

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 PENGERTIAN KUALITAS

Kualitas memiliki beberapa definisi yang berbeda-beda, dimana definisi yang berbeda-beda itu tergantung dari persepsi atau pandangan masing-masing orang. Berikut pendapat para ahli mengenai pengertian kualitas :

J.M. Juran menyatakan bahwa mutu adalah kesesuaian dengan tujuan atau manfaatnya.

Menurut W. Edward Deming, mutu harus bertujuan memenuhi kebutuhan pelanggan sekarang dan masa mendatang.

Crosby berpendapat bahwa mutu adalah kesesuaian dengan kebutuhan yang meliputi availability, delivery, reliability, maintainability dan cost effectiveness.

Sedang menurut A.V. Feigenbaum, mutu merupakan keseluruhan gabungan karakteristik produk dan jasa yang meliputi marketing, engineering, manufacture dan maintenance melalui mana produk dan jasa dalam pemakaian akan sesuai dengan harapan pelanggan.

Pendapat Davis L. Goetsh dan Stanley Davis bahwa mutu adalah suatu kondisi dinamis yang berkaitan dengan produk, pelayanan, orang,

proses dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan.

Menurut perbendaharaan istilah ISO 8402 dan dari Standar Nasional Indonesia (SNI 19-8402-1991), mutu adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar.

H.L. Gilmore mendefinisikan bahwa mutu adalah suatu kondisi dimana produk sesuai dengan desain atau spesifikasi tertentu.

William W. Scherkenbach berpendapat bahwa mutu ditentukan oleh pelanggan, pelanggan ingin produk dan jasa, dalam seluruh kehidupannya, terpenuhi kebutuhan dan harapannya, pada suatu harga tertentu yang menunjukkan nilai produk tertentu.

Ross Johnson dan William O. Winchell, berpendapat bahwa mutu adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang berkaitan dengan kemampuannya memenuhi kebutuhan atau kepuasan.

Beberapa definisi tersebut diatas dapat kita katakan bahwa secara garis besarnya yaitu, mutu adalah keseluruhan ciri atau karakteristik produk atau jasa dalam tujuannya untuk memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan (Dorothea Wahyu Ariani, *Manajemen Kualitas*, Edisi Pertama, hal. 6, tahun 2003).

2.2 PENGENDALIAN KUALITAS

Pengendalian kualitas adalah suatu sistem verifikasi dalam penjagaan atau perawatan dari suatu tingkatan atau derajat kualitas produk atau proses yang dikehendaki dengan cara perencanaan yang seksama, pemakaian peralatan yang sesuai, inspeksi yang terus menerus, serta tindakan korektif bilamana diperlukan (Sritomo Wignjosoebroto, *Pengantar Teknik & Manajemen Industri*, Edisi Pertama, hal. 252, tahun 2003).

Pengendalian kualitas dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu *On-Line Quality Control* dan *Off-Line Quality Control*.

On-Line Quality Control adalah kegiatan pengendalian kualitas yang dilakukan selama proses pabrikasi berlangsung dengan menggunakan *Statistical Process Control* (SPC). Sifat *On-Line Quality Control* adalah tindakan pengendalian yang reaktif atau tindakan setelah kegiatan produksi berjalan. Artinya jika produk yang dihasilkan tidak memenuhi spesifikasi yang diharapkan, tindakan perbaikan terhadap proses dilakukan dengan tujuan meminimasi jumlah cacat yang terjadi.

Off-Line Quality Control adalah pengendalian kualitas yang dilakukan sebelum proses produksi atau pengendalian kualitas yang bersifat preventif. Dengan tindakan preventif maka kemungkinan adanya cacat produk dan masalah kualitas dapat diatasi sebelum produksi berjalan. Pengurangan pada produk cacat akan mengurangi *scrap* dan produk gagal, yang akhirnya akan mengurangi pemulangan produk dari

konsumen serta dapat mengurangi kerugian. Tujuan dari *Off-Line Quality Control* adalah untuk mengoptimasi desain produk dan proses dalam rangka mendukung kegiatan *On-Line Quality Control*.

Secara umum pengendalian kualitas atau *Quality Control* dapat diartikan sebagai suatu sistem yang efektif untuk memadukan pengembangan, pemeliharaan dan upaya perbaikan kualitas berbagai kelompok dalam sebuah organisasi agar perekayasaan, produksi dan jasa serta pemasaran dapat berada pada tingkatan yang paling ekonomis sehingga konsumen mendapat kepuasan penuh. Jadi pengendalian kualitas berarti :

1. Menggunakan pengawasan kualitas sebagai dasar setiap kegiatan.
2. Pengendalian biaya, harga dan laba secara terintegrasi.
3. Pengendalian jumlah, meliputi jumlah produksi, penjualan dan persediaan serta waktu pengiriman kepada pelanggan.

2.3 STATISTICAL PROCESS CONTROL (SPC)

Statistical Process Control merupakan pengendalian kualitas yang dikerjakan secara statistik saat produksi sedang berjalan atau disebut juga *On-Line Quality Control*. Proses SPC dimulai dari pertanyaan "Apakah data ini berada dalam batas kendali ? ", bila data berada di luar batas kendali maka suatu tindakan perbaikan harus dilakukan sehingga hasil dari proses dapat berada dalam batas kendali secara data. Dalam melakukan metode SPC ini diperlukan data yang telah di klasifikasikan

menurut jenis produk dan jumlah produk. Data tersebut diklasifikasikan menjadi dua, yaitu :

1. Data kontinu atau data variabel

Data variabel merupakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran-pengukuran atau data kuantitatif yang diukur untuk keperluan analisis. Contohnya dimensi (m, mm), volume (lt, m³), berat (gr, pon), kekuatan (kg/cm²) dan sebagainya.

2. Data diskrit atau data atribut

Data atribut merupakan data-data dari pengukuran yang metrical dan merupakan bilangan bulat, seperti presentase dan banyaknya cacat produk. Atau merupakan data kualitatif yang dapat dihitung untuk pencacatan dan analisis. Contohnya adalah ketiadaan label pada kemasan produk, kesalahan proses *filling* produk, cacat pada saat proses *sealing*.

Pada prinsipnya setiap peta kendali mempunyai :

1. Garis tengah (*Center Line*), yang biasanya dinotasikan CL.
2. Sepasang batas kendali (*Control Limits*), dimana satu batas kendali ditempatkan diatas CL yang dikenal dengan batas kendali atas (*Upper Control Limit*), biasanya dinotasikan UCL, dan dibawah CL yang dikenal dengan batas kendali bawah (*Lower Control limit*) yang dinotasikan dengan LCL.
3. Tebaran nilai-nilai karakteristik kualitas yang menggambarkan keadaan dari proses.

2.4 JENIS-JENIS PETA KENDALI

2.4.1 Peta Kendali Variabel

Dalam pengendalian proses statistik rata-rata, rentang dan standar deviasi paling sering digunakan untuk menganalisa dan pengukuran. Grafik control (peta kendali X-bar dan R) digunakan untuk memantau statistik ini. Suatu titik di luar control untuk setiap statistik ini adalah suatu indikasi bahwa penyebab khusus variasi hadir dalam penyelidikan seharusnya langsung untuk mengidentifikasi penyebab khusus.

A. Peta Kendali X-bar dan R

Peta kendali X-bar dan R digunakan untuk menunjukkan pola-pola keseragaman sampel yang stabil atau tidak. Distribusi nilai-nilai dari X-bar sampel random yang ditarik dari suatu populasi tersebut berdistribusi tidak normal.

Peta kendali X-bar adalah alat statistik yang digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan pusat dari suatu proses selama waktu. Sedangkan peta kendali R adalah alat statistik yang digunakan untuk mengevaluasi dispersi atau penyebaran suatu proses selama waktu.

Persamaan sub kelompok untuk grafik rata-rata dan rentang

$$\bar{X} = \frac{\text{Jumlah pengukuran sub - kelompok}}{\text{ukuran sub - kelompok}} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$R = \text{Terbesar dari sub kelompok} - \text{Terkecil dalam sub kelompok}$$

Batas Kontrol untuk grafik rata-rata maupun rentang maupun rentang dihitung sehingga sangat tidak mungkin bahwa rata-rata sub-

kelompok dari proses yang stabil akan jatuh diluar batas. Semua batas kontrol ditetapkan pada kurang lebih tiga standar deviasi dari garis tengah grafik. Jadi batas Kontrol untuk rata-rata sub-kelompok adalah kurang lebih tiga standar deviasi dari rentang dari rata-rata rentang.

