

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Manajemen Kualitas

Manajemen kualitas dapat dikatakan sebagai semua aktivitas dari fungsi manajemen secara keseluruhan yang menentukan kebijaksanaan kualitas, tujuan dan tanggung jawab serta mengimplementasikannya melalui alat-alat manajemen kualitas, seperti perencanaan kualitas, pengendalian kualitas, penjaminan kualitas dan peningkatan kualitas (Gaspersz, 1997).

Manajemen kualitas adalah suatu cara untuk meningkatkan performansi secara terus – menerus (*Continuous Performance Improvement*) pada setiap level operasi atau proses, dalam setiap area fungsional dari suatu organisasi dengan menggunakan sumber daya manusia dan modal yang tersedia (Gaspersz, 2005).

2.1.1 Definisi Kualitas

Umumnya konsumen akan memberikan aspek kualitas yang beragam dari sisi *customer needs* dan *customer wants*. Definisi dan sistem kualitas dari sisi konsumen dan produsen cenderung akan berbeda. Kondisi ini dapat dipahami, dimana konsumen cenderung melihat sistem kualitas dari sisi “kebutuhan” dan “keinginan”. Saat ini, sebagian besar konsumen mulai menjadikan kualitas sebagai parameter utama dalam menjatuhkan pilihan terhadap suatu produk/layanan. Lebih dari itu, kualitas mampu menaikkan/ menurunkan nilai jual produk perusahaan.

Kualitas merupakan kunci sukses perusahaan. Dewasa ini, konsumen tidak mudah percaya dengan berbagai iklan yang dipasang di media, tetapi lebih percaya pada testimoni seseorang terhadap kualitas suatu barang. Oleh karena

itu, saat ini kualitas merupakan salah satu strategi yang digunakan untuk memenangkan persaingan diantara banyak produk sejenis yang beredar dipasaran. Konsumen tidak lagi menggunakan harga sebagai pegangan untuk membeli barang, tetapi lebih pada tingkat keawetan barang, jenis bahan baku, desain barang, content barang, kesesuaian fungsi dengan kebutuhan dll.

Dengan demikian, terlihat bahwa kualitas merupakan faktor penting dalam manajemen operasi perusahaan. Berikut beberapa macam definisi kualitas yang telah dirumuskan oleh para ahli :

1. **Menurut Crosby (1979)**, yang mendefinisikan Quality is conformance to requirement or specifications yang diartikan bahwa kualitas adalah suatu kesesuaian untuk memenuhi persyaratan atau spesifikasi pelanggan.

Crosby menemukan 4 (empat) aspek yang sangat krusial dalam proses peningkatan kualitas berupa pendekatan yang komprehensif terhadap keseluruhan sistem kualitas, yaitu :

- a) Definisi kualitas : Kesesuaian dengan persyaratan
- b) Sistem kualitas : Pencegahan (*prevention*)
- c) Standar kualitas : Tanpa cacat (*zero defect*)
- d) Sistem Pengukuran kualitas : Harga dari ketidaksempurnaan (*price of non-conformance*)

2. **Menurut Feigenbaum dalam Susetyo, 2011** mendefinisikan kualitas sebagai *full customer satisfaction*, yaitu merupakan keseluruhan karakteristik suatu produk atau jasa yang mampu memberikan kepuasan pada konsumen sepenuhnya.

3. **Juran, 1964** mengungkapkan bahwa kualitas dapat didefinisikan *fitness for use*, yaitu kesesuaian atau kecocokan penggunaan. Produk atau jasa yang sesuai

atau cocok tersebut mengandung 5 (lima) dimensi utama yaitu: (i) kualitas desain, (ii) kualitas kesesuaian, (iii) ketersediaan, (iv) keamanan (*safety*), (v) pemakaian (*field use*)

4. **Oakland, 1989** menjelaskan bahwa kualitas merupakan pemenuhan terhadap kebutuhan konsumen (*meeting the customer requirements*). Kualitas seringkali digunakan untuk menandakan keunggulan suatu produk barang atau jasa. Dengan selalu menciptakan barang sesuai dengan kebutuhan pelanggan, maka akan memberikan kepuasan dan menumbuhkan loyalitas pelanggan.
5. **ISO 9000**, kualitas adalah kemampuan dari kesatuan karakteristik produk, system atau proses untuk memenuhi persyaratan pelanggan atau pihak terkait yang dinyatakan atau tersirat.

Kebutuhan pelanggan yang selalu berkembang dari hari ke hari, mengakibatkan tuntutan terhadap kualitas barang juga selalu berubah. Hal ini mengharuskan pihak perusahaan sebagai produsen barang atau jasa selalu melakukan berbagai perbaikan secara terus menerus (*continuous improvement*) sesuai dengan aspek-aspek perkembangan kebutuhan pelanggan. Oleh karena itu, untuk dapat menghasilkan produk barang atau jasa yang berkualitas dan memberikan kepuasan pada konsumen, maka semua proses terkait dengan produk atau jasa tersebut juga harus berkualitas, mulai input, proses di perusahaan sampai dengan output tersebut diterima oleh pelanggan. Keseluruhan sumber daya yang terlibat dalam proses pembuatan produk tersebut harus berkomitmen penuh pada pencapaian kualitas produk atau jasa dan kepuasan konsumen.

Dengan demikian, *key factor* dalam menjaga eksistensi perusahaan adalah kualitas barang atau jasa yang dihasilkan. Produk atau jasa yang

berkualitas sering didefinisikan sebagai produk atau jasa yang sesuai kebutuhan dan keinginan pelanggan. Sebelum perusahaan menghasilkan produk atau jasa perlu memahami definisi kualitas, sehingga mampu mengambil langkah-langkah strategis untuk meningkatkan kualitas dan proses kualitas harus terintegrasi dengan semua bagian di perusahaan. Oleh karena itu, agar dapat mengelola kualitas secara efektif dan efisien maka perlu memahami beberapa hal yang terkait dengan kualitas, yaitu:

1. Produk merupakan barang atau jasa yang dihasilkan oleh perusahaan dan memiliki ukuran/ dimensi tertentu sesuai dengan standar yang telah ditetapkan
2. Konsumen merupakan orang yang membeli produk barang/ jasa yang dihasilkan oleh perusahaan. Konsumen akan membeli produk sesuai dengan kebutuhannya, untuk ukuran, fungsi dan harga. Oleh karena itu, perusahaan perlu mengetahui spesifikasi keinginann konsumen terhadap suatu barang atau jasa agar produk yang dihasilkan dapat dibeli konsumen.
3. Kecacatan produk merupakan bentuk produk yang tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan perusahaan. Kecacatan produk merupakan salah satu bentuk pemborosan perusahaan dan penyebab ketidakpuasan knsumen sehingga harus dapat meminimalisir dengan melakukan pengendalian kualitas pada seluruh proses pembuatannya.
4. Kepuasan konsumen merupakan tujuan utama perusahaan, karena dengan adanya kepuasan konsumen maka akan terjadi pembelian ulang terhadap produk yang dihasilkan.

Sebagai faktor utama dalam mewujudkan kepuasan pelanggan, kualitas harus di kelola secara baik dan benar, melalui beberapa tahapan proses agar dapat terintegrasi dengan proses lain di perusahaan.

Dalam buku *Juran's Quality Handbook* dijelaskan bahwa tahapan dalam proses kualitas yang dikenal dengan *Juran Trilogy*, terdiri dari:

- a. Perencanaan Kualitas (*Quality planning*): merupakan suatu proses mengidentifikasi perencanaan kualitas yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan.
- b. *Quality control*: merupakan tahap evaluasi kebutuhan-kebutuhan yang diinginkan pelanggan terhadap capaian kualitas dengan rencana kualitas yang telah disusun sebelumnya.
- c. *Quality Improvement*: merupakan suatu mekanisme yang sudah mapan dipertahankan sehingga mutu dapat mencapai proses perbaikan, ini dilakukan berdasarkan hasil evaluasi.

2.1.2 Dimensi Kualitas

Untuk dapat menghasilkan produk yang berkualitas sehingga mampu memenuhi keinginan konsumen, maka perlu mengenali dimensi kualitas . Hal ini dibutuhkan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan apa yang diinginkan oleh konsumen. Dimensi kualitas (dalam Gazperz, 2005:37) terdiri dari:

1. Kinerja (*performance*) merupakan spesifikasi utama yang berkaitan dengan fungsi produk dan seringkali menjadi pertimbangan konsumen dalam membuat keputusan membeli atau tidak produk tersebut.
2. Keistimewaaan(*feature*) merupakan karakteristik produk yang mampu memberikan keunggulan dari produk sejenis.

3. Keunggulan (*reability*) merupakan aspek produk berkaitan dengan profitabilitas untuk menjalankan fungsi sesuai dengan spesifikasinya dalam periode waktu lama.
4. Kesesuaian dengan spesifikasi (*conformance to specification*) merupakan aspek produk yang memperlihatkan kesesuaian antara spesifikasi dengan kebutuhan konsumen.
5. Daya tahan (*durability*) merupakan ukuran kuantitatif (berapa umur hidup) produk, menunjukkan sampai kapan produk dapat digunakan konsumen.
6. Kemampuan pelayanan (*serviceability*) merupakan ciri produk berkaitan dengan kecepatan, keramahan/kesopanan, kompetensi, kemudahan serta akurasi dalam perbaikan.
7. Keindahan (Aesthetics) produk terkait dengan bagaimana bentuk fisik produk tersebut. Keindahan produk merupakan daya tarik utama konsumen untuk melakukan pembelian terhadap suatu produk.
8. Kualitas yang dirasakan (*perceived quality*) bersifat subyektif, berkaitan dengan citra dan reputasi produk serta tanggung jawab perusahaan terhadapnya.

