 GRAHA ILMU

SIX SIGMA

Quality for Business Improvement

Amin Syukron, ST., MT
Ir. Muhammad Kholil, MT

801502 7

SIX SIGMA

Quality for Business Improvement



AL-GHAZALI, SY. MT
J. AL-GHAZALI, No. 100, 101



GRAHA ILMU

SIX SIGMA

Quality for Business Improvement

Amin Syukron, ST., MT
Ir. Muhammad Kholil, MT

SIX SIGMA

Quality for Business Improvement

Penulis: Amin Syukron, ST., MT.
Ir. Muhammad Kholil, MT.

Edisi Pertama

Cetakan Pertama, 2013

Hak Cipta © 2013 pada penulis.

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk menduplikasi, memfotokopi, atau dengan teknik pencetakan lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.



GRAHA ILMU

Ruko Lamboran No. 7A,
Yogyakarta 55121

Telp. : 0274-889816, 0274-889298

Fax. : 0274-889057

E-mail : info@grahalimu.co.id

Syukron, Amin, ST., MT.; Kholil, Muhammad, Ir., MT.

SIX SIGMA; Quality for Business Improvement/Amin Syukron, ST., MT.; Ir. Muhammad Kholil, MT.

-Edisi Pertama - Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013
viii + 158 hlm, 1 Jil.; 24 cm.

ISBN: 978-979-736-995-2

1. Manajemen

1. Judul

KATA PENGANTAR

Persaingan industri menjadi sangat ketat ketika dibukanya pasar bebas, terlebih lagi diberlakukannya standarisasi-standarisasi kualitas dengan tujuan melindungi konsumen. Hal ini memberikan kesempatan kepada konsumen untuk memilih produsen yang bisa memenuhi kriteria-kriteria kualitas yang diinginkan konsumen.

Penyusunan buku ini pada awalnya didasarkan pada kebutuhan mahasiswa untuk bisa lebih memahami metode-metode pengendalian kualitas terutama pembahasan mengenai six sigma. Sebagai buku pegangan dalam mata kuliah pengendalian kualitas, buku ini tersusun secara sistematis berdasarkan pada bahan-bahan kuliah dan referensi lainnya. Pokok bahasan buku ini antara lain sejarah, pengertian, dan perkembangan ilmu kualitas, prinsip dasar six sigma, proses definisi (*define*), proses pengukuran (*measure*), proses analisis, proses perbaikan (*improvement*), proses pengendalian (*control*)

Besar harapan penulis, buku ini dapat memberi manfaat bagi dunia pengetahuan pada umumnya, bagi mahasiswa, dosen, praktisi dan siapa saja yang berminat mempelajari six sigma sebagai alat untuk mengendalikan kualitas. Kami menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu, kami mengharap kritik dan saran serta masukan-masukan yang akan kami pergunakan demi pengembangan buku ini.

Kepada semua pihak yang telah membantu mulai dari proses penyusunan penerbitan serta peredaran buku ini kami ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya.

Jakarta, september 2012

Penulis

DAFTAR ISI

SEJARAH, PENGERTIAN, DAN PERKEMBANGAN ILMU KUALITAS

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB 1 SEJARAH, PENGERTIAN, DAN PERKEMBANGAN ILMU KUALITAS	1
1.1. Sejarah Perkembangan Ilmu Kualitas	1
1.2. Pengertian Kualitas	4
1.3. Perkembangan Ilmu Kualitas	11
1.4. Biaya Kualitas dan Nilai Kualitas	19
1.5. Hubungan Kualitas, Produktivitas, Efisiensi, dan Penggunaan	20
BAB 2 PRINSIP DASAR SIX SIGMA	23
2.1. Metrik Dan Pengukuran Six Sigma	23
2.2. Dasar Statistik Six Sigma	25
2.3. Metodologi Six Sigma	27
2.4. Six Sigma di Perusahaan Jasa	29
2.5. Pihak-Pihak Pelaksana Six Sigma	31

BAB 3	PROSES DEFINISI (<i>Define</i>)	35
	1.1. Definisi Proyek Six Sigma	35
	3.2. Pareto Analysis	44
	3.3. Fishbone Diagram (Cause and Effect)	47
	3.4. Quality Function Deployment (QFD)	49
	3.5. Failure Mode Effect Analyze (FMEA)	57
BAB 4	PROSES PENGUKURAN (<i>Measure</i>)	63
	4.1. Definisi Peroduk Defect	63
	4.2. Gage R & R	67
	4.3. Analisis Kemampuan Proses	74
BAB 5	PROSES ANALISIS	81
	5.1. Pengujian Hipotesis	81
	5.2. Analisis Regresi	92
	5.3. The 7 QC Tools	97
BAB 6	PROSES PERBAIKAN (<i>IMPROVEMENT</i>)	99
	6.1. Analisis Varian (ANOVA)	99
	6.2. Design of Experiment	108
BAB 7	PROSES PENGENDALIAN (<i>CONTROL</i>)	121
	7.1. Grafik Pengendali	121
	7.2. Grafik Pengendali Sifat Variable	132
	7.3. Grafik Pengendali Sifat Atribut	140
DAFTAR PUSTAKA		157

BAB 1

SEJARAH, PENGERTIAN, DAN PERKEMBANGAN ILMU KUALITAS

1.1. Sejarah Perkembangan Ilmu Kualitas

Kualitas sudah selalu menjadi bagian yang terintegrasi pada semua produk dan jasa. Walau demikian, kesadaran kita dari pentingnya kualitas dan pengenalan dari metode formal untuk pengendalian kualitas dan perbaikan sudah secara evolusi terbangun. Tabel 1.1 menunjukkan timeline proses evolusi ilmu kualitas.

Fredrik W. Taylor memperkenalkan prinsip manajemen kualitas saat industri masal mulai tahun 1900. Taylor membagi kerja pada tugas-tugas, sehingga produk dapat di produksi dan dirakit dengan mudah. Hal ini menyebabkan atau mengakibatkan pada peningkatan substansial dalam produktivitas. Dan juga, karena standarisasi produksi dan metode perakitan, kualitas dari produksi barang secara positif berdampak bagus. Walau demikian, bersamaan dengan standarisasi dari metode kerja muncul konsep mengenai standar kerja, sebuah standar waktu untuk menyelesaikan pekerjaan atau sejumlah spesifik unit dari yang harus diproduksi tiap waktunya. Frank gilbert dan lainnya, mengembangkan konsep ini menjadi studi gerak dan desain kerja yang membawa dampak positif dalam produktifitas. Akan tetapi konsep ini sering kali tidak menekankan aspek kualitas kerja. Lebih ekstrim lagi, standar kerja mempunyai resiko berhentinya inovasi dan perbaikan secara kontinyu, saat ini dikenal sebagai aspek vital dari semua aktivitas kerja.

Metode statistik dan penerapannya dalam perbaikan kualitas memiliki sejarah panjang. Pada tahun 1924, Walter A. Sewhrt dari bell telephone laboratories mengembangkan konsep diagram pengendalian

kualitas statistic yang sering dianggap sebagai awal mula pengendalian kualitas statistic.

Pada pertengahan 1980-an, para insinyur di Motorola Inc. (Amerika Serikat) menggunakan istilah “Six Sigma” sebagai suatu nama informal untuk inisiatif dalam perusahaan untuk mengurangi kesalahan (defect) dalam proses produksinya.

Engineer Motorola saat itu, Bill Smith dan Mikal Harry merasa bahwa mengukur kesalahan dalam satuan ribuan merupakan standar yang kurang mencukupi. Selanjutnya mereka meningkatkan skala pengukuran menjadi dalam per-sejuta-an, disebut sebagai kesalahan dalam satu juta kesempatan yang bisaa dikenal dengan istilah *defects per million* (kesalahan per sejuta) dimana Six Sigma dikenal dan dianggap sama dengan 3.41 kesalahan dalam sejuta kesempatan.

