari interval penggantian pencegahan dapat diketahui dengan rumus  $A(tp) = 1 - D(tp)_{min}$ .

### 2.2.12 Penentuan Interval Waktu Pemeriksaan Optimal

Selain aktivitas penggantian pencegahan, juga perlu dilakukan aktivitas pemeriksaan yang dilakukan secara berkala. Langkah-langkah perhitungan interval waktu pemeriksaan yang optimal adalah :

- Waktu rata-rata 1x perbaikan  $(1/\mu) = \frac{MTTR}{\text{jam kerja/bln}}$
- Waktu rata-rata 1x pemeriksaan  $(1/i) = \frac{\text{waktu 1 x pemeriksaan}}{\text{jam kerja/bln}}$
- Rata-rata kerusakan dalam 1 bulan  $(k) = \frac{\text{jumlah kerusakan/thn}}{12 \text{ bulan}}$
- Jumlah pemeriksaan optimal  $(n) = \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}}$
- Interval waktu pemeriksaan  $(ti) = \frac{\text{jam kerja/bln}}{n}$

Nilai tingkat ketersediaan (*availability*) jika dilakukan sejumlah  $n$  pemeriksaan dapat diketahui dengan rumus  $A(n) = 1 - D(n)$ ,

$$\text{Dengan } D(n) = \frac{k}{n \times \mu} + \frac{n}{i}$$

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

$n$  = jumlah pemeriksaan per satuan waktu

$\mu$  = berbanding terbalik dengan  $1/\mu$

$i$  = berbanding terbalik dengan  $1/i$

### 2.2.13 Perhitungan *Availability* Total

Perhitungan tingkat *availability* total komponen kritis bertujuan untuk mengetahui tingkat ketersediaan atau kesiapan mesin untuk beroperasi kembali saat mesin tersebut telah diperbaiki.

Tingkat ketersediaan berdasarkan interval waktu penggantian pencegahan dan tingkat ketersediaan berdasarkan interval pemeriksaan merupakan dua kejadian yang saling bebas dan tidak saling mempengaruhi. Sehingga berdasarkan teori peluang dua kejadian bebas, nilai peluang kejadian saling bebas sama dengan hasil perkalian kedua *availability* tersebut.

### 2.2.14 Perhitungan *Reliability*

Peningkatan keandalan (*reliability*) dapat ditempuh dengan cara *preventive maintenance*. Dengan menerapkan *preventive maintenance* maka dapat mengurangi pengaruh umur atau *wearout* mesin atau komponen dan memberikan hasil yang signifikan terhadap umur sistem. Model keandalan berikut mengasumsikan bahwa

sistem kembali ke kondisi baru setelah dilakukannya tindakan *preventive maintenance* :

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

$$R(T)^n = \exp\left[-n\left(\frac{T}{\theta}\right)^\beta\right]$$

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

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

Dimana :

$T$  = interval waktu pemeliharaan (penggantian pencegahan atau *service*)

$n$  = jumlah pemeliharaan yang telah dilakukan sampai kurun waktu  $t$

$R(t)$  = keandalan pada kondisi berjalan (saat ini)

$R(T)^n$  = probabilitas keandalan dengan  $n$  kali *preventive maintenance*

$R(t-nT)$  = probabilitas keandalan untuk waktu  $(t-nT)$  dari tindakan *preventive maintenance* yang terakhir

$R_m(t)$  = probabilitas keandalan setelah diterapkannya usulan *preventive maintenance*

### 2.2.15 Perhitungan Biaya *Failure* dan Biaya *Preventive*

Pemeliharaan yang baik akan dilakukan dalam setiap interval waktu tertentu dan pada waktu proses produksi sedang tidak berjalan. Semakin sering pemeliharaan suatu mesin dilakukan akan meningkatkan biaya pemeliharaan. Disisi lain, jika pemeliharaan tidak dilakukan akan mengurangi *performance* kerja dari mesin tersebut. Pola *maintenance* yang optimal perlu dicari supaya antara biaya pemeliharaan dan biaya kerusakan bisa seimbang pada *total cost* yang paling minimal.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka biaya *failure* ( $C_f$ ) dapat didefinisikan sebagai biaya yang timbul karena terjadi kerusakan pada mesin di luar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi terhenti ketika produksi sedang berjalan. Sedangkan biaya *preventive* ( $C_p$ ) merupakan biaya yang timbul karena adanya pemeliharaan pencegahan terhadap mesin yang memang sudah dijadwalkan. Perhitungan biaya satu siklus *failure* dan satu siklus *preventive* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini :

$C_f$  = biaya satu siklus *failure*

$$= ((\text{biaya tenaga kerja/jam} + \text{biaya kehilangan produksi}) \times T_f) + \text{harga komponen}$$

$C_p$  = biaya satu siklus *preventive*

$$= (\text{biaya tenaga kerja/jam} \times T_p) + \text{harga komponen}$$

Dimana :  $T_f$  = waktu standar perbaikan *failure*

$T_p$  = waktu standar perbaikan *preventive*

Untuk menghitung total biaya *failure* ( $T_c(tf)$ ) dan total biaya *preventive* ( $T_c(tp)$ ) rumus yang digunakan adalah :

- Total Biaya *Failure*

$$T_c(tf) = \frac{C_f}{tf}$$

Dimana :  $C_f$  = biaya satu siklus *failure*

$tf$  = merupakan nilai MTTF

Sedangkan untuk total biaya *failure* per bulan didapatkan dengan menggunakan rumus :

$$T_c(tf) \text{ per bulan} = T_c(tf) \times tf \times k_f$$

$$k_f = \frac{\text{Jam Kerja/bulan}}{\text{MTTF}}$$

Dimana :  $k_f$  = frekuensi pemeliharaan kondisi berjalan

- Total Biaya *Preventive*

$$T_c(tp) = \frac{C_p \times R + C_f(1 - R)}{tp \times R + tf(1 - R)}$$

Dimana :  $C_p$  = biaya *preventive*

$C_f$  = biaya *failure*

$tp$  = interval waktu *preventive*

$tf$  = merupakan nilai MTTF

$R$  = merupakan nilai *reliability* saat  $R(tp)$

Sedangkan untuk total biaya *preventive* per bulan didapatkan dengan menggunakan rumus :

$$Tc(tp) \text{ per bulan} = Tc(tp) \times tp \times kp$$

$$kp = \frac{\text{Jam Kerja/bulan}}{\text{MTTF}}$$

Dimana :  $kp$  = frekuensi pemeliharaan usulan *preventive maintenance*

### 2.2.16 RCA ( *Root Cause Analysis* )

RCA merupakan salah satu metode kualitatif untuk melakukan analisa penyebab terjadinya kegagalan. RCA melakukan kegiatan *proactive* sebelum dan juga bisa sesudah terjadinya kegagalan. Tujuan utama dari RCA adalah mencari penyebab terjadinya ketidakefisienan dan ketidakekonomisan, mengkoreksi penyebab kegagalan (tidak hanya berkonsentrasi pada efeknya saja), membangkitkan semangat untuk melakukan *improvement* secara terus menerus, dan menyediakan data untuk mencegah terjadinya kegagalan.

Tujuan dari RCA adalah :

- Meningkatkan *reliability*
- Meningkatkan kepuasan pelanggan
- Mengurangi biaya

Alasan RCA diperlukan adalah :

- Kerusakan tidak benar – benar dapat diatasi hanya dengan memperbaiki saja.
- Mencari solusi terbaik untuk mengatasi masalah dari mesin atau peralatan.
- Kerusakan dari salah satu komponen dapat menimbulkan kerusakan lainnya.
- Dengan melakukan tindakan pencegahan dapat memberikan rasa aman yang lebih.
- Dapat belajar dari kesalahan yang terjadi.

Langkah – langkah dari RCA adalah :

- Mendefinisikan masalah
- Menganalisa masalah
- Mencari penyebab masalah
- Memberikan solusi
- Melaksanakan solusi
- Memonitor solusi

Salah satu metode yang digunakan dalam RCA adalah *event* dan *causal factor analysis*. *Event* dan *causal factor analysis* ini dapat digunakan untuk masalah yang cukup kompleks yang memiliki hubungan keterkaitan satu dengan lain. *Event* merupakan kejadian yang sebenarnya atau kerusakan yang terjadi. *Causal factor* merupakan kondisi atau kejadian yang mengakibatkan suatu efek.

