

**BAB 3**  
**LANDASAN TEORI**

**3.1. Definisi Kualitas**

Faktor utama penentu kinerja suatu perusahaan adalah kualitas produk yang dihasilkan. Produk yang berkualitas adalah produk yang memiliki kualitas yang sesuai dengan keinginan konsumen. Karena itu kualitas dapat didefinisikan sebagai segala sesuatu yang mampu memenuhi keinginan atau kebutuhan konsumen (*meet the needs of costumers*).

Beberapa definisi kualitas suatu produk adalah sebagai berikut:

- a. Menurut Juran (1974), "*quality is fitness for use*" kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan atau manfaatnya, artinya suatu produk didesain untuk melakukan tugasnya dengan baik yang masing-masing memiliki kriteria dan standarnya sendiri.
- b. Menurut Crosby (1979), "*quality is conformance to requirements or spesification*" yang artinya kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan atau spesifikasinya.
- c. Menurut Deming kualitas seharusnya disesuaikan dengan kebutuhan konsumen untuk masa sekarang dan masa yang akan datang. Untuk alasan itulah maka sangat penting untuk mengukur keinginan atau kebutuhan konsumen secara terus-menerus. (Kolarik 1995).

### **3.2. Definisi Pengendalian Kualitas**

Menurut Feigenbaum (1983), pengendalian kualitas adalah suatu sistem yang efektif untuk memadukan pengembangan, pemeliharaan, dan perbaikan kualitas berbagai kelompok dalam sebuah organisasi agar pemasaran, rekayasa, produksi, dan jasa dapat berada pada tingkatan yang paling ekonomis sehingga pelanggan mendapat kepuasan penuh.

Menurut Mitra (1998) pengendalian kualitas adalah suatu sistem yang digunakan untuk memelihara atau mempertahankan level dari kualitas pada suatu produk atau jasa yang diinginkan. Supaya tugas tersebut dapat tercapai maka dapat dilakukan berbagai pengukuran yang berbeda seperti: perencanaan, perancangan, menggunakan alat dan prosedur yang tepat, pemeriksaan dan melakukan kegiatan perbaikan apabila ditemukan hasil yang tidak sesuai dengan standar.

Pengendalian kualitas adalah suatu proses untuk melakukan pengukuran terhadap produk yang dihasilkan dan membandingkan hasil produk dengan standar yang ada, apakah sesuai dengan standar yang ada.

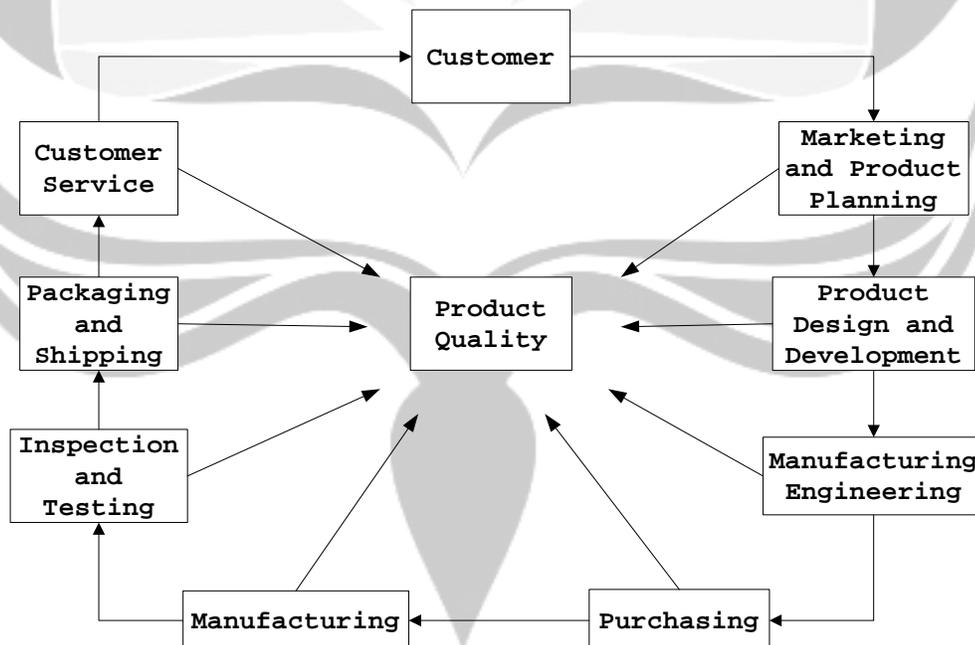
Manfaat pengendalian kualitas adalah sebagai berikut (Mitra, 1998):

- a. Perbaikan kualitas produk dan jasa.
- b. Dapat digunakan untuk mengevaluasi dan memodifikasi sistem secara berkelanjutan untuk memenuhi dan mengetahui perubahan konsumen.
- c. Sistem pengendalian kualitas meningkatkan produktivitas, yang merupakan tujuan utama dari sebuah perusahaan.
- d. Mengurangi biaya pada jangka waktu yang lama.

- e. Mengurangi lamanya waktu anjang (lead time) pada produksi part dan sub perakitan, yang mana akan menghasilkan peningkatan dalam penyesuaian waktu anjang dengan jangka waktu permintaan konsumen.
- f. Sistem pengendalian kualitas memelihara lingkungan kerja yang berusaha mencapai hasil dari pengembangan yang terus menerus dalam kualitas dan produktivitas.

### 3.3. Jaminan Kualitas

Jaminan kualitas harus dievaluasi dan diawasi mengenai tanggung jawab masing-masing departemen agar memperoleh produk atau jasa yang berkualitas. Berikut ini adalah tanggung jawab berbagai departemen yang menjamin suatu kualitas produk:



**Gambar 3.1. Responsibility for Quality**

Sumber : Mitra, A., 1998

Departemen *Marketing and Product Planning* bertugas untuk menentukan kebutuhan dan permintaan dari konsumen. Departemen ini harus memberikan informasi mengenai harga dimana konsumen mau untuk membayar produk yang dibuat. Selain itu juga bertugas untuk mencari data mengenai faktor yang mempengaruhi kualitas dari pendisainan produk. Hal ini dapat dilakukan dengan kuisioner, keluhan dari pelanggan, dan lain-lain.

Tanggung jawab dari departemen *Produk Design and Development* adalah mengembangkan atau menghasilkan spesifikasi produk, menentukan bahan baku atau komponen yang digunakan dan memutuskan performansi karakteristik dari produk.

*Manufacturing Engineering* bertanggung jawab untuk menentukan proses manufakturnya secara detail. Dimana departemen tersebut akan mendisain peralatan, metode kerja dan prosedur, alat pemeriksaan dan urutan operasi supaya produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasinya.

Departemen *Purchasing* bertugas untuk mendapatkan bahan baku dan komponen yang dibutuhkan untuk membuat suatu produk. Bagian *purchasing* harus memilih dan menyeleksi dengan teliti bahan baku dan komponen yang diperoleh dari pemasok dan akan digunakan dan harus sesuai dengan standard kualitasnya.

Departemen *Manufacturing* bertanggung jawab untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Untuk itu harus dilakukan kontrol terhadap operasi, parameter proses dan performansi operator.

Departemen *Inspection and Testing* bertanggung jawab untuk menilai kualitas dari material dan komponen yang datang serta kualitas dari produk atau jasa yang dihasilkan.

Departemen *Packaging and Shipping* harus memperhatikan bagaimana produk tersebut dikemas dan dikirim ke konsumen. Kemasan suatu produk akan menjamin keadaan produk yang ada di dalamnya. Jika kemasannya buruk atau rusak maka produk juga dapat rusak. Dengan adanya kemasan yang baik maka akan menjaga kualitas produk selama proses penyimpanan dan pengiriman ke konsumen.

Departemen *Customer Service* bertanggung jawab dalam pemasangan, perawatan dan perbaikan produk. Dengan pelayanan yang baik terhadap konsumen maka konsumen akan puas.