Six Sigma merupakan pendekatan organisasi untuk menghilangkan penyimpangan dan mengurangi pemborosan pada proses dengan menggunakan pendekatan ilmu statistik. Six Sigma didefinisikan sebagai strategi perbaikan bisnis untuk menghilangkan pemborosan, mengurangi biaya karena kualitas yang buruk, dan memperbaiki efektivitas semua kegiatan operasi, sehingga dapat memenuhi kebutuhan dan harapan *customer* (Anthony & Banuelas, 2001).

Tahun 1991 Motorola membuat sertifikasi berupa “Black Belt” bagi ahli Six Sigma yang pertama, yang mengindikasikan permulaan dari pemberian gelar formal sertifikasi Six Sigma. Ada pun jenjang sertifikasi dalam Six Sigma berturut-turut adalah: White Belt (*basic*), Green Belt (GB), Black Belt (BB) dan Master Black Belt (MBB).

Pada tahun 1995, CEO (Chief Executive Officer) perusahaan ternama, General Electric (GE) Jack Welch memutuskan untuk menerapkan Six Sigma di GE, dan pada tahun 1998 GE mengklaim bahwa Six Sigma telah menghasilkan lebih dari 750 juta dollar

pengurangan biaya, dan mempublikasikan pencapaian spektakuler ini secara luas.

Tabel 1.1 Timeline Proses Evolusi Ilmu Kualitas.

Tahun	Proses Evolusi
1700-1900	Qualitas secara luas ditetapkan dengan usaha dari seorang individu yang membuat produk, Eli Whitney mempopulerkan komponen yang dapat dibongkar pasang.
1875	Frederick W. Taylor, memperkenalkan “Scientific management” prinsip-prinsip untuk membagi pekerjaan menjadi menjadi unit yang kecil. Pendekatan pertama berhubungan dengan produk dan proses yang lebih kompleks. Kontributor
1900-1930	Hendry Ford-the assembly line- Perbaikan metode kerja untuk peningkatan produktivitas dan kualitas
1901	Lab standarisasi pertama berdiri di Inggris raya
1907-1908	AT&T memulai inspeksi dan testing yang sistematis terhadap produk dan material
1908	W.S. Gosset memperkenalkan “ the t-distribution – hasil dari kerja dia sebagai quality control pada Guinness Brewery
1919	Technical Inspection Association dibentuk di Inggris, kemudian menjadi the Institute of Quality Assurance
1920s	AT&T Bell labs membentuk Departemen Kualitas
1922-1923	R.A.Fisher mempublikasikan tulisan tentang “designed experiments” dan aplikasinya pada “agricultural sciences”
1924	W.A.Shewhart memperkenalkan konsep “the control chart” di Bell laboratories
1928	H.F.Dodge and H.G.Romig Memperkenalkan metode “ Acceptance sampling” pada Bell Labs.
1931	W.A.Shewhart mempublikasikan Economic Control of Quality of manufacturing product.
1932	W.A.Shewhart mengajar di Universitas London

Tahun	Proses Evolusi
1932-1933	Design experiment diterapkan di industri tekstil dan kimia di Inggris
1938	W.E. Deming mengundang Shewhart untuk memberikan seminar tentang "Control Chart" pada "the U.S. Depart. of Agricultural Graduate School"
1940	The U.S War Dept mempublikasikan panduan penggunaan control chart untuk proses analisa data
1940-1943	Bell Labs membuat "the military standard sampling plans" untuk tentara Amerika
1946	The American Society for Quality Control (ASQC) dibentuk, sebagai gabungan dari berbagai kumpulan kualitas. Deming diundang ke Jepang oleh "the economic and scientific services of the U.S. War Department. The Japanese Union of Scientist and Engineers (JUSE) dibentuk
1946-1949	Deming diundang untuk memberikan seminar tentang "statistical quality control" pada Industri di Jepang
1948	Prof.G. Taguchi mulai mempelajari dan mempraktekan "experimental design"
1950	Deming mulai mendidik manajer dari industri Jepang, Prof. K. Ishikawa memperkenalkan "the cause and effect diagram"
1950s	Eugene Grant and A.J. Duncan mempublikasikan teks klasik tentang "statistical quality control"
1951	Dr.A.V.Feigenbaum menerbitkan buku "Total Quality Control", JUSE menetapkan "Deming Prize"
1951+	G.E.P.Box dan K.B.Wilson memperkenalkan penggunaan design experiment untuk optimasi proses
1954	Dr. Joseph M. Juran diundang ke Jepang untuk memberikan kuliah tentang "quality management and improvement"
1957	J.M. Juran mempublikasikan Quality Control Handbook

Tahun	Proses Evolusi
1959	Technometrik, jurnal tentang kualitas terbit dgn editor J. Stuard Hunter
1960	G.E.P.Box dan J. Stuard Hunter menulis tentang 2^{k-p} faktorial designs, K. Ishikawa di Jepang memperkenalkan The Quality Control Circle
1961	Di Ingris berdiri national council for Quality and Productiity
1960s	Zero Defects programs di perkenalkan pada industri-industri tertentu di U.S
1975-1978	Gerakan TQM di mulai di Amerika Utara, dengan penerapan Quality Circles
1980s	Design experiment karya G. Taguchi terbit di U.S
1988	The Malcom Baldrige National Quality Award di tetapkan oleh kongres Amerika
1989	Usaha “Motorola’s six-sigma” dimulai
1990s	Aktivitas sertifikasi ISO 9000 meningkat di U.S..Industri
1997	Pendekatan “Motorola’s six-sigma” meluas ke industri lainnya
1998	American society for quality control berubah menjadi american society for quality, berusaha untuk mengindikasi aspek peningkatan kualitas.
2000an	Standar ISO 9000:2000 telah dikeluarkan, supply chain management dan kualitas supplier menjadi faktor yang paling kritis dalam kesuksesan bisnis, aktivitas peningkatan kualitas memperluas bentuk sistem induatri tradisional menjadi beberapa area meliputi jasa keuangan, kesehatan, asuransi, dan utilitas.

1.2. Pengertian Kualitas

Kualitas mempunyai pengertian yang luas, tergantung pada sudut pandang yang mendefinikannya. Sebagian besar orang mempunyai konsep pemahaman mengenai kualitas sebagai hubungan satu atau lebih karakteristik yang diinginkan dari sebuah produk atau jasa. Walauun konsep pemahaman secara pasti merupakan starting poin yang bagus, namun masih banyak lagi definisi kualitas yang lebih tepat. Pada sub bab

ini akan dibahas mengenai pengertian kualitas dari para ahli kualitas diantaranya juran, deming, montgomery, dan Crosby.

Kualitas menjadi sangat penting bagi konsumen untuk membuat keputusan dalam menyeleksi pesaingnya diantara penyedia produk dan jasa. Fenomena ini tersebar luas tanpa memperdulikan apakah konsumen itu individu, organisasi industri, dan atau program pertahanan militer. Akibatnya, pemahaman dan peningkatan kualitas adalah faktor kunci dari keberhasilan bisnis, pertumbuhan, dan peningkatan persaingan. Terdapat keuntungan besar yang akan didapatkan dari peningkatan kualitas dan keberhasilan menggunakan kualitas sebagai bagian yang terintegrasi dari sebuah strategi bisnis.