2.1.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan salah satu teknik yang perlu dilakukan mulai dari sebelum proses produksi berjalan, pada saat proses produksi, hingga proses produksi berakhir dengan menghasilkan produk akhir. Pengendalian kualitas dilakukan agar dapat menghasilkan produk berupa barang atau jasa yang sesuai dengan standar yang diinginkan dan direncanakan, serta memperbaiki kualitas produk yang belum sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan

sebisa mungkin mempertahankan kualitas yang sesuai. Ada beberapa pengertian tentang pengendalian kualitas antara lain :

1. **Menurut Sofjan Assauri (1998:210)**, Pengendalian mutu merupakan usaha untuk mempertahankan mutu/kualitas dari barang yang dihasilkan, agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijaksanaan pimpinan perusahaan.
2. **Menurut Vincent Gasperz (2005:480)**, "Quality control is the operational techniques and activities used to fulfill requirements for quality"
3. **Reksohadiprojo (2000:245)**, Pengendalian kualitas merupakan alat penting bagi manajemen untuk memperbaiki kualitas produk bila diperlukan, mempertahankan kualitas, yang sudah tinggi dan mengurangi jumlah barang yang rusak.

Berdasarkan pengertian di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pengendalian kualitas adalah suatu teknik dan aktivitas/ tindakan yang terencana yang dilakukan untuk mencapai, mempertahankan dan meningkatkan kualitas suatu produk dan jasa agar sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dan dapat memenuhi kepuasan konsumen.

2.1.3.1 Tujuan Pengendalian Kualitas

Tujuan dari pengendalian kualitas menurut Sofjan Assauri (1998:210) adalah:

1. Agar barang hasil produksi dapat mencapai standar kualitas yang telah ditetapkan.
2. Mengusahakan agar biaya inspeksi dapat menjadi sekecil mungkin.
3. Mengusahakan agar biaya desain dari produk dan proses dengan menggunakan kualitas produksi tertentu dapat menjadi sekecil mungkin.
4. Mengusahakan agar biaya produksi dapat menjadi serendah mungkin.

Tujuan utama pengendalian kualitas adalah untuk mendapatkan jaminan bahwa kualitas produk atau jasa yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan dengan mengeluarkan biaya yang ekonomis atau serendah mungkin.

2.1.3.2 Ruang Lingkup Pengendalian Kualitas

Menurut Sofjan Assauri (1999 hal 275), pengendalian kualitas dapat dibedakan menjadi dua tahapan yaitu :

1. Pengendalian mutu selama pengelolaan proses

Pada kondisi ini contoh atau sampel dari hasil diambil pada waktu yang sama. Kemudian di lanjutkan dengan pengecekan statistik untuk melihat apakah proses dimulai dengan baik. Pengendalian mutu proses ini termasuk juga pengendalian mutu terhadap bahan baku yang akan digunakan dalam proses.

2. Pengendalian mutu terhadap produk

Untuk menjaga agar produk hasilnya cukup baik mutunya dan banyak defectnya, tidak keluar atau lolos dari pabrik sampai ke konsumen, maka perlu diadakan pengendalian terhadap produk hasil.

2.1.3.3 Faktor- Faktor Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas dipengaruhi oleh faktor yang akan menentukan bahwa suatu barang dapat memenuhi tujuannya. Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas (Sofjan Assauri, 2008):

- a. Fungsi suatu barang, tingkat kualitas tergantung pada tingkat pemenuhan fungsi kepuasan penggunaan barang yang dapat dicapai.

- b. Wujud luar, salah satu faktor yang penting dan sering dipergunakan oleh konsumen dalam melihat suatu barang pertama kalinya, untuk menentukan mutu barang tersebut adalah wujud luar barang itu.
- c. Biaya barang tersebut, umumnya biaya dan harga suatu barang akan dapat menemukan kualitas barang tersebut. Barang-barang dengan biaya yang mahal, dapat menunjukkan kualitas barang tersebut relatif lebih baik demikian pula sebaliknya. Ini terjadi karena biasanya untuk mendapatkan kualitas yang baik dibutuhkan biaya yang tinggi.

Faktor-faktor pengendalian kualitas menurut Douglas C. Montgomery (1993) dan berdasarkan literatur lain menyebutkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pengendalian kualitas yang dilakukan perusahaan adalah:

1. Kemampuan proses

Batas-batas yang ingin dicapai haruslah disesuaikan dengan kemampuan proses yang ada. Tidak ada gunanya mengendalikan suatu proses dalam batas-batas yang melebihi kemampuan atau kesanggupan proses yang ada.

2. Spesifikasi yang berlaku

Spesifikasi hasil produksi yang ingin dicapai harus dapat berlaku, bila ditinjau dari segi kemampuan proses dan keinginan atau kebutuhan konsumen yang ingin dicapai dari hasil produksi tersebut. Dalam hal ini haruslah dapat dipastikan dahulu apakah spesifikasi tersebut dapat berlaku dari kedua segi yang telah disebutkan diatas sebelum pengendalian kualitas pada proses dapat dimulai.

3. Tingkat ketidaksesuaian yang dapat diterima

Tujuan dilakukan pengendalian suatu proses adalah dapat mengurangi produk yang ada dibawah standar seminimal mungkin. Tingkat pengendalian yang diberlakukan tergantung pada banyaknya produk yang berada dibawah standar yang dapat diterima.

2.2 Six Sigma

Menurut Evans (2007, Hal 3) *Six Sigma* adalah sebagai metode peningkatan proses bisnis yang bertujuan untuk menemukan dan mengurangi faktor-faktor penyebab kecacatan dan kesalahan, mengurangi waktu siklus dan biaya operasi, meningkatkan produktivitas, memenuhi kebutuhan pelanggan dengan lebih baik, mencapai tingkat pendayagunaan aset yang lebih tinggi, serta mendapatkan imbal hasil atas investasi yang lebih baik dari segi produksi maupun pelayanan

2.2.1 Konsep Six Sigma

Gagasan Utama dari *Six sigma* adalah pendekatan untuk merancang proses atau meningkatkan proses yang ada, untuk mendapatkan kapabilitas/kemampuan proses yang sangat tinggi dengan tingkat cacat mendekati nol yang dikenal dengan *zero defect* (McClusky, 2000)

Pada dasarnya pelanggan akan merasa puas apabila mereka menerima nilai yang mereka harapkan. Apabila produk (barang/jasa) diproses pada tingkat kinerja kualitas *six sigma*, perusahaan boleh mengharapkan 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO) atau bahwa 99,99966% dari apa yang diharapkan pelanggan akan ada dalam produk (barang/jasa) itu. Dengan demikian *six sigma* dapat dijadikan ukuran target kinerja proses industri tentang bagaimana baiknya

suatu proses transaksi produk antara pemasok (industri) dengan pelanggan (pasar). Semakin tinggi target sigma yang dicapai, semakin baik kinerja proses industri. Sehingga 6-sigma otomatis lebih baik daripada 4-sigma dan 3-sigma. *Six sigma* juga dapat dianggap sebagai strategi terobosan yang memungkinkan perusahaan melakukan peningkatan luar biasa (*dramatic*) ditingkat bawah dan sebagai pengendalian proses industri yang berfokus pada pelanggan dengan memperhatikan kemampuan proses (Gasperz dan Fontana, 2011).

2.2.2 Pengertian Six Sigma

Menurut PS Pande (2002) *Six sigma* sebuah sistem yang komperhensif dan fleksibel untuk mencapai, mempertahankan, dan memaksimalkan sukses bisnis. *Six sigma* secara unik dikendalikan oleh pemahaman yang kuat terhadap kebutuhan pelanggan, pemakaian yang disiplin terhadap fakta, data, dan analisis statistik, dan perhatian yang cermat untuk mengelola, memperbaiki dan menanamkan kembali proses bisnis.

Menurut Gasperz (2005) *Six Sigma* adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per-satu juta kesempatan untuk setiap transaksi produk barang dan jasa. Jadi *Six Sigma* merupakan suatu metode atau teknik dalam hal pengendalian dan peningkatan produk dimana sistem ini sangat komprehensif dan fleksibel yang merupakan terobosan baru dalam bidang kualitas untuk mencapai, mempertahankan dan memaksimalkan kesuksesan suatu usaha. Penerapan metode *six sigma* menjadi sangat penting karena memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan dan praktek pelaksanaan untuk mengurangi *waste* dan memberikan nilai tambah. *Six sigma* membantu mengidentifikasi *waste* dan biaya-biaya tersembunyi, menghilangkan cacat, meningkatkan margin laba,

kepuasan pelanggan, komitmen dan kepuasan karyawan, serta memperluas bisnis.