Untuk mempermudah perhitungan, konstanta digunakan dalam persamaan batas Kontrol.

Persamaan batas Kontrol untuk grafik rentang :

$$\bar{R} = \frac{\text{Jumlah rentang sub - kelompok}}{\text{Jumlah sub - kelompok}}$$

$$LCL = D_3 \bar{R}$$

$$UCL = D_4 \bar{R} \dots\dots\dots(2.2)$$

Persamaan batas kontrol untuk grafik rata-rata menggunakan R-bar adalah sebagai berikut :

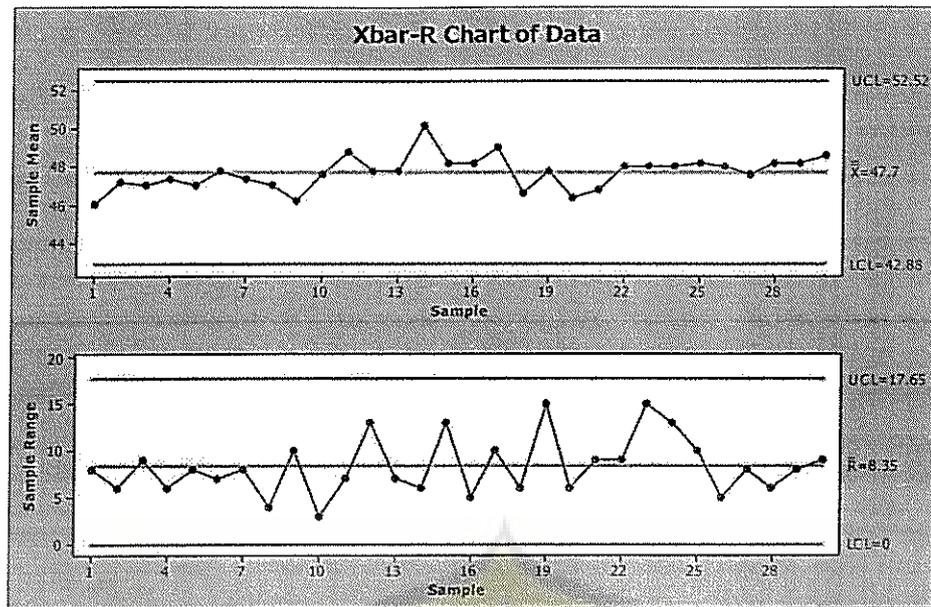
$$\bar{R} = \frac{\text{Jumlah rata-rata sub - kelompok}}{\text{Jumlah sub - kelompok}}$$

$$LCL = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

$$UCL = \bar{X} + A_2 \bar{R} \dots\dots\dots(2.3)$$

Manfaat yang bisa diambil dari penggunaan peta kendali Shewart tentang variabel antara informasi berupa :

1. Keseragaman data karakteristik mutu
2. Kekonsistenan penampilan
3. Tingkat rata-rata karakteristik mutu



Gambar 2.1 Grafik X-Bar dan Range

2.4.2 Peta Kendali Atribut

Peta kendali atribut adalah suatu peta yang menunjukkan jumlah karakteristik mutu yang tidak sesuai dengan persyaratan atau jumlah karakteristik yang ditarik. Pada peta kendali ini, karakteristik mutu hanya dapat dinilai berdasarkan “ditolak atau diterima”. Peta kendali atribut terbagi menjadi beberapa jenis, antara lain :

A. Peta Kendali p dan np

Peta jenis ini digunakan untuk bila kita memakai ukuran cacat berupa proporsi produk cacat dalam setiap sampel yang diambil. Bila sampel yang diambil untuk setiap kali melakukan observasi jumlahnya sama maka kita dapat menggunakan peta kendali p dan np. Namun bila sampel yang diambil bervariasi untuk setiap kali melakukan observasi

berubah-ubah jumlahnya atau memang perusahaan tersebut akan melakukan 100% inspeksi, maka kita harus menggunakan peta kendali p.

rumus yang kita gunakan antara lain :

❖ Untuk Jumlah Sampel Konstan :

Menggunakan peta kendali p

$$p = \frac{x}{n}$$

Di mana : p = Proporsi cacat dalam setiap sampel

x = Jumlah produk yang cacat dalam setiap sampel

n = Jumlah sampel yang diambil dalam inspeksi

Center Line peta pengendalian adalah :

$$CL p = \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^g p_i}{g} = \frac{\sum_{i=1}^g x_i}{ng}$$

Sedang peta pengendalinya adalah :

$$UCL p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n}}$$

$$LCL p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{n}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Menggunakan peta kendali np

Apabila kita akan menggunakan peta kendali np maka rumus yang akan digunakan adalah :

$$CL np = \bar{np} = \frac{\sum_{i=1}^g x_i}{ng}$$

Standar deviasi untuk jumlah cacat tersebut adalah :

$$\sigma np = \sqrt{\bar{np} \cdot (1 - \bar{p})}$$

$$UCL np = \bar{np} + 3 \sqrt{\bar{np} \cdot (1 - \bar{p})}$$

$$LCL np = \bar{np} - 3 \sqrt{\bar{np} \cdot (1 - \bar{p})} \dots\dots\dots(2.5)$$

❖ Untuk Jumlah Sampel Bervariasi

Untuk jumlah sampel yang bervariasi dapat digunakan beberapa pilihan, yaitu menggunakan peta pengendali harian, peta pengendali rata-rata dan peta pengendali yang dibuat berdasarkan pertimbangan perusahaan.

a. Menggunakan peta kendali harian atau individu

Center Line peta pengendalian adalah :

$$CL p = \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^g p_i}{g} = \frac{\sum_{i=1}^g x_i}{ng}$$

Sedang peta pengendalinya adalah :

$$UCL p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{ni}}$$

$$LCL p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{ni}} \dots\dots\dots(2.6)$$

b. Menggunakan peta kendali rata-rata :

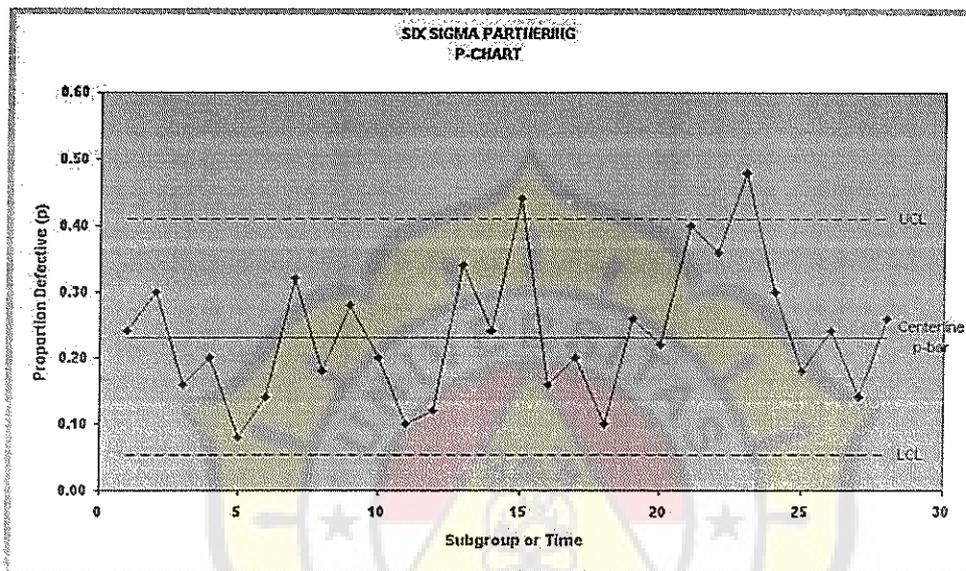
Center Line peta pengendalian adalah :

$$CL p = \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^g p_i}{g} = \frac{\sum_{i=1}^g x_i}{ng}$$

Sedang peta pengendalinya adalah :

$$UCL p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{\bar{n}}}$$

$$LCL p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p})}{\bar{n}}} \dots\dots\dots(2.7)$$



Gambar 2.2 Grafik Kontrol Proporsi (p)

- c. Menggunakan peta kendali dengan pertimbangan perusahaan

Peta kendali yang dimaksud adalah dengan mengambil sampel yang jumlahnya telah ditetapkan perusahaan, misalnya 100, 200 dan sebagainya. Bila ternyata sampel mendekati jumlah yang ditetapkan perusahaan, maka digunakan peta pengendali yang terdekat. Misal diambil sampel 130 unit, maka peta pengendali yang digunakan adalah peta pengendali berdasarkan nilai $n = 100$.