Definisi kualitas secara tradisional adalah dasar dari pandangan bahwa produk dan jasa harus memenuhi persyaratan dari mereka yang menggunakannya. Montgomery (2005) menyebutkan beberapa definisi kualitas sebagai berikut:

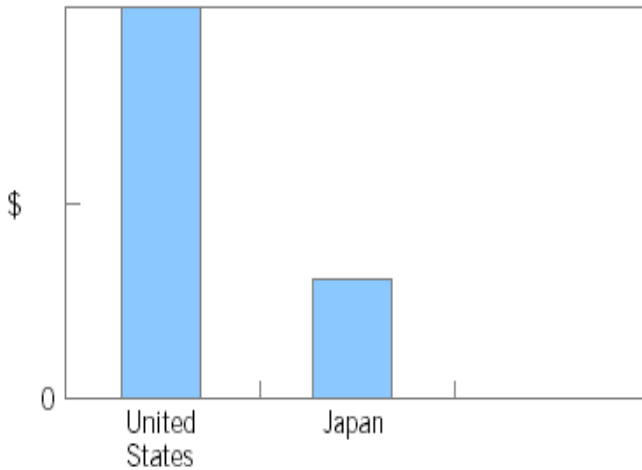
1. Kualitas berarti layak digunakan.

Ada dua aspek dari definisi ini yaitu *quality of design* dan *quality of conformance*. *Quality design* adalah level dari kualitas, yaitu spesifikasi produk yang dibuat berdasarkan keinginan dari konsumen. Contohnya, *automobile* memberikan *future safe transportation*. Antara *automobile* yang satu dengan yang lainnya mempunyai spesifikasi yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan perbedaan tipe material yang digunakan. *Quality of performance* adalah seberapa baik suatu produk dalam memenuhi spesifikasi dari permintaan dengan desainnya.

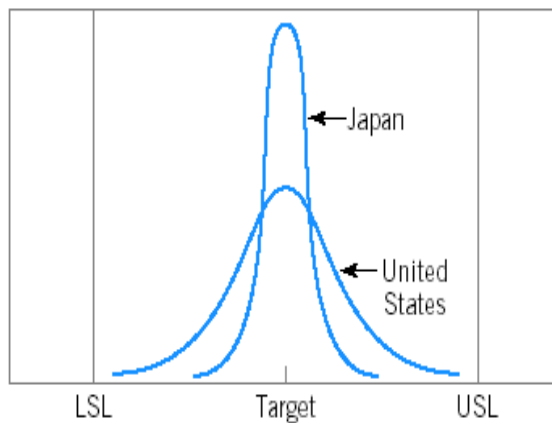
2. Kualitas adalah berbanding terbalik dengan variabilitas.

Artinya adalah kualitas produk akan meningkat jika variabilitas dalam karakteristik penting suatu produk menurun. Contohnya, beberapa tahun lalu *automobile* di amerika melakukan studi komparasi pada sebuah transmisi yang di buat di pabrik domestic dengan supplier dari jepang, sebuah analisis dari klaim garansi dan biaya perbaikan terindikasi bahwa terdapat perbedaan yang mencolok pada dua sumber produksi, produk dari jepang mempunyai biaya rendah seperti terlihat pada gambar 1.1.

sebagai bagian dari studi untuk menemukan penyebab dari perbedaan biaya dan kinerja, perusahaan menyeleksi secara acak sampel dari setiap perusahaan, membongkar transmisi tersebut dan mengukur beberapa karakteristik dari critical quality.



Gambar 1.1 Biaya Garansi Transmisi (Montgomery, 2005)



Gambar 1.2 Distribusi Critical Dimensions Dari Transmisi (Montgomery, 2005)

Gambar 2.1 secara umum representatif dari hasil studi yang telah dilakukan. Distribusi dari karakter kritis untuk transmisi yang dibuat di Amerika naik sekitar 75% dari luas spesifikasi, yang artinya hanya sedikit produk yang conformance yang dapat diproduksi. Dengan karakteristik kritis yang sama, produk transmisi dari Jepang hanya naik sekitar 25% dari spesifikasi.

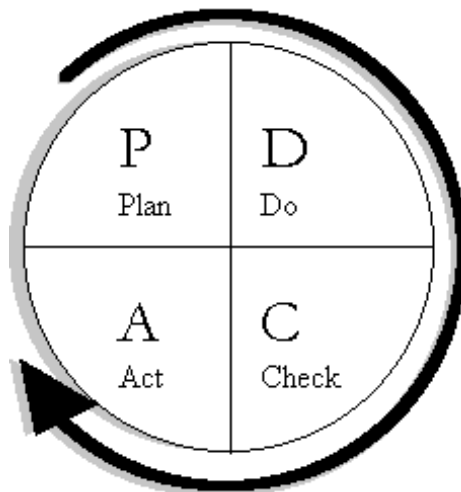
1.2.1. Definisi Kualitas Dari Sudut Pandang Konsumen

Masalah pendefinisian kualitas sangat penting bagi Deming bahwa ia mengabdikan seluruh bab buku monumentalnya, *Out of Crisis*, untuk mendefinisikan kualitas. Dalam pandangan Deming, konsumen adalah bagian paling penting dari sistem produksi, tanpa konsumen, tidak ada alasan untuk memproduksi. Pertanyaannya kemudian menjadi salah satu dari apa kebutuhan konsumen (atau apa yang konsumen berpikir dia butuhkan atau inginkan). Konsumen hanyalah pengguna akhir dari produk apapun atau layanan yang disediakan. Deming mengutip salah satu contoh penting di mana perbedaan ini sering hilang dalam anekdot mengenai review pembaca sekolah dasar yang dihasilkan oleh sebuah rumah penerbitan. Ketika salah satu dari tinjauan memprotes bahwa cerita itu mengerikan hambar dan tidak menarik, perusahaan wakil presiden yang bertanggung jawab atas buku pelajaran menjawab bahwa, meskipun dia setuju, dia harus ingat bahwa guru maupun siswa yang membeli buku teks. Penjualan harus dibuat kepada dewan sekolah. Deming juga menyatakan bahwa menilai kualitas perawatan medis yang ditawarkan oleh seorang praktisi atau lembaga yang sama sulitnya, karena perusahaan asuransi bukan pasien yang menghabiskan sebagian besar uang yang dibelanjakan pada kesehatan perawatan, dan karena banyak profesional medis dan lembaga melihat penelitian perawatan pasien bukan sebagai tujuan utama mereka. Untuk Deming, definisi yang hanya bermakna dari kualitas adalah yang menentukan konsumen. Sebuah produk dapat memenuhi setiap spesifikasi teknis mungkin dan ditawarkan dengan harga yang sesuai, tetapi jika itu adalah produk yang salah, itu tidak ada gunanya bagi konsumen. Namun, Deming juga

berpendapat kualitas yang memiliki komponen jangka pendek dan jangka panjang. Hal ini penting untuk mengantisipasi kebutuhan masa depan konsumen serta orang-orang yang hadir dalam rangka untuk terus memenuhi definisi konsumen kualitas dan mempertahankan keunggulan kompetitif. Deming memperkenalkan Continuous Improvement Helix-nya, yang dikenal dengan (Plan, Do, Study / Check, Act) :

1. Desain produk
2. Buat produk, ; mengujinya di lini produksi dan laboratorium.
3. Pasarkan
4. Mengujinya dalam pelayanan; mencari tahu apa yang user berpikir itu, dan mengapa nonuser belum membelinya.

Menurut Deming, empat langkah, diulang terus-menerus, akan menghasilkan dalam meningkatkan kualitas dengan harga menurun. Dengan demikian, kondisi untuk kualitas seperti yang terlihat oleh konsumen terpenuhi: pengetahuan tentang apa kebutuhan konsumen pada saat ini, kemampuan untuk memenuhi kebutuhan itu, dan kemampuan untuk mengantisipasi kebutuhan masa depan konsumen.



Gambar 1.3 Konsep Peningkatan Kualitas Deming

1.2.2. Definisi Kualitas Dari Sudut Pandang Produsen

Seperti Deming, Juran juga melihat kualitas sebagai konsep yang berguna hanya dapat didefinisikan oleh konsumen. Juran mendefinisikan kualitas dengan kesesuaian untuk digunakan dengan dua kategori yang berbeda, yaitu:

1. Fitur produk yang memenuhi kebutuhan pelanggan
2. Kebebasan dari kekurangan

Untuk mencapai tujuan pertama, Juran, seperti Deming, mengusulkan bahwa produsen mengetahui apa yang pelanggan mengharapkan dari produk. Dalam banyak kasus, ini juga termasuk menentukan siapa pelanggan akhir sebenarnya. Pada titik ini, pekerjaan utama adalah untuk menerjemahkan tuntutan pelanggan ke dalam spesifikasi produksi dan fitur yang diinginkan, dan datang dengan rencana yang koheren untuk memproduksi.