Defect per Million Opportunities (DPMO) adalah jumlah defect yang terjadi dalam satu juta kesempatan, atau defect yang terjadi per-satu juta kesempatan. Konversi dari nilai DPMO terhadap kemampuan proses (level sigma) adalah seperti terlihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Level Kapabilitas Sigma dan DPMO

Level Sigma	<i>Defect per Million Opportunities</i> (DPMO)	% Yield
1 σ	691,462	68,27%
2 σ	308,537	69,15%
3 σ	66,807	93,32%
4 σ	6,210	99,38%
5 σ	233	99,98%
6 σ	3,4	99,99966%

Terdapat enam langkah dasar yang perlu diperhatikan dalam penerapan konsep *Six Sigma*, yaitu (Gasperz, 2001 Hal 115):

1. Identifikasi produk.
2. Identifikasi pelanggan.
3. Identifikasi kebutuhan dalam memproduksi produk untuk pelanggan.
4. Definisi proses.
5. Hindarkan kesalahan dalam proses dan hilangkan pemborosan.
6. Tingkatkan proses secara terus-menerus.

Terminology yang menjadi kunci utama konsep *Six Sigma* sebagai berikut (Gasperz, 2003):

1. *Critical-to-Quality* (CTQ) adalah atribut-atribut yang sangat penting untuk diperhatikan karena berkaitan langsung dengan kebutuhan dan kepuasan pelanggan. Merupakan elemen dari suatu produk, proses, atau praktek-praktek yang berdampak langsung pada kepuasan pelanggan.
2. *Defect* adalah kegagalan untuk memberikan apa yang diinginkan oleh pelanggan.
3. *Process Capability* adalah kemampuan proses untuk memproduksi atau menyerahkan *Output* sesuai dengan ekspektasi dan kebutuhan pelanggan atau kemampuan proses untuk bekerja dan menghasilkan produk yang berkualitas.
4. *Variation* adalah merupakan apa yang pelanggan melihat dan merasakan dalam proses transaksi antara pemasok dan pelanggan itu. Semakin kecil variasi akan semakin disukai, karena menunjukkan konsistensi dalam kualitas.
5. *Stable Operation* adalah jaminan konsistensi, proses-proses yang dapat diperkirakan dan dikendalikan guna meningkatkan apa yang pelanggan melihat dan merasakan-meningkatkan ekspektasi dan kebutuhan pelanggan.
6. *Design For Six Sigma* (DFSS) adalah suatu desain untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dan kemampuan proses (*process capability*). DFSS merupakan suatu metodologi sistematis yang menggunakan peralatan, pelatihan, dan pengukuran untuk memungkinkan pemasok mendesain produk dan proses yang memenuhi ekspektasi dan kebutuhan pelanggan,.
7. *DPMO* (*Defect Per Million Opportunity*) = ukuran kegagalan dalam *six sigma* yang menunjukkan kegagalan persejuta kesempatan.

8. DMAIC - *Define, Measure, Analyze, Improve and Control* merupakan proses untuk peningkatan terus-menerus menuju target *Six Sigma*. DMAIC dilakukan secara sistematis, berdasarkan ilmu pengetahuan dan fakta (*systematik, scientific and fact based*). Proses *closed-loop* ini (DMAIC) menghilangkan langkah-langkah proses yang tidak produktif, sering berfokus pada pengukuran-pengukuran baru, dan menerapkan teknologi untuk peningkatan kualitas menuju target *Six Sigma*.

Tabel 2.2 Manfaat Pencapaian Beberapa Tingkat Sigma

Tingkat Pencapaian Sigma	PPM (<i>Part per Million</i>)	Kategori	COPQ (<i>Cost Of Poor quality</i>)
1-Sigma	691,462	Sangat Tidak Kompetitif	Tidak dapat dihitung
2-Sigma	308,537	Rata-Rata Industri Indonesia	Tidak dapat dihitung
3-Sigma	66,807	Rata-Rata Industri	25–40% dari penjualan
4-Sigma	6,210	Rata-Rata Industri USA	15–25% dari penjualan
5-Sigma	233	Rata-Rata Industri Jepang	5–15% dari penjualan
6-Sigma	3,4	Industri Kelas Dunia	< 1% dari penjualan

2.2.3 Metode Six Sigma

Ukuran kegagalan dalam *Six Sigma* yang menunjukkan kegagalan per sejuta kesempatan dinamakan *Defects Per Million Opportunities* (DPMO). Target dari pengendalian *Six Sigma* sebesar 3,4 DPMO, harusnya tidak diinterpretasikan sebagai 3,4 unit *Output* yang cacat dari sejuta unit *Output* yang diproduksi, tetapi diinterpretasikan sebagai dalam satu unit produk tunggal terdapat rata-rata

kesempatan untuk gagal dari suatu karakteristik CTQ (*critical-to-quality*) adalah hanya 3,4 kegagalan per satu juta kesempatan (DPMO).

Perhitungan DPMO dan *level sigma* bertujuan untuk mengukur kemampuan dan *capability sigma* pada saat ini. Adapun nilai-nilai yang diperlukan untuk menghitung nilai DPMO yang perlu diketahui adalah Unit (U) yang menyatakan jumlah produk yang diperiksa dalam inspeksi, selama waktu pengamatan, *Defect* (D) yang menyatakan jumlah produk cacat yang terjadi selama waktu pengamatan, *Opportunity* (OP) menyatakan karakteristik yang berpotensi menyebabkan cacat.

Cara menentukan DPMO dan tingkat sigma adalah sebagai berikut:

1. Hitung *Defect per Unit* (DPU)

$$DPU = \frac{\text{Total Kerusakan}}{\text{Total Produksi}}$$

2. Hitung *Defect per Million Opportunity* (DPMO) yang merupakan ukuran kegagalan dalam *six sigma* yang menunjukkan kegagalan per sejuta kesempatan. Target dari pengendalian mutu *six sigma* sebesar 3,4 DPMO.

$$DPMO = DPO \times 1.000.000$$

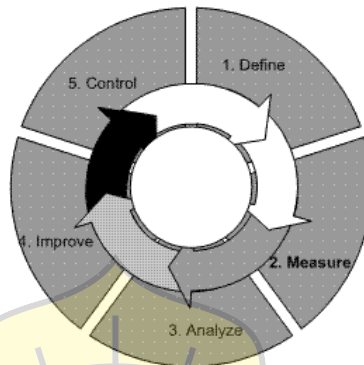
3. Hitung tingkat *sigma*, tingkatan *sigma* dapat dengan mudah dihitung dengan *Microsoft excel* menggunakan formula sebagai berikut:

$$\text{Tingkat sigma} = \text{NORMSINV}(1 - \text{DPMO}/1.000.000) + 1,5$$

Tingkatan yang tepat bergantung pada seberapa penting suatu proses secara strategis serta biaya perbaikan jika dibandingkan dengan keuntungan yang dihasilkan. Pada umumnya cukup mudah untuk berpindah dari tingkatan 3-sigma ke tingkatan 4-sigma, tapi untuk berpindah ke tingkatan selanjutnya memerlukan jauh lebih banyak usaha dan teknologi yang lebih tinggi. Selain memberi perhatian pada jumlah cacat, Six sigma juga memperbaiki aspek-aspek operasi lainnya.

2.2.4 Penerapan DMAIC dalam *Six Sigma*

Lima langkah dasar dalam menerapkan strategi *Six Sigma* ini yaitu *Define-Measure-Analyze-Improve-Control* (DMAIC), dimana tahapannya merupakan tahapan yang berulang atau membentuk siklus peningkatan kualitas dengan *Six Sigma*. Berikut adalah gambar siklus DMAIC:



Gambar 2.1 Siklus DMAIC

(Sumber : *Peter S Pende, 2000*)

a. *Define* (D)

Tahap *Define* merupakan langkah operasional awal dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Dalam tahap *Define* ada 2 hal yang perlu dilakukan yaitu :

1. Mendefinisikan proses inti perusahaan

Proses inti adalah suatu rantai tugas, biasanya mencakup berbagai departemen atau fungsi yang mengirimkan nilai (produk, jasa, dukungan, informasi) kepada para pelanggan eksternal. Dalam hal pemilihan tema *Six Sigma* pertama-tama yang dilakukan adalah mempertimbangkan dan menjelaskan tujuan dari suatu proses inti akan dievaluasi (*Peter S. Pende, 2000*)

2. Mendefinisikan kebutuhan spesifik kebutuhan pelanggan

Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi pemain paling penting didalam semua proses, yakni pelanggan, pelanggan bisa internal maupun eksternal adalah tugas *Black Belt* dan tim untuk menentukan dengan baik apa yang diinginkan pelanggan eksternal. Pekerjaan ini membuat suara pelanggan (*voice to customer – VOC*) menjadi hal yang menantang. Dalam hal mendefinisikan kebutuhan spesifik dari pelanggan adalah memahami dan membedakan diantara dua kategori persyaratan kritis, yaitu persyaratan output dan persyaratan pelayanan. (*Peter S Pende, 2000*)

Tujuan *define* adalah untuk mengidentifikasi produk atau proses yang akan diperbaiki dan menentukan sumber-sumber apa yang dibutuhkan dalam pelaksanaan proyek. Tahap *define* dapat dijelaskan dengan diagram SIPOC dan penentuan nilai CTQ.

1) Diagram SIPOC

Peta tingkat tinggi menentukan batasan proyek Six Sigma dengan cara mengidentifikasi proses yang sedang dipelajari, input dan output proses tersebut, serta pelangganya. SIPOC memberikan garis besar elemen-elemen penting dalam suatu proses serta membantu menjelaskan siapa pelaku utama proses tersebut, bagaimana cara mendapatkan input, siapa yang dilayani oleh proses tersebut, serta bagaimana cara proses tersebut meningkatkan nilai.