B. Peta Kendali U dan C

Peta pengendali ini digunakan untuk pengujian terhadap jumlah kesalahan pada produk. Bedanya, untuk jumlah sampel yang konstan dapat digunakan peta kendali c atau u, tetapi bila sampel yang diambil bervariasi atau memang seluruh produk yang dihasilkan akan diuji maka peta kendali yang digunakan adalah peta kendali u. Cacat produk yang diuji dengan menggunakan u dan c ini misalnya mengetahui jumlah bintik pada satu unit mobil, mengetahui jumlah scrup yang salah pada panel dan sebagainya. Cara menentukan CL, UCL dan LCL adalah :

❖ Untuk Jumlah Sampel Konstan

Untuk menyelesaikan masalah dengan data sampel konstan, kita dapat menggunakan peta kendali c atau peta kendali u, yaitu :

Menggunakan peta kendali c

$$CL\ c = \bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^g c_i}{g}$$

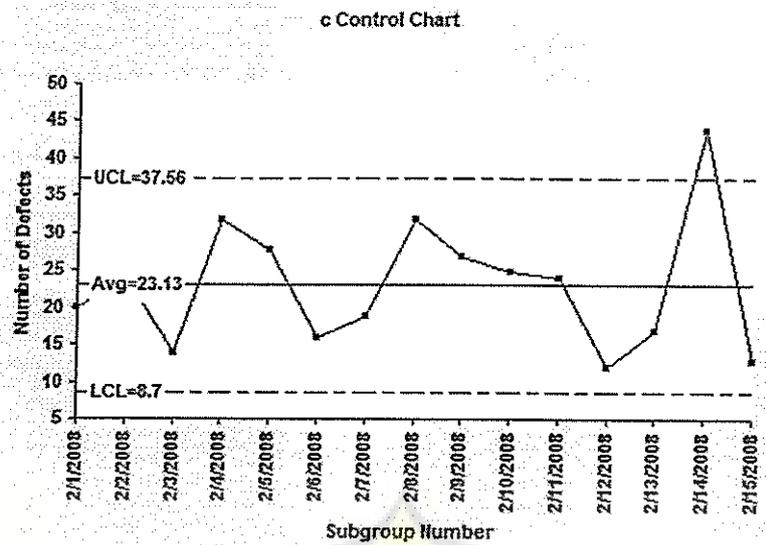
Di mana : c_i = Cacat pada sampel / observasi ke-1

g = Banyaknya observasi yang dilakukan

Sedang peta pengendalinya adalah :

$$UCL\ c = \bar{c} + 3 \cdot \sqrt{\bar{c}}$$

$$LCL\ c = \bar{c} - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}} \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.3 Grafik Kontrol c

Menggunakan peta kendali u

$$U_i = \frac{c_i}{n}$$

Di mana :

c_i = Jumlah cacat

n = Banyaknya sampel yang diambil

Center line untuk u adalah :

$$CL u = \bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^g c_i}{ng}$$

Sedang peta pengendalinya adalah :

$$UCL u = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LCL u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \dots\dots\dots(2.9)$$

❖ Untuk Jumlah Sampel Bervariasi

Untuk melakukan observasi dengan sampel bervariasi atau memang hasil keseluruhan produksi akan diuji atau ukuran produknya berbeda-beda maka harus digunakan peta pengendali individu atau harian atau peta pengendali rata-rata dengan rumus sebagai berikut :

a. Menggunakan peta kendali harian / individu

$$U_i = \frac{c_i}{n}$$

Di mana : c_i = Jumlah cacat

n = Banyaknya sampel yang diambil

Center line untuk u adalah :

$$CL\ u = \bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^g c_i}{ng}$$

Sedang peta pengendalinya adalah :

$$UCL\ u = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LCL\ u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \dots \dots \dots (2.10)$$

b. Menggunakan peta kendali rata-rata :

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^g c_i}{\sum_{i=1}^g n_i}$$

Sedang peta pengendalinya adalah :

$$UCL\ u = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

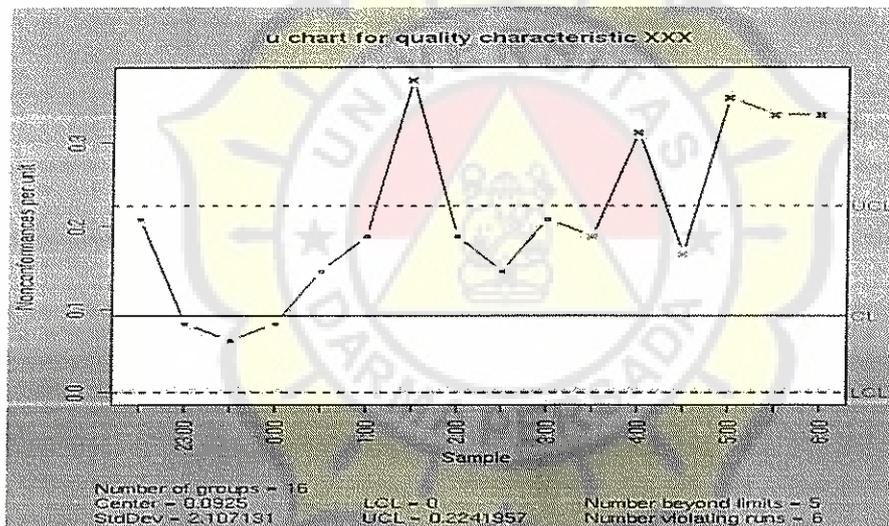
$$LCL u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Nilai n (banyaknya sampel bervariasi menurut sampel yang diambil)

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^g ni}{g}$$

$$UCL u = \bar{u} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

$$LCL u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} \dots\dots\dots(2.12)$$



Gambar 2.4 Grafik Kontrol Rata-Rata u

❖ Peta Kendali Untuk Cacat Produk Bervariasi

Apabila dalam perusahaan terdapat berbagai macam tingkat cacat, misal parah, sedang, ringan dan lain sebagainya maka untuk mengadakan pengendalian perusahaan harus menggunakan peta kendali u dengan rumus sebagai berikut :

$$D = w_1c_1 + w_2c_2 + w_3c_3 + w_4c_4$$

D adalah jumlah cacat secara keseluruhan w_1, w_2, w_3 dan seterusnya adalah bobot untuk masing-masing jenis cacat / kesalahan, sedangkan c_1, c_2, c_3 dan seterusnya adalah jumlah cacat untuk masing-masing tipe atau macamnya, sehingga :

$$U = \frac{D}{n} = \frac{w_1c_1 + w_2c_2 + w_3c_3 + w_4c_4}{n}$$

U adalah cacat untuk setiap kali observasi, sehingga *Center Line*-nya adalah :

$$\bar{U} = w_1\bar{u}_1 + w_2\bar{u}_2 + w_3\bar{u}_3 + w_4\bar{u}_4$$

$$\sigma \cdot U = \frac{\sqrt{w_1^2\bar{u}_1 + w_2^2\bar{u}_2 + w_3^2\bar{u}_3 + w_4^2\bar{u}_4}}{n}$$

Sedang batas atas dan batas bawah untuk peta pengendali ini adalah :