Didalam *event* dan *causal factor analysis* ada tiga hal yang harus diperhatikan yaitu *direct cause*, *contributing cause*, dan *root cause*. *Direct cause* merupakan penyebab yang berhubungan langsung dengan kejadian yang terjadi. *Contributing cause* merupakan penyebab yang memberikan pengaruh terhadap suatu kejadian, tetapi tidak berdiri sendiri. *Root cause* merupakan penyebab yang jika dapat diatasi maka dapat mencegah terjadinya kejadian atau masalah yang sama.

Elemen – elemen sebab yang akan digunakan untuk analisa adalah :

1. *Equipment / Material Worksheet*

1A = Defective or failed part

1B = *Defective or failed material*

1C = *Defective weld, braze, or soldered joint*

1D = *Error by Manufacturer in shipping or marking*

1E = *Electrical or instrument noise*

1F = *Contamination*

2. *Procedure Worksheet*

2A = *Defective or inadequate procedure*

2B = *Lack of Procedure*

### 3. *Personel Error Worksheet*

3A = *Inadequate work environment*

3B = *Inattention to detail*

3C = *Violation or Requirement or procedure*

3D = *Verbal communication problem*

3E = *Other human Error*

### 4. *Design Problem Worksheet*

4A = *Inadequate man-machine interface*

4B = *Inadequate or defective design*

4C = *Error in equipment or material selection*

4D = *Drawing, spesification, or data errors*

### 5. *Training Deficiency Worksheet*

5A = *No training provided*

5B = *Insufficient practice or hands-on experience*

5C = *Inadequate content*

5D = *Insufficient refresher training*

5E = *Inadequate presentation or materials*

6. *Management Problem Worksheet*

6A = *Inadequate administrative control*

6B = *Work organization / planning deficiency*

6C = *Inadequate supervision*

6D = *Improper resource allocation*

6E = *Policy not adequately define*

6F = *Other management problem*

7. *External Phenomena Worksheet*

7A = *Weather or ambient condition*

7B = *Power failure or transient*

7C = *External fire or explosion*

7D = *Theft, tampering, sabotage, or vandalism*

### 2.3 Simulasi *Monte Carlo*

Simulasi merupakan salah satu cara untuk memecahkan berbagai persoalan yang dihadapi di dunia nyata, dan dapat memberikan hasil yang cukup baik bila digunakan untuk memecahkan berbagai persoalan, termasuk dalam pembuatan perencanaan kegiatan. Simulasi merupakan pendekatan yang dapat digunakan untuk memecahkan berbagai masalah yang mengandung ketidakpastian dan kemungkinan jangka panjang yang tidak dapat diperhitungkan dengan seksama. Dengan demikian, secara umum simulasi dapat diartikan sebagai suatu sistem yang digunakan untuk memecahkan atau menguraikan persoalan-persoalan dalam kehidupan nyata yang penuh dengan ketidakpastian dengan tidak atau menggunakan model atau metode tertentu dan lebih ditekankan pada pemakaian komputer untuk mendapatkan solusinya.

Ada beberapa keuntungan yang bisa diperoleh dengan memanfaatkan simulasi, yaitu :

#### 1. Menghemat waktu

Kemampuan di dalam menghemat waktu ini dapat dilihat dari pekerjaan yang bila dikerjakan dapat memakan waktu tahunan, namun dapat disimulasikan hanya dalam beberapa menit atau bahkan dalam hitungan detik. Kemampuan ini dipakai oleh para peneliti untuk melakukan berbagai pekerjaan desain operasional yang juga memperhatikan bagian terkecil dari waktu untuk kemudian dibandingkan dengan yang terdapat pada sistem yang sebenarnya.

2. Dapat melebar-luaskan waktu

Simulasi dapat digunakan untuk menunjukkan perubahan struktur dari suatu sistem nyata (*real system*) yang sebenarnya tidak dapat diteliti pada waktu yang seharusnya (*real time*). Dengan demikian, simulasi dapat membantu mengubah sistem nyata dengan memasukkan sedikit data.

3. Dapat mengendalikan sumber-sumber variasi

Kemampuan pengendalian dalam simulasi ini tampak apabila statistik digunakan untuk meninjau hubungan antara variabel bebas (*independent*) dengan variabel terkait (*dependent*) yang merupakan faktor-faktor yang akan dibentuk dalam percobaan. Dalam simulasi pengambilan data dan pengolahannya pada komputer, ada beberapa sumber yang dapat dihilangkan atau sengaja ditiadakan.