Cara SIPOC yaitu memulai dari proses lalu mengidentifikasi kegiatan-kegiatan terpenting yang terjadi di suatu proses untuk kemudian mengurut balik kearah pelanggan (Evans, 2007). Proses SIPOC, yang menjelaskan:

1. *supplier* – orang atau kelompok yang memberikan material, atau sumber daya kepada proses.
2. *input* – barang atau jasa yang diberikan oleh supplier dan dibutuhkan oleh suatu proses untuk menghasilkan output.
3. *process* – langkah-langkah yang mentransformasikan dan mengubah *input* menjadi sebuah *output*;
4. *Output* – hasil dari suatu proses berbentuk benda fisik.
5. *customer* – orang atau perusahaan yang menerima *output* berdasarkan tingkat kebutuhan yang telah ditentukan.

Berikut merupakan contoh diagram SIPOC:

S	I	P	O	C
SUPPLIERS	INPUTS	PROCESS	OUTPUTS	CUSTOMERS
Who supplies the materials / inputs?	What resources are needed or provided by the supplier? Can be materials or information.	What steps or activities are carried out to created value for the customer?	What products or services are created by (or result from) the process?	Who are the customers?

Gambar 2.2 Contoh Diagram SIPOC

(Sumber : <https://auditandcompliance.wordpress.com/>)

2) CTQ (Critical to Quality)

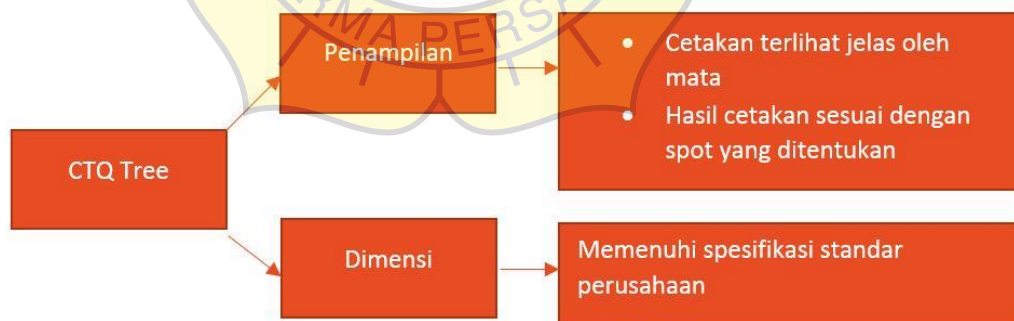
Critical-to-Quality (CTQ) adalah atribut-atribut yang sangat penting untuk diperhatikan karena berkaitan langsung dengan kebutuhan spesifik dan kepuasan dari pelanggan.

CTQ dapat dikalsifikasi ke dalam tiga kategori seperti yang disarankan oleh profesor dari Jepang Noriaki Kano (Evans, 2007):

1. Penyebab ketidakpuasaan : Sesuatu yang diharapkan di dalam suatu produk atau jasa
2. Penyebab Kepuasan : Sesuatu yang diinginkan oleh pelanggan
3. Pembuat Senang : Fitur baru atau inovatif yang tidak diharapkan oleh pelanggan.

Dalam mengukur karakteristik mutu, perlu diperhatikan aspek internal (tingkat kecacatan produk, biaya-biaya karena mutu jelek dan lain-lain) dan aspek eksternal organisasi (kepuasan pelanggan, pangsa pasar dan lain-lain).

Berikut merupakan contoh pohon CTQ:



Gambar 2.3 Contoh Pohon CTQ

b. Measure (M)

Measure merupakan langkah operasional kedua dalam program peningkatan mutu *Six Sigma*, terdapat beberapa hal pokok yang harus dilakukan yaitu:

- a. Melakukan dan mengembangkan rencana pengumpulan data yang dapat dilakukan pada tingkat proses, atau *output*.
- b. Mengukur kinerja sekarang (*current performance*) untuk ditetapkan sebagai *baseline* kinerja pada awal proyek *Six Sigma*.

Measure dalam *six sigma* berupa alat statistik menghitung persentase cacat untuk membuat diagram pareto, menghitung 3 sigma untuk membuat peta kendali P, dan perhitungan DPMO serta nilai *sigma*. Berikut merupakan beberapa *tools* yang dipakai pada tahap *measure*:

1) Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah grafik batang yang menunjuk masalah berdasarkan urutan banyaknya kejadian. Masalah yang banyak terjadi ditunjukkan oleh grafik batang pertama yang tertinggi serta ditempatkan pada sisi paling kiri, dan seterusnya sampai masalah yang paling sedikit terjadi ditunjukkan oleh grafik batang terakhir yang terendah seta ditempatkan pada sisi paling kanan.

Pada dasarnya diagram pareto dapat digunakan sebagai alat interpretasi untuk (*Gasperz, 1997*) :

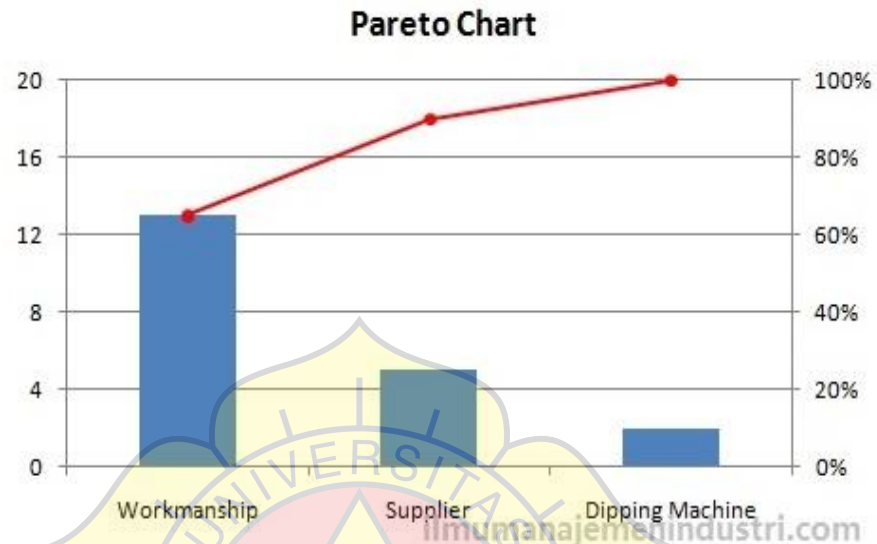
- a) Menentukan frekuensi relatif dan urutan pentingnya masalah atau penyebab dari masalah yang ada.

- b) Memfokuskan perhatian pada isu kritis dan penting melalui pembuatan ranking terhadap masalah atau penyebab dari masalah itu dalam bentuk yang signifikan.

Penjelasan proses pembuatan diagram pareto akan dikemukakan melalui beberapa langkah berikut (*Gasperz, 1997 hal53*):

- 1) Menentukan masalah apa yang akan diteliti, mengidentifikasi kategori-kategori atau penyebab dari masalah yang akan diperbandingkan. Setelah itu merencanakan dan melaksanakan pengumpulan data.
- 2) Membuat suatu ringkasan daftar atau tabel yang mencatat frekuensi kejadian dari masalah yang telah diteliti dengan menggunakan formulir pengumpulan data atau tabel yang mencatat frekuensi kejadian dari masalah yang telah diteliti dengan menggunakan formulir pengumpulan data atau lembar periksa.
- 3) Membuat daftar masalah secara berurut berdasarkan frekuensi kejadian dari tertinggi sampai terendah, serta hitunglah frekuensi kumulatif, presentase dari total kejadian, dan presentase dari total kejadian kumulatif.
- 4) Menggambar dua buah garis vertikal sebelah kiri dan sebelah kanan, dan sebuah garis horizontal.
- 5) Buatlah histogram pada diagram pareto.
- 6) Gambarkan kurva komulatif serta cantumkan nilai-nilai kumulatif (total kumulatif atau persen kumulatif) disebelah kanan atas dari interval setiap item masalah.
- 7) Memutuskan untuk mengambil tindakan perbaikan atas penyebab utama dari masalah yang sedang terjadi itu.

Diagram pareto merupakan suatu diagram yang dibuat untuk menentukan masalah utama yang perlu segera diselesaikan, seperti terlihat pada gambar 2.4 contoh Diagram Pareto sebagai berikut:



★ **Gambar 2.4** Contoh Diagram Pareto
(Sumber: <https://ilmumanajemenindustri.com>)

2) Peta Kendali

Peta kendali merupakan salah satu alat (*tool*) untuk melakukan pengendalian proses statistis. Peta kendali atau control chart digunakan untuk menganalisa output dari suatu proses. Data yang merupakan kecacatan dari output diplotkan pada peta kendali. Jika tidak ada data yang keluar dari batas kendali atas (BKA) ataupun batas kendali bawah (BKB), serta plot data tidak menunjukkan gejala-gejala penyimpangan, maka dapat dikatakan proses telah terkendali. Sebaliknya jika ada data yang keluar dari batas-batas kendali, maka proses tersebut belum stabil. Data yang keluar dari batas kendali tersebut disebabkan karena adanya penyebab khusus (*special cause*).

Peta kendali pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Walter Adew Shewart dari Bell Telephone Laboratories, Amerika Serikat, pada tahun 1924 dengan maksud untuk menghilangkan variasi tidak normal melalui pemisahan variasi yang disebabkan oleh penyebab khusus (*special-causes variation*) dan variasi yang disebabkan oleh penyebab umum (*common-cause variation*) (Gasperz, 1997).