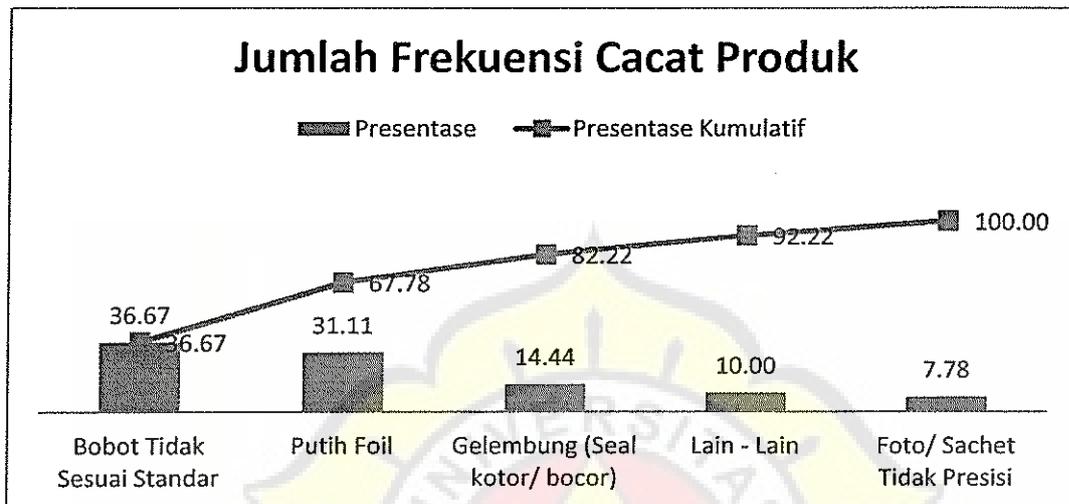
$$UCL = \bar{U} + 3\sigma$$

$$LCL = \bar{U} - 3\sigma \dots\dots\dots(2.13)$$

2.5 DIAGRAM PARETO

Diagram pareto adalah sebuah metode untuk mengelola kesalahan cacat untuk membantu memusatkan perhatian pada usaha penyelesaian masalah berdasarkan pekerjaan Vilfredo Pareto, seorang pakar ekonomi di abad ke-19. Joseph M. Juran mempopulerkan pekerjaan Pareto dengan menyatakan bahwa 80% permasalahan perusahaan merupakan hasil dari penyebab yang hanya 20%.

Contoh 1 menggambarkan lima cacat yang telah diidentifikasi, sementara cacat utama dengan presentasi paling besar adalah adalah satu tipe, yaitu cacat karena bobot tidak sesuai standar.



Gambar 2.5 Diagram Pareto (*Pareto Chart*)

Analisis pareto mengindikasikan masalah mana yang dapat menghasilkan pengembalian tinggi. Pacific Bell mendapati hal tersebut saat mencoba menemukan cara untuk mengurangi kerusakan kabel telepon yang ditanam, penyebab pertama kerusakan hubungan telepon. Analisis Pareto menunjukkan bahwa 41% kerusakan kabel akibat oleh pekerjaan konstruksi. Dilengkapi dengan informasi ini, Pasific Bell dapat merencanakan pengurangan kabel sebesar 24% dalam setahun, yang berarti penghematan \$6 juta.

2.6 DIAGRAM SEBAB AKIBAT

Diagram sebab akibat atau biasa juga disebut Diagram Tulang Ikan (*fishbone diagram*) adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antara sebab dan akibat. Diagram ini digunakan untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab tersebut. Diagram ini pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Kaoru Ishikawa dari Universitas Tokyo pada tahun 1953.

Fishbone diagram dapat dipergunakan untuk kebutuhan-kebutuhan sebagai berikut :

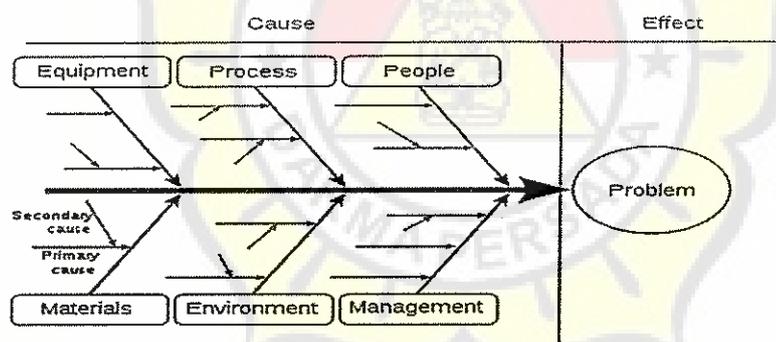
1. Membantu mengidentifikasi akar penyebab dari suatu masalah
2. Membantu membangkitkan ide-ide untuk solusi suatu masalah
3. Membantu dalam penyelidikan atau pencarian fakta lebih lanjut

Langkah-langkah pembuatan *fishbone diagram* adalah sebagai berikut :

1. Mulai dengan pernyataan masalah-masalah utama yang penting dan mendesak untuk diselesaikan
2. Tuliskan pernyataan masalah itu pada "Kepala Ikan", yang merupakan akibat (*effect*), kemudian gambarkan "Tulang Belakang" dari kiri ke kanan dan tempatkan pernyataan masalah itu dalam kotak.
3. Tuliskan faktor-faktor penyebab utama (sebab-sebab) yang mempengaruhi masalah kualitas sebagai "Tulang Besar". Faktor-faktor penyebab utama dapat dikembangkan melalui stratafkasi ke dalam

pengelompokan dari faktor-faktor : Manusia, Mesin, Material, Metode dan Lingkungan serta faktor-faktor lainnya.

4. Tuliskan penyebab-penyebab sekunder yang mempengaruhi penyebab-penyebab utama, dinyatakan sebagai “tulang-tulang berukuran sedang”.
5. Tuliskan penyebab-penyebab tersier yang mempengaruhi penyebab-penyebab sekunder, dinyatakan sebagai “tulang-tulang berukuran kecil”.
6. Tentukan item-item yang penting dari setiap faktor dan tandailah faktor-faktor penting tertentu yang kelihatannya mempunyai pengaruh nyata terhadap karakteristik kualitas.



Gambar 2.6 Diagram Sebab Akibat (*Fishbone Diagram*)

2.7 PENGERTIAN METODE TAGUCHI

Diperkenalkan oleh Geinchi Taghuchi tahun 1980 yang dikembangkan oleh Kackar sekitar tahun 1986. Merupakan metode

pengendalian mutu Off line (*off line quality control methods*), yaitu pengendalian mutu dengan memperhatikan pada desain produk atau mengadakan perbaikan pada desain produk (Dorothea Wahyu Ariani, *Manajemen Kualitas*, Edisi Pertama, hal. 106). Sedangkan pengendalian mutu proses statistik dikatakan sebagai metode pengendalian mutu on line (*on line quality control methods*) yang tidak memperhatikan pada desain tetapi hanya pada perbaikan standar pengendalian mutu produk atau proses.

Metode Taguchi pada dasarnya merupakan teknik statistik untuk melakukan eksperimen untuk menentukan kombinasi yang terbaik dari perancangan produk dan variabel proses untuk membuat suatu produk. Yang terbaik disini berarti biaya rendah dengan keseragaman yang tertinggi. Ini dirasa rumit, karena proses yang banyak menghabiskan waktu (Drs. Amin Widjaja Tunggal, *Manajemen Mutu Terpadu Suatu Pengantar, tahun 1998*). Taguchi ini dikenal karena pengembangan konsep QLF (*Quality Loss Function*) untuk menghubungkan biaya mutu (*cost of quality*) secara langsung terhadap variasi dalam proses.

Konsep Taguchi antara lain :

1. *Quality Robust Products*, yaitu produk yang dihasilkan seragam dan konsisten baik dalam bentuk, mutu, model dan sebagainya. Keseragaman ini juga harus diletakkan pada waktu kita menyusun matrik perancangan produk dalam metode *The House Of Quality*. Produk berkualitas tangguh adalah produk

yang dapat diproduksi secara seragam dan konsisten dalam setiap kondisi manufaktur dan lingkungan yang kurang baik. Ide Taguchi adalah menghilangkan pengaruh kondisi kurang baik dan bukan menghilangkan penyebab. Taguchi menyarankan bahwa menghilangkan pengaruh sering kali lebih murah daripada menghilangkan penyebab, dan lebih efektif dalam memproduksi produk yang tangguh. Dengan cara ini, variasi kecil dalam bahan dan proses tidak merusak kualitas produk.

2. *A Quality Loss Function*, yaitu mengidentifikasi semua biaya yang berkaitan dengan mutu produk dan peningkatan biaya tersebut bila produk yang dihasilkan semakin jauh dari kebutuhan dan harapan pelanggan yaitu dari target yang ditetapkan. Sebuah *quality loss function* (QLF) mengidentifikasi semua biaya yang berkaitan dengan kualitas yang buruk dan menunjukkan bagaimana biaya ini hanya ketidakpuasan pelanggan tetapi juga biaya garansi dan jasa, biaya inspeksi internal, perbaikan dan scrap serta biaya-biaya yang digambarkan sebagai biaya pada masyarakat.
3. *Target-oriented Quality*, yaitu filosofi perbaikan secara terus-menerus dan berkesinambungan untuk membawa produk mencapai target dengan tepat.