Tujuan kedua dicapai melalui pengukuran hasil produksi dan bagaimana diterima dengan baik produk di pasar. Dengan membandingkan hasil aktual dengan hasil yang diinginkan, yang bertindak atas kekurangan dan memberikan umpan balik ke dalam sistem, perbaikan terus-menerus dapat dicapai. Terdapat tiga aktivitas yaitu perencanaan mutu, pengendalian mutu, dan perbaikan kualitas yang dikenal sebagai Trilogi Juran.

Seperti Siklus Deming, Trilogi Juran dimaksudkan untuk dilihat sebagai umpan balik tak berujung, meskipun Juran mengambil konsep lebih lanjut dan mengeksplorasi praktis menerapkan sistem seperti untuk setiap operasi tertentu, baik itu jasa atau manufaktur terkait. Sedangkan Deming melihat masalah kualitas sebagai hasil dari pemahaman yang buruk dari sistem yang ada, Juran berpendapat bahwa perencanaan yang tepat dari suatu sistem pada awalnya dapat membantu produsen menghindari pengerjaan ulang yang tidak perlu dan menyembunyikan biaya kualitas.



Gambar 1.4 Trilogi Kualitas Juran

1.2.3. Definisi Kualitas Dari Sudut Pandang Manajemen

Sementara Juran dan Deming telah lebih dulu difokuskan pada kualitas dilihat dari perspektif pelanggan, Crosby cenderung untuk mengambil lebih sempit tampilan manajemen terpusat. Crosby melihat banyak pernyataan yang lebih samar tentang kualitas (menyenangkan pelanggan, perbaikan terus-menerus, dll) hanya sebagai perpanjangan dari definisi yang sangat dasar, kesesuaian dengan persyaratan.

Dalam pandangan Crosby, jika persyaratan jelas dikomunikasikan kepada semua tingkat organisasi, maka sikap “tidak ada alasan untuk tidak melakukan dengan benar” dapat dibangun di seluruh perusahaan. Seperti Deming, Crosby tidak fokus pada pencegahan sebagai sarana untuk mencapai kualitas, namun, Crosby merendahkan peran analisis statistik dalam mendukung perencanaan strategis. Angka-angka, menurut Crosby, adalah pedoman dan tidak boleh mendikte process. Namun, Crosby membuat penilaian pengawasan bahwa perbandingan gambar antara dirinya dan pemimpin berkualitas lainnya (terutama Deming dan

Juran) tidak berarti, karena setiap ahli berfokus pada bidang keahlian sendiri, Deming sebagai ahli statistik, Juran sebagai seorang insinyur, dan Crosby sebagai manager.

Pengukuran Crosby lebih konseptual, yang terdiri dari *Complete Transaction Rating* (CTR) dan *Price Non-Conformance* (PONC). CTR hanyalah sebuah penilaian pada skala 0 sampai 1, dengan 1 menjadi tingkat yang diinginkan, seberapa baik seorang pemasok memenuhi persyaratan. PONC benar-benar hasil dari CTR, dan dihitung dengan menentukan jumlah waktu yang diperlukan untuk mengulang atau memperbaiki kesalahan dalam produksi atau layanan, dan jumlah uang yang dihabiskan di process. Menurut Crosby, siapa yang dapat mengilustrasikan penilaian secara benar, maka pengukurannya paling efektif dan akhirnya satu-satunya cara untuk mengukur mutu dalam proses.

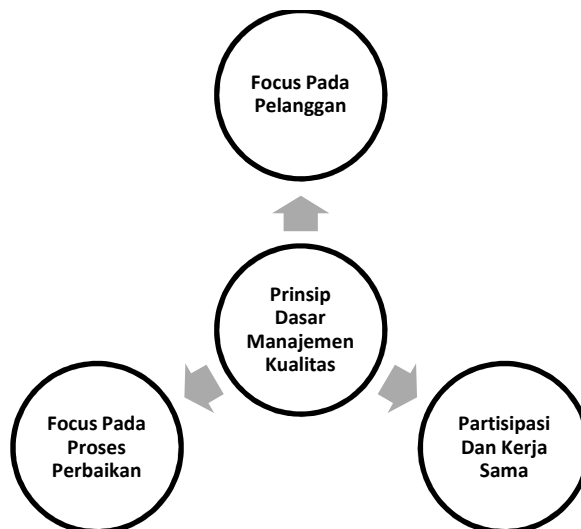
Tabel 1.2 Comparison Of The Quality Gurus

	W.DEMING	J.M.JURAN	P.CROSBY	G.TAGHUJI
Orientasi dasar kualitas	Teknis	Proses	Motifasi	Teknis,proaktif
Definisi kualitas	Tidak ada kesalahan system	Kesesuaian untuk digunakan, bebas dari kesulitan	Menyesuaikan permintaan	Kinerja dari pemenuhan kebutuhan konsumen
Target kualitas	Memenuhi kebutuhan konsumen, perbaikan terus-menerus	Menyenangkan konsumen, perbaikan terus-menerus	Zero defect, perbaikan terus-menerus	Memenuhi permintaan konsumen, perbaikan terus-menerus
Metode pencapaian kualitas	Statistik, perbaikan berkelanjutan, kerjasama antar fungsi	Biaya kualitas, teori tri logi juran	14 poin kerangka kerja	Statistik (loss function) eliminasi variasi
Elemen utama pada implementasi	14 poin program	Pemecahan masalah, dewan kualitas, tim kualitas	Program 14 langkah, biaya kualitas, manajemen kualitas	Desain eksperimen statistik
Terkenal dengan metode	Plan, do, check, action	Prinsip pareto	Zero defect	Metode taguchi

Selain juran, deming, dan Crosby, G. Taguchi juga merupakan ahli kualitas dengan konsepnya yang terkenal dengan nama metodologi taguchi. Desain eksperimen menjadi elemen implementasi dalam meningkatkan kualitas. Untuk dapat memahami lebih jauh definisi kualitas dari berbagai sudut pandang para ahli kualitas dapat dilihat tabel 1.2 Comparison Of The Quality Gurus.

1.2.4. Prinsip Kualitas Dan Six Sigma

Manajemen kualitas didasari oleh tiga prinsip dasar yaitu fokus pada pelanggan, partisipasi dan kerja sama semua individu dalam perusahaan, dan fokus pada proses yang didukung oleh perbaikan dan pembelajaran terus menerus. Prinsip-prinsip ini merupakan landasan filosofi Six Sigma, dan walaupun terdengar sederhana amat berbeda dengan praktik manajemen tradisi lama. Dengan fokus yang sungguh-sungguh pada kualitas maka sebuah organisasi akan secara aktif berusaha untuk terus-menerus memahami kebutuhan serta tuntutan pelanggan, berusaha untuk membangun kualitas dan mengintegrasikannya ke dalam proses-proses kerja dengan cara menimba ilmu serta pengalaman dari para karyawan.



Gambar 1.5 Prinsip Dasar Manajemen Kualitas

1.2.5. Fokus Pada Pelanggan

Pelanggan adalah faktor kunci dari kelangsungan hidup organisasi, karena pelangganlah yang menilai kualitas. Persepsi mengenai atribut kualitas dari suatu produk atau jasa dan kepuasan konsumen dipengaruhi oleh banyak faktor yang terjadi selama waktu transaksi, pemakaian, dan jasa pelayanan pelanggan after sale. Untuk memenuhi tuntutan ini, upaya perusahaan harus lebih dari sekedar mematuhi spesifikasi produk, mengurangi kecacatan dan kesalahan, atau melayani keluhan pelanggan. Upaya yang dilakukan juga harus termasuk mendisain produk baru yang membuat pelanggan puas serta respon yang cepat terhadap permintaan pasar dan pelanggan.