Pada dasarnya peta-peta kendali dipergunakan untuk :

- a) Menentukan apakah suatu proses berada dalam pengendalian statistikal.
- b) Memantau proses terus-menerus sepanjang waktu agar proses tetap stabil secara statistical dan hanya mengandung variasi penyebab umum.
- c) Menentukan kemampuan proses (*process capability*)

Peta kendali digunakan untuk membantu mendeteksi adanya penyimpangan dengan cara menetapkan batas-batas kendali :

- a) Upper Control Limit / Batas Kendali Atas (UCL), merupakan garis batas atas untuk suatu penyimpangan yang masih diijinkan.
- b) Central Line / Garis Pusat atau Tengah (CL), merupakan garis yang melambangkan tidak adanya penyimpangan dari karakteristik sampel.
- c) Lower Control Limit / Batas Kendali Bawah (LCL), merupakan garis batas bawah untuk suatu penyimpangan dari karakteristik sampel.

Peta Kendali di bedakan menjadi 2 (dua) berdasarkan jenis data yang di gunakan, yaitu :

1. Peta Kendali untuk Data Variabel (Bilangan pecahan)

Data variabel bersifat kontinyu (*continuous distribution*). Data ini diukur dalam satuan-satuan kuantitatif. Sifat *continuous distribution* pada data

variabel menggambarkan data berbentuk selang bilangan yang bisa terjadi dalam digit dibelakang koma hingga n digit, tidak dapat dihitung, dan tidak terhingga.

Bentuk distribusi yang rapat seperti ini lebih sensitif terhadap perubahan, namun akan lebih sulit baik dalam mengidentifikasi apa yang harus diukur dan juga dalam pengukuran actual.

- a. Peta Kendali X-Bar dan R, yaitu digunakan untuk mengendalikan proses untuk karakter mutu yang dapat dihitung dan dinyatakan dalam bentuk angka. Contoh : ketebalan (mm).
- b. Peta Kendali Individual X dan MR, yaitu digunakan untuk mengendalikan proses apabila data sample yang dikumpulkan hanya berjumlah 1 (satu). Contoh : kekentalan produk kimia (satuan)

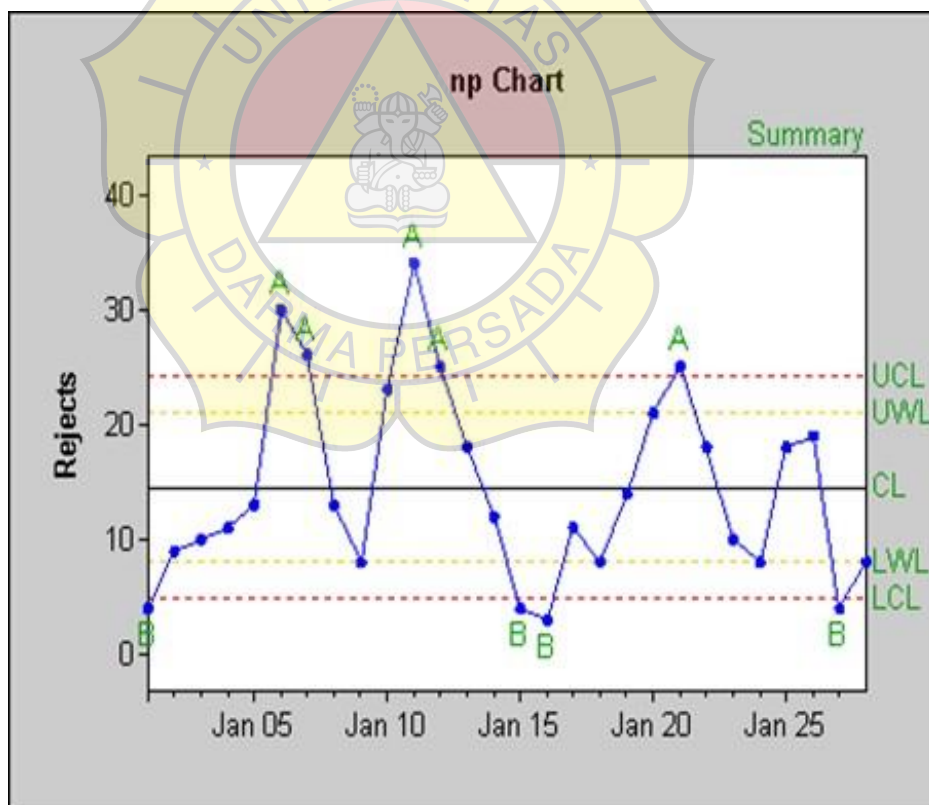
2) Peta Kendali untuk Data Atribut (Bilangan Utuh)

Attribute Control Chart atau peta kendali atribut merupakan data kualitatif yang dapat dihitung untuk pencatatan dan analisis. Contoh dari data atribut karakteristik kualitas adalah ketiadaan label pada kemasan produk, kesalahan proses administrasi buku tabungan nasabah, banyaknya jenis cacat pada produk, banyaknya produk kayu lapis yang cacat karena *corelap*, dll. Data atribut biasanya diperoleh dalam bentuk unit-unit yang tidak sesuai dengan spesifikasi atribut yang diterapkan.

Pada umumnya peta kendali atribut dibedakan menjadi 4 jenis yaitu:

a. Peta Kendali np (np-Chart)

Pada dasarnya peta control np serupa dengan peta control p, kecuali dalam peta control np terjadi perubahan skala pengukuran. Peta kontrol np menggunakan ukuran banyaknya item yang tidak memenuhi spesifikasi atau banyaknya item yang cacat dalam suatu pemeriksaan. Peta kontrol np dan p cocok untuk situasi dasar yang sama, sehingga pilihan penggunaan peta kontrol np apabila data banyaknya item yang tidak sesuai adalah lebih bermanfaat dan mudah untuk diinterpretasikan dalam pembuatan laporan dibandingkan data proporsi, dan ukuran contoh bersifat konstan dari waktu ke waktu.

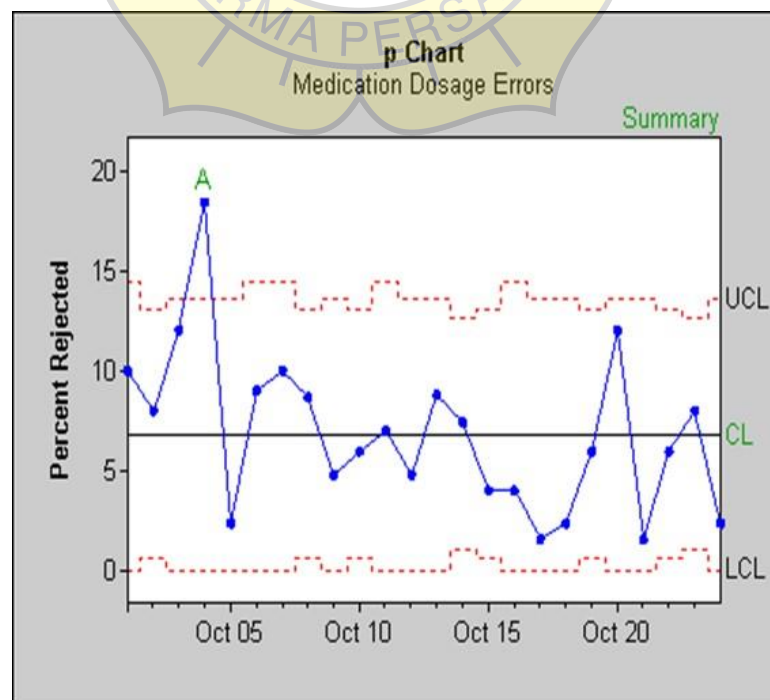


Gambar 2.5 Contoh np-Chart

b. Peta Kendali P (p-Chart)

Peta Kendali P (*P-Chart*) adalah salah Jenis Peta Kendali yang berfungsi untuk mengukur proporsi *defective* (kegagalan/cacat) pada produksi. *P-Chart* digunakan apabila jumlah sampel (*sample size*) yang dikumpulkan adalah tidak konstan atau tidak tetap. Dengan demikian peta kontrol p digunakan untuk mengendalikan proporsi dari item-item yang tidak memenuhi syarat spesifikasi kualitas atau proporsi dari produk yang cacat yang dihasilkan dalam suatu proses. Proporsi yang tidak memenuhi syarat didefinisikan sebagai rasio banyaknya item yang tidak memenuhi syarat dalam suatu kelompok terhadap total banyaknya item dalam kelompok tersebut. Item-item itu dapat mempunyai beberapa karakteristik kualitas yang diperiksa atau diuji secara simultan oleh pemeriksa.

