

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 DEFINISI KUALITAS

Ada banyak sekali definisi dan pengertian kualitas, yang sebenarnya definisi atau pengertian yang satu hampir sama dengan dengan definisi atau pengertian yang lain. Pengertian kualitas menurut beberapa ahli yang banyak di kenal antara lain, yaitu:

Menurut *JURAN* (1962) "Kualitas adalah kesesuaian tujuan atau manfaatnya", *Crosby* (1979) menyatakan "Kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan yang meliputi *availability, delivery, maintainability*, dan *cost effectiveness*". *Feigenbaum* (1991) menyatakan bahwa "Kualitas merupakan keseluruhan karakteristik produk dan jasa yang meliputi *marketing, engineering, manufacture*, dan *maintenance*, dimana produk dan jasa tersebut dalam pemakaiannya akan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan", menurut *Scherkenbach* (1991) "Kualitas ditentukan oleh pelanggan; pelanggan menginginkan produk dan jasa yang sesuai dengan kebutuhan dan harapannya pada suatu tingkat harga tertentu yang menunjukkan nilai produk tersebut". *Elliot* (1993) "Kualitas adalah sesuatu yang berbeda untuk orang yang berbeda tergantung pada waktu dan tempat, atau dikatakan sesuai dengan tujuan". Menurut *Goetch dan Davis* (1995) "Kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berkaitan dengan produk, pelayanan, orang, proses, dan lingkungan yang

memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan, perbendaharaan istilah ISO 8402 dan dari Standar Nasional Indonesia (SNI 19-8402-1991), Kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria-kriteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu (Ariani, 2004 : 3).

Selain itu, kualitas memerlukan suatu proses perbaikan yang terus menerus (*continuous improvement process*) yang dapat diukur, baik secara individual, organisasi, korporasi, dan tujuan kinerja nasional. Dukungan manajemen, karyawan, dan pemerintah untuk perbaikan kualitas adalah penting bagi kemampuan berkompetisi secara efektif di pasar global.

2.1.1 Dimensi Kualitas

Dimensi kualitas menurut GARVIN (1996), mengidentifikasi delapan dimensi kualitas yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik kualitas produk (Ariani, 2004 : 6) , sebagai berikut :

1. Performa (*Performance*) berkaitan dengan aspek fungsional dari produk dan merupakan karakteristik utama yang dipertimbangkan pelanggan ketika ingin membeli suatu produk.

2. *Features*, merupakan aspek kedua dari performansi yang menambah fungsi dasar berkaitan dengan pilihan dan pengembangannya.
3. Keandalan (*reliability*), berkaitan dengan kemungkinan suatu produk berfungsi secara berhasil dalam periode waktu tertentu di bawah kondisi tertentu.
4. Konformansi (*conformance*), berkaitan dengan tingkat kesesuaian produk terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya berdasarkan keinginan pelanggan.
5. Daya tahan (*durability*), merupakan ukuran masa pakai suatu produk.
6. Kemampuan pelayanan (*service ability*), merupakan karakteristik yang berkaitan dengan kecepatan, kemudahan serta akurasi dalam perbaikan.
7. Estetika (*aesthetics*), merupakan karakteristik mengenai keindahan yang bersifat subyektif sehingga berkaitan dengan pertimbangan pribadi atau pilihan individual.
8. Kualitas yang dipersepsikan (*perceived quality*), bersifat subyektif, berkaitan dengan perasaan pelanggan dalam mengonsumsi produk seperti, meningkatkan harga diri.

2.2 PENGENDALIAN KUALITAS

Pengendalian kualitas merupakan suatu revolusi pemikiran dalam bidang manajemen. Ia merupakan suatu pendekatan yang menggambarkan suatu cara berfikir baru tentang manajemen.

Standar Industri Jepang (JIS) mendefinisikan pengendalian kualitas adalah "suatu sistem tentang metode produksi yang secara ekonomis memproduksi barang-barang atau jasa-jasa yang bermutu yang " memenuhi kebutuhan konsumen. Sedangkan menurut Prof. Kauro Ishikawa pengendalian kualitas adalah " mengembangkan, mendesain, memproduksi dan memberikan jasa produk yang bermutu yang paling ekonomis, dan selalu memuaskan konsumen (Ishikawa, 1985 : 50)

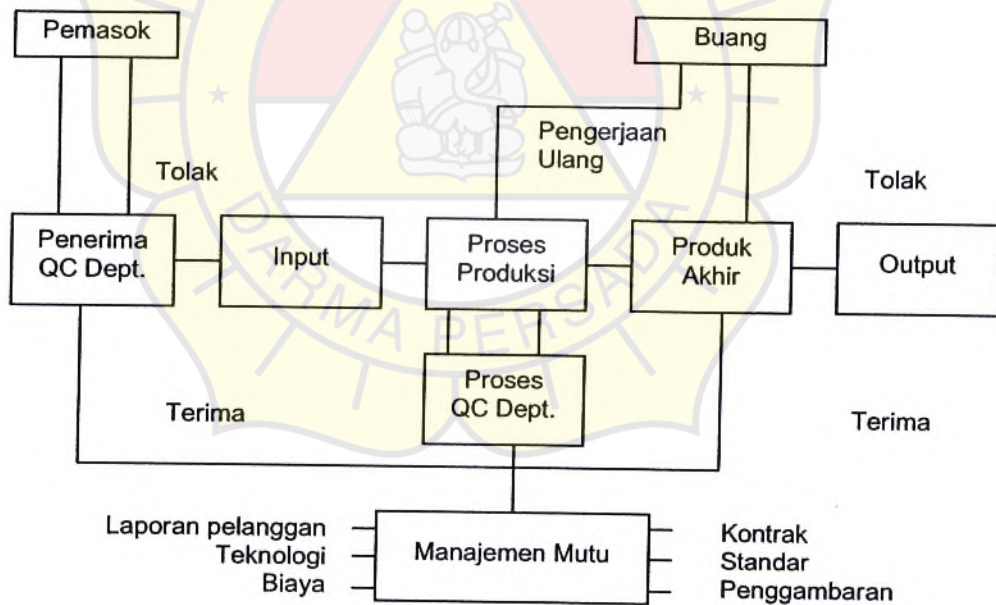
Banyak keuntungan yang diperoleh perusahaan dengan melaksanakan pengendalian kualitas yang sebaik-baiknya, yaitu antara lain :

- a. Menambahkan tingkat efisiensi dan produktivitas kerja.
- b. Mengurangi kehilangan-kehilangan (*losses*) dalam proses kerja yang dilakukan seperti mengurangi *waste product* atau menghilangkan waktu-waktu yang tidak produktif.
- c. Menekan biaya (*save money*).
- d. Menjaga agar penjualan (*sales*) akan tetap meningkat sehingga profit tetap diperoleh (meningkatkan potensi daya saing).
- e. Menambah reliabilitas produk yang dihasilkan.
- f. Memperbaiki moral pekerja tetap tinggi.