#### **3.4. Metode Taguchi**

Metode Taguchi adalah suatu metode yang ditemukan oleh seorang *engineer* dari Jepang yang bernama Genichi Taguchi yang memiliki ide mengenai *quality engineering* dimana tujuan desain kualitas diterapkan ke dalam setiap produk dan proses yang berhubungan. Di dalam metode Taguchi, kualitas diukur berdasarkan deviasi dari karakteristik terhadap nilai targetnya (Mitra, 1998).

Taguchi memiliki pandangan bahwa kualitas berhubungan dengan biaya dan kerugian dalam unit moneter. Kerugian yang diderita mencakup pada proses

produksinya dan kerugian yang diderita konsumen. Definisi kualitas menurut Taguchi adalah "*The quality of a product is the (minimum) loss imparted by the product to society from the time the product is shipped*", yang berarti bahwa kualitas suatu produk adalah kerugian minimum yang diberikan oleh suatu produk kepada masyarakat atau konsumen sejak mulai produk tersebut siap untuk dikirim ke konsumen. Dengan definisi tersebut maka tujuan dari pengusaha pabrik seharusnya menyediakan produk dan jasa yang sesuai dengan kebutuhan dan harapan konsumen dengan harga atau biaya yang mewakili nilai konsumen. Dari definisi tersebut maka terdapat sudut pandang yang baru dimana kualitas tidak hanya pada proses produksi saja, kualitas dikaitkan dengan biaya dan kualitas dikaitkan dengan kerugian kepada masyarakat (produsen dan konsumen). Adapun tujuan fungsi kerugian Taguchi (*loss function*) adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi (Belavendram, 1995).

Selain itu Taguchi menyatakan 2 pendekatan pengendalian kualitas yaitu *on line quality control* dan *off line quality control* (Belavendram, 1995).

*On line quality control (production process design)* adalah kegiatan pengendalian kualitas yang dilakukan selama proses produksi berlangsung dengan menggunakan *Statistical Process Control (SPC)*. Sifat *On line quality control* adalah reaktif atau tindakan pengendalian kualitas yang dilakukan setelah kegiatan produksi berjalan, dengan kata lain jika produksi yang

dihasilkan tidak memenuhi spesifikasi yang diharapkan, tindakan perbaikan baru dilakukan.

*Off line quality control (product design)* lebih bersifat preventif yang artinya adalah pengendalian kualitas yang dilakukan sebelum proses produksi berjalan sehingga kemungkinan adanya cacat produk dan masalah kualitas diharapkan dapat diatasi sebelum proses produksi berjalan.

Pada aktivitas *off-line quality control* dapat digunakan untuk mengoptimasi desain produk dan proses. Tiga tahap pada desain proses tersebut adalah (Belavendram, 1995):

1. *System design*

*System design* merupakan tahap awal yang berkaitan dengan pengembangan teknologi. Pada tahap ini dibutuhkan pengetahuan teknis yang luas untuk menilai dalam pengembangan produk atau proses.

2. *Parameter design*

*Parameter design* merupakan tahap kedua dimana berkaitan dengan penekanan biaya dan peningkatan kualitas dengan menggunakan metode perancangan eksperimen yang efektif. Pada tahap ini akan ditentukan nilai-nilai parameter yang kurang sensitif terhadap *noise* lalu akan dicari kombinasi level parameter yang nantinya dapat menggunakan *noise*.

3. *Tolerance design*

*Tolerance design* adalah tahap dimana akan dilakukan pengendalian faktor-faktor yang

mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen yang bermutu tinggi dan biaya yang tinggi.

Kontribusi Taguchi pada kualitas adalah (Belavendram, 1995):

- a. *Loss Function*: Merupakan fungsi kerugian yang ditanggung oleh masyarakat (produsen dan konsumen) akibat kualitas yang dihasilkan. Bagi produsen yaitu dengan timbulnya biaya kualitas sedangkan bagi konsumen adalah adanya ketidakpuasan atau kecewa atas produk yang dibeli atau dikonsumsi karena kualitas yang jelek.
- b. *Orthogonal Array*: *Orthogonal array* digunakan untuk mendesain percobaan yang efisien dan digunakan untuk menganalisis data percobaan. Ortogonal array digunakan untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *orthogonal array* terletak pada pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk masing-masing eksperimen.
- c. *Robustness*: Meminimasi sensitivitas sistem terhadap sumber-sumber variasi.

### **3.5. Klasifikasi Karakteristik Kualitas**

Karakteristik kualitas (*variable respons*) adalah suatu obyek yang menarik dari suatu produk atau proses. Secara umum setiap karakteristik kualitas memiliki suatu target. Ada lima karakteristik kualitas yang

dikelompokkan berdasarkan nilai targetnya yaitu (Belavendram, 1995):

1. *Nominal-the-best*

Karakteristik *nominal-the-best* adalah pengukuran karakteristik dengan nilai target yang spesifik yang ditentukan oleh pengguna (*user-defined*).

2. *Smaller-the-best*

Karakteristik *smaller-the-better* adalah pengukuran karakteristik yang *non-negative* dimana target idealnya adalah nol.

3. *Larger-the-best*

Karakteristik *larger-the-better* adalah pengukuran karakteristik yang *non-negative* dimana target idealnya adalah tak terbatas atau  $\infty$ .

4. *Signed-target*

Karakteristik *signed-target* adalah pengukuran karakteristik dimana target idealnya adalah nol. *Signed target* berbeda dengan *smaller-the-better* sebab pada *signed target* diperbolehnya memiliki nilai yang negatif.

5. *Classified attribute*

Pada *classified attribute* variabelnya tidak kontinu tetapi dapat diklasifikasikan pada skala dengan tingkat yang berbeda-beda.

### **3.6. Quality Loss Function (QLF)**

*Quality loss function (QLF)* atau fungsi kerugian menurut Taguchi bertujuan untuk mengevaluasi kerugian

kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi yang ditanggung oleh produsen dan konsumen.

### **3.6.1. Quality Loss Function Untuk Nominal-The-Best**

*Nominal is the best* dapat diartikan sebagai suatu cara yang digunakan untuk mengupayakan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan keinginan konsumen. Dalam hal ini ukuran atau spesifikasi produk merupakan hal yang terpenting.

Persamaan Taguchi untuk mengetahui kerugian yang ditimbulkan produk (Loss Function) :

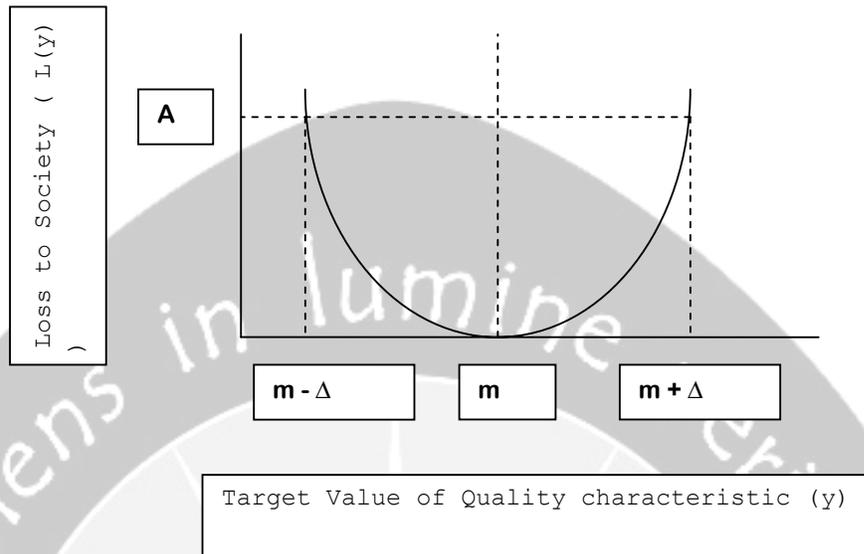
$$L(y) = k (y-m)^2$$

Di mana,  $k$  = konstanta

$m$  = target value

$y$  = karakteristik kualitas

Nilai ( $k$ ) dapat diperoleh jika nilai " $L(y)$  (biaya tambahan/yang hilang)" diketahui dan nilai karakteristik kualitasnya juga diketahui. Untuk mencari nilai konstanta ( $k$ ), kita dapat menggunakan Grafik *Loss Function* di bawah ini:



**Gambar 3.2. Grafik loss function nominal the best**

**Sumber: Belavendram, N., 1995**

Untuk mengetahui nilai dari konstanta ( k ), kita dapat memisalkan bahwa fungsi jarak (toleransi) dari nilai karakteristik kualitas adalah ( m - Δ, m + Δ ), di mana A adalah nilai *Average Loss*.