Sebuah perusahaan yang dekat dengan pelanggannya tahu apa yang diinginkan pelanggan, bagaimana pelanggan menggunakan produknya, dan mengantisipasi kebutuhan pelanggan yang bahkan mereka pun tidak tahu bagaimana mengekspresikannya. Untuk memenuhi serta melebihi harapan pelanggan, perusahaan harus memahami secara penuh semua sifat produk dan jasa yang berkontribusi terhadap nilai bagi pelanggan.

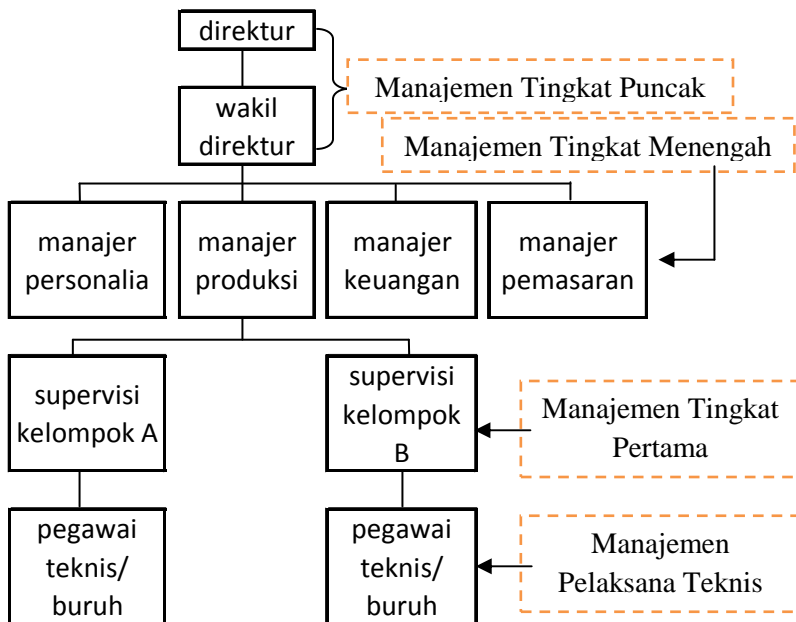
Dalam usaha menghasilkan produk maupun jasa, hal yang terpenting dilakukan adalah mengumpulkan informasi yang dibutuhkan oleh pelanggan internal untuk aktivitas-aktivitas yang berkaitan dengan pengendalian proses untuk menjaga agar produk tersebut memenuhi Critical To Quality (CTQ), jika CTQ atau permintaan spesifikasi kualitas dari konsumen tidak terpenuhi, maka perusahaan harus membangun system pengukuran dan pengendalian yang lebih baik

1.2.6. Partisipasi Dan Kerja Sama

Jepang merupakan Negara dengan disiplin kerja yang tinggi, dimana karyawan menjadi ujung tombak pencapaian kualitas. Seperti prinsip Six Sigma dalam meningkatkan kualitas, banyak perusahaan jepang yang secara penuh menggunakan pengetahuan serta kreativitas seluruh karyawan. Sikap ini merupakan salah satu contoh pergeseran pandangan yang cukup besar dalam filosofi manajemen tingkat atas. Gambar 1.6

menunjukkan pandangan manajemen tradisional yang menyatakan bahwa karyawan harus dikelola.

Six Sigma bergantung pada partisipasi dan kerja karyawan pada setiap tingkatan, dari front office hingga managemewn tingkat atas, yang artinya hubungan kerja sama dalam struktur organisasi Six Sigma bisa bersifat vertical maupun horizontal. Satu dari karakter unik Six Sigma adalah terciptanya hierarki perbaikan proses menggunakan analogi ilmu bela diri dengan tingkatan level yaitu sabuk hijau, sabuh hitam, dan master sabuk hitam, dilengkapi dengan perangkat serta pengetahuan untuk melakaukan perbaikan yang signifikan dalam kinerja bisnis.



Gambar 1.6 Model Struktur Organisasi Tradisional

1.2.7. Fokus Proses dan Perbaikan

Proses adalah serangkaian aktivitas yang ditujukan untuk mencapai beberapa hasil. Proses merupakan hal yang paling dasar dalam Six Sigma,

karena proses adalah cara bagaimana sebuah pekerjaan menghasilkan nilai bagi pelanggan, maka dari itu dalam Six Sigma kapabilitas proses sangat dijaga dalam suatu organisasi.

Perbaikan (improvement) baik dalam arti perubahan secara perlahan-lahan, dalam bentuk kecil dan bertahap, serta yang bersifat terobosan, maupun perbaikan yang besar dan cepat. Perbaikan ini bisa berupa bentuk-bentuk dibawah ini:

1. Meningkatkan nilai untuk pelanggan melalui produk dan jasa yang baru dan lebih baik.
2. Mengurangi kesalahan, cacat, limbah, serta biaya-biaya lain yang terkait.
3. Meningkatkan produktivitas dan efektivitas penggunaan semua jenis sumber daya.
4. Memperbaiki respon dan masa siklus kinerja proses seperti menanggapi keluhan atau peluncuran produk baru.

Maka dari itu, waktu respon, kualitas dan tujuan produktivitas harus dipertimbangkan secara bersamaan. Fokus pada proses mendukung upaya perbaikan secara terus menerus dengan cara memahami sinergi ini dan mengenali sumber masalah yang sebenarnya. Perbaikan besaran terhadap waktu respon memerlukan penyederhanaan proses kerja yang signifikan dan sering kali mendorong perbaikan simultan dalam kualitas produktivitas.

1.3. Perkembangan Ilmu Kualitas

1.3.1. Statistical Process Control

Pengendalian proses statistik atau SPC adalah teknik untuk memastikan setiap proses yang digunakan agar barang dan atau jasa yang dikirimkan kepada konsumen memenuhi standar kualitas. Semua proses tunduk pada variabilitas, dan di tahun 1920-an Dr Walter Shewhart mengembangkan sebuah sistem menggunakan statistik untuk melacak variabilitas. Shewhart membedakan antara jenis variasi yang ditemukan dalam semua proses yaitu penyebab umum dan khusus dari variasi. Pengendalian proses statistik (SPC) menghubungkan kualitas dan produktivitas.

Dengan menggunakan statistik yang sangat dasar untuk mengontrol proses. Sebuah proses adalah setiap kumpulan kegiatan yang efek perubahan berurutan menuju suatu tujuan. Pengendalian proses statistik digunakan untuk mengukur kinerja dari sebuah proses. Suatu proses dikatakan berada dalam terkontrol ketika satu-satunya sumber variasi bersifat umum atau alami. Proses ini dibawa ke keadaan terkontrol dengan mendeteksi dan menghilangkan penyebab khusus dari variasi. Kinerja diprediksi dan kemampuan dari proses untuk memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan dapat dievaluasi ketika proses berada dalam kondisi terkontrol. Sebuah proses yang terkendali secara konsisten akan menghasilkan barang atau jasa dalam batas toleransi alami. Hal ini dilakukan dengan menghilangkan semua penyebab khusus dari variasi yang ada. Tujuan pertama dari SPC adalah untuk mendapatkan proses dalam keadaan terkontrol, yang berarti identifikasi dan eliminasi penyebab khusus variasi.