4. Memperbaiki kesalahan perhitungan

Dalam prakteknya, pada suatu kegiatan ataupun percobaan dapat saja muncul kesalahan dalam mencatat hasil-hasilnya. Sebaliknya, dalam simulasi komputer jarang ditemukan kesalahan perhitungan terutama bila angka-angka diambil dari komputer secara teratur dan bebas. Komputer mempunyai kemampuan untuk melakukan penghitungan dengan akurat.

5. Dapat dihentikan dan dijalankan kembali

Simulasi komputer dapat dihentikan untuk kepentingan peninjauan ataupun pencatatan semua keadaan yang relevan tanpa berakibat buruk terhadap program simulasi tersebut. Dalam dunia nyata, percobaan tidak dapat dihentikan begitu saja, namun dalam simulasi komputer, setelah dilakukan penghentian maka kemudian dapat dengan cepat dijalankan kembali.

6. Mudah diperbanyak

Dengan simulasi komputer, percobaan dapat dilakukan setiap saat dan dapat diulang-ulang. Pengulangan dilakukan terutama untuk mengubah berbagai komponen dan variabelnya, seperti perubahan parameter, perubahan kondisi operasi, atau perubahan jumlah *output*.

Simulasi *Monte Carlo* dikenal juga dengan istilah *Sampling Simulation* atau *Monte Carlo Sampling Technique*. Simulasi ini menggambarkan kemungkinan penggunaan data sampel dalam metode *Monte Carlo* yang juga sudah dapat diketahui atau diperkirakan distribusinya. Simulasi ini menggunakan data yang sudah ada (*historical data*) yang sebenarnya dipakai untuk tujuan lain. Dengan kata lain apabila menghendaki model simulasi yang mengikutsertakan *random* dan *sampling* dengan distribusi probabilitas yang dapat diketahui dan ditentukan, maka cara simulasi ini dapat dipergunakan.

Kunci dari metode *Monte Carlo* terletak pada pembangkitan bilangan *random* yang digunakan untuk mewakili ketidakpastian atau risiko yang diamati. Sebelum hal ini dilakukan terlebih dahulu pendefinisian tingkat probabilitas yang ada pada setiap elemen yang mengandung unsur risiko. Tingkat probabilitas tersebut kemudian diterjemahkan dalam bilangan *random* yang dihasilkan dari generator bilangan acak (*random*). Langkah-langkah untuk melakukan simulasi *Monte Carlo* adalah sebagai berikut :

1. Tentukan distribusi probabilitas untuk variabel yang penting.
2. Membangun distribusi kumulatif untuk masing-masing variabel.
3. Menentukan interval bilangan *random* untuk setiap variabel.
4. Bangkitkan bilangan *random*.
5. Membuat simulasi dari rangkaian percobaan.

## 2.4 Wagner Within

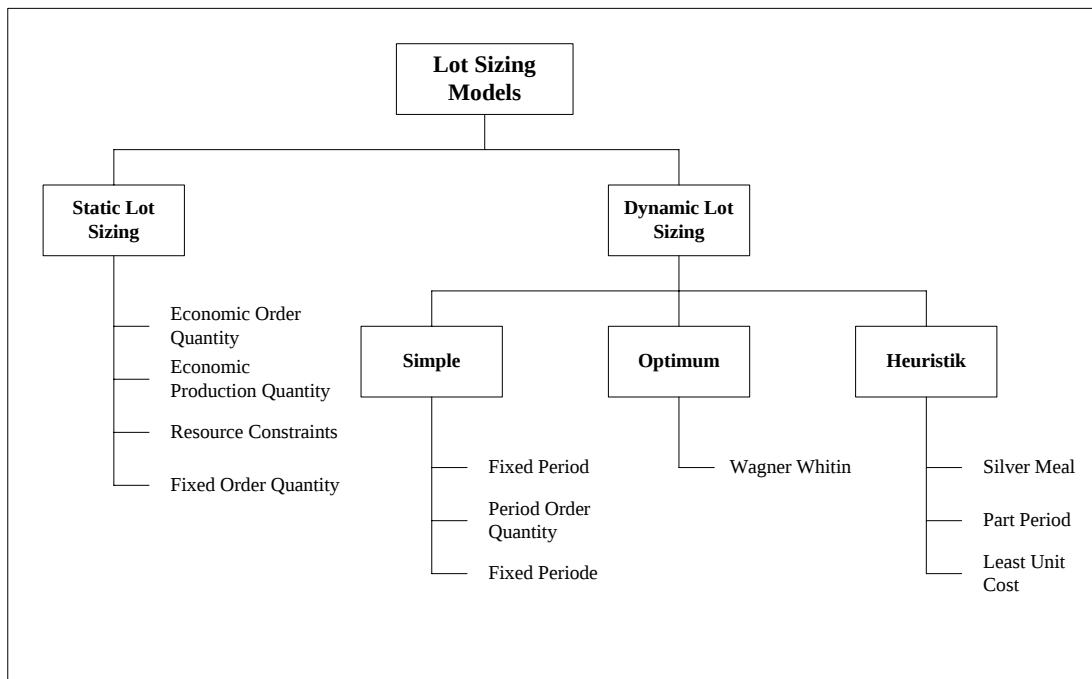
Teknik *lotting* adalah suatu proses untuk menentukan besarnya jumlah pesanan optimal dan kapan pemesanan yang sebaiknya dilakukan untuk meminimumkan pengalokasian biaya pemesanan dan penyimpanan untuk setiap item secara individual didasarkan pada hasil perhitungan kebutuhan bersih yang telah dilakukan. Ada banyak alternatif metode untuk menentukan ukuran lot. Beberapa teknik diarahkan untuk meminimalkan total biaya pemesanan dan biaya penyimpanan.