Keseluruhan kerugian pada masyarakat disebabkan karena kinerja buruk yang termasuk dalam fungsi kerugian. Semakin kecil kerugian,

maka produk semakin diinginkan. Semakin jauh produk dari nilai target, semakin besar kerugian.

Taguchi mengamati bahwa spesifikasi berorientasi kesesuaian tradisional (yaitu suatu produk baik selama masuk dalam batas toleransi) terlalu sederhana. Kualitas berorientasi kesesuaian menerima semua produk yang jatuh dalam batas toleransi, yang menghasilkan lebih banyak semakin jauh dari target. Oleh karena itu, kerugian (biaya) lebih tinggi dari segi kepuasan pelanggan dan manfaat pada masyarakat. Pada sisi lain, kualitas berorientasi target terus menjaga produk pada spesifikasi yang diinginkan, memproduksi unit lebih banyak mendekati target. Kualitas berorientasi target merupakan sebab filosofi perbaikan terus menerus untuk membawa produk tepat sesuai dengan target (Jay Heizer & Barry Render, *Manajemen Operasi*, Edisi ketujuh, tahun 2006).

2.7.1 Taguchi's Seven Points

Ada tujuh point Taguchi (*Taguchi's Seven Points*) yang membedakan pendekatan Taguchi dari pendekatan tradisional dalam menjamin kualitas (Tapan P. Bagchi, *Taguchi Methods Explained : Practical Steps to Robust Design*, hal. 3, tahun 1993) yaitu :

1. Dimensi penting dari kualitas produk yang diproduksi adalah total kerugian (total loss) yang diteruskan oleh produk tersebut ke konsumen.

2. Dalam persaingan ekonomi yang kompetitif, perbaikan kualitas secara terus-menerus (*Continuous Quality Improvement / CQI*) dan mengurangi biaya adalah penting untuk dapat bertahan dalam bisnis.
3. Perbaikan kualitas yang terus menerus meliputi pengurangan variasi dan karakteristik produk dari nilai targetnya.
4. Kerugian yang diderita konsumen akibat produk yang bervariasi sering kali 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 mengeksplotasi efek non linier dari parameter produk atau proses pada karakteristiknya.
7. Desain eksperimen statistik dapat digunakan untuk mengidentifikasi setting parameter dari produk atau proses yang akhirnya dapat mengurangi variasi.

2.7.2 Kelebihan dan Kekurangan Metode Taguchi

Kelebihan dari metode Taguchi adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan dibanding jika menggunakan percobaan *full factorial*, sehingga menghemat waktu dan biaya.

2. Dapat melakukan pengamatan terhadap rata-rata dan variasi karakteristik mutu sekaligus sehingga ruang lingkup pemecahan menjadi lebih luas.
3. Dapat mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas melalui perhitungan ANOVA dan Ratio S/N, sehingga faktor-faktor yang berpengaruh tersebut dapat diberikan perhatian khusus.

Dan adapun kekurangan dari metode Taguchi adalah sebagai berikut :

1. Jika percobaan dilakukan dengan banyak faktor dan interaksi maka akan terjadi pembaruan beberapa interaksi oleh faktor utama.
2. Jika interaksi yang diabaikan tersebut memang benar-benar berpengaruh terhadap karakteristik yang diamati, keakuratan hasil percobaan akan berkurang.

2.7.3 Perbedaan Antara Desain Faktorial Dengan Pendekatan Taguchi

Desain faktorial digunakan untuk menyelidiki semua kondisi yang mungkin terlibat dalam suatu percobaan. Teknik *full factorial* membutuhkan biaya yang besar dan waktu yang relatif lama karena jumlah percobaan yang dibutuhkan adalah L^n , dimana L adalah jumlah level yang digunakan dan n adalah jumlah faktor yang diteliti.

Perbedaan jumlah percobaan yang dibutuhkan pada percobaan desain factorial dengan metode taguchi dapat dilihat dari tabel dibawah ini

:

Tabel 2.1 Perbedaan Jumlah Percobaan antara Desain Faktorial dengan Taguchi

Jumlah Faktor	Level Yang Digunakan	Jumlah Percobaan	
		Desain Faktorial	Desain Taguchi
2	2	$2^2 = 4$	4
3	2	$2^3 = 8$	4
4	2	$2^4 = 16$	8
7	2	$2^7 = 128$	8
15	2	$2^{15} = 32768$	16

2.7.4 Tahap-Tahap Dalam Desain Performance Sebuah Produk

Dalam metode Taguchi terdapat 3 tahap untuk mengoptimasi desain produk atau proses produksi (Tapan P. Bagchi, *Taguchi Methods Explained : Practical Steps to Robust Design*, hal. 13, tahun 1993), yaitu :

1. *System Design*

Merupakan tahapan pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau inovasi proses, bertujuan 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, bertujuan untuk mengidentifikasi pengaturan parameter yang akan memberikan informasi rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi produk.

3. *Tolerance Design*

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

2.7.5 Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas adalah suatu proses yang berkaitan dengan kualitas. Karakteristik kualitas yang terukur menurut Taguchi dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu :

1. *Nominal is the Best*

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

Berat	Panjang	Lebar	Kerapatan	Pengaturan
Frekuensi	Ketebalan	Diameter	Luas	Kecepatan
Volume	Jarak	Tekanan	Waktu	Ketepatan

2. *Smaller the Better*

Pencapaian karakteristik, jika semakin kecil (mendekati nol) maka semakin baik. Contoh yang termasuk kategori ini adalah :

Penggunaan mesin	Persen kontaminasi	Hambatan
Penyimpangan	Kebisingan	Produk gagal
Waktu proses	Waktu respon	Pemborosan energi

Pemborosan panas Kerusakan

3. *Larger the Better*

Pencapaian karakteristik kualitas semakin besar nilainya maka semakin baik. Contoh yang termasuk kategori ini adalah :

Kekuatan Kekuatan tarik km/L

Efisiensi Ketahanan terhadap korosi

2.7.6 Taguchi's Quality Loss Function

Taguchi's Quality Loss Function memperkirakan kerugian pada masyarakat karena produk gagal memenuhi nilai targetnya untuk sebuah karakteristik performansi tertentu. Kerugian ini dapat dialami oleh konsumen, perusahaan dan masyarakat luas. Tujuan dari QLF Taguchi adalah evaluasi kuantitatif dari kerugian kualitas akibat variasi fungsional.

Rumus yang digunakan untuk menghitung QLF dibedakan berdasarkan jenis karakteristik kualitas, yaitu :

a. Quality Loss Function Untuk 1 Unit

❖ Karakteristik *nominal-the-best*

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

$$k = \frac{A_0}{\Delta_2} \dots \dots \dots (2.16)$$

❖ Karakteristik *smaller-the-best*

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

$$k = \frac{A_0}{\Delta_2} \dots \dots \dots (2.17)$$

❖ Karakteristik *larger-the best*

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

$$k = A_0 \Delta_2 \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

y = hasil pengukuran

$L(y)$ = *Loss to society*, kerugian dalam Rupiah per unit produk saat karakteristik kualitas sama dengan y

m = nilai target (*target value*)

k = koefisien biaya (konstanta yang tergantung pada struktur biaya proses manufaktur / organisasi)

A_0 = rata-rata biaya per unit

Δ = toleransi

b. Quality Loss Function Untuk Banyak Unit

❖ Karakteristik *nominal-the-best*

$$L(y) = k (\text{MSD})$$

$$\text{MSD} = \frac{(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2}{n}$$

$$k = \frac{A_0}{\Delta_2} \dots \dots \dots (2.19)$$

❖ Karakteristik *smaller-the-best*

$$L(y) = k (\text{MSD})$$

$$\text{MSD} = \frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n}$$

$$k = \frac{A_0}{\Delta_2} \dots \dots \dots (2.20)$$

❖ Karakteristik *larger-the best*

$$L(y) = k (\text{MSD})$$

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

$$k = A_0 \Delta_2 \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

m = nilai target (*target value*)

y_n = hasil pengukuran ke-n

n = jumlah percobaan / pengukuran

2.7.7 Orthogonal Array

Orthogonal Array diciptakan oleh Jacques Hardmard 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 (Tapan P. Bagchi, *Taguchi Methods Explained : Practical Steps to Robust Design*, hal. 90, tahun 1993). Keuntungan *Orthogonal Array* adalah

kemampuannya untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah tes yang minimum.

Orthogonal Array metode Taguchi telah menyediakan berbagai matriks OA untuk pengujian faktor-faktor dengan 2 dan 3 level dengan kemungkinan untuk pengujian *multiple level*.