2.3 PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK

Pengendalian kualitas statistik merupakan teknik penyelesaian masalah yang digunakan untuk memonitor, mengendalikan, menganalisis, mengelola, dan memperbaiki proses menggunakan metode-metode statistik (Ariani, 2004 : 54).

Dalam sistem pengendalian mutu statistik yang mentolerir adanya kesalahan atau cacat produk, kegiatan pengendalian mutu dilakukan oleh departemen pengendali mutu yang ada pada penerimaan bahan baku, selama proses dan pengujian produk akhir. Apabila digambarkan adalah seperti pada gambar 2.1 (Ariani, 2004 : 55).

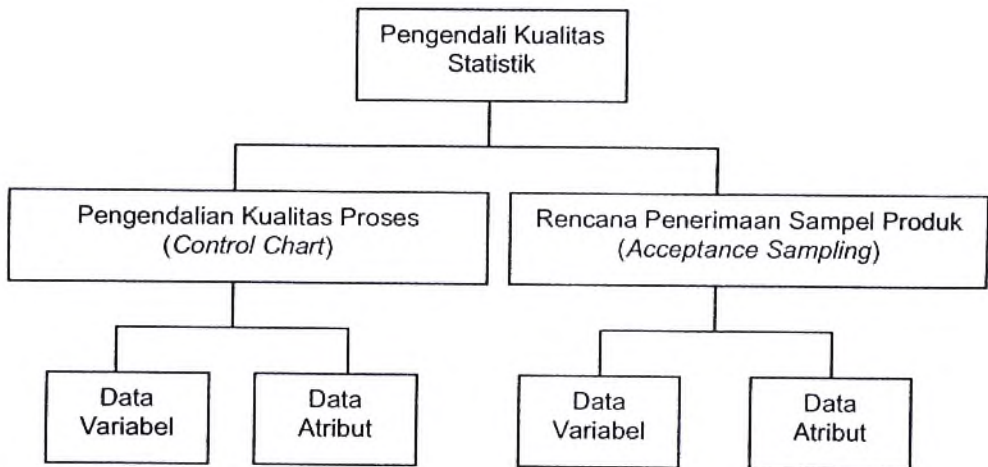


Gambar 2.1 Sistem Pengendalian Mutu

Dari Gambar 2.1 tersebut tampak bahwa perusahaan mengadakan inspeksi dapat terjadi pada saat bahan baku atau penerimaan bahan baku, proses, dan produk akhir. Inspeksi tersebut dapat dilaksanakan di beberapa waktu, antara lain :

1. Pada waktu bahan baku masih ada di tangan pemasok
2. Pada waktu bahan baku sampai di tangan perusahaan tersebut
3. Sebelum proses dimulai
4. Selama proses produksi berlangsung
5. Setelah proses produksi
6. Sebelum dikirimkan kepada pelanggan
7. Dan sebagainya

Selanjutnya, pengendalian kualitas statistik (*statistical quality control*) secara garis besar digolongkan menjadi dua, yaitu pengendalian proses statistik (*statistical process control*) atau yang sering disebut dengan *control chart* dan rencana penerimaan sampel produk atau yang sering dikenal dengan *acceptance sampling*. Hal ini dapat digambarkan seperti gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Pengendalian Kualitas Statistik

Pengendalian kualitas statistik menurut Gambar 2.2 dapat dibagi dalam pengendalian mutu proses yaitu pengendalian mutu produk selama masih berada dalam proses dan pengendalian kualitas pada produk yang dihasilkan (*acceptance sampling*) yaitu proses evaluasi sebagian produk dari seluruh produk yang dihasilkan untuk menerima seluruh produk yang dihasilkan tersebut.

Dari Gambar 2.2 tersebut tampak bahwa pengendalian kualitas proses dan produk juga dibagi dua golongan menurut jenis datanya, yaitu :

- a. Data variabel merupakan data kuantitatif yang diukur menggunakan alat pengukuran tertentu untuk keperluan pencatatan dan analisis. Data variabel bersifat kontinyu. Jika suatu catatan dibuat berdasarkan keadaan aktual, diukur secara langsung, maka karakteristik kualitas yang diukur itu disebut sebagai variabel. Contoh data variabel karakteristik kualitas

meliputi : diameter pipa, ketebalan produk, berat semen dalam kantong, ukuran-ukuran berat, panjang, lebar, tinggi, diameter, volume merupakan data variabel.

- b. Data atribut merupakan data kualitatif yang dihitung menggunakan daftar pencacahan untuk keperluan pencatatan dan analisis. Data atribut bersifat diskrit. Jika suatu catatan hanya merupakan suatu ringkasan atau klasifikasi yang berkaitan dengan sekumpulan persyaratan yang telah ditetapkan maka catatan itu disebut sebagai atribut. Contoh data atribut karakteristik kualitas meliputi : banyaknya jenis cacat pada produk, ketiadaan label pada kemasan dan sebagainya. Data atribut biasanya diperoleh dalam bentuk ketidaksesuaian atau cacat terhadap spesifikasi kualitas yang telah ditetapkan.