Kontribusi Shewhart untuk pengendalian proses statistik mengambil bentuk dalam alat yang disebut control chart. Diagram kontrol adalah alat terbaik untuk membawa proses ke keadaan terkontrol. Grafik ini grafik statistik sederhana untuk mendeteksi penyebab khusus variasi dalam proses pada saat mereka ada. Selain grafik ini akan mengukur toleransi alami dari proses karena variasi normal atau penyebab umum. Diagram kontrol adalah alat utama untuk membedakan antara acak, variabilitas alam dan variabilitas nonrandom. Dasar untuk membangun diagram kontrol adalah konsep sampling dan distribusi yang menggambarkan acak (alami) variabilitas. Pengukuran sampel dibuat dan diplot pada grafik. Pemeriksaan karakteristik data ini membantu untuk membedakan antara variasi alami dan variasi karena penyebab khusus. Sebuah proses yang terkontrol akan menghasilkan data terukur dalam batas kendali.

Dalam banyak proses produksi, bagaimanapun baiknya dirancang atau hati-hatinya dipelihara, akan selalu ada sebanyak tertentu variabilitas dasar atau yang menjadi sifatnya. Variabilitas dasar atau "gangguan dasar" ini adalah pengaruh kumulatif dari banyak sebab-sebab kecil, yang

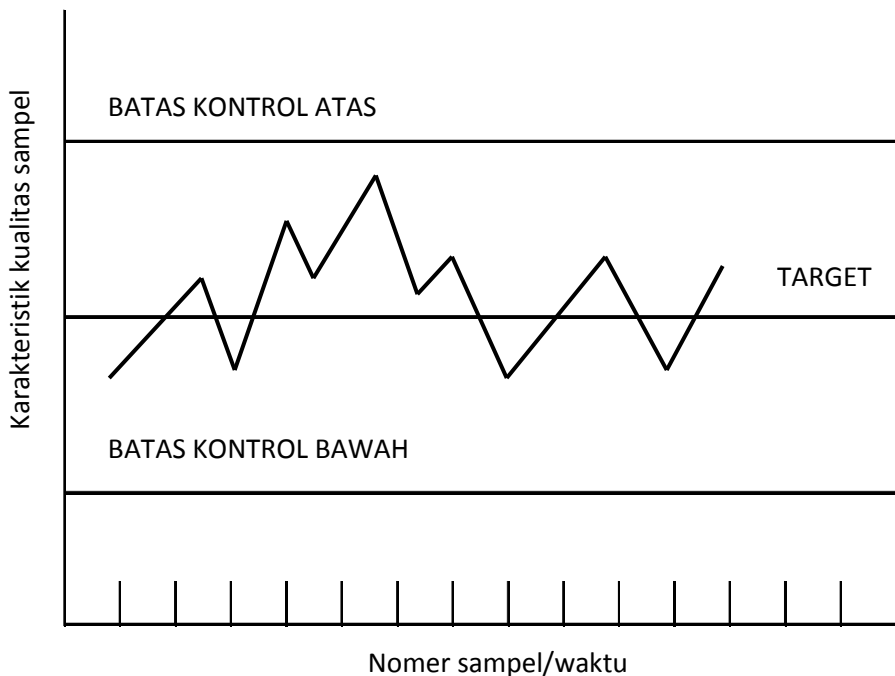
pada dasarnya tak terkendali. Apabila gangguan dasar proses relatif kecil, kita bisaanya memandangnya sebagai tingkat yang dapat diterima dari peranan proses. Dalam kerangka pengendalian kualitas statistic, variabilitas dasar ini kadang-kadang dinamakan "system stabil sebab-sebab tak terduga". Suatu proses yang bekerja hanya dengan adanya variasi sebab-sebab tak terduga dikatakan ada dalam *pengendalian statistik*.

Merupakan ciri sangat khusus bahwa proses produksi yang bekerja dalam keadaan terkendali, menghasilkan produk yang dapat diterima untuk periode waktu yang relatif panjang. Tetapi, terkadang sebab-sebab terduga akan terjadi, kelihatannya secara random, yang mengakibatkan "pergeseran" ke keadaan tak terkendali dengan bagian yang lebih besar hasil proses itu tidak memenuhi persyaratan. Tujuan pokok pengendalian kualitas statistik adalah menyidiki dengan cepat terjadinya sebab-sebab terduga atau pergeseran proses sedemikian hingga penyelidikan terhadap proses itu dan tindakan pembetulan dapat dilakukan sebelum terlalu banyak unit yang tak sesuai diproduksi.

Grafik pengendali adalah teknik pengendali proses pada jalur yang digunakan secara luas untuk maksud ini. Grafik pengendali dapat juga digunakan untuk menaksir parameter suatu proses produksi, dan melalui informasi ini, menentukan kemampuan proses. Grafik pengendali dapat juga memberi informasi yang berguna dalam meningkatkan proses itu. Akhirnya, ingat bahwa tujuan akhir pengendalian proses statistik adalah ***menyingkirkan variabilitas dalam proses***. Mungkin tidak dapat menyingkirkan variabilitas selengkapanya, tetapi grafik pengendali adalah alat yang efektif dalam mengurangi variabilitas sebanyak mungkin.

Bentuk dasar grafik pengendali ditunjukkan dalam Gambar 1.7 yang merupakan peragaan grafik suatu karakteristik kualitas yang telah diukur atau dihitung dari sampel terhadap nomor sampel atau waktu. Grafik itu memuat garis tengah yang merupakan nilai rata-rata karakteristik kualitas yang berkaitan dengan keadaan terkontrol (yakni, hanya sebab-sebab tak tersangka yang ada). Dua garis mendatar ini, yang

dinamakan batas pengendali atas (BPA) dan batas pengendali bawah (BPB), juga ditunjukkan dalam grafik itu. Batas-batas pengendali ini dipilih sedemikian hingga apabila proses terkendali, hampir semua titik-titik sampel akan jatuh di antara kedua garis itu. Selama titik-titik terletak di dalam batas-batas pengendali, proses dianggap dalam keadaan terkendali, dan tidak perlu tindakan apa pun. Tetapi, titik yang terletak di luar batas pengendali diinterpretasikan sebagai fakta bahwa proses tak terkendali, dan diperlukan tindakan penyelidikan dan perbaikan untuk mendapatkan dan menyingkirkan sebab atau sebab-sebab tersangka yang menyebabkan tingkah laku itu. Merupakan kebiasaan untuk menghubungkan titik-titik sampel di dalam grafik dengan segmen garis lurus, sehingga mudah untuk melihat bagaimana barisan-barisan titik itu tersusun menurut waktu.



Gambar 1.7 Grafik Pengendali.

Meskipun semua titik-titik terletak di dalam batas pengendali, apabila titik-titik itu bertingkah secara sistematis atau tak random, maka ini merupakan petunjuk bahwa proses tak terkendali. Misalnya, apabila 18 dari 20 titik terakhir terletak di atas garis tengah tetapi dibawah batas pengendali atas dan hanya dua dari titik-titik ini terletak di bawah garis tengah tetapi di atas batas pengendali bawah, kita akan sangat curiga bahwa ada sesuatu yang salah. Apabila proses itu terkendali semua titik-titik yang digambar harus mempunyai pola yang pada dasarnya random. Metode melihat urutan atau pola tak random dapat diterapkan pada grafik pengendali sebagai penolong dalam menyidik keadaan tak terkendali. Bisaanya, ada batasan mengapa pola tak random tertentu tampak dalam grafik pengendali, dan apabila ini dapat diperoleh dan dihilangkan, penampilan proses dapat ditingkatkan.

1.3.2. Total Quality Management

Total Quality Management (TQM) dapat di definisikan dari tiga kata yang membentuknya, yaitu Total yang artinya keseluruhan , Quality artinya kualitas, derajat atau tingkat keunggulan barang dan atau jasa, Manajemen artinya tindakan, seni menhandel, pengendalian, pengamatan. Dari tiga kata tersebut TQM dapat diartikan sebagai sistem manajemen yang berorientasi pada kepuasan pelanggan (Customer Satisfaction) dengan kegiatan yang diupayakan sekali benar (right first time) melalui perbaikan berkesinambungan (continous improvement) dan motivasi karyawan. Definisi ini menyatakan bahwa,

TQM adalah sistem manajemen yang mengangkat kualitas sebagai strategi menuju pencapaian keunggulan bersaing yang berorientasi kepada kepuasan pelanggan dengan melibatkan seluruh anggota organisasi.