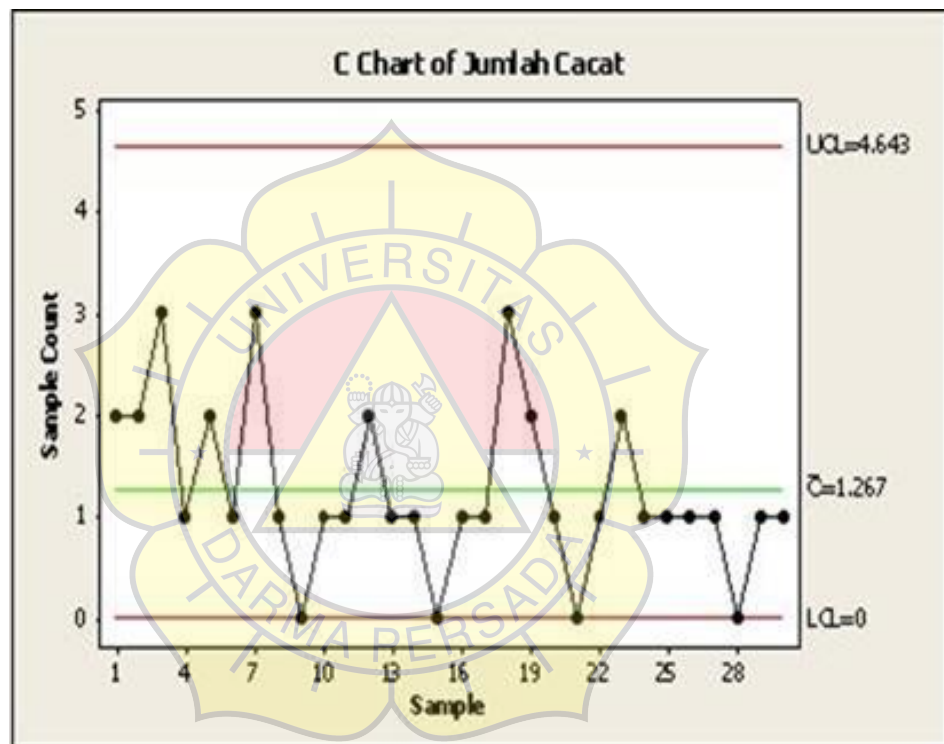
Jika item-item itu tidak memenuhi standar pada satu atau lebih karakteristik kualitas yang diperiksa, maka- item-item itu digolongkan sebagai tidak memenuhi syarat spesifikasi atau cacat. Proporsi tersebut sering diungkapkan dalam bentuk desimal.



Gambar 2.6 Contoh P-Chart

c. Peta Kendali C (*c-Chart*)

Peta Kendali C (*c-Char*) adalah jenis Peta Kendali yang berfungsi untuk mengukur banyaknya jumlah ketidaksesuaian yang terdapat dalam unit yang diproduksi. *c-Chart* didasarkan pada titik spesifik yang tidak memenuhi syarat dalam produk, sehingga suatu produk dapat saja dianggap memenuhi syarat meskipun mengandung satu atau beberapa titik spesifik yang cacat.



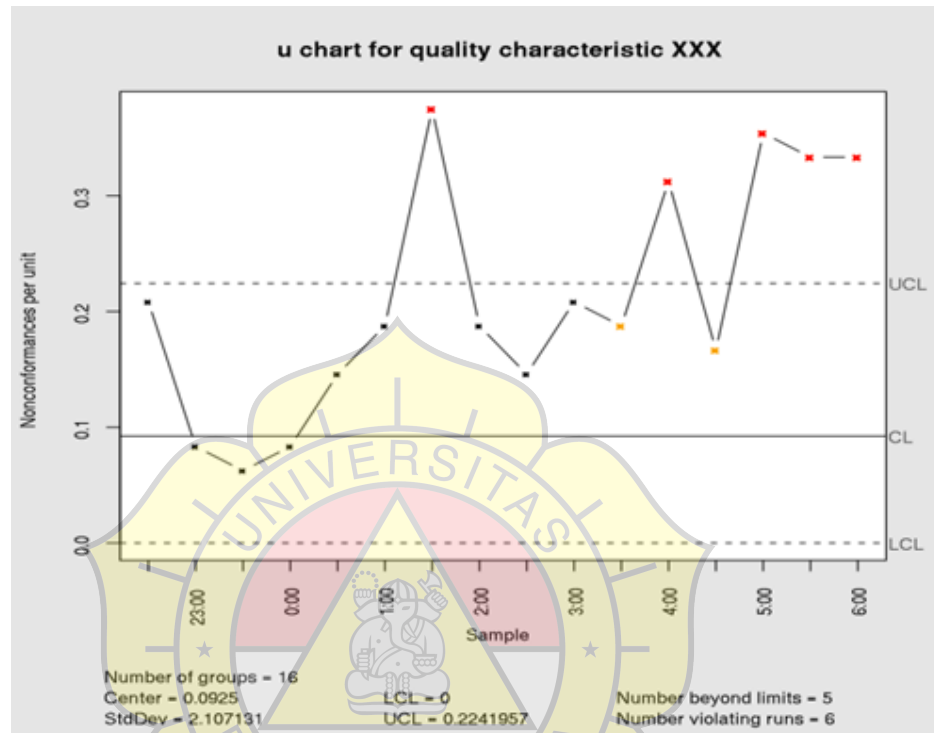
Gambar 2.7 Contoh *c-Chart*

d. Peta Kendali U (*u-Chart*)

Peta Kendali (*u-Chart*) digunakan untuk mengukur banyaknya jumlah ketidaksesuaian per unit laporan inspeksi dalam kelompok pengamatan, yang mungkin memiliki ukuran contoh. Peta control u serupa dengan peta kontrol c, kecuali bahwa banyaknya ketidaksesuaian dinyatakan dalam basis

per unit item. Peta kontrol u dan c sesuai untuk beberapa kondisi. Bagaimanapun peta kontrol u dapat dipergunakan apabila ukuran contoh lebih dari satu unit dan mungkin bervariasi dari waktu ke waktu.

Gambar 2.8 Contoh u-chart



c. Analyze (A)

Langkah ketiga adalah analyze. Analisis adalah pemeriksaan terhadap proses, fakta, dan data untuk mendapatkan pemahaman mengenai mengapa suatu permasalahan terjadi dan di mana terdapat kesempatan untuk melakukan perbaikan.

Diagram sebab akibat adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antara sebab-akibat. Berkaitan dengan proses pengendalian statistical, diagram sebab-akibat digunakan untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab (sebab) dan karakteristik mutu (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab itu. Diagram sebab-akibat ini sering juga disebut

sebagai diagram tulang ikan (fishbone diagram) karena bentuknya seperti kerangka ikan, atau diagram Ishikawa (Ishikawa's diagram) karena diperkenalkan pertama kali oleh Prof. Kaoru Ishikawa dari Universitas Tokyo pada tahun 1943.

Pada dasarnya diagram sebab akibat dapat digunakan untuk kebutuhan-kebutuhan berikut (*Gasperz, 1997*):

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

Prinsip yang di pakai untuk membuat diagram sebab-akibat ini adalah sumbang saran (brainstorming) yang merupakan teknik untuk mendapatkan pendapatan yang kreatif secara diskusi bebas. Dan penggunaan yang efektif dan diagram sebab-akibat merupakan langkah pertama untuk memajukan kegiatan pengawasan dan pengendalian mutu. Namun disamping itu harus diperhatikan bahwa yang terpenting adalah membuat diagram yang tepat dan baik ialah yang cocok dengan tujuannya.

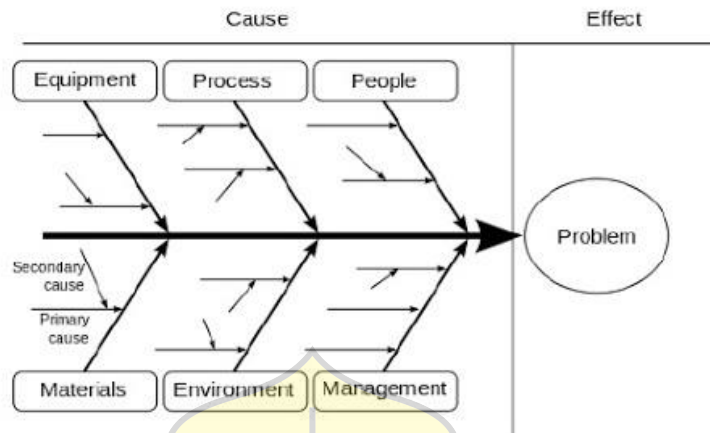
Langkah-langkah dalam pembuatan diagram sebab-akibat dapat dikemukakan sebagai berikut (*Gasperz, 1997*):

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*). Tuliskan pada sebelah sisi kanan dari kertas (kepala ikan), 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 mutu sebagai “tulang besar”. Faktor-faktor penyebab atau kategori-kategori utama dapat dikembangkan melalui stratifikasi kedalam pengelompokan dari faktor-faktor : manusia, mesin, peralatan, material, metode kerja, lingkungan kerja, pengukuran dan lain-lain.
4. Tuliskan penyebab-penyebab sekunder yang mempengaruhi penyebab utama (tulang-tulang besar), serta penyebab sekunder itu dinyatakan sebagai “tulang-tulang berukuran sedang”.
5. Tuliskan penyebab-penyebab tersier yang mempengaruhi penyebab sekunder (tulang-tulang berukuran sedang). Serta penyebab-penyebab tersier itu dinyatakan sebagai “tulang-tulang berukuran kecil”.
6. Tentukan item-item yang penting dari setiap faktor dan tandailah faktor penting tertentu yang kelihatannya memiliki pengaruh nyata terhadap karakteristik mutu.
7. Catatlah informasi yang perlu didalam diagram sebab-akibat itu. Seperti judul, nama produk, proses, kelompok, daftar partisipan, tanggal dll.