Dalam rangka perbaikan dan peningkatan kualitas proses dan produk akhir, maka digunakan 8 (delapan) langkah dan 7 (tujuh) alat pengendalian kualitas (*quality control*). Adapun delapan langkah (*8 Steps for improvement*) dalam pengendalian kualitas adalah sebagai berikut :

- a. Menemukan persoalan/ tema
- b. Menemukan sebab dari persoalan
- c. Mempelajari faktor-faktor yang paling berpengaruh
- d. Merencanakan penanggulangan
- e. Melaksanakan penanggulangan
- f. Memeriksa hasil

- g. Standarisasi
- h. Rencana berikutnya

Sedangkan tujuh alat (*seven tools*) pengendalian kualitas (*quality control*) dalam rangka meningkatkan mutu atau kualitas proses dan produk akhir dalam suatu sistem pengendalian kualitas yang digunakan dalam penelitian ini hanyalah tiga alat, yaitu sebagai berikut :

1. **Brainstorming**

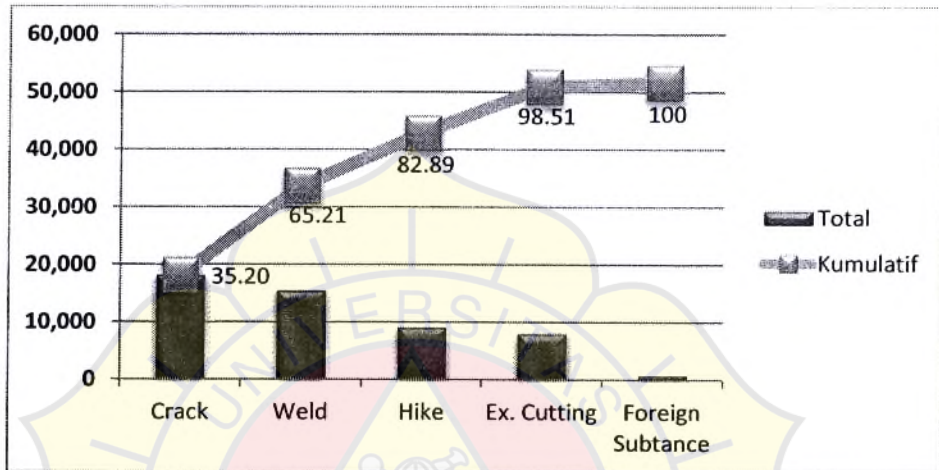
Brainstorming membantu membangkitkan ide-ide alternative dan persepsi dalam suatu tim kerja sama (*teamwork*) yang bersifat terbuka dan bebas (Gasperz, 2001 : 53). *Brainstorming* dapat digunakan berkaitan dengan hal-hal berikut :

- Menentukan penyebab yang mungkin dari masalah-masalah dalam proses atau solusi terhadap masalah itu.
- Memutuskan masalah apa (atau kesempatan peningkatan apa) yang perlu diselesaikan.
- Anggota tim merasa bebas untuk berbicara dan menyumbangkan ide-ide kreatif mereka.
- Menginginkan untuk menjaring sejumlah besar persepsi alternative
- Kreatifitas merupakan karakteristik *outcome* yang diinginkan.

2. **Diagram Pareto**

Diagram Pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kejadian. Masalah yang paling 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 serta ditempatkan pada sisi paling kanan (Gasperz, 2001 : 46), dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.3 Diagram Pareto

3. Diagram Sebab Akibat

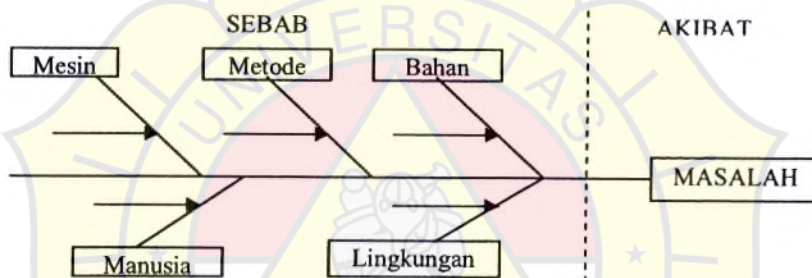
Diagram sebab akibat adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antara sebab dan akibat. Berkaitan dengan proses statistikal, diagram sebab akibat dipergunakan untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab (sebab) dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab itu. Diagram ini sering juga disebut sebagai diagram "tulang ikan" (*fishbone diagram*) karena bentuknya seperti kerangka ikan atau diagram Ishikawa (*Ishikawa's diagram*) karena

pertama kali ditemukan oleh Prof. Kauro Ishikawa dari universitas Tokyo pada tahun 1943 (Gasperz, 2001 : 58).

Pada dasarnya diagram sebab akibat dapat dipergunakan untuk kebutuhan sebagai berikut :

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

dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.4 Diagram Sebab Akibat

2.4 SIX SIGMA

2.4.1 Sejarah Singkat Six Sigma

Pada tahun 1980-an dan awal 1990-an, Motorola merupakan salah satu dari banyak korporat AS dan Eropa dimana produk yang mereka luncurkan dimakan oleh para pesaing Jepang. Para pemimpin atas Motorola mengakui bahwa kualitas produknya mengerikan. Tetapi pada tahun 1987, keluar sebuah pendekatan baru dari Sektor Komunikasi

Motorola-pada saat itu dikepalai oleh George Fisher, yang kemudian menjadi *top executive* di Kodak. Konsep perbaikan itu dinamakan "Six Sigma".

Six Sigma memberikan kepada Motorola sebuah cara yang sederhana dan konsisten untuk melacak dan membandingkan kinerja dengan persyaratan pelanggan (ukuran *Six Sigma*) dan sebuah target ambisius dari kualitas yang sempurna secara praktik (tujuan *Six Sigma*).

Perubahan Motorola dalam jangka panjang sama luar biasanya dengan hasil yang dicapai GE hanya dalam beberapa tahun. Hanya dua tahun setelah meluncurkan *Six Sigma*, Motorola mendapatkan penghargaan *Malcolm Baldrige National Quality Award*.

Sekalipun demikian, lebih dari sekedar sekumpulan peraturan, Motorola telah menerapkan *Six Sigma* sebagai sebuah cara untuk mentransformasikan bisnis, sebuah cara yang didorong oleh komunikasi, pelatihan, kepemimpinan, *teamwork*, pengukuran dan fokus pada pelanggan (Pande, 2000 : 7).