Misalnya kita tinjau dari titik ( m + Δ ), maka persamaan *Loss function* menjadi :

$$L(x) = k ( m + Δ - m )^2, \text{ dengan } L(x) = A$$

$$A = k (Δ)^2$$

Misalnya kita tinjau dari titik ( m - Δ ), maka persamaan *Loss function* menjadi :

$$L(x) = k ( m - Δ - m )^2, \text{ dengan } L(x) = A$$

$$A = k (-Δ)^2 = A = k (Δ)^2$$

Maka,  $k = ( A / (Δ)^2 )$

**a. Nominal-The-Best untuk satu unit produk**

Quality Loss Function nominal-the-best untuk satu unit produk dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L(y) = k(y - m)^2 \quad (3.1)$$

$$k = \frac{L(y)}{(y - m)^2} \quad (3.2)$$

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta^2} (y - m)^2 \quad (3.3)$$

dimana:

$y$  = nilai karakteristik kualitas

$L(y)$  = kerugian dalam satuan uang untuk setiap produk bila karakteristik kualitas sama dengan  $y$

$m$  = nilai target dari  $y$

$k$  = koefisien biaya

$A_0$  = rerata biaya

$\Delta^2$  = deviasi

**b. Nominal-The-Best untuk banyak produk**

$$\begin{aligned} L(y) &= k[\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2] \\ &= k[MSD] \end{aligned} \quad (3.4)$$

dimana:

MSD = Mean Squared Deviation

$(\bar{y} - m)^2$  = population standard deviation

### 3.6.2. Quality Loss Function Untuk *Smaller-The-Better*

*Small the better*, merupakan suatu istilah yang menyatakan bahwa semakin kecil target value yang dicapai, maka akan semakin baik. Karena semakin kecil Target Value semakin baik maka nilai  $m = 0$ .

Sehingga persamaan Loss Functionnya menjadi :

$$L(y) = k (y-m)^2$$

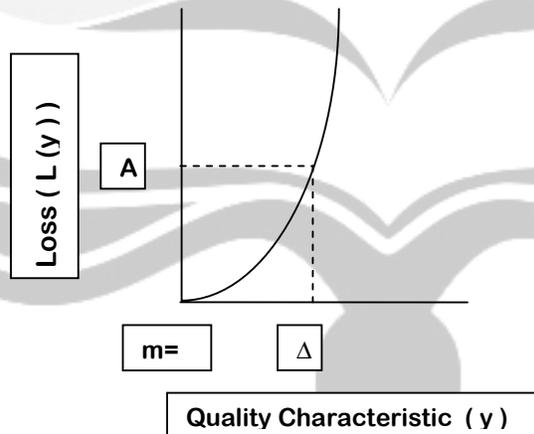
$$L(y) = k (y-0)^2$$

$$L(y) = k (y)^2$$

Dengan,  $k$  = konstanta

$y$  = quality characteristic value

Untuk memperoleh nilai konstanta ( $k$ ), kita dapat menggunakan Grafik Loss Function di bawah ini:



Gambar 3.3. Grafik loss function smaller the better

Sumber: Belavendram, N., 1995

Untuk mencari nilai  $k$ , kita dapat memisalkan bahwa fungsi jarak (toleransi) dari nilai karakteristik kualitas adalah  $(\Delta)$ , dengan  $A$  adalah nilai *Average Loss*.

Misalnya kita tinjau dari titik  $(\Delta)$ , maka persamaan *Loss function* menjadi :

$$L(y) = k (\Delta)^2, \text{ dengan } L(y) = A$$

$$A = k (\Delta)^2$$

$$\text{Maka, } k = (A/(\Delta)^2)$$

**a. *Smaller-The-Better* untuk satu unit produk**

$$L(y) = k[\sigma^2 + (\bar{y} - m)^2] \quad (3.5)$$

Karena target  $m$  yang ingin diperoleh adalah nol maka:

$$L(y) = ky^2$$

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta^2} y^2 \quad (3.6)$$

$$k = \frac{A_0}{\Delta^2} \quad (3.7)$$

**b. *Smaller-The-Better* untuk banyak produk:**

$$L(y) = k[\sigma^2 + \bar{y}^2] \quad (3.8)$$

**3.6.3. *Quality Loss Function Untuk Larger-The-Better***

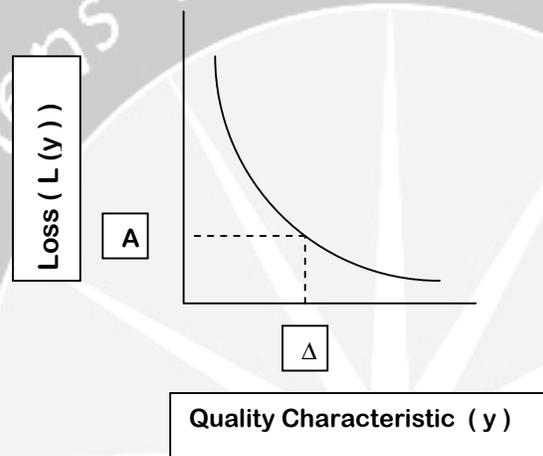
*Larger is better*, menyatakan bahwa semakin besar target value yang dicapai, akan semakin baik. Oleh

karena itu, target value terbaik yang harus dicapai ( $m$ )  $=\infty$ , oleh karena itu, persamaan *Loss Function* menjadi :

$$L(y) = k (1/y)^2$$

Di mana,  $k$  = konstanta

$y$  = nilai karakteristik kualitas



**Gambar 3.4. Grafik loss function larger the better**

**Sumber: Belavendram, N., 1995**

Untuk mengetahui nilai  $k$ , kita dapat memisalkan bahwa fungsi jarak (toleransi) dari nilai karakteristik kualitas adalah ( $\Delta$ ), dengan  $A$  adalah nilai *Average Loss*.

Misalnya kita tinjau dari titik ( $\Delta$ ), maka persamaan *Loss function* menjadi :

$$L(y) = k (1/\Delta)^2, \text{ dengan } L(y) = A$$

$$A = k (1/\Delta)^2$$

$$\text{Maka, } k = (A_0 (\Delta)^2)$$

a. **Larger-The-Better** untuk satu unit produk:

$$L(y) = k \left( \frac{1}{y} \right)^2 \quad (3.9)$$

$$k = A_0 \Delta^2 \quad (3.10)$$

b. **Larger-The-Better** untuk banyak produk

$$L(y) = k(MSD)$$
$$L(y) = \frac{k}{\mu^2} \left[ 1 + \frac{3\sigma^2}{\mu^2} \right] \quad (3.11)$$

Selain *quality loss function (QLF)*, Taguchi juga memberikan kontribusi lain kepada kualitas seperti *orthogonal arrays* dan *Robustness*. *Orthogonal arrays* dipergunakan untuk mendisain suatu percobaan yang efisien guna menganalisis data percobaan. Sedangkan *robustness* dipergunakan untuk meminimasi sensitivitas sistem terhadap sumber-sumber variasi (Belavendram, 1995).