Contoh dari OA adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Tabel *Orthogonal Array* L_8

Kolom Trial	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

2.7.8 Langkah-Langkah Percobaan Taguchi

Sebelum melakukan proses perhitungan, terlebih dahulu kita menentukan langkah-langkah dalam melakukan penelitian, khususnya untuk metode taguchi. Adapun langkah-langkah sebagai berikut dibawah ini.

2.7.8.1 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 :

1. *Measurable Characteristic* (karakteristik yang dapat diukur) adalah semua hasil akhir yang diamati dapat diukur dengan skala kontinu seperti dimensi, berat, tekanan dan lain-lain. Karakteristik yang dapat diukur dapat diklasifikasikan atas :
 - a. *Nominal is the best*
 - b. *Smaller the better*
 - c. *Larger the better*
2. *Atribute Characteristic* (karakteristik atribut) adalah hasil akhir yang diamati tidak dapat diukur dengan skala kontinu tetapi dapat diklasifikasikan secara kelompok. Seperti kelompok kecil, menengah, besar, sangat besar atau dapat juga dikelompokkan berdasarkan hasil atau tidak atau Go or No Go.
3. *Dynamic Characteristic* (karakteristik dinamis) adalah fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai signal atau *input* atau *output* sebagai hasil dari signal.

2.7.8.2 Penentuan Faktor-Faktor Yang Berpengaruh (Variabel Bebas)

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

Terdapat tiga pendekatan pembuktian yang sangat efektif dalam identifikasi faktor yang akan diteliti (Tapan P. Bagchi, *Taguchi Methods Explained : Practical Steps to Robust Design*, hal. 95, tahun 1993), yakni sebagai berikut :

1. *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 atau pandangan suatu orang berbeda dengan pendapat yang lain tentang suatu masalah. Setelah semua faktor-faktor yang diungkapkan dicatat, kemudian

dilakukan penyaringan untuk menentukan faktor yang akan diamati dan faktor yang akan diabaikan.

2. *Flowcharting*

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

3. *Causes-effect diagram*

Disebut juga diagram Ishikawa, merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab (faktor-faktor) yang potensial.

2.7.8.3 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 antara kedua faktor tersebut berbeda.

Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin diatur atau dikendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factor*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya tidak ingin diatur atau dikendalikan. Walaupun dapat diatur, faktor gangguan akan mahal biayanya. Faktor gangguan terdiri atas :

1. *External (outer) noise* adalah gangguan dari kondisi lingkungan /luar produksi.
2. *Internal (inner) noise* adalah gangguan dari dalam produksi sendiri.
3. *Unit to unit noise* adalah perbedaan antara unit yang diproduksi dengan spesifikasi yang sama.

2.7.8.4 Penentuan Jumlah Level Dan Nilai Level Faktor

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

Level faktor dapat dinyatakan secara kuantitatif seperti temperatur : 20 °C, 35 °C ; kecepatan : 30 km/jam, 45 km/jam dan lain sebagainya. 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.

2.7.8.5 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 mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri.

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.

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.

2.7.8.6 Perhitungan Derajat Kebebasan (*Degrees of Freedom*)

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Jika n_A dan n_B adalah jumlah perlakuan untuk faktor A dan faktor B, maka :

$$\text{Dof untuk faktor A} = n_A - 1$$

$$\text{Dof untuk faktor B} = n_B - 1$$

$$\text{Dof untuk interaksi faktor A dan B} = (n_A - 1)(n_B - 1)$$

$$\text{Jumlah total Dof} = n_A n_B - 1$$

$$\text{Dof total (f}_T) = (\text{jumlah total percobaan} \times \text{jumlah pengulangan}) - 1$$

2.7.8.7 Pemilihan *Orthogonal Array* (OA)

Dalam pemilihan *Orthogonal Array* haruslah memenuhi pertidaksamaan :

$$Dof_{awal} \geq Dof_{yang\ diperlukan\ untuk\ faktor\ dan\ interaksi}$$

Dimana :

$$Dof_{awal} = \text{jumlah trial} - 1$$

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

1. Jika semua faktor adalah 2 level : pilih jenis OA untuk 2 level faktor.
2. Jika semua faktor adalah 3 level : pilih jenis OA untuk 3 level faktor.
3. Jika beberapa faktor adalah 2 level dan lainnya 3 level : pilih yang mana yang dominan dan gunakan *dummy* treatment, Metode Kombinasi atau Metode *Idle Coloumn*.
4. Jika terdapat campuran 2, 3 atau 4 level faktor : lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Coloumn*.

Karena jumlah DOF adalah 5 maka *Orthogonal Array* yang digunakan berdasarkan tabel dibawah ini adalah L_8 .

Tabel 2.3 Pemilihan *Orthogonal Array*

Jumlah DOF	OA Yang Digunakan
2 - 3	L ₄
4 - 7	L ₈
8 - 11	L ₁₂
12 - 15	L ₁₆

2.7.8.8 Penugasan Untuk Faktor Dan Interaksinya Pada *Orthogonal Array (OA)*

Penugasan faktor-faktor baik faktor kontrol maupun gangguan dan interaksi-interaksi pada *Orthogonal Array* terpilih dengan memperhatikan (Philips J. Ross, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, hal. 78) :

1. Grafik linier
2. Tabel triangular

Kedua alat diatas merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier adalah satu jenis grafik dan titik yang bernomor yang memiliki korespondensi satu-satu terhadap kolom-kolom pada OA.

Grafik linier mengidentifikasi berbagai kolom kemana faktor-faktor dapat ditugaskan dan kolom berikutnya mengevaluasi interaksi dari faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-

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

2.7.8.9 Persiapan Dan Pelaksanaan Percobaan

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

Sudjana menyatakan bahwa dua kondisi diperlukan untuk memperoleh estimasi kesalahan percobaan yang valid yaitu replikasi dan randomisasi. Replikasi adalah pengulangan kembali perlakuan yang sama suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi. Replikasi diperlukan karena dapat :

1. Memberikan taksiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang interval konfidensi atau dapat digunakan sebagai satuan dasar pengukuran untuk menetapkan syarat signifikansi dari perbedaan-perbedaan yang diamati.
2. Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen.
3. Memungkinkan untuk diperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata-rata dari suatu faktor.

Selain itu dikatakan 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.

Taguchi menghubungkan jumlah replikasi dengan tingkat kepercayaan dan standar deviasi percobaan sebagai berikut :

1. L8 OA dengan satu kali tes per *trial* (4 tes vs 4 tes) mempunyai tingkat kepercayaan 90% dari deteksi perubahan rata-rata dengan kira-kira standar deviasi 2.
2. L8 OA dengan dua kali pengulangan tes atau L16 OA dengan satu tes per *trial* (8 tes vs 8 tes) mempunyai tingkat kepercayaan 90% dari deteksi perubahan rata-rata dengan kira-kira standar deviasi $1\frac{1}{3}$.
3. L16 OA dengan dua tes per *trial* mempunyai tingkat kepercayaan 90% dan deteksi perubahan rata-rata dengan kira-kira standar deviasi 1. Ini sudah merupakan percobaan yang sensitif dan ukuran yang lebih besar tidak akan menambah sensitivitas.

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

1. Meratakan pengaruh dari 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 dari setiap perlakuan yang sama.
3. Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (*independent*) satu sama lain.

Jika replikasi dilakukan dengan tujuan untuk memungkinkan dilakukan uji signifikan, maka randomisasi bertujuan menjadikan uji tersebut valid dengan menghilangkan sifat bias. Randomisasi dapat dilakukan dengan menggunakan tabel bilangan acak, mengundi, menggunakan mata uang dan sebagainya.

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

2.7.8.10 Analisis Data

Analisi data dilakukan setelah pengumpulan dan pengolahan data, yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih.

Selain itu dilakukan perhitungan ANOVA untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata suatu karakteristik kualitas dan perhitungan ANOVA Rasio S/N untuk

mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap variasi karakteristik kualitas.

2.8 ANALYSIS OF VARIANCE (ANOVA)

Analisis variansi adalah teknik yang digunakan untuk menganalisa data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen secara statistika. Analisis ini merupakan suatu metode yang menguraikan seluruh variansi atas bagian-bagian yang mempunyai arti, di sini dilakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistika sesuai dengan sumber-sumber variansi.