2.4.2 Definisi *Six Sigma*

Ada banyak definisi mengenai *Six Sigma*, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. *Six Sigma* adalah tujuan yang hampir sempurna dalam memenuhi persyaratan pelanggan. Pada dasarnya definisi *Six Sigma* itu juga akurat karena istilah "*Six Sigma*" sendiri merujuk kepada target

kinerja operasi yang diukur secara statistik dengan hanya 3,4 cacat untuk setiap satu juta kali aktivitas atau peluang yang ada (Pande dkk, 2000 : 10).

2. Sebuah sistem yang komprehensif 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 (Pande dkk, 2000 : 11).
3. 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, serta mendapatkan imbal hasil atas investasi yang lebih baik baik dari segi produksi maupun pelayanan (Evans dan Lindsay, 2005 : 3).
4. *Six Sigma* didefinisikan sebagai strategi perbaikan bisnis untuk menghilangkan pemborosan, mengurangi biaya karena menghasilkan kualitas yang buruk, dan memperbaiki efektifitas dan efisiensi semua kegiatan operasi, sehingga mampu memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan (Ariani, 2004 : 189).

5. *Six Sigma* adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO) untuk setiap transaksi produk (barang dan/atau jasa). Upaya giat menuju kesempurnaan atau *Zero Defect* (Gasperz, 2002 : 9).

2.4.3 Manfaat Six Sigma

Beberapa manfaat yang dapat menarik perusahaan-perusahaan kepada *Six Sigma Way*. Manfaat *Six Sigma* sebagai berikut : (Pande, 2000 : 12).

- a. Menghasilkan sukses berkelanjutan

Six Sigma menciptakan keahlian dan budaya untuk terus menerus berinovasi dan membuat organisasi bangkit kembali sehingga dapat tetap menguasai sebuah pasar yang aman.

- b. Mengatur tujuan kinerja bagi setiap orang

Six Sigma menggunakan kerangka kerja bisnis bersama untuk menciptakan sebuah tujuan yang konsisten, kinerja *Six Sigma* atau sebuah tingkat kinerja yang sesempurna mungkin. Siapapun yang memahami persyaratan pelanggan mereka dapat menilai kinerja mereka terhadap tujuan *Six Sigma* yakni sempurna 99,9997%, sebuah standar yang sangat tinggi yang membuat sebagian besar dari pandangan-pandangan sebelumnya terhadap kinerja yang "excellent" menjadi tampak rendah.

c. Memperkuat nilai kepada pelanggan

Fokus pada pelanggan pada inti *Six Sigma* berarti mempelajari apa yang berarti bagi para pelanggan (dan pelanggan prospektif) dan merencanakan bagaimana mengirimnya kepada mereka secara *profitabel*.

d. Mempercepat tingkat perbaikan

Six Sigma membantu sebuah perusahaan untuk tidak hanya meningkatkan kinerja, tetapi juga meningkatkan perbaikan dalam usaha memenuhi tuntutan pelanggan.

e. Mempromosikan pembelajaran

Six Sigma merupakan pendekatan yang dapat meningkatkan dan mempercepat pengembangan dan penyebaran ide-ide baru di sebuah organisasi keseluruhan.

f. Melakukan perubahan strategik

Memahami dengan lebih baik proses dan prosedur perusahaan akan memberikan kemampuan yang lebih besar untuk melakukan penyesuaian-penyesuaian kecil maupun perubahan-perubahan besar yang dituntut oleh sukses bisnis abad 21.

2.4.4 Konsep Six Sigma Motorola

Pada dasarnya pelanggan akan puas apabila mereka menerima nilai sebagaimana yang mereka harapkan. Apabila produk (barang/jasa) diproses pada tingkat kualitas *Six Sigma*, perusahaan boleh

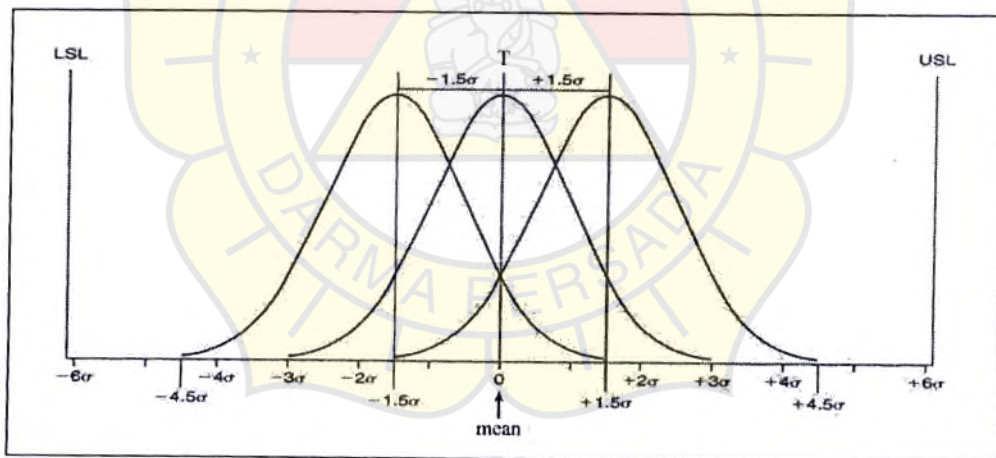
mengharapkan 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO) atau mengharapkan bahwa 99,99966 persen dari apa yang diharapkan pelanggan akan ada dalam produk itu. Dengan demikian *Six Sigma* dapat dijadikan ukuran target kinerja sistem tentang bagaimana baiknya suatu proses transaksi produk antara pemasok (industri) dan pelanggan (pasar). Semakin tinggi target sigma yang tercapai, kinerja sistem industri akan semakin baik (Gasperz, 2002 : 9).