Teknik-teknik *lotting* dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu teknik sederhana (*simple*), teknik *heuristic* dan teknik optimasi.

Teknik *lotting* dikembangkan untuk tipe *demand* yang *independent* dengan berdasarkan beberapa asumsi, yaitu:

1. Tingkat permintaan (*demand*) diketahui secara pasti namun bervariasi dari satu periode ke periode berikutnya.
2. *Horizon* (periode) perencanaan diketahui dengan pasti dan terdiri dari beberapa periode waktu yang sama.
3. Seluruh kebutuhan pada awal periode perencanaan dapat tersedia. Tidak diijinkan adanya kondisi *stockout*.
4. Biaya penyimpanan diaplikasikan hanya pada *inventory* akhir periode ataupun *inventory* yang tertahan dari satu periode ke periode selanjutnya.
5. Seluruh *item* (bahan/barang) bersifat bebas (*independent*) antara satu dengan lainnya.

6. Tidak diperhitungkan adanya potongan harga dari *supplier* (*quantity discount*).
7. Segala biaya inventori (*holding cost* dan *ordering cost*) serta *lead time* masing-masing bahan diketahui dengan pasti dan konstan untuk setiap periode perencanaan.



Gambar 2.2 Klasifikasi Model *Lot Sizing*

Algoritma Wagner Whitin menghasilkan solusi yang optimal bagi permasalahan pemesanan bagi *demand* yang *deterministic* pada periode perencanaan yang diketahui. Algoritma Wagner Whitin adalah suatu pendekatan *dynamic programming* yang digunakan untuk mendapatkan kebijakan biaya minimum.

Berikut Rumus Perhitungan Algoritma Wagner Whitin :

$$K_{t,l} = A + h \left( \sum_{j=t+1}^l (j-t) D_j \right) \quad t = 1, 2, \dots, n; l = t+1, t+2, \dots, n$$

Dimana :  $K_{t,l}$  = Total biaya pada perhitungan periode  $t, l$

$D$  = Jumlah permintaan

$A$  = Biaya pemesanan per periode

$h$  = Biaya penyimpanan per unit per periode perencanaan

$$K_l^* = \min_{t=1,2,\dots,l} \{K_{t-1}^* + K_{t,l}\} \quad l = 1, 2, \dots, N$$

Tabel 2.4 Format Contoh tabel Wagner Whitin

| Periode (l)               | 1                     | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Permintaan ( $D_l$ )      |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| Biaya Pemesanan ( $A$ )   |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| Biaya Penyimpanan ( $h$ ) |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| T                         | $K_{t-1}^* + K_{t,l}$ |   |   |   |   |   |   |   |
| 1                         |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| 2                         |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| 3                         |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| 4                         |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| 5                         |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| 6                         |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| 7                         |                       |   |   |   |   |   |   |   |
| $K_l^*$                   |                       |   |   |   |   |   |   |   |

## 2.5 Penjadwalan

Secara umum, penjadwalan merupakan proses dalam perencanaan dan pengendalian produksi yang digunakan untuk merencanakan produksi serta pengalokasian sumber daya yang ada pada suatu waktu tertentu dengan memperhatikan kapasitas sumber daya yang dimilikinya.