### 3.7. **Orthogonal Arrays**

*Orthogonal arrays* adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom, dimana setiap kolom merupakan faktor atau kondisi yang bisa diubah dalam suatu eksperimen. Jadi *orthogonal arrays* merupakan suatu matriks seimbang dari faktor dan level yang tersusun sedemikian sehingga pengaruh antar faktor atau level tidak saling berbaur. *Orthogonal*

*arrays* ini adalah salah satu bagian dari *Fractional Factorial Experiment* (FFE), dimana *orthogonal array* dapat digunakan untuk mengevaluasi beberapa faktor supaya jumlah eksperimennya minimum. Misalnya pada percobaan terdapat tujuh faktor dengan dua level, apabila menggunakan FFE akan diperlukan  $2^7$  jumlah eksperimen. Sedangkan bila menggunakan *orthogonal array* jumlah eksperimen bisa kurang dari  $2^7$  buah eksperimen sehingga dapat mengurangi waktu dan biaya eksperimen.

Contoh *orthogonal array* adalah  $L_8(2^7)$  yang berarti delapan menyatakan baris yaitu banyaknya observasi, dua menyatakan level, dan tujuh menyatakan kolom yaitu banyaknya faktor dan interaksi faktor (Belavendram, 1995), dapat dilihat pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1. Orthogonal Array  $L_8(2^7)$**

EXP	KOLOM / FAKTOR						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Taguchi menyediakan dua macam *orthogonal arrays* dasar, yaitu *orthogonal array* dengan faktor-faktor yang mempunyai dua level dan tiga level. Jika *orthogonal array* yang akan digunakan tidak tersedia, maka perlu diadakan modifikasi. Dalam memilih *orthogonal array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati (Belavendram, 1995), yaitu:

- a. Jika semua faktor adalah dua level: pilih jenis *orthogonal array* untuk dua level faktor.
- b. Jika semua faktor adalah tiga level: pilih jenis *orthogonal array* untuk tiga level faktor.
- c. Jika beberapa faktor adalah multi level faktor: gunakan *dummy tretment*, metode kombinasi, atau metode *idle coloumns*.

d. Jika terdapat campuran faktor 2, 3, atau 4 level: lakukan modifikasi *orthogonal array* dengan *merging coloumns*.

Dalam pemilihan *orthogonal array* haruslah disesuaikan dengan jumlah faktor serta level faktor yang akan diamati. Berikut tabel standard untuk *orthogonal array* yang ditabulasi oleh Taguchi (Belavendram, 1995):

**Tabel 3.2. Orthogonal Array Standard**

2 level	3 level	4 level	5 level	Mixed-level
$L_4 (2^3)$	$L_9 (3^4)$	$L_{16} (4^5)$	$L_{25} (5^6)$	$L_{18} (2^1 \times 3^7)$
$L_8 (2^7)$	$L_{27} (3^{13})$	$L_{64} (4^{21})$	-	$L_{32} (2^1 \times 4^9)$
$L_{12} (2^{11})$	$L_{81} (3^{40})$	-	-	$L_{36} (2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16} (2^{15})$	-	-	-	$L_{36} (2^3 \times 3^{13})$
$L_{32} (2^{31})$	-	-	-	$L_{54} (2^1 \times 3^{25})$
$L_{64} (2^{63})$	-	-	-	$L_{50} (2^1 \times 5^{11})$

Misalkan dari percobaan yang akan dilakukan memiliki jumlah level yang sama untuk semua faktor yaitu 3 level maka kita dapat memilih desain  $L_9$  atau  $L_{27}$ . Jika desain yang dipilih  $L_9$  maka jumlah faktornya maksimal sebanyak 4 faktor, tetapi jika desain  $L_{27}$  yang dipilih maka jumlah faktornya maksimal 13 faktor. Apabila di dalam percobaan hanya digunakan 4 buah faktor kita bebas untuk memilih desain  $L_9$  atau desain  $L_{27}$ .

Pemilihan *orthogonal array* harus memenuhi pertidaksamaan (Belavendram, 1995):

$$V_{OA} \geq V_{f1} \quad (3.12)$$

dimana:

$V_{OA}$  : jumlah percobaan - 1

$V_{f1}$  : jumlah total d.o.f dari seluruh faktor

*Degree of freedom* (d.o.f) atau derajat kebebasan adalah banyaknya pengukuran bebas yang dapat dilakukan untuk menaksir sumber informasi.

### **3.8. Robustness**

Konsep dari Taguchi adalah jika terjadi penyimpangan dari target akan menimbulkan kerugian. Prinsip dari *robustness* yaitu untuk meminimasi kerugian tersebut, dimana kerugian terkecil terjadi jika karakteristik kualitas yang dihasilkan berada dekat dengan target. Salah satunya melalui *robust design*. *Robust design* adalah prosedur dari desain proses atau produk yang performansi akhirnya adalah pada target dan memiliki variasi yang minimum disekitar target. Taguchi menyebut variasi ini sebagai *noise factor* atau faktor gangguan. *Noise factor* adalah sumber dari variasi yang atau sulit untuk dikendalikan dan mempengaruhi karakteristik fungsional dari produk. Taguchi mengidentifikasikan tiga jenis *noise* yaitu (Belavendram, 1995):

a. *External noise (Ambient noise)*

*External noise* merupakan faktor lingkungan yang mempengaruhi fungsi ideal suatu produk. Misalnya temperatur, debu, *supply voltage*, *human error*.

b. *Internal noise (Deterioration noise)*

*Internal noise* merupakan faktor yang menyebabkan produk menjadi buruk atau aus selama digunakan sehingga produk tidak mencapai target fungsinya.

c. *Unit-to-unit noise (Variational noise)*

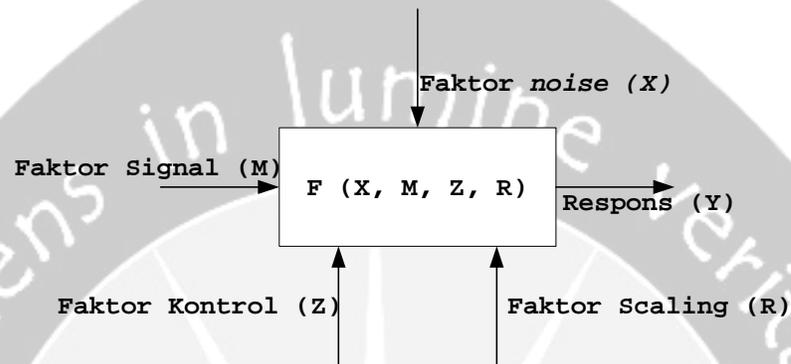
*Unit-to-unit noise* merupakan faktor yang menyebabkan perbedaan produk yang satu dengan produk yang lain dengan spesifikasi yang sama.

### **3.9. Definisi Desain Eksperimen**

Desain Eksperimen adalah suatu prosedur atau langkah-langkah lengkap yang perlu diambil sebelum eksperimen dilakukan agar data yang diperlukan dapat diperoleh, sehingga analisis dan kesimpulan secara obyektif dapat dilakukan. Eksperimen merupakan suatu tindakan atau pengamatan khusus yang dilakukan untuk menguji atau menguatkan pendapat yang diduga kebenarannya untuk menemukan beberapa pengaruh ( prinsip ) yang belum diketahui.

Dalam sebuah proses atau sistem yang sedang berjalan, banyak faktor yang mempengaruhi jalannya proses dalam sebuah sistem. Faktor tersebut ada yang mendukung jalannya proses dalam sebuah sistem dan ada yang menghambat jalannya sistem. Faktor tersebut dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain : faktor *noise*, faktor *signal*, faktor *scalling*, dan faktor kontrol.

Beberapa faktor dari faktor tersebut ada yang tidak dapat dikendalikan dan ada yang dapat dikendalikan dari sistem.



**Gambar 3.5. Faktor yang mempengaruhi karakteristik**

**Sumber: Belavendram, N., 1995**

Faktor-faktor tersebut dapat dikelompokkan atas:

1. Faktor *noise*

Faktor ini merupakan suatu parameter yang menyebabkan pengaruh pada karakteristik yang diukur secara tidak terkendali dan sulit diprediksi karena faktor ini merupakan faktor lingkungan. Faktor ini dalam keadaan sistem yang real sangat sulit untuk dilakukan proses desain eksperimen walaupun sebenarnya kadang-kadang mempengaruhi respon yang diamati.