Adapun contoh diagram sebab-akibat dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

Fishbone Diagram



Gambar 2.9 Diagram Fishbone

<https://www.taupasar.com/>

d. Improve (I)

Setelah sumber-sumber dan akar penyebab masalah mutu teridentifikasi, maka perlu dilakukan penetapan rencana tindakan untuk melakukan peningkatan mutu *Six Sigma*. Pada dasarnya rencana-rencana tindakan akan mendeskripsikan tentang alokasi sumber-sumber daya serta prioritas dan/atau alternatif yang dilakukan dalam implementasi dari rencana tersebut.

Menetapkan Suatu Rencana Tindakan untuk Melakukan Peningkatan Mutu *Six Sigma*:

1. Dilakukan setelah sumber-sumber dan akar penyebab masalah mutu teridentifikasi.

2. Rencana Tindakan mendeskripsikan tentang alokasi sumber-sumber daya serta prioritas dan/atau alternatif yang dilakukan dalam implementasi dari rencana itu.
3. Untuk mengembangkan rencana tindakan dapat menggunakan metode 5W-1H.
4. Tim Proyek dapat menggunakan metode pendekatan dengan menggunakan alat seperti: diagram CEDAC (*Cause Effect Diagram with Additional Curve*) atau FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Juga metode perbaikan yaitu Metode Taguchi.
5. Efektivitas dari rencana tindakan yang dilakukan akan tampak dari:
 - a. Penurunan persentase biaya kegagalan mutu (COPQ) terhadap nilai penjualan total sejalan dengan meningkatnya Kapabilitas Sigma
 - b. Penurunan DPMO menuju target kegagalan nol (*zero defect*) atau mencapai kapabilitas proses pada tingkat lebih besar atau sama dengan 6-sigma.

Six Sigma dengan menggunakan metode 5W+1H menentukan suatu rencana tindakan baik untuk memperbaiki suatu proses atau mengidentifikasi suatu permasalahan yang sedang terjadi serta memecahkan masalah, dapat dijabarkan dalam metode 5W+1H, sebagai berikut :

1. *What*, langkah pertama dari metode ini adalah menentukan rencana tindakan yang akan dilaksanakan.
2. *How*, bagaimana rencana tindakan itu diterapkan
3. *Why*, mengapa rencana tindakan itu dipilih

4. *Who*, personal siapa yang bertanggung jawab dalam melaksanakan rencana itu.
5. *When*, kapan waktu periode pelaksanaan rencana tindakan itu.
6. *Where*, dalam proses mana rencana tindakan itu akan diterapkan.

e. Control (C)

Control merupakan langkah terakhir dalam proses DMAIC Six Sigma, dan merupakan aktivitas untuk memastikan agar perbaikan proyek terjaga melalui pemantauan tolak ukur kinerja utama dan CTQ. Tujuan dari rencana pengendalian adalah mendokumentasikan semua informasi yang berhubungan dengan siapa yang bertanggung jawab untuk memantau dan mengendalikan proses ini dan seterusnya agar tidak menemukan masalah yang sama sesuai tujuan awal penelitian.

Sebagai bagian dari pendekatan *Six Sigma*, perlu adanya pengawasan untuk meyakinkan bahwa hasil yang diinginkan sedang dalam proses pencapaian. Hasil dari tahap *improve* harus diterapkan dalam kurun waktu tertentu untuk dapat dilihat pengaruhnya terhadap mutu produk yang dihasilkan. Perbaikan ini bisa saja termasuk menentukan standar serta prosedur baru, mengadakan pelatihan untuk karyawan, serta mencanangkan sistem pengendalian untuk meyakinkan agar perbaikan tidak lekang oleh waktu (Evans, 2007).

2.3 Metode Taguchi

Diperkenalkan oleh Genichi Taguchi 1980 yang dikembangkan oleh Kacker setiap tahun 1986. *Metode Taguchi* merupakan metode pengendalian mutu *off line* (*off line quality control methodes*). Yaitu pengendalian mutu dengan

memperhatikan pada desain produk atau bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. (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 methodes*) yang tidak memperhatikan pada desain tetapi hanya pada perbaikan standart pengendalian mutu produk atau proses.

Methodes Taguchi pada dasarnya merupakan teknik statistik untuk melakukan eksperimen untuk menentukan kombinasi yang terbaik dari perancangan produk dan *variable* proses untuk membuat suatu produk yang terbaik disini berarti biaya rendah dengan keseragaman yang tertinggi. Ini dirasa rumit, karena adanya proses yang banyak menghabiskan waktu (Drs. Amin Widjaja Tunggal, *Manajemen Mutu Terpadu Suatu Pengantar*). 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 Produk*, yaitu produk yang dihasilkan seragam dan konsisten baik dalam bentuk,, mutu, model dan sebagainya. 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 dari pada menghilangkan penyebab dan lebih efektif dalam memproduksi yang tangguh. Dengan cara ini, variasi kecil dalam bahan dan proses tidak merusak kualitas produk.

2. *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 atau 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; dan 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.

Seluruh 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 orientasi) 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 sebuah filosofi perbaikan terus-menerus untuk membawa produk tepat sesuai target (Heizer, Jay and Barry Render, 2001, *"Prinsip-Prinsip Manajemen Operasi"*, hal : 93).

2.3.1 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) yaitu :

1. Dimensi penting dari kualitas produk yang diproduksi adalah total kerugian (*total loss*) yang di teruskan 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 dari karakteristik dari nilai taergetnya.
4. Kerugian yang diderita konsumen akibat produk yang bervariasi seringkali mendekati proporsi deviasi kuadrat dari karakteristik dari nilai targetnya.
5. Kualitas akhir dan biaya proses produksi ditentukan oleh perluasan yang besar dari desain engineering dari produk dan proses produksinya.
6. Variasi dari produk atau proses dapat dikurangi dengan mengeksploitasi efek nonlinier dari parameter produk atau proses pada karakteristiknya.
7. Desain eksperimen statistic dapat digunakan untuk mengidentifikasi *setting* parameter dari produk atau proses yang akhirnya dapat mengurangi variasi.

2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan Metode Taguchi

Kelebihan dari metode Taguchi adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan dibandingkan 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.

Kekurangan dari metode Taguchi adalah sebagai berikut :

1. Jika percobaan dilakukan dengan banyak faktor dan interaksi 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.

2.3.3 Perbedaan antara Desain Faktorial dengan Pendekatan Taguchi

Desain factorial di gunakan untuk menyelidiki semua kondisi yang mungkin terlibat dalam suatu percobaan. Teknik *fill factorial* membutuhkan biaya yang besar dan waktu yang relative 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 faktorial dengan metode Taguchi dapat dilihat dari table dibawah ini :

Table 2.3 Perbedaan Jumlah Percobaan antara Desain Faktorial dengan Taguchi

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

2.3.4 Tahapan-tahapan 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), yaitu :

1. System Design merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahapan 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 pengaruh dari faktor gangguan pada variasi produk.
3. Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada masyarakat akibat penyimpangan produk.

2.3.5 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	Persenan kontaminasi	Hambatan
Penyimpangan	Kebisingan	Produk Gagal
Waktu Proses	Waktu Respon	Pemborosan
Pemborosan Panas	Kerusakan	

3. *Larger the better*

Pencapaian karakteristik kualitas semakin besar nilainya maka semakin baik. Contoh dari karakteristik ini adalah :

Kekuatan	Kekuatan Tarik	Km/l
Efisiensi	Ketahanan terhadap korosi	

2.3.6 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

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

$$K = \frac{A_0}{\Delta_2}$$

Karakteristik smaller-the-better

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

$$K = \frac{A_0}{\Delta_2}$$

Karakteristik larger-the-better

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

$$K = A_0 \Delta_2$$

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

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

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

$$K = \frac{A_0}{\Delta_2}$$

Karakteristik smaller-the-better

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

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

$$K = \frac{A_0}{\Delta_2}$$

Karakteristik larger-the-better

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

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

$$k = A_0 \Delta_2$$

Dimana : m = nilai taeget (target value)

y_n = hasil pengukuran ke-n

n = jumlah percobaan/pengukuran

2.3.7 Orthogonal Array

Orthogonal Array diciptakan oleh *Jacques Hardmard* pada tahun 1897, dan mulai diterapkan pada perang dunia ke 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). 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 level sebagai kemungkinan untuk pengujian *multiple level*. Contoh dari OA adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tabel Orthogonal Array L_4

Eksperimen	Kolom		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	1
4	2	2	1

2.3.8 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:

2.3.8.1 Penentuan variable tak bebas (Karakteristik kualitas)

Variasi tak bebas adalah variasi yang perubahannya tergantung pada variable-variabel lain. Dalam merencanakan sesuatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variable tak bebas mana yang diselidiki.

Dalam perconaan *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. *Large the better*
2. *Attribute 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 berhasil atau tidak (*Go or No Go*)
3. *Dynamic Characteristic* (karakteristik dinamis) adalah fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai *signal* atau *input* dan *output* sebagai hasil dari *signal*.

2.3.8.2 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 akan diselidiki.

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

1. *Brainstorming*

Brainstorming merupakan pemikiran kreatif tentang pemecahan suatu masalah, tanpa melihat apakah yang diungkapkan itu masuk atau tidak. Brainstorming akan lebih baik jika dimulai dengan diskusi kelompok, untuk memberikan gambaran tentang masalah yang akan dihadapi ditinjau dari semua sudut pandang yang berbeda. Kemudian setiap orang pada diskusi ini mengungkapkan faktor-faktor yang mungkin berpengaruh pada masalah yang dihadapi tanpa takut dikritik oleh orang lain, sebab mungkin pendapat dan pandangan satu orang berbeda dengan pendapat yang lain tentang suatu masalah. Setelah semua faktor-faktor yang diungkapkan dicatat, kemudian melakukan penyaringan untuk menentukan faktor yang akan diamati dan faktor yang diabaikan.