TQM menggunakan suatu definisi mutu yang sangat luas. Definisi itu bukan hanya berkaitan dengan produk akhir melainkan juga bagaimana organisasi itu menangani penyerahan, seberapa cepat organisasi itu menanggapi keluhan, seberapa sopan panggilan-panggilan

telepon yang dijawab, dan semacam itu. Fandy Tjipto 1996, mendefinisikan bahwa TQM adalah suatu pendekatan dalam menjalankan usaha yang mencoba untuk memaksimalkan daya saing organisasi melalui perbaikan terus menerus atas produk, jasa, manusia, proses dan lingkungannya. Sedangkan menurut Gasperz definisi TQM adalah suatu cara meningkatkan performansi secara terus menerus pada setiap level operasi atau proses dalam setiap area fungsional dari suatu organisasi dengan menggunakan semua sumber daya manusia dan modal yang ada. Dari definisi definisi diatas dapat disimpulkan bahwa Total Quality Management merupakan pendekatan manajemen sistematis yang berorientasi pada organisasi, pelanggan dan pasar melalui kombinasi-kombinasi antara pencarian fakta praktis dan penyelesaian masalah, guna menciptakan peningkatan secara signifikan dalam kualitas, produktifitas, dan kinerja lain dari perusahaan.

1.3.2.1. Landasan dan Akar TQM

Landasan dari TQM adalah Statistical Proses Control (SPC) yang diperkenalkan oleh Edwards Deming dan Joseph Juran yang selanjutnya mengalami evolusi dan diversifikasi untuk aplikasi di bidang manufacturing, industri jasa, kesehatan dan juga bidang pendidikan.

Perkembangan TQM juga tidak lepas dari kontribusi bidang manajemen dan efektifitas organisasi dalam membangun TQM. Kontribusi tersebut merupakan salah satu dimensi tersendiri yang disebut akar TQM. Akar TQM antara lain :

1. Manajemen ilmiah, digunakan untuk mencari cara terbaik untuk melakukan pekerjaan melalui time dan motion study dan proses produksi secara benar berjalan. TQM memperluas konsep ke dalam lingkup seluruh sistem.
2. Group Dynamics, kelompok-kelompok kerja dimaksudkan untuk mengembangkan teknik memecahkan masalah.
3. Pelatihan, TQM menempatkan program pelatihan pada prioritas utama di tiap tingkat organisasi.
4. Motivasi Berprestasi.
5. Pelibatan Karyawan, TQM memberi peluang kepada para karyawan untuk ikut terlibat dalam proses pemecahan masalah.

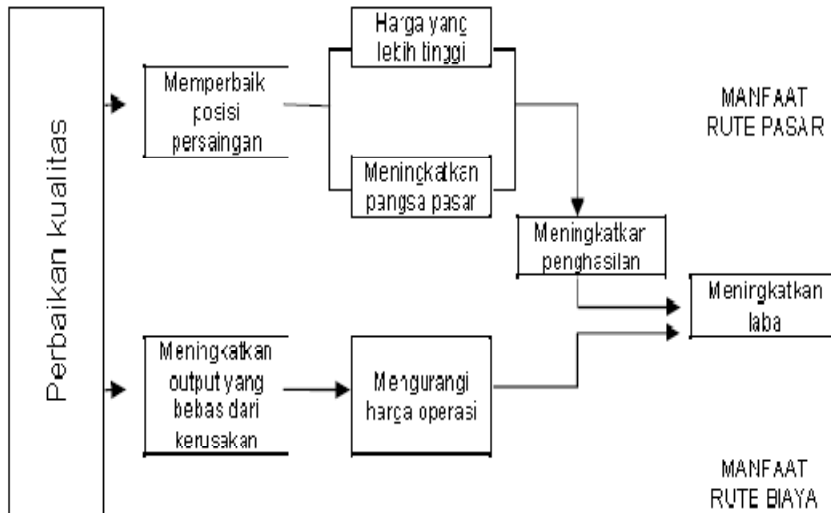
6. Sistem Socioteknikal, TQM memperhatikan dimensi sistem organisasi secara Implisit dan memusatkan perhatian pada interface antara unsur-unsur yang saling mempengaruhi.
7. Perkembangan Organisasi
8. Budaya Perusahaan, TQM mengembangkan konsep dimana budaya perusahaan terdiri dari dua kelompok dasar, yaitu keyakinan dan nilai-nilai (values).
9. Teori Kepemimpinan Baru.
10. Perencanaan Strategis. Perencanaan Strategis adalah suatu proses dimana pimpinan puncak organisasi menggambarkan masa depan organisasi tersebut dan mengembangkan prosedur yang diperlukan beserta pengoperasiannya.

1.3.2.2. Manfaat TQM

Implementasi TQM mempunyai beberapa manfaat bagi organisasi antaralain:

1. Dapat meningkatkan produktivitas organisasi (kinerja kuantitatif)
2. Meningkatkan kualitas (menurunkan kesalahan dan tingkat kerusakan)
3. Meningkatkan efektivitas pada semua kegiatan; meningkatkan efisiensi (menurunkan sumberdaya melalui peningkatan produktivitas), dan
4. Mengerjakan segala sesuatu yang benar dengan cara yang tepat.

Lebih lanjut, implementasi TQM dalam suatu organisasi dapat memberikan beberapa manfaat utama yang akhirnya dapat meningkatkan daya saing organisasi. Melalui perbaikan kualitas berkesinambungan maka perusahaan dapat meningkatkan keuntungannya melalui dua rute (Pall dalam Tunggal, 1993: 6), yaitu rute pasar dan rute biaya sebagaimana terlihat pada gambar 1.8.



Sumber: Pal dalam Tunggal (1993: 6)

Gambar 1.7 Rute Pasar Dan Rute Biaya

1.3.2.3. Prinsip Dan Unsur TQM

Prinsip-prinsip TQM Menurut Krajewski, Lee dan Ritzman (1999) dalam Haerodin (2008) adalah filosofi yang menekankan pada tiga prinsip; Kepuasan konsumen, keterlibatan karyawan dan perbaikan berkelanjutan atas kualitas. TQM juga melibatkan *benchmarking*, desain produk barang dan jasa, desain proses, pembelian, hal-hal yang berkaitan dengan pemecahan masalah (*problem solving*).

Prinsip-prinsip kunci TQM lebih lengkap dijelaskan oleh Hashmi (2004:2):

1. Komitmen manajemen: perencanaan (dorongan, petunjuk), pelaksanaan (penyebaran, dukungan, partisipasi), pemeriksaan (inspeksi), dan tindakan (pengakuan, komunikasi, revisi).
2. Pemberdayaan karyawan: pelatihan, sumbang saran, penilaian dan pengakuan, serta kelompok kerja yang tangguh.

3. Pengambilan keputusan berdasarkan fakta: *statistical process control, the seven statistical tools*.
4. Perbaikan berkelanjutan: pengukuran yang sistematis dan fokus pada biaya non kualitas (*cost of non-quality*); kelompok kerja yang tangguh; manajemen proses lintas fungsional; mencapai, memelihara, dan meningkatkan standart.
5. Fokus pada konsumen: hubungan dengan pemasok, hubungan pelayanan dengan konsumen internal, kualitas tanpa kompromi, standar oleh konsumen.

Dalam perkembangannya prinsip-prinsip TQM bukan sekedar pendekatan proses dan struktur sebagaimana dijelaskan sebelumnya, TQM lebih merupakan pendekatan kesisteman yang juga melibatkan aktivitas manajemen sumber daya manusia.