2. Faktor *signal*

Faktor *signal* adalah faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas sebenarnya yang akan diukur. Faktor ini tidak ditentukan oleh ahli teknik, tetapi oleh konsumen berdasarkan target

yang diinginkan dan juga akan mempengaruhi respon yang diukur.

### 3. Faktor kontrol

Faktor kontrol adalah parameter yang nilainya ditentukan oleh ahli teknik atau desainer. Faktor kontrol dapat mempunyai nilai satu atau lebih yang disebut level. Pada akhir Eksperimen, suatu level faktor kontrol yang sesuai akan dipilih.

### 4. Faktor *scaling*

Faktor ini digunakan untuk mengubah mean level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor signal dengan karakteristik kualitas. Jadi faktor ini akan berubah jika level dan faktornya diubah-ubah. Faktor ini disebut juga faktor penyesuaian.

Menurut Sudjana, dalam bukunya "Desain dan Analisis Eksperimen" menjelaskan definisi dari desain eksperimen yaitu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefiniskan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan. Dengan kata lain, desain sebuah eksperimen merupakan langkah-langkah yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh sehingga akan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang dibahas (Sudjana, 1980).

Dibawah ini ada beberapa pengertian dan istilah dalam desain eksperimen yaitu:

1. Perlakuan merupakan sekumpulan kondisi percobaan yang akan digunakan terhadap unit eksperimen, dalam ruang lingkup desain yang dipilih.
2. Faktor merupakan karakteristik yang membedakan satu populasi atau perlakuan terhadap populasi atau perlakuan lainnya.
3. Unit eksperimen merupakan unit yang dikenai perlakuan tunggal atau gabungan beberapa faktor dalam sebuah replikasi eksperimen dasar.
4. Kekeliruan eksperimen merupakan kegagalan dari unit eksperimen identik yang dikenakan perlakuan untuk mendapatkan hasil yang sama.
5. Replikasi diartikan sebagai pengulangan eksperimen dasar. Replikasi sangat diperlukan karena dapat:
  - a. memberikan taksiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang interval konfiden (selang kepercayaan) atau dapat digunakan sebagai satuan dasar pengukuran untuk penetapan taraf signifikan dari pada perbedaan-perbedaan yang diamati.
  - b. Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen
  - c. Memungkinkan kita untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata-rata dari sebuah faktor.
6. Pengacakan merupakan suatu cara penempatan perlakuan pada unit eksperimen yang bertujuan untuk memperkecil kekeliruan eksperimen dan menghilangkan bias.
7. Kontrol lokal merupakan sebagian dari keseluruhan prinsip desain yang harus dilakukan. Biasanya

merupakan langkah-langkah yang berbentuk penyeimbangan, pemblokkan dan pengelompokkan unit-unit eksperimen yang digunakan dalam desain eksperimen. Jika replikasi dan pengacakan pada dasarnya akan memungkinkan berlakunya unit signifikansi, maka kontrol lokal akan menyebabkan desain eksperimen yang lebih efisien.

### **3.10. Tujuan Desain Eksperimen**

Desain eksperimen digunakan untuk mengetahui dan atau mengembangkan sebuah sistem. Sistem disini dapat berupa produk atau proses, yaitu dengan menemukan apa yang terjadi dengan output atau respon ketika setting dari variabel input yang berpengaruh dari sebuah sistem dengan sengaja diubah. Dari hasil eksperimen yang dilakukan dapat diketahui hubungan antar faktor dan output-nya. Untuk mengetahui hubungan antar input dan output maupun hubungan antar input yaitu dengan menggunakan analisis statistik. Kecermatan pengamatan terhadap pengaruh-pengaruh perlakuan yang diberikan dalam percobaan dapat dicapai sampai pada taraf tertentu. Saat melakukan penelitian, peneliti memainkan satu atau beberapa variabel beserta interaksinya jika lebih dari satu variabel sebagai pengaruh yang diberikan pada fenomena atau perilaku yang diukur, dimana variabel yang lainnya dalam kondisi terkendali. Variabel yang diteliti disebut variabel bebas atau *independent* variabel, sedangkan perilaku atau fenomena yang diukur terhadap pengaruh yang dibebankan disebut variabel terikat atau *dependent* variabel.

Tujuan dari desain eksperimen adalah memperoleh keterangan tentang bagaimana respon yang akan diberikan oleh suatu obyek pada berbagai keadaan tertentu (perlakuan) yang ingin diperhatikan dan memperoleh atau mengumpulkan informasi sebanyak - banyaknya yang diperlukan untuk memecahkan persoalan yang akan dibahas. Hendaknya desain eksperimen dibuat sesederhana mungkin. Penelitian diusahakan seefisien mungkin mengingat waktu, biaya, tenaga dan bahan yang harus digunakan.

Hal ini juga penting mengingat pada kenyataan bahwa desain yang sederhana akan mudah dilaksanakan, dan data yang diperoleh berdasarkan desain sedemikian akan dapat cepat dianalisis disamping juga akan bersifat ekonomis. Jadi jelas bahwa desain eksperimen berusaha untuk memperoleh informasi yang maksimum dengan menggunakan biaya yang minimum.

### **3.11. Langkah-langkah Eksperimen Menurut Taguchi**

Langkah-langkah ini dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah:

#### **1. Fase perencanaan**

Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan yaitu pemilihan faktor dan level.

#### **2. Fase pelaksanaan**

Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk

dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level.

### 3. Fase analisis

Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif.

Langkah utama untuk melengkapi desain eksperimen yang efektif adalah sebagai berikut (Ross, 1996):

#### 1. Perumusan masalah

Perumusan masalah harus spesifik dan jelas batasannya dan secara teknis harus dapat dituangkan ke dalam percobaan yang akan dilakukan.

#### 2. Tujuan eksperimen:

Tujuan yang melandasi percobaan harus dapat menjawab apa yang telah dinyatakan pada perumusan masalah, yaitu mencari sebab yang menjadi akibat pada masalah yang kita amati.

#### 3. Memilih karakteristik kualitas (Variabel Tak Bebas)

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 yang akan diselediki.

#### 4. Memilih faktor yang berpengaruh terhadap

karakteristik kualitas (Variabel Bebas). Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini akan dipilih faktor-faktor yang akan diselediki

pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan. Dalam seluruh percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselediki, sebab hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselediki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah *brainstorming*, *flowcharting*, dan *cause effect diagram*.

5. Mengidentifikasi faktor terkontrol dan tidak terkontrol

Dalam metode Taguchi, faktor-faktor tersebut perlu diidentifikasi dengan jelas karena pengaruh antara kedua jenis faktor tersebut berbeda. Faktor terkontrol (*control factors*) adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factors*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau dikendalikan, atau faktor yang tidak ingin kita atur atau kendalikan.

6. Penentuan jumlah level dan nilai factor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh akan lebih banyak, tetapi banyaknya level juga akan meningkatkan ongkos percobaan.

7. Identifikasi Interaksi antar Faktor Kontrol

Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik kualitas dibandingkan jika faktor mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan dalam penentuan proses yang optimal. Tetapi Taguchi lebih mementingkan pengamatan pada *main effect* (penyebab utama) sehingga adanya interaksi diusahakan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan adanya interaksi.

8. Perhitungan derajat kebebasan (degrees of freedom /dof)

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati.

9. Pemilihan *Orthogonal Array* (OA):

Dalam memilih jenis *orthogonal array* harus diperhatikan jumlah level faktor yang diamati.

10. Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *orthogonal array*

Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun faktor gangguan dan interaksi-interaksinya pada *orthogonal array* terpilih dengan memperhatikan grafik linier dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier mengindikasikan berbagai kolom kemana faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan

interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor (kolom-kolom) dalam suatu OA.