Terdapat enam aspek kunci yang perlu diperhatikan dalam aplikasi konsep *Six Sigma* dalam bidang *manufacturing*, yaitu :

1. Identifikasi karakteristik produk yang akan memuaskan pelanggan (Sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan).
2. Mengklasifikasikan semua karakteristik itu sebagai CTQ (*Critical To Quality*).
3. Menentukan apakah setiap CTQ itu bisa dikendalikan melalui pengendalian material, mesin, proses kerja, dan sebagainya.
4. Menentukan batas maksimum toleransi untuk setiap CTQ sesuai keinginan pelanggan (melalui nilai UCL atau LCL).
5. Menentukan maksimum variasi proses untuk setiap CTQ (menentukan nilai maksimum standar deviasi untuk setiap CTQ).
6. Mengubah desain produk dan/atau proses sedemikian rupa agar mampu mencapai nilai target *Six Sigma*, yang berarti memiliki indeks kemampuan proses C_{pm} minimum sama dengan dua ($C_{pm} \geq 2$).

Pendekatan pengendalian proses 6-sigma Motorola mengizinkan adanya pergeseran nilai rata-rata (*mean*) setiap CTQ individual dari proses industry terhadap nilai spesifikasi target (T) sebesar $\pm 1,5$ sigma, sehingga akan menghasilkan 3,4 DPMO (*Defect per Million Opportunities*). Dengan demikian berdasarkan konsep *Six Sigma* Motorola, berlaku toleransi penyimpangan $\mu = T \pm 1,5 \pm \sigma$. Di sini μ (mu) merupakan nilai rata-rata (*mean*) dari proses, sedangkan σ (sigma) merupakan ukuran variasi proses (Gasperz, 2002 : 9).

Proses *Six Sigma* dengan distribusi normal yang mengizinkan nilai rata-rata (*mean*) proses bergeser 1,5-sigma dari nilai spesifikasi target kualitas (T) yang diinginkan oleh pelanggan di tunjukkan dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5 Konsep Six Sigma Motorola dengan Distrbusi Normal bergeser 1,5 Sigma

Perlu dicatat dan dipahami sejak awal bahwa konsep *Six Sigma* Motorola dengan pergeseran nilai rata-rata (*mean*) dari proses yang diinginkan sebesar 1,5-sigma adalah berbeda dari konsep *Six Sigma* dalam distribusi normal yang umum dipahami selama ini yang tidak mengizinkan pergeseran dalam nilai rata-rata (*mean*) dari proses. Perbedaan ini di tunjukkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1. Perbedaan *True 6-sigma* dengan *Motorola's 6-sigma*

<i>True 6-Sigma Process (Normal Distribution Centered)</i>			<i>Motorola's 6-Sigma Process (Normal Distribution Shifted 1,5-sigma)</i>		
Batas Spesifikasi (LSL-USL)	Persentase yang memenuhi spesifikasi (LSL-USL)	DPMO	Batas Spesifikasi (LSL-USL)	Persentase yang memenuhi spesifikasi (LSL-USL)	DPMO
± 1-sigma	68,27%	317.000	± 1-sigma	30,8538%	691.462
± 2-sigma	95,45%	45.500	± 2-sigma	69,1462%	308.538
± 3-sigma	99,73%	2.700	± 3-sigma	93,3193%	66.807
± 4-sigma	99,9937%	63	± 4-sigma	99,3790%	6.210
± 5-sigma	99,99943%	0,57	± 5-sigma	99,9767%	233
± 6-sigma	99,999998%	0,002	± 6-sigma	99,99966%	3,4

2.4.5 Metode Six Sigma

Metode *six sigma* adalah visi untuk mencapai kesempurnaan pada kualitas suatu produk atau jasa yang ditunjukkan dengan jumlah cacat produk sebesar 3,4 *part per million* atau DPMO (*Defect Per Million Opportunity*).

Pada kenyataannya sangat sulit untuk mewujudkan *Six Sigma*, dikarenakan persentase yang harus dicapai adalah 99,99966% dengan $DPMO = 3,4$.

Terminologi yang menjadi kunci utama pelaksanaan *Six Sigma* adalah :

1. *CTQ (Critical To Quality)* adalah atribut sangat penting yang berhubungan langsung dengan kebutuhan dan kepuasan pelanggan yang merupakan suatu elemen dari suatu produk, proses, atau praktek-praktek yang berdampak langsung dengan kepuasan pelanggan.
2. *Defect* adalah kegagalan untuk memberikan apa yang diinginkan pelanggan.
3. *Capability Process* adalah kemampuan proses untuk memproduksi atau menyerahkan produk sesuai dengan ekspektasi dari kebutuhan pelanggan.
4. *Variation* merupakan apa yang pelanggan lihat dan rasakan dalam proses transaksi antara pemasok dengan pelanggan. *Six Sigma* berfokus kepada apa penyebab variasi dan mencegah terjadinya variasi itu, sehingga dapat meningkatkan kapabilitas proses.
5. *Stabel Operation* adalah jaminan konsistensi, proses-proses yang dapat diperkirakan dan dikendalikan guna meningkatkan apa yang pelanggan lihat dan rasakan, meningkatkan ekspektasi dan kebutuhan pelanggan.

6. *Define, Measure, Analyze, Improve, Control* adalah proses untuk peningkatan terus menerus menuju target *Six Sigma*. DMAIC dilakukan secara sistematis berdasarkan ilmu pengetahuan dan fakta.

2.5 TAHAPAN SIX SIGMA

Six Sigma merupakan suatu metode peningkatan kualitas yang didalamnya terdapat fase-fase membentuk suatu siklus menuju perbaikan kualitas yang terdiri dari : Pendefinisian (*Define*), Pengukuran (*Measure*), Analisa (*Analyze*), Perbaikan (*Improvement*) dan Kontrol (*Control*).

2.5.1 Tahap Mendefinisikan (*Define*)

Define merupakan langkah operasional pertama dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Pada tahap ini kita perlu mendefinisikan beberapa hal yang terkait dengan :

1. Kriteria pemilihan proyek *Six Sigma*.
2. Peran dan tanggung jawab dari orang-orang yang akan terlibat dalam proyek *Six Sigma*.
3. Kebutuhan pelatihan untuk orang-orang yang terlibat dalam proyek *Six Sigma*.
4. Proses-proses kunci dalam proyek *Six Sigma* beserta pelanggannya.
5. Kebutuhan spesifik dari pelanggan.
6. Pernyataan tujuan proyek *Six Sigma*.