Oleh karena itu menurut Wilkinson (1992: 2-3), TQM pada hakekatnya memiliki dua sisi kualitas yaitu *hard side of quality* dan *soft side of quality*. *Hard side of quality* meliputi semua upaya perbaikan proses produksi mulai dari desain produk sampai dengan penggunaan alat-alat pengendalian (*QFD, JIT, dan SPC, dsb.*), dan perubahan organisasional lainnya (struktur organisasi, budaya organisasi). Sedangkan *soft side of quality* terfokus pada upaya menciptakan kesadaran karyawan akan pentingnya arti kepuasan konsumen dan menumbuhkan komitmen karyawan untuk selalu memperbaiki kualitas. Upaya tersebut dapat dilakukan melalui pendidikan dan pelatihan, pendekatan sistem pengupahan yang mendukung, dan struktur kerja. Upaya tersebut termasuk kegiatan manajemen SDM.

Sedangkan menurut Setiawan (2003: 3), pada dasarnya TQM adalah sistem terpadu yang terbuka dan terdiri dari tiga sisi: kesisteman, piranti dan sumber daya manusia. Dari sisi kesisteman, TQM antara lain terdiri dari: *Company Standarts, Quality Assurance, Quality Qontrol Circle, Policy Management Deployment, Suggestion Systems*. Dari sisi piranti antara lain: *seven QC Tools, 7-Management Tools, SPC*. Dari sisi

SDM adalah: sikap kerja, motivasi kerja, budaya kerja (budaya kualitas), kompetensi, dan kepemimpinannya.

Secara garis besar Tunggul (1993: 10) membuat kerangka kerja yang memuat unsur-unsur penting TQM pada tabel 1.3 berikut.

Table 1.3 Unsur-Unsur penting TQM

Unsur-unsur filosofis	Alat-alat genetik	Alat-alat departemen pengendalian kualitas
<ul style="list-style-type: none"> • Standar mutu yang memperhatikan konsumen • Hubungan pemasok pelanggan • Orientasi pencegahan • Mutu pada setiap sumber • Perbaikan yang berkesinambungan 	<p>Alat-alat spc (statistical process control)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Flow process chart 2. Check sheets 3. Pareto analisis dan histogram 4. Run chart 5. Scatter diagram 6. Control charts <p>Quality function deploymenet</p>	<p>Metode sqc (statistical quality control)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sampling plans • Process capability • Taguchi methods

Variabel dan adaptasi TQM tak terbatas, meskipun pada awalnya diaplikasikan pada operasional manufaktur, TQM kini diakui sebagai piranti manajemen yang generik, juga diterapkan pada organisasi sektor publik dan jasa. Ada sejumlah penyesuaian aplikasi pada berbagai sektor dengan mengkreasikan prinsip-prinsip TQM. Beberapa pakar menyimpulkan berbagai kerangka kerja TQM pada tabel 1.4

Tabel 1.4 An Operational framework of TQM

Karakter TQM	Juran	Deming	Crosby	Saraph	Flynn	Powell	ISO 9000	MBNQA (balridge award)
Perbaikan berkelanjutan	X	X	X	X	X			X
Memenuhi permintaan konsumen	X	X			X	X	X	X
Long-range planning	X			X				X
Peran karyawan	X	X	X	X		X		X
Competitive benchmarking				X		X		X
Problem solving team	X		X	X		X		X
Hasil dan pengukuran	X		X	X	X	X	X	X
Hubungan yang dekat dengan konsumen	X	X			X	X		X
Komitmen manajemen	X	X	X	X	X	X	X	X
Total	8	6	5	8	6	8	4	10

Sumber: Tunggal (1993)

1.3.3. Sistem Manajemen Mutu ISO seri 9000

ISO 9000 merupakan suatu sistem manajemen mutu. Sistem tersebut termasuk akan melibatkan baik standar produk individual beserta kalibrasi dan pengukuran. Keseluruhan sistem bermanfaat untuk menjamin berlangsungnya operasi secara terus-menerus dari seluruh proses, dari pembelian material sampai pengiriman akhir produk jadi dan standar manajemen mutu.

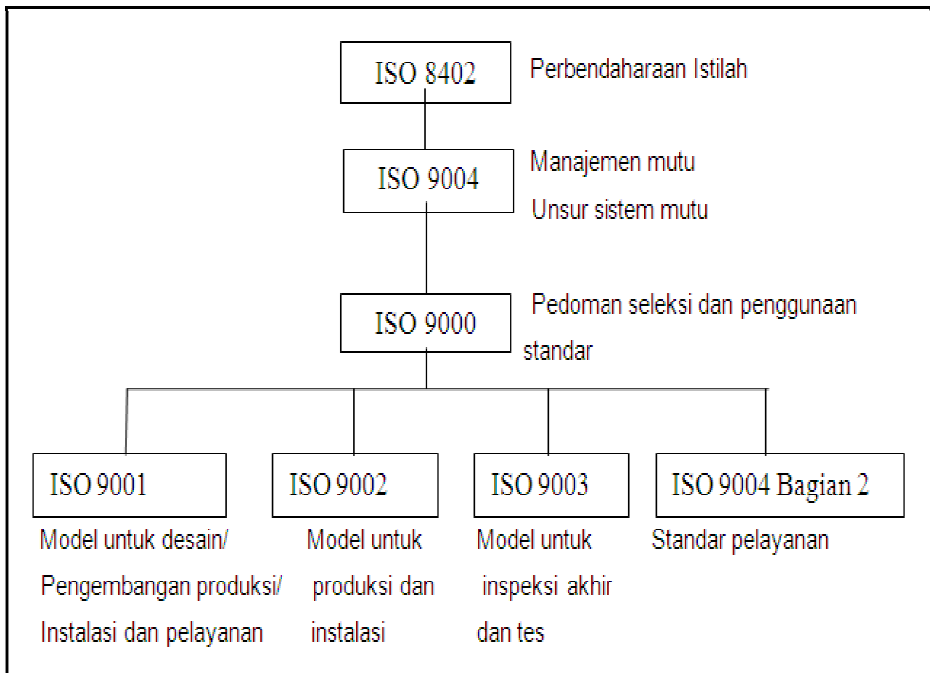
Kebanyakan asal dari sistem manajemen mutu dijumpai pada industri militer dan nuklir, dimana konsep penilaian pemasok (*vendor/supplier*) merupakan hal bisa. Bagi pembeli yang besar akan melakukan sendiri audit sistem manajemen mutu dari pemasok. Beberapa perusahaan menderita karena penilaian yang begitu banyak dari pelanggan mereka. Pelanggan yang besar mulai mengurangi jumlah pemasok mereka untuk menjaga mutu dan mengurangi gangguan penilaian.

1.3.3.1. Gambaran Umum ISO

Standar ISO dipublikasikan dalam enam dokumen terpisah dengan nomor ISO 8402, 9000, 9001, 9002, 9003 dan 9004. Masing-masing mungkin mempunyai tiga halaman judul terpisah. Yang pertama menjadi milik organisasi standar nasional dari satu diantara Negara berikut ini: Australia, Belgia, Denmark, Finlandia, Prancis, Jerman, Yunani, Irlandia, Italia, Belanda, Norwegia, Portugas, Spanyol, Swedia, Switzerland atau Inggris. Standar dapat juga menjadi dokumen yang sah yang dilindungi oleh Undang-undang Parlemen, tergantung organisasinya.

Yang kedua disebut 'Standar Eropa EN 29000' atau nomor 29000 lainnya yang sesuai. Ini menunjukkan kepada kita bahwa standar telah diterima oleh CEN, Komite Standarisasi Eropa, yang anggotanya terdiri dari organisasi standar nasional seperti tertera diatas, dan juga menjelaskan bahwa semua anggota terikat dalam mengimplementasikan standar Eropa ini dan semua referensi ISO dibaca sebagai