#### 11. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi percobaan dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

##### a. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi bertujuan untuk:

1. Mengurangi tingkat kesalahan percobaan
2. Menambah ketelitian data percobaan
3. Mendapatkan harga estimasi kesalahan percobaan sehingga memungkinkan diadakan test signifikansi hasil eksperimen.

##### b. Randomisasi

Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk:

1. Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan.
2. Memberikan kesempatan yang sama pada semua unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh pada setiap perlakuan yang sama.
3. Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (independen) satu sama lain.

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

## 12. Analisis Data

Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *layout* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistik analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan.

## 13. Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil merupakan langkah yang akan dilakukan setelah percobaan dan analisis telah dilakukan. Interpretasi yang dilakukan antara lain dengan menghitung persentase kontribusi dan perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan.

## 14. Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi:

- a. Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya.
- b. *Setting parameter* (faktor) yang optimum hasil analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

### **3.12.Replikasi**

Menurut Harrington dan Tumay (2000), replikasi adalah satu siklus yang terus menerus pada proses simulasi. Tujuan dari penentuan replikasi adalah untuk

mengurangi tingkat kesalahan dan menambah tingkat ketelitian dalam percobaan. Penambahan replikasi akan mengurangi tingkat kesalahan percobaan secara bertahap. Selain itu jumlah replikasi dalam suatu percobaan dibatasi oleh sumber yang ada yaitu waktu, tenaga, biaya dan fasilitas.

Dalam metode Taguchi, ongkos merupakan pertimbangan utama dalam beberapa hal termasuk dalam penentuan jumlah replikasi. Ongkos yang dimaksud dibagi menjadi dua kategori yaitu ongkos unit pertama (adalah ongkos yang diperlukan untuk melakukan percobaan), ongkos penambahan unit (adalah ongkos untuk trial berikutnya).

Adapun rumus yang digunakan dalam menentukan jumlah replikasi adalah sebagai berikut (Kelton, 2000):

$$n_r^*(\gamma) = \min\{i \geq n : \frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{S^2(n)/i}}{|\bar{X}(n)|} \leq \gamma'\} \quad (3.13)$$

Dimana :

$n_r(\gamma)$  : jumlah replikasi yang sebenarnya diperlukan

$\bar{X}$  : rata-rata/ average

$\gamma$  : relative error

$S$  : standar deviasi

$n$  : jumlah data

$t_{i-1, 1-\alpha/2}$  diperoleh dari table berdistribusi t

Nilai Koefisien alpa dan *gamma* ditentukan menurut (Kelton, 2000). Dalam percobaan yang dilakukan, maka

ditentukan nilai *alpha* ( $\alpha$ ) = 0,05 dan nilai *gamma* ( $\gamma$ ) = 0,1. Nilai *alpha* ( $\alpha$ ) = 0,05 yang berarti ada kemungkinan sebanyak 0,05 dari nilai *mean* akan berada di luar range ( $X \pm S$ ), di mana:

$\bar{X}$  = rata-rata data yang dimiliki

S = standar deviasi data

Dan koefisien *gamma* ( $\gamma$ ) = 0,1 yang berarti ada kemungkinan kejadian  $\bar{X}$  menyimpang 0,1 dari *mean*. Untuk menghitung nilai *relative error* ( $Y'$ ) maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$Y' = \left| \frac{\gamma}{1+\gamma} \right| \quad (3.14)$$

$$Y' = \left| \frac{0,1}{1+0,1} \right|$$

$$= 0,09$$

Data jumlah replikasi akan cukup mewakili hasil percobaan jika:

$$n_r(y) \leq Y' \quad (3.15)$$

### 3.13. Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan atau *degree of freedom* (d.o.f) dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor-faktor yang diamati (Belevendram, 1995). Jika  $n_A$  dan  $n_B$  adalah jumlah perlakuan untuk faktor A dan faktor B maka:

$$V_A : n_A - 1 \quad (3.16)$$

$$V_B : n_B - 1 \quad (3.17)$$

$$V_A \times V_B : (n_A - 1)(n_B - 1) \quad (3.18)$$

$$V_T : (n_A - 1) + (n_B - 1) + (n_A - 1)(n_B - 1) \quad (3.19)$$

dengan:

$V_A$  : derajat kebebasan untuk faktor A

$V_B$  : derajat kebebasan untuk faktor B

$V_A \times V_B$  : derajat kebebasan untuk interaksi faktor A x B

$V_T$  : derajat kebebasan total

Derajat kebebasan untuk faktor dan level faktor adalah:

$$V_f : \text{jumlah level} - 1 \quad (3.20)$$

Sedangkan derajat kebebasan untuk *orthogonal array* adalah:

$$V_{OA} : \text{jumlah eksperimen} - 1 \quad (3.21)$$

### 3.14. Analisis Varian

Analisis Varian (Anova) pertama kali dikenalkan oleh Sir Ronald Fisher (Inggris). Analisis varian adalah suatu metode pembagian variabilitas menjadi sumber-sumber varian yang dapat diidentifikasi dan *degree of freedom* yang terkait dalam sebuah eksperimen (Belavendram, 1995).

Analisis varian berguna dalam pengujian hipotesis untuk membandingkan nilai rerata sampel dengan dasar membandingkan *unbiased estimated varians* populasi dari

sumber yang berbeda. *Unbiased estimated varians* disebut juga *mean square* (MS).

Rata-rata populasi adalah data kualitatif yang terdapat dalam sebuah populasi dihitung dengan membagi jumlah nilai data oleh banyaknya data. Berikut rumus untuk rata-rata populasi serta untuk sampel:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (3.22)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.23)$$

dimana:

$\mu$  : nilai rata-rata populasi

$\bar{X}$  : nilai rata-rata sampel

$x_i$  : data ke-i

$N$  : ukuran populasi

$n$  : ukuran sampel

Varian adalah pangkat dua atau kuadrat dari simpangan baku. Simpangan baku adalah ukuran sebaran kelompok terhadap reratanya. Berikut rumus untuk varian populasi dan sampel:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N} \quad (3.24)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n} \quad (3.25)$$

dimana:

$\sigma^2$  : varian untuk populasi

$s^2$  : varian untuk sampel

### **3.15. Analisis Varian Satu Arah (One-Way Analysis of Variance)**

Jika dua faktor spesifik atau lebih dibandingkan maka digunakan *one-way analysis of variance* untuk menentukan varian yang disebabkan oleh rerata, faktor dan error varian (Belavendram, 1995).

#### **3.15.1. Total Sum of Squares (Total Jumlah Kuadrat)**

$$ST = \sum_{i=1}^n Y_i^2 \quad (3.26)$$

dimana:

$y_i$  : nilai pengamatan

$n$  : banyak pengamatan

**3.15.2. Sum of Squares Due To Mean (Jumlah Kuadrat Karena Rerata)**

$$\begin{aligned} S_m &= n \bar{y}^{-2} \\ &= \frac{\left[ \sum_{i=1}^n Y \right]^2}{n} \end{aligned} \quad (3.27)$$

**3.15.3. Sum of Squares Due To Factor (Jumlah Kuadrat Karena Faktor)**

$$\begin{aligned} S_A &= \frac{[Total\ of\ A_1]^2}{n_1} + \frac{[Total\ of\ A_2]^2}{n_2} - \frac{[Total\ of\ A]^2}{n} \\ &= n_{A_1} \times \bar{A}_1^2 + n_{A_2} \times \bar{A}_2^2 - n \times \bar{A}^2 \end{aligned} \quad (3.28)$$

dimana:

$S_A$  : Jumlah kuadrat karena faktor A

$A_1$  : nilai data pada level 1 untuk faktor A

$n_{A_1}$  : jumlah data pada level 1 untuk faktor A

**3.15.4. Sum of Squares Due To Error (Jumlah Kuadrat Karena Kesalahan)**

$$S_T = S_m + S_A + S_e \quad (3.29)$$

$$S_e = S_T - S_m - S_A \quad (3.30)$$

dimana:

$S_T$  : jumlah kuadrat total

Sm : jumlah kuadrat karena rerata

SA : jumlah kuadrat karena faktor A

### 3.15.5. Mean Sum of Squares (Jumlah Kuadrat Rata-Rata)

Mean sum of squares diperoleh dari pembagian *sum of squares* dengan *degree of freedom*-nya.

$$Ms_A = \frac{S_A}{v_A} \quad (3.31)$$

dimana:

$S_A$  : jumlah kuadrat karena faktor A

$v_A$  : *degree of freedom* faktor A

### 3.16. Tinjauan F-test

*F-test* adalah suatu metode dimana menyediakan suatu keputusan dengan tingkat kepercayaan apakah terdapat perbedaan secara signifikan pada estimasi tersebut. Sebab pada analisis varian tidak membuktikan ada tidaknya perbedaan serta pengaruh faktor di dalam eksperimen. *F-test* juga memiliki tiga keterbatasan yaitu (Belavendram, 1995):

#### 3.16.1. Asumsi Kesamaan Kesalahan Varian

Asumsi dasar pada analisis varian adalah kesamaan kesalahan varian untuk semua kombinasi faktor dan level. Tetapi hal ini tidak benar, sebab yang melekat pada analisis varian yaitu kesempatan untuk mengurangi variasi dengan mengontrol level-level pada desain

parameter mungkin tidak diakui. Sedangkan pada fungsi kerugian atau *quality loss function* mengesankan bahwa kesempatan untuk mengurangi variasi harus dicari dan dimanfaatkan. Oleh karena itu *F-test* hanya dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor yang signifikan.

### 3.16.2. Resiko Alpha (*Alpha-risk*)

Pada *F-test* hanya *alpha-risk* yang disebutkan. Jika faktor yang benar-benar signifikan dites dan ditemukan signifikan tanpa adanya kesalahan. Begitu pula jika faktor yang benar-benar tidak signifikan dites dan ditemukan tidak signifikan dan tanpa kesalahan. Jadi bisa dimungkinkan faktor yang sebenarnya signifikan tetapi dianggap tidak signifikan.

### 3.16.3. Go Or No-Go Dichotomy

Menurut prosedur *F-test* tradisional, ketika perhitungan nilai F diperoleh dari data percobaan yang melebihi tabulasi nilai kritis F maka dianggap signifikan, apabila terjadi sebaliknya maka dianggap tidak signifikan. Jadi *F-test* dibagi menjadi dua bagian yaitu *go* atau *no-go dichotomy*.

Perhitungan *F-ratio* yaitu pembagian *mean sum of squares* dengan *error sum of squares*. Misalkan rumus *F-ratio* untuk faktor A adalah:

$$F_A = \frac{Ms_A}{Se} \quad (3.32)$$

dimana:

$Ms_A$  : *mean sum of squares* untuk faktor A

$Se$  : *sum of squares due to error*

Hipotesis dari suatu percobaan adalah:

$H_0$  : tidak ada pengaruh pada perlakuan

$H_1$  : ada pengaruh pada perlakuan

Hasil dari pengujian *F-ratio* atau  $F_{hitung}$  akan dibandingkan dengan nilai  $F$  yang terdapat di dalam tabel dengan harga  $\alpha$  tertentu atau disebut  $F_{tabel}$ . Apabila nilai  $F_{hitung}$  lebih kecil dari  $F_{tabel}$  maka  $H_0$  diterima, sebaliknya bila  $F_{hitung}$  lebih besar dari  $F_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak.

### **3.17. Strategi Pooling Up**

Strategi *pooling* digunakan untuk mengkombinasikan efek dari faktor-faktor yang ada untuk memperkirakan hasil estimasi *error* varian yang terbaik. Strategi *pooling* terdiri dari (Ross, 1988):

#### **a. Pooling Up (Taguchi)**

Pada strategi *pooling up* memerlukan *F-test*. Dimana faktor yang akan diuji adalah faktor yang memiliki nilai  $F$ -kolom terkecil dan dibandingkan dengan yang lebih besar untuk melihat adanya faktor yang signifikan. Apabila belum ditemukan faktor yang tidak signifikan maka kedua faktor yang telah di-*pool* akan diuji dengan nilai kolom yang lebih besar sampai ditemukan adanya faktor yang signifikan. *Pooling up*

dilakukan bila pengaruh faktor yang diteliti tidak ada yang signifikan. Hal ini dapat terjadi apabila *error* varian memiliki derajat kebebasan yang relatif lebih kecil atau bernilai nol. Pada strategi *pooling up* cenderung memaksimalkan jumlah kolom yang dipertimbangkan signifikan.

Strategi *pooling up* dimulai dengan mengamati faktor dengan nilai varian terkecil daripada *error* varian. Dari faktor yang tersisa akan dilakukan *F-test* dan dibandingkan dengan *error* varian. Jika tidak ada faktor yang signifikan, maka faktor yang memiliki *F-ratio* terkecil di-*pool* menjadi *error*. Hal ini akan cenderung meningkatkan *sum of squares of error variance*. Dari faktor yang tersisa tersebut akan kembali dilakukan *F-test* sampai diperoleh hasil *pooled* setengah dari nilai derajat kebebasan *orthogonal array* (Belavendram, 1995).

Misalkan faktor D memiliki *sum of squares* yang terkecil maka faktor D yang akan di-*pool* dan digunakan rumus sebagai berikut (Belavendram, 1995):

$$S (\text{Pooled } e) = S_e + SD \quad (3.33)$$

$$v (\text{Pooled } e) = v_e + vD \quad (3.34)$$

$$M (\text{Pooled } e) = \frac{S (\text{Pooled } e)}{v (\text{Pooled } e)} \quad (3.35)$$

#### **b. Pooling Down**

Strategi *pooling down* dimulai dengan pengujian varian faktor yang terbesar yang dibandingkan dengan varian *pooled* dari semua faktor yang tersisa. Apabila

faktor signifikan, maka faktor tersebut dihilangkan dan kembali dilakukan uji F sampai *F-ratio* yang tidak signifikan diperoleh. Strategi *pooling down* cenderung meminimasi jumlah kolom yang signifikan (Belavendram, 1995).

### **3.18. Signal To Noise Ratio (SN Ratio)**

Taguchi telah mengembangkan audio konsep dari *signal to noise ratio (SN ratio)* untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor. Misalnya eksperimen yang sering disebut *multifactor* atau eksperimen faktor ganda. Formulasi *SN ratio* didesain sehingga peneliti dapat memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. *SN ratio* digunakan untuk mengevaluasi kualitas dari suatu proses atau produk. *SN ratio* mengukur performansi kerja dan efek dari faktor *noise* dari performansi tersebut dan juga mengevaluasi performansi dari karakteristik *output*. Semakin tinggi performansi yang diukur yang berarti tingginya *SN ratio* sama dengan kerugian yang lebih kecil. *SN ratio* adalah ukuran objektif dari kualitas yang memuat *mean* dan *varian* dalam perhitungan. Metode perhitungan *SN Ratio* tergantung pada karakteristik kualitasnya, seperti *smaller the better*, *nominal the better*, dan *larger the better* (Belavendram, 1995).