Analisis variansi digunakan untuk pengujian hipotesa dalam membandingkan rata-rata sampel dengan dasar membandingkan *unbiased estimated* variansi populasi dari sumber-sumber yang berbeda. *Unbiased estimated* variansi populasi adalah jumlah kuadrat dibagi dengan derajat kebebasan atau disebut juga dengan *Mean Square*. Variansi adalah kuadrat dari standar deviasi.

Jika dari populasi diambil sebuah sampel ukuran n , maka harga sampelnya adalah :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Di mana : \bar{X} = rata-rata sampel

X_i = data ke- i

$i = 1, 2, \dots, n$

Nilai variansi sampelnya adalah :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \dots\dots\dots(2.23)$$

Persamaan terakhir merupakan *unbiased estimated* variansi populasi dengan :

$(X_i - \bar{X})^2$ disebut sebagai jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

$(n - 1)$ disebut sebagai derajat kebebasan (*degrees of freedom = dof*)

Dalam melakukan perhitungan ANOVA, pertama-tama harus diketahui jenis ANOVA yang harus dipilih. Jenis ANOVA ada dua, yaitu :

1. ANOVA satu arah
 - a. Satu faktor dengan satu level eksperimen
 - b. Satu faktor dengan dua level eksperimen
2. ANOVA dua arah
 - a. Lebih dari satu faktor dengan satu kali pengulangan
 - b. Lebih dari satu faktor dengan banyak pengulangan

Karena penelitian ini dilakukan untuk meneliti lebih dari satu faktor dengan dua kali pengulangan, maka proses perhitungan ANOVA yang dibahas pada bab ini adalah ANOVA dua arah dengan banyak pengulangan. Berikut langkah-langkah perhitungan ANOVA :

1. Jumlah seluruh nilai percobaan

$$T = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n \dots\dots\dots(2.24)$$

Di mana : $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ = hasil pengukuran percobaan

n = banyaknya percobaan yang dilakukan

2. Faktor Koreksi (*Correction Faktor, CF*)

$$CF = \frac{T^2}{n} \dots\dots\dots(2.25)$$

3. Total Jumlah Kuadrat (*Total Sum of Square*)

$$SS_T = \sum_{i=1}^n y_i^2 - CF \dots\dots\dots(2.26)$$

4. Jumlah Kuadrat Faktor (*Factor Sum of Square*)

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \frac{(A_i)^2}{n_{Ai}} \right] - \frac{T^2}{n}$$

$$SS_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^c \frac{(AxB)_i^2}{n_{AxBi}} \right] - \frac{T^2}{n} - SS_A - SS_B \dots\dots\dots(2.27)$$

$$SS_e = SS_T - (\sum SS_{\text{faktor yang diteliti}})$$

Di mana : A = faktor yang diteliti

AxB = interaksi faktor A dan B

5. Derajat Kebebasan (*Degrees of Freedom, dof*)

dof_T = (jumlah total percobaan) - 1

dof untuk faktor A adalah $dof_A = n_A - 1$

dof untuk interaksi faktor A dan B adalah $dof_{(AxB)} = (n_A - 1)(n_B - 1)$

dof untuk *error* adalah :

$$dof_{\text{error}} = dof_T - (dof_{\text{jumlah derajat kebebasan faktor yang diteliti}}) \dots\dots\dots(2.28)$$

6. Variansi (*Mean Square*)

$$V_A = SS_A / dof_A$$

$$V_{(AxB)} = SS_{(AxB)} / dof_{(AxB)}$$

$$V_e = SS_e / dof_e \dots\dots\dots(2.29)$$

7. Rasio Faktor F (*Factor F Ratio*)

$$F_A = V_A / V_e$$

$$F_{(A \times B)} = V_{(A \times B)} / V_e \dots \dots \dots (2.30)$$

8. Jumlah kuadrat yang sesungguhnya (*Pure Sum of Square*)

$$SS'_A = SS_A - (dof_A \times V_e) \dots \dots \dots (2.31)$$

9. Presentase kontribusi (*Percentage Contribution*)

$$P_A = (SS'_A / SS_T) \times 100\% \dots \dots \dots (2.32)$$

2.8.1 Tes Rasio F

Tes rasio F untuk membuktikan adanya perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam percobaan. Pembuktian ini dilakukan dengan menggunakan uji F. Hal ini karena apabila dua penaksir tak bisa dari variansi populasi idependen dibandingkan, kemudian diperoleh hasil perbandingan yang menyebar menurut distribusi F.

Tes rasio F dilakukan dengan cara membandingkan variasi yang disebabkan masing-masing faktor dengan variasi *error*. Variasi *error* adalah variasi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor luar yang tidak dapat dikendalikan.

Nilai F_{hitung} dibandingkan dengan F_{tabel} pada harga α tertentu dengan derajat kebebasan $((k-1)(N-k))$, dimana k adalah jumlah level suatu faktor dan N adalah jumlah total perlakuan.

Hipotesa pengujian dalam suatu percobaan adalah :

H_0 : rataan seluruh perlakuan sama

H_1 : sedikitnya ada sepasang perlakuan yang tidak sama

Bila nilai F tes lebih kecil dari F tabel, maka hipotesa (H_0) diterima atau tidak ada pengaruh perlakuan. Namun jika nilai F tes lebih besar dari nilai F tabel maka hipotesa (H_0) ditolak dan berarti ada perbedaan perlakuan.

2.8.2 Strategi Pooling Up

Strategi *Pooling Up* dirancang oleh Taguchi untuk mengestimasi variansi *error* pada ANOVA. Sehingga estimasi yang dihasilkan akan lebih baik, karena strategi ini akan mengakumulasi beberapa variansi *error* dari beberapa faktor yang kurang berarti.

Strategi ini ditujukan untuk melakukan uji F pada level kolom terkecil terhadap yang lebih besar berikutnya untuk melihat kesignifikannya. Dalam hal ini jika tidak ada rasio F signifikan yang muncul maka kedua efek tersebut digabungkan untuk menguji kolom yang lebih besar berikutnya sampai rasio F yang signifikan muncul.

Strategi *pooling up* cenderung memaksimalkan jumlah kolom yang dipertimbangkan signifikan. Dengan keputusan signifikan faktor-faktor tersebut akan digunakan dalam putaran percobaan selanjutnya atau dalam desain produk atau proses. Dengan demikian kecenderungan melakukan kesalahan α (kesalahan tipe I, disebut juga resiko produsen) akan membesar, yaitu pertimbangan bahwa faktor menyebabkan perbaikan padahal tidak (penolakan hipotesis yang benar). Namun

keadaan ini lebih baik dari pada melakukan teknik *pooling down* yang memaksimalkan kesalahan β (kesalahan tipe II, disebut juga resiko konsumen), yaitu pertimbangan bahwa faktor tidak menyebabkan perbaikan padahal sebenarnya menyebabkan perbaikan (penerimaan hipotesis yang salah).

Perlu dijelaskan disini bahwa jika $dof\ error = 0$, maka dilakukan *pooling* berdasarkan persen kontribusi. *Pooling* dilakukan terhadap faktor /interaksi sehingga $dof\ error$ -nya maksimal $\frac{1}{2}$ $dof\ total$ (jika $dof\ total = 7$, maka *pooling* maksimal dilakukan hingga $dof\ error$ -nya menjadi $\frac{1}{2} \times 7 = 4$) atau terhadap faktor /interaksi yang memiliki persen kontribusi terkecil sehingga persen kontribusi *error* menjadi minimal 1%. *Pooling* persen kontribusi dihentikan jika salah satu dari kedua kondisi di atas terpenuhi.

2.8.3 Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)

Rasio *Signal to Noise* adalah rasio rataan (*signal*) terhadap standar deviasi (*noise*), disingkat rasio S/N dilambangkan dengan η . Satuan rasio S/N adalah desibel (dB). Dalam percobaan, respon rataan digunakan untuk mengoptimasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata dan respon rasio S/N digunakan untuk mengoptimasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap variansi.

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) kedalam suatu nilai yang merupakan ukuran variansi yang timbul (Philip J. Ross, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, hal.72, tahun 1998).

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 percobaan tergantung pada tipe karakteristik kualitas yang diamati.