2. *Flowcharting*

Pada metode ini yang akan 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. Cause-Effect diagram

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

2.3.8.3 Pemisahan faktor control 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 control adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya tidak bisa diatur atau dikendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factor*) adalah 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.

2.3.8.4 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 meningkatkan jumlah pengamatan sehingga menaikkan biaya percobaan.

Level faktor dapat dinyatakan secara kuantitatif seperti temperature: 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, temperature, waktu dan lain-lainn atau dipilih secara random dari beberapa kemungkinan yang ada seperti pemilihan mesin, operator dan lainnya.

2.3.8.5 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 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.

2.3.8.6 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 :

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

$$\text{Df untuk faktor B} = n_b - 1$$

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

$$\text{Jumlah total Df} = n_A n_b - 1$$

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

2.3.8.7 Pemilihan Orthogonal Array (OA)

Dalam pemilihan *Orthogonal Array* haruslah memenuhi pertidaksamaan :

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

Dimana : Df_{awal} = 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.

Tabel 2.5 Pemilihan OA

Jumlah DOF	OA yang digunakan
2-3	L ₄
4-7	L ₈
8-11	L ₁₂
12-15	★ L ₁₆

2.3.8.8 Penugasan untuk faktor dan interaksinya pada *Orthogonal Array*

Penugasan faktor-faktor baik faktor control 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 penguasaan faktor yang dirancang oleh Taguchi. Grafik linier adalah salah satu seri garis dan titik yang bernomor yang memiliki korespondensi satu-satu terhadap kolom-kolom pada *Orthogonal Array* (OA).

Grafik linier mengidentifikasi berbagai kolo ke mana 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.

2.3.8.9 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 penetapan taraf 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 sari 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. L_8 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. L_8 OA dengan dua kali pengulangan tes atau L_{16} OA dengan satu ter 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. L_{16} 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 sensitive dan ukuran yang lebih besar tidak akan menambah sensitivitas.
4. L_4 dengan satu kali tes per *trial* mempunyai tingkat kepercayaan 90% dan deteksi perubahan rata-rata dengan kira-kira standar deviasi $3\frac{3}{4}$.

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 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 table 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.

2.3.8.10 Analisis Data

Analisis 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 variansi karakteristik kualitas.

2.4 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. Disini dilakukan pengklasifikasian hasil-hasil percobaan secara statistika sesuai dengan sumber-sumber variasi.

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 :

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

Dimana : \bar{X} = rata-rata sampel

X_i = data ke- i

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

Nilai variansi sampelnya adalah :

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

Persamaan terakhir merupakan *unbiased estimated* variansi populasi dengan :

$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ disebut sebagai jumlah kuadrat (*Sum of Square*)

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

Dalam melakukan perhitungan ANOVA, pertama harus diketahui jenis ANOVA yang harus di pilih. 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

$$T = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n$$

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

n = banyaknya percobaan yang dilakukan

2. Faktor Koreksi (*Correction Factor, SS_m*)

$$SS_m = \frac{T^2}{n}$$

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

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AxB} + SS_{error}$$

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

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

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

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

Dimana : A = Faktor yang diteliti

AxB = Interaksi faktor A dan B

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

$$dof_T = (\text{jumlah total percobaan}) - 1$$

$$\text{dof untuk faktor A adalah } dof_A = n_A - 1$$

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

dof untuk error adalah

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

6. Variansi (*Mean Square*)

$$V_A = SS_A / dof_A$$

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

$$V_e = SS_e / dof_e$$

7. Mean Square (MS) untuk tiap faktor

$$MS_A = \frac{SS_A}{V_A}$$

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{V_{AxB}}$$

$$MS_{error} = \frac{SS_{error}}{V_{error}}$$

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

$$F_A = MS / MS_e$$

$$F_{AxB} = MS_{AxB} / MS_e$$

9. Jumlah Kuadrat yang Sesungguhnya (*Pure Sum of Square*)

$$SS'_A = SS_A - (dof_A \times V_A)$$

10. Persentase Kontribusi (*Percentage Contribution*)

$$P_A = (SS_A / SS_T) \times 100\%$$

2.4.1 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 independen dibandingkan, kemudian diperoleh hasil perbandingannya yang menyebar menurut distribusi F. Tes rasio F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dengan variansi error. Variansi error adalah variansi 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 nilai F table, maka hipotesa (H_0) diterima atau tidak ada pengaruh perlakuan. Namun jika nilai F tes lebih besar dari nilai F table maka hipotesa (H_0) di tolak dan berarti ada perbedaan perlakuan.

2.4.2 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 desai 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 daripada melakukan teknik *pooling down* yang memaksimumkan 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 $dof\ error$ maksimal dilakukan hingga $dof\ error$ -nya menjadi $\frac{1}{2} \times 7 = 14$) 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 diatas terpenuhi.

2.4.3 Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)

Ratio Signal to Noise adalah rasio rataan (*signal*) terhadap standar deviasi (*noise*), disingkat rasio S/N dan dilambangkan dengan η . Satuan rasio S/N adalah *decibel* (dB). Dalam percobaan, respon rataan digunakan untuk

mengoptimasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap rata-rata dan repon rasio S/N digunakan ungoptimalkan 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).

Terdapat beberapa jenis rasioS/N sesuai dengan tipe karakteristik kualitas yaitu *smaller the better* dengan rumus :

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

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

Dimana :

MSD = Mean Square Deviation

$y_1 y_2 y_3$ = Hasil Percobaan

n = Jumlah Pengulangan

Tabel 2.6 Rumus MSD untuk Tiap Karakteristik Kualitas

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

2.4.4 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*.

2.4.5 Interpretasi Hasil

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

1. Presentasi Kontribusi merupakan porsi masing-masing faktor yang nyata terhadap total variansi yang diamati. Presentase kontribusi merupakan fungsi dari jumlah kuadrat untuk tiap sumber yang signifikan. Presentase kontribusi memberikan indikasi kekuatan relatif sebuah faktor 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 nilai faktor akibat perlakuan tertentu. Dengan suatu rata-rata nilai faktor memiliki suatu selang tertentu disekitar nilai rata-ratanya. Persamaan untuk mencari selang kepercayaan adalah :

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

Dimana :

- $F_{\alpha(v_1, v_2)}$ = nilai dari table 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 (dof_e)*
 V_e = variansi (*mean sum of square*) dari *error*
 n = jumlah yang diuji atau jumlah percobaan untuk tiap faktor

Sedangkan nilai sedang kepercayaan untuk tiap faktornya adalah ;

$$\bar{A}_k - CI \leq \mu A_k \leq \bar{A}_k + CI$$

Dimana :

- μA_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,..

2.4.6 Perkiraan Hasil dan Selang Kepercayaan pada Kondisi Optimal

Berikutnya merupakan prediksi hasil dan selang kepercayaan pada kondisi optimal :

1. Pediksi 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 :

$$\bar{T} = \frac{T}{n}$$

Dimana : T = Total Semua Hasil

n = Total Percoban

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 :

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

Dimana :

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

V_1 = derajat bebas yang berhubungan dengan rata-rata dan selalu bernilai 1 untuk sebuah selang kepercayaan

V_2 = derajat bebas dari *error* (dof_e)

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

N_e = jumlah sampel untuk percobaan kondisi optimal

$$\text{Neff} = \frac{\text{Total Number of Degrees of Freedom}}{\text{Sum of Degree of Freedom Used In Estimates of Mean}}$$

Maka selang kepercayaan prediksi hasil pada kondisi optimal adalah :

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

2.4.7 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 :

$$\text{CI} = \pm \frac{\sqrt{F_{\alpha}(v_1, v_2) \times V_e \times (N_e + N_r)}}{(N_e \times N_r)}$$

Dimana :

N_r = jumlah sampel untuk percobaan konfirmasi

Maka selang kepercayaan untuk percobaan konfirmasi adalah :

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

2.4.8 Pelaksanaan Percobaan Konfirmasi

Percobaan konfirmasi adalah percobaan yang dilakukan untuk memberikan 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 analisis hasil percobaan pada performansi yang diharapkan.

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

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.

2.4.9 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 $P_1 < P_2$, $P_1 > P_2$ atau $P_1 \neq P_2$
3. Tentukan taraf nyata/ signifikan α

4. Wilayah Kritis

$$Z < -Z\alpha \text{ bila alternatifnya } P_1 < P_2$$

$$Z < -Z\alpha \text{ bila alternatifnya } P_1 > P_2$$

$$Z < -Z\frac{\alpha}{2} \text{ dan } Z > Z\frac{\alpha}{2} \text{ bila alternatifnya } P_1 \neq P_2$$

5. Perhitungan :

$$P_1 = x_1 / n_1$$

$$P_2 = x_2 / n_2$$

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

$$q = 1 - P$$

$$Z = \frac{P_1 x P_2}{\sqrt{pq \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Dimana :

P = proporsi

x = banyaknya data

n = jumlah data

6. Keputusan = Tolak H_0 bila Z jatuh ke dalam wilayah kritis dan terima H_0 bila Z jatuh di luar wilayah kritis.