Alat yang dapat digunakan dalam tahap ini antara lain :

1. Diagram SIPOC

Diagram SIPOC merupakan suatu alat yang berguna dan paling banyak dipergunakan dalam manajemen dan peningkatan proses. Nama SIPOC merupakan akronim dari lima elemen utama dalam sistem kualitas, yaitu :

- *Suppliers*—merupakan orang atau kelompok orang yang memberi informasi kunci, material, atau sumber daya lain kepada proses.
- *Inputs*—adalah segala sesuatu yang diberikan oleh pemasok (*suppliers*) kepada proses.
- *Process*—merupakan sekumpulan langkah yang mentransformasi dan secara ideal, menambah nilai kepada *inputs* (proses transformasi nilai tambah kepada *inputs*). Suatu proses biasanya terdiri dari beberapa sub-proses.
- *Outputs*—merupakan produk (barang/jasa) dari suatu proses. Dalam industri manufaktur *outputs* dapat berupa barang setengah jadi maupun barang jadi.
- *Customers*—merupakan orang atau kelompok orang yang menerima *outputs*.

2. Critical To Quality (CTQ)

Critical to Quality merupakan 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.

2.5.2 Tahap Pengukuran (*Measure*)

Measure adalah langkah operasional kedua dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Terdapat tiga hal pokok yang harus dilakukan dalam tahap *Measure*, yaitu :

1. Menetapkan karakteristik kualitas (CTQ) Kunci.
2. Mengembangkan rencana pengumpulan data melalui pengukuran yang dapat dilakukan pada tingkat proses, *output* dan *outcome*.
3. Mengukur kinerja sekarang pada tingkat proses, *output* dan *outcome* untuk ditetapkan sebagai baseline kinerja pada awal proyek *Six Sigma*.

Alat yang dapat digunakan dalam tahap ini antara lain :

1. 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 :

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

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

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 :

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

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

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

❖ 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 :

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

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

b. Menggunakan peta kendali rata-rata :

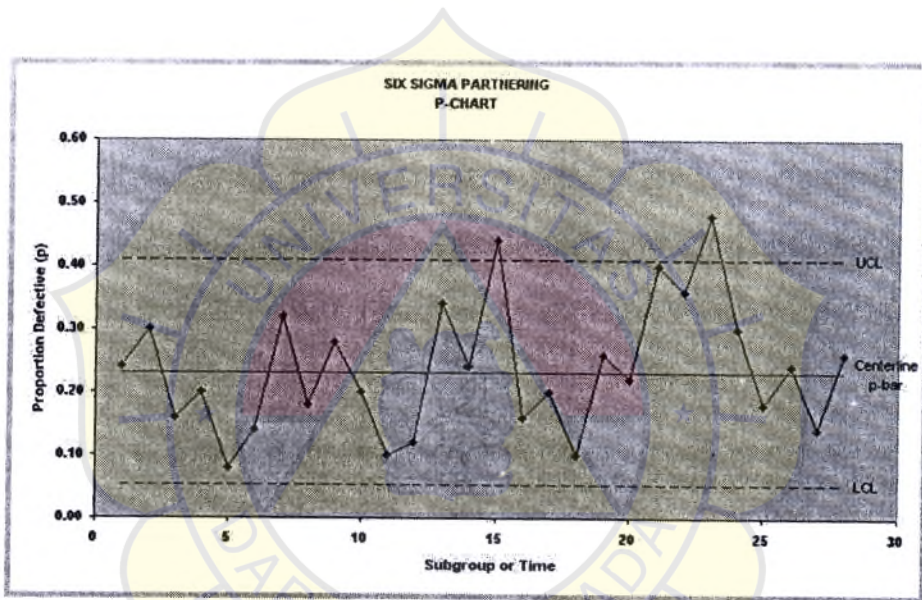
Center Line peta pengendalian adalah :

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

Sedang peta pengendalinya adalah :

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

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



Gambar 2.6 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 scrap 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

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

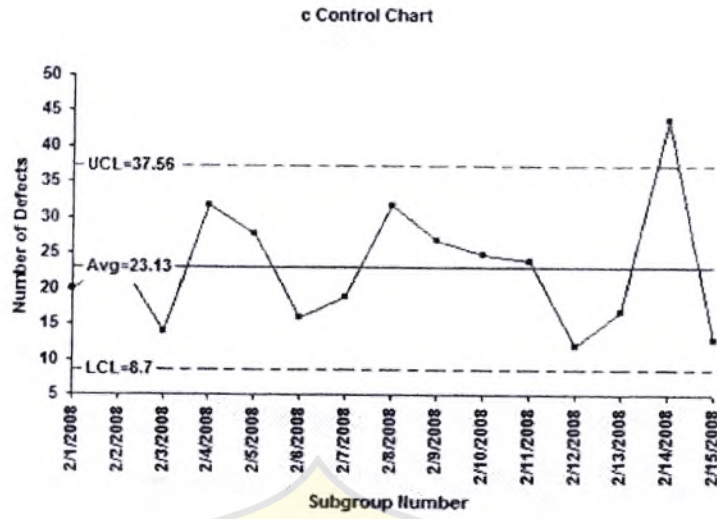
Di mana : $c_i =$ Cacat pada sampel / observasi ke-1

$g =$ Banyaknya observasi yang dilakukan

Sedang peta pengendalinya adalah :

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

$$LCL_c = \bar{c} - 3 \cdot \sqrt{\bar{c}}$$



Gambar 2.7 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 :

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

$$LCL_u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

❖ 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 :

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

$$LCL\ u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

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 :