Pada penelitian ini rasio S/N yang digunakan adalah tipe *smaller the better* dengan rumus :

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

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

Dimana :

MSD = Mean square deviation

Y1, y2, y3 = Hasil percobaan

n = Jumlah pengulangan

Tabel 2.4 Rumus MSD untuk Tiap Karakteristik Kualitas

Tipe Target Karakteristik Kualitas	MSD
Smaller the better	$(Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2) / n$
Nominal is the best	$[(Y_1 - Y_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + \dots + (Y_n - Y_0)^2] / n$
Larger the better	$(1/Y_1^2 + 1/Y_2^2 + \dots + 1/Y_n^2) / n$

2.8.4 Pemilihan Setting Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Kondisi Optimal

Untuk mencapai kondisi optimal, pemilihan faktor dilakukan dengan dua cara. Untuk mencapai nilai rata-rata optimal maka pilih level perlakuan faktor yang memberikan nilai rata-rata sesuai dengan tipe target karakteristik kualitasnya. Sedangkan untuk mengurangi variansi, hitung rasio S/N untuk tiap faktor utama lalu pilih nilai S/N yang lebih besar.

Langkah-langkah yang digunakan dalam memilih level dari setting optimal adalah sebagai berikut :

1. Pilih level dari faktor dispersi untuk meminimasi dispersi.
2. Pilih level dari faktor penyesuaian yang dapat menggeser rata-rata mendekati target.

Faktor ini disebut *adjustment factor*.

2.8.5 Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil merupakan langkah yang dilakukan setelah percobaan dan analisa. Interpretasi hasil yang dilakukan antara lain :

1. Persentase kontribusi

Merupakan porsi masing-masing faktor yang nyata terhadap total variansi yang diamati. Persentase kontribusi merupakan fungsi dari jumlah kuadrat untuk tiap sumber yang signifikan. Persentase kontribusi memberikan indikasi kekuatan rekatif

sebuah faktor dan /atau interaksi faktor dalam mereduksi variansi.

Jika persentase kontribusi *error* $\leq 15\%$, hal ini berarti tidak ada faktor yang berpengaruh terabaikan. Tetapi bila persentase kontribusi *error* $\geq 50\%$, hal ini berarti ada faktor penting yang terabaikan, kondisi yang tidak terkontrol dengan baik atau ada *error* besar dalam pengukuran.

2. Perhitungan selang kepercayaan faktor untuk kondisi perlakuan saat percobaan.

Selang kepercayaan merupakan perkiraan selang rata-rata nilai suatu faktor akibat perlakuan tertentu. Dugaan suatu rata-rata nilai faktor memiliki suatu selang tertentu disekitar nilai rata-ratanya.

Persamaan untuk mencari selang kepercayaan adalah :

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(v_1, v_2) \times Ve/n} \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana :

$F_{\alpha}(v_1, v_2)$ = nilai dari tabel F

$1 - \alpha$ = selang kepercayaan

v_1 = derajat bebas yang berhubungan dengan rata-rata dan selalu bernilai 1 untuk sebuah selang kepercayaan

- v_2 = derajat bebas dari *error* (fe)
- V_e = variansi (*mean sum of square*) dari *error*
- n = jumlah yang diuji / jumlah percobaan untuk tiap faktor

Sedangkan nilai selang kepercayaan untuk tiap faktornya adalah :

$$\bar{A}_k - CI \leq \mu_{A_k} \leq \bar{A}_k + CI \dots\dots\dots(2.35)$$

Dimana :

μ_{A_k} = dugaan rata-rata faktor A pada level ke-k

\bar{A}_k = rata-rata faktor A pada perlakuan ke-k

K = 1, 2, 3, ...

2.8.6 Perkiraan Hasil dan Selang Kepercayaan pada Kondisi Optimal

1. Prediksi Hasil pada Kondisi Optimal

Hasil pada kondisi optimum diperkirakan hanya dari faktor-faktor yang berpengaruh secara nyata. Faktor yang *di-pooled* tidak termasuk dalam perkiraan. Cara perhitungannya adalah :

$$\bar{T} = \frac{T}{n} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana :

T = Total semua hasil

n = Total percobaan

Perkiraan hasil pada kondisi optimum didapat dari perhitungan :

$$\bar{T} + (\text{faktor berpengaruh secara nyata} - \bar{T})$$

2. Selang Kepercayaan Prediksi Hasil pada Kondisi Optimal

Selang kepercayaan ini digunakan untuk seluruh populasi yang berada pada kondisi optimal. Adapun selang ini digunakan untuk memprediksi rata-rata kondisi optimalnya.

Persamaan untuk mencari selang kepercayaan :

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha}(v_1, v_2) \times Ve/n} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana :

$F_{\alpha}(v_1, v_2)$ = nilai dari tabel F

v_1 = derajat bebas (selalu = 1)

v_2 = derajat bebas dari *error* (dof *error*)

Ve = variansi (*mean sum of square*) dari *error*

N_{eff} = $\frac{\text{TotalNumberOfDegreeOfFreedom}}{\text{SumOfDegreeOfFreedomUsedInEstimatesOfMean}}$

Maka selang kepercayaan prediksi hasil pada kondisi optimal adalah :

$$\mu_{predicted} - CI \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + CI$$

2.8.7 Selang Kepercayaan di Sekitar Percobaan Konfirmasi

Selang kepercayaan ini digunakan untuk seluruh populasi yang berada pada kondisi optimal pada percobaan konfirmasi. Persamaan untuk mencari selang kepercayaan adalah :

$$CI = \pm \sqrt{\frac{F_{\alpha}(V_1, V_2) \times Ve \times (Ne + Nr)}{(Ne \times Nr)}} \dots \dots \dots (2.38)$$

Dimana : Nr = jumlah sampel untuk percobaan konfirmasi

Maka selang kepercayaan untuk percobaan konfirmasi adalah :

$$\text{Rata-rata konfirmasi} - CI \leq \mu \leq \text{rata-rata konfirmasi} + CI$$

2.8.8 Selang Kepercayaan di Sekitar Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memeriksa kesimpulan yang didapat. Percobaan konfirmasi bertujuan untuk menentukan level faktor optimum untuk faktor dan level signifikan, tetapi untuk level yang tidak signifikan dipilih berdasarkan pertimbangan lain (misalnya pertimbangan ekonomis).

Tujuan percobaan konfirmasi adalah untuk memverifikasi :

1. Dugaan yang dibuat pada saat model performansi penentuan faktor dan interaksinya.

2. Setting parameter (faktor) yang optimal analisa hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

Langkah-langkah pada percobaan konfirmasi adalah sebagai berikut (Philip J. Ross, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, tahun 1998) :

1. Mensetting kondisi optimal untuk faktor dan level signifikan, sedangkan untuk faktor yang tidak signifikan, setting untuk level faktornya dipilih berdasarkan pertimbangan biaya ekonomis.
2. Membandingkan rata-rata dan variansi hasil percobaan konfirmasi dengan rata-rata dan variansi yang diharapkan.

Percobaan konfirmasi dikatakan berhasil bila :

1. Terjadi perbaikan dari hasil proses yang ada (sebelum percobaan Taguchi dilakukan).
2. Hasil dari percobaan konfirmasi dekat dengan nilai yang diprediksikan.

2.8.9 Uji Selisih Antara Dua Proporsi

Uji selisih antara dua proporsi berguna untuk mengetahui apakah terjadi perubahan proporsi yang cukup signifikan setelah dilakukan percobaan dengan implementasi. Langkah-langkah uji selisih dua proporsi adalah sebagai berikut :

1. Hipotesa Awal (H_0) : $p_1 = p_2$

2. Hipotesa Alternatif (H_1), alternatifnya adalah salah satu diantara

$$p_1 < p_2, p_1 > p_2 \text{ atau } p_1 \neq p_2$$

3. Tentukan taraf nyata /signifikan α

4. Wilayah kritik

$$Z < -Z_\alpha \text{ bila alternatifnya } p_1 < p_2$$

$$Z > -Z_\alpha \text{ bila alternatifnya } p_1 > p_2$$

$$Z < -Z_{\alpha/2} \text{ dan } Z > -Z_{\alpha/2} \text{ bila alternatifnya } p_1 \neq p_2$$

5. Perhitungan :

$$p_1 = x_1 / n_1$$

$$p_2 = x_2 / n_2$$

$$p = (x_1 + x_2) / (n_1 + n_2)$$

$$q = 1 - p$$

$$Z = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{p \cdot q \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Dimana :

p = proporsi

x = banyaknya data

n = jumlah data

6. Keputusan : Tolak H_0 bila Z jatuh ke dalam wilayah kritik; dan terima H_0 bila Z jatuh di luar wilayah kritik.