#### **a. SN ratio smaller the better**

Pada *SN ratio smaller the better*, karakteristik kualitas bersifat *kontinuous* dan *non negative* dimana nilai target yang ingin dicapai adalah nol atau

semakin kecil semakin baik. Rumus yang digunakan untuk SN ratio smaller the better sebagai berikut:

$$\eta = -10 \log_{10}(\bar{y}^{-2} + \sigma^2) \quad (3.36)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \mu)^2$$

Dimana:

$\bar{y}$  = Rata-rata Replikasi

$\sigma$  = Standar deviasi

#### **b. SN ratio nominal the better**

Pada *SN ratio nominal the better*, karakteristik kualitas bersifat *kontinuus* dan *non negative* dimana nilai targetnya adalah *non-zero* dan terbatas atau mencari karakteristik nominal yang mendekati nilai target yang terbaik. Rumus yang digunakan untuk nominal the better adalah:

$$\eta = 10 \log_{10} \left( \frac{\mu^2}{\sigma^2} \right) \quad (3.37)$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

Dimana:

$\mu$  = Rata-rata

$\sigma$  = Standar deviasi

**c. SN ratio larger the better**

Pada *SN ratio larger the better*, karakteristik kualitas bersifat *kontinuus* dan *non negative* dimana nilai targetnya adalah *non-zero* dan idealnya semakin besar semakin baik. Rumus yang digunakan adalah:

$$\eta = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.38)$$

Dimana:

$Y_i$  = Pengamatan Replikasi ke  $i$

$n$  = banyaknya replikasi

**3.19. Persen Kontribusi (Percent Contribution)**

*Percent contribution* adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang signifikan (Belavendram, 1995). *Percent contribution* merupakan fungsi *sum of square* dari kontribusi faktor yang bisa digunakan untuk mengurangi faktor-faktor yang tidak signifikan. Faktor-faktor dianggap tidak memberi pengaruh secara signifikan jika nilai  $F_{hitung}$  lebih kecil dari nilai  $F_{tabel}$ .

Rumus yang digunakan untuk menghitung *percent contribution* adalah sebagai berikut (Belavendram, 1995):

$$SA' = SA - (v_A \times V_e) \quad (3.39)$$

dimana:

$SA'$  : jumlah kuadrat murni untuk faktor A

$S_A$  : *sum of square* untuk faktor A

$v_A$  : derajat kebebasan untuk faktor A

$V_e$  : *mean of square error*

$$\rho_A = \frac{S_A'}{S_t} \times 100 \% \quad (3.40)$$

dimana:

$S_t$  : *mean of square total*

$\rho_A$  : *percent contribution* untuk faktor A

Perhitungan *percent contribution* untuk *error* sebagai berikut:

$$S_e = S_t - S_A' - S_B' - \dots - S_i' \quad (3.41)$$

$$\rho_e = \frac{S_e}{S_t} \times 100 \% \quad (3.42)$$

dimana:

$S_e$  : *sum of squares due to error*

$S_i'$  : jumlah kuadrat muni untuk faktor ke-i

$\rho_e$  : *percent contribution* untuk *error*

Jika hasil perhitungan diperoleh *percent contribution* untuk *error* dibawah 15 % maka disimpulkan bahwa tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan dari eksperimen. Sebaliknya jika *contribution* untuk *error* diatas 50% maka disimpulkan terdapat faktor yang berpengaruh terabaikan dan *error* yang ada terlalu besar (Belavendram, 1995).

### 3.20. Selang Kepercayaan (*Confidence Interval*)

Selang kepercayaan menunjukkan batas dari hasil yang diharapkan dan selalu dikalkulasi pada level kepercayaan. Hasil yang diharapkan digambarkan pada estimasi rata-rata dari nilai rata-rata yang ditunjukkan. Data yang digunakan untuk membuat sejumlah estimasi adalah data hasil eksperimen. Umumnya membuat estimasi dari level faktor digunakan untuk memprediksi nilai rata-rata proses yang optimum, dimana batas dari estimasi didasarkan pada hasil rata-rata data eksperimen.

Persamaan untuk CI adalah:

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, v1, v2} \times ve \times \frac{1}{n}} \quad (3.43)$$

$$\mu_{AK} = \bar{Ak} \pm CI$$

atau

$$\bar{Ak} - CI \leq \mu_{AK} \leq \bar{Ak} + CI \quad (3.44)$$

dengan:

$F_{\alpha, v1, v2}$  = F tabel

$\alpha$  = resiko

$v1$  = 1

$v2$  = derajat kebebasan untuk *denominator*

associated dengan derajat kebebasan untuk rata-rata jumlah kuadrat error (*pooled error variance*)

$v_e$  = rata-rata jumlah kuadrat error (*pooled error variance*)

$n$  = jumlah penelitian digunakan untuk menghitung rata-rata

$\mu_{AK}$  = dugaan rata-rata faktor A pada perlakuan (level) ke- k

$A_k$  = rata-rata faktor A pada perlakuan ke-k

$K$  = 1, 2, 3, ..., k

### 3.21. Kuat Lentur

Kuat tekan lentur adalah kemampuan produk untuk menahan beban yang diberikan hingga pecah. Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat lentur produk tegel adalah sebagai berikut (model matematis dari Departemen Pekerjaan Umum Yogyakarta):

$$\text{Kuat lentur} = \frac{3 \times \text{beban} \times \text{panjang} \times \text{bidang} \times \text{tekan} \times 10^2}{2 \times \text{lebar} \times (\text{tebal})^2}$$

Kualitas kelenturan produk tegel ditentukan oleh bahan dasar, bahan tambahan, proses pembuatan, dan alat yang digunakan. Semakin baik kualitas bahan bakunya, komposisi perbandingan campuran yang direncanakan dengan baik, proses pencetakan dan pembuatan yang dilakukan dengan baik akan menghasilkan produk yang berkualitas. Adapun bahan-bahan pokok yang berpengaruh

pada kualitas kelenturan produk tegel adalah semen, pasir, dan air dalam proporsi tertentu.

#### **a. Semen**

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Perbedaan sifat jenis semen satu dengan yang lainnya dapat terjadi karena perbedaan susunan kimia maupun kehalusan butir-butirnya. Sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Sifat-sifat semen menurut pemakaiannya meliputi:

##### 1. Hidrasi Semen

Apabila air ditambahkan kedalam semen portland maka akan terjadi reaksi antara komponen semen dengan air yang dinamakan hidrasi. Reaksi hidrasi tersebut menghasilkan senyawa hidrat dalam bentuk *Cement gel*.

##### 2. *Setting* (pengikatan) dan *Hardening* (pengerasan)

Sifat pengikatan pada adonan semen dengan air dimaksudkan sebagai gejala terjadinya kekakuan pada adonan. Dalam prakteknya sifat ikat ini ditunjukkan dengan waktu pengikatan yaitu waktu mulai dari adonan terjadi sampai mulai terjadi kekakuan.

##### 3. Pengaruh Kualitas Semen terhadap Kuat Tekan

Sifat semen yang mempengaruhi kuat tekan adalah kehalusan semen. Makin halus semen atau partikel-partikel semen akan menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi, karena makin luasnya permukaan yang bereaksi dengan air dan kontak dengan agregat.

#### **b. Pasir**

Pasir atau agregat halus merupakan bahan pengisi yang dipakai bersama bahan pengikat dan air untuk

membentuk campuran yang padat dan keras. Pasir yang dimaksud adalah butiran-butiran mineral yang keras dengan besar butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm. Agregat halus / pasir untuk ubin dapat berupa pasir alami hasil disintregasi alam dari batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Menurut SK-SNI-S-04- 1989-F syarat untuk agregat halus, yaitu agregat halus terdiri dari butir-butir tajam, keras, kekal dengan gradasi yang beraneka ragam. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat total agregat, bahan organik dan reaksi terhadap alkali harus negatif.

### **c. Air**

Fungsi air adalah sebagai media perantara pada proses pengikatan kimiawi antara semen dan agregat. Proses ini akan berlangsung baik, apabila air yang dipakai adalah air tawar murni tidak mengandung kotoran-kotoran dan bahan-bahan lainnya. Setiap air yang dihasilkan oleh alam, jernih dan tidak berasa, tidak berbau dapat digunakan dalam pencampuran komposisi tegel. Kandungan air yang tinggi dapat menyebabkan tegel mudah dikerjakan, namun kekuatan produk tegel rendah. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% berat semen.

Syarat-syarat pemakaian air untuk campuran komposisi produk tegel:

- d. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya)
- e. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak produk (asam, zat organik)
- f. Tidak mengandung klorida (Cl)

g. Tidak mengandung senyawa sulfat

Secara praktis pemeriksaan air dapat dilakukan dengan cara pengamatan secara visual. Air yang tidak berbau, tidak berwarna (jernih) dan tidak berasa dapat digunakan dalam pencampuran komposisi produk.