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

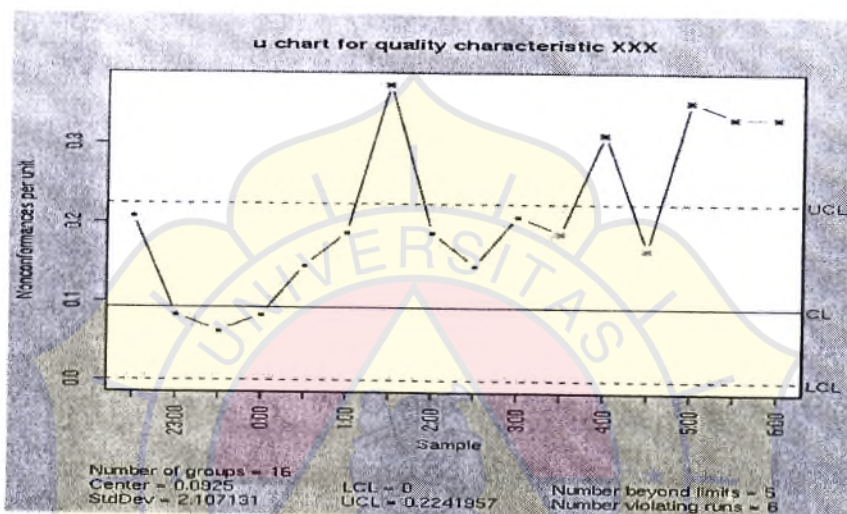
$$LCL\ u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

Nilai n (banyaknya sampel bervariasi menurut sampel yang diambil)

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

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

$$LCL_u = \bar{u} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$



Gambar 2.8 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 :

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

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

Sedang batas atas dan batas bawah untuk peta pengendali ini adalah

:

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

$$LCL = \bar{U} - 3\sigma_U$$

2. Standard Deviasi (S)

Standard deviasi adalah rata-rata perbedaan antara setiap nilai dalam serangkaian nilai dan *mean* (rata-rata) semua nilai dalam seri pengukuran. Ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Dimana :

x_i = jumlah pengukuran individu

n = jumlah pengukuran

σ = *standard deviasi*

2.5.3 Tahap Menganalisis (*Analyze*)

Analyze merupakan langkah operasional ketiga dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Pada tahap ini kita perlu melakukan beberapa hal berikut, yaitu :

1. Menganalisis stabilitas dan kapabilitas dari proses.
2. Menetapkan target kinerja dari karakteristik kualitas kunci (CTQ) yang akan ditingkatkan dalam proyek *Six Sigma*.
3. Mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab kecacatan atau kegagalan.
4. Mengkonversikan banyak kegagalan ke dalam biaya kegagalan kualitas COPQ (*Cost Of Poor Quality*).

Pada tahapan analisis ini alat yang mendukung adalah :

1. **Capability Process (Kemampuan Proses) Untuk Data Variabel**

Capability process adalah kemampuan proses untuk memproduksi atau menyerahkan *output* sesuai dengan ekspektasi atau kebutuhan pelanggan. *Capability Process* merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses mampu menghasilkan sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan oleh manajemen. Menentukan *capability process* didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$C_{pm} = \frac{(USL - LSL)}{\{6\sqrt{(\bar{X} - T)^2 + (S)^2}\}}$$

Penggunaan *criteria rule of thumb* adalah sebagai berikut :

- $C_{pm} \geq 2,00$ maka proses sangat mampu memenuhi spesifikasi target kualitas yang ditetapkan oleh pelanggan dengan tingkat kegagalan mendekati *zero defect* (perusahaan kelas dunia).
- C_{pm} antara 1,00-1,99 maka proses dianggap cukup mampu, sehingga perlu peningkatan proses guna menuju target kegagalan *zero defect*.
- $C_{pm} < 1,00$ maka proses industry dianggap sangat tidak mampu untuk mencapai target kualitas pada tingkat kegagalan nol (*zero defect oriented*).

Selanjutnya untuk mengetahui berapa persen range (*interval*) toleransi spesifikasi bagi nilai rata-rata (interval toleransi spesifikasi = $USL - LSL$) menyimpang dari nilai target (T), maka dihitung dengan menggunakan formula berikut :

$$\% \text{ Off - target} = \left\{ \frac{\text{Absolut } (X - T)}{(USL - LSL)} \right\} \times 100 \%$$

Bersamaan dengan penggunaan indeks C_{pm} juga dipergunakan indeks C_{pmk} yang mengukur tingkat dimana output proses itu berada dalam batas-batas toleransi. Indeks C_{pmk} dihitung menggunakan formula :

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk}}{\sqrt{1 + \left\{ \frac{(\bar{X} - T)}{S} \right\}^2}}$$

Dimana $C_{pk} = \text{minimum} \{ (X\text{-Bar} - LSL)/3S ; (USL - X\text{-Bar})/3S \}$

Selanjutnya, untuk pengujian hipotesis indeks C_{pmk} maka digunakan formula sebagai berikut :

$$L_{C_{pmk}} ; 0,05 = C_{pmk} - z_{0,05} \sqrt{\left\{ \frac{1}{9n} \right\} + \left\{ \frac{C_{pmk}^2}{(2n - 2)} \right\}}$$

$Z_{0,05} = 1,64$ (dapat dilihat pada tabel distribusi normal standar)

Dimana :

- $H_0 : C_{pmk} \leq 1,0$ (berarti proses tidak mampu, perlu pembenahan dan peningkatan sebelum menerapkan proyek Six Sigma).
- $H_1 : C_{pmk} > 1,0$ (berarti proses cukup mampu serta memiliki kesempatan terbaik untuk menerapkan proyek Six Sigma).

Keberhasilan implementasi program peningkatan kualitas *Six Sigma* ditunjukkan melalui peningkatan kapabilitas proses dalam menghasilkan produk menuju tingkat kegagalan nol (*zero defect*).

2. Capability Process (Kemampuan Proses) Untuk Data Atribut

Data atribut (juga disebut data diskrit atau data kualitatif) sering berbentuk kategori atau klasifikasi seperti: baik atau jelek, sukses atau gagal, hasil bebas cacat langsung (*first-past yield*) atau dikerjakan ulang (*reworked*), dan lain-lain. Data atribut mengikuti

pola binomium, sehingga analisis kapabilitas proses menggunakan alat-alat six sigma seperti penentuan indeks Cpm dan Cpmk tidak dapat diterapkan. Khusus untuk data atribut dapat digunakan hasil dari analisis DPMO dan Kapabilitas Sigma sebagai ukuran kemampuan proses yang sesungguhnya, sekaligus merupakan baseline kinerja selanjutnya. Analisis data atribut harus dilakukan menggunakan diagram Pareto untuk mengetahui CTQ potensial apa yang paling besar atau paling tinggi menimbulkan kegagalan.

3. Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kejadian. Masalah yang paling 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 serta ditempatkan pada sisi paling kanan (Gasperz, 2001 : 46), dapat dilihat pada gambar 2.3

4. Diagram sebab akibat

Diagram sebab akibat adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antara sebab dan akibat. Berkaitan dengan proses statistikal, diagram sebab akibat dipergunakan untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab (sebab) dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab itu. Diagram ini sering juga disebut sebagai diagram "tulang ikan"

(*fishbone diagram*) karena bentuknya seperti kerangka ikan atau diagram Ishikawa (*Ishikawa's diagram*) karena pertama kali ditemukan oleh Prof. Kauro Ishikawa dari universitas Tokyo pada tahun 1943 (Gasperz, 2001 : 58).

Pada dasarnya diagram sebab akibat dapat dipergunakan untuk kebutuhan sebagai berikut :

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

dapat dilihat pada Gambar 2.4

2.5.4 Tahap Peningkatan (*Improve*)

Setelah sumber-sumber dan akar penyebab dari masalah kualitas teridentifikasi, maka perlu dilakukan penetapan rencana tindakan (*action plan*) untuk melaksanakan peningkatan kualitas *Six Sigma*. Pada dasarnya rencana-rencana tindakan (*action plans*) akan mendeskripsikan tentang alokasi sumber-sumber daya serta prioritas dan/atau alternative yang dilakukan dalam implementasi rencana itu. Bentuk-bentuk pengawasan dan usaha-usaha untuk mempelajari melalui pengumpulan data dan analisis ketika implementasi dari suatu rencana, juga harus direncanakan pada tahap ini. Pada tahapan peningkatan ini alat yang dapat digunakan adalah :

1. Metode TAGUCHI

Diperkenalkan oleh Geinchi Taguchi 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 mesin produk atau mengadakan perbaikan pada desain produk (Dorothea wahyu ariani, Manajemen Kualitas, Edisi Pertama , Hal. 106).

Metode taguchi pada dasarnya merupakan teknik statistic untuk melakukan eksperimen untuk menentukan kombinasi yang terbaik dari perancangan produk dan dan variable proses untuk membuat suatu produk. Yang tebaik 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 proses.

Kelebihan dari metode Taguchi adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengurangi jumlah pelaksanaan percobaan disbanding 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 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 pembauran beberapa interaksi oleh faktor utama.
2. Jika interaksi yang diabaikan tersebut memang benar-benar berpengaruh terhadap karakteristik yang diamati, keakuratan hasil percobaan akan berkurang.

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

- 1. Menentukan Variabel Tak Bebas.**

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas 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. *Atributte 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 dikelompokan 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. Menentukan 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.

3. 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.

4. Identifikasi interaksi antar faktor.

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.

5. Menghitung Degree Of Freedom (Derajat Kebebasan)

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 :

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

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

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

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

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

6. Memilih Orthogonal Array

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 Column*.
4. Jika terdapat campuran 2, 3 atau 4 level faktor : lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Column*.

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

Tabel 2.2 Pemilihan *Orthogonal Array*

Jumlah DOF	OA Yang Digunakan
2 - 3	L_4
4 - 7	L_8
8 - 11	L_{12}
12 - 15	L_{16}

7. Analisa Variansi (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 : 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 :

$(X_i - \bar{X})^2$ 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

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

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*)

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

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

$$SS_T = \sum_{i=1}^n y_i^2 - CF$$

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

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

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

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

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 :

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

6. Variansi (*Mean Square*)

$$V_A = SS_A / dof_A$$

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

$$V_e = SS_e / dof_e$$

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

$$F_A = V_A / V_e$$

$$F_{(AxB)} = V_{(AxB)} / V_e$$

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

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

9. Presentase kontribusi (*Percentage Contribution*)

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

2.5.4.2 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 : rata-rata 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.

2.5.4.3 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 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 *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.

2.5.4.4 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 2.3 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	$(1/Y_1^2 + 1/Y_2^2 + \dots + 1/Y_n^2) / n$

2.5.4.5 Pemilihan Setting Faktor yang paling 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*.

2.5.4.6 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 relatif 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 :

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

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)

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

n = jumlah yang diuji / jumlah percobaan untuk tiap faktor

Sedangkan nilai selang kepercayaan untuk tiap faktornya adalah :

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

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, ...

2.5.4.7 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 :

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

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 :

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

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*)

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

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

Maka selang kepercayaan prediksi hasil pada kondisi optimal adalah :

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

2.5.4.8 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 :

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

Dimana : N_r = jumlah sampel untuk percobaan konfirmasi

Maka selang kepercayaan untuk percobaan konfirmasi adalah :

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

2.5.4.9 Uji Selisih 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_i), 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 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 :

$$p_1 = x_1 / n_1$$

$$p_2 = x_2 / n_2$$

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

$$q = 1 - p$$

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

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.

2.5.5 Tahap Mengendalikan (*Control*)

Control merupakan tahap operasional terakhir dalam proyek peningkatan kualitas *Six Sigma*. Pada tahap ini hasil-hasil peningkatan kualitas di dokumentasikan dan disebarluaskan, prosedur-prosedur didokumentasikan dan di jadikan pedoman kerja standar, serta

kepemilikan atau tanggung jawab ditransfer kepada penanggung jawab proses, yang berarti proyek *Six Sigma* berakhir pada tahap ini.

1. Verifikasi Implementasi

Verifikasi implementasi dapat dilakukan dengan beberapa hal diantaranya :

1. Membuat perhitungan secara statistical setelah dilakukan perbaikan atau menggunakan usulan percobaan.
2. Membandingkan keadaan indeks kapabilitas proses sebelum dan sesudah implementasi.
3. Membandingkan level sigma pada saat sebelum dan sesudah implementasi.

Berdasarkan hasil verifikasi, apabila menunjukkan adanya peningkatan kualitas maka hasil implementasi distandarkan, apabila menunjukkan adanya penurunan kualitas maka dilakukan percobaan ulang.