Penjadwalan berperan penting dalam dunia industri terutama dalam industri manufaktur. Penjadwalan tidak terlepas dari namanya *sequencing* yaitu pengurutan pekerjaan mana harus terlebih dahulu dikerjakan dalam usaha untuk memenuhi pesanan dari konsumen. Menurut (Ginting, 2009), penjadwalan merupakan pengurutan pembuatan / pengerjaan produk secara menyeluruh yang dikerjakan pada beberapa buah mesin. Penjadwalan dapat menjadi suatu masalah apabila terdapat sekumpulan *job* yang datang secara bersamaan pada waktu tertentu (perhari, perminggu, perbulan atau skala waktu lainnya), sedangkan fasilitas yang dimiliki oleh perusahaan sangat terbatas dan bila hal ini terjadi maka akan diberlakukan aturan prioritas.

Untuk membuat suatu penjadwalan maka masukan yang dibutuhkan yaitu mencakup jenis dan banyaknya pekerjaan yang akan diproses, proses produksi, waktu proses untuk masing – masing operasi serta kuantitas pesanan dari pelanggan. Dari masukan tersebut, maka penjadwalan akan menghasilkan urutan – urutan pekerjaan / *job* yang akan dijadwalkan. Dengan adanya penjadwalan yang baik, maka produktivitas mesin akan semakin meningkat dan dapat mempersingkat waktu produksi, sehingga perusahaan dapat mengurangi ongkos produksi. Jika tujuan

penjadwalan tersebut dapat tercapai, maka dapat juga memberikan keuntungan dan strategi bagi perusahaan dalam menjaga hubungan dengan pelanggan.

### 2.5.1 Metode Gupta

Metode Gupta merupakan suatu metode penjadwalan *flow Shop* yang *heuristik* yang dikemukakan oleh Gupta pada tahun 1972. Penjadwalan *flow Shop* (Baker, 1974) merupakan suatu pergerakan unit - unit yang terus - menerus melalui suatu rangkaian stasiun - stasiun kerja yang disusun berdasarkan produk. *Heuristik* merupakan suatu sistem yang biasanya digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan penjadwalan dengan menggunakan 2 mesin dan penggunaan algoritma johnson.

Langkah-langkah pengerjaan metode Gupta:

1. Tampilkan data waktu tiap *job* pada setiap mesin disertai data pesanan terhadap produk yang berkaitan.
2. Jumlahkan waktu proses masing - masing *job* antar dua mesin yang berurutan.

Contoh:  $(P_{1j}+P_{2j}), (P_{2j}+P_{3j}), \dots, (P_{(m-1)j}+P_{mj})$

Dimana:  $P_{ij}$  = Waktu job *j* pada mesin *i*

$M$  = jumlah mesin

3. Pilih waktu proses terkecil untuk setiap masing-masing kelompok penjumlahan 2 mesin diatas.

4. Menentukan nilai  $e_i$  dengan membandingkan  $P_{i1}$  (waktu proses *job* 1) dengan  $P_{im}$  (waktu proses terkecil yang didapat dari tiap mesinnya) dengan syarat ketentuan sebagai berikut:

Jika  $P_{i1} < P_{im}$ , maka  $e_i = 1$

Jika  $P_{i1} \geq P_{im}$ , maka  $e_i = -1$

5. Hitung nilai  $S_i$  dengan syarat:

$$S_i = \frac{e_i}{\min[(P_1 + P_2), (P_2 + P_3), (P_3 + P_4), (P_4 + P_5)]}$$

6. mengurutkan nilai  $S_i$  dari masing – masing *Job* dimulai dari *job* yang memiliki nilai  $S_i$  terbesar hingga *job* yang memiliki nilai  $S_i$  terkecil.
7. Berdasarkan urutan pengerjaan yang telah diperoleh, lalu hitung nilai *makespan*. Apabila terdapat 2 alternatif urutan pengerjaan, maka pilih nilai *makespan* yang paling minim. Namun bila hanya diperoleh 1 alternatif urutan maka sudah merupakan *makespan* yang paling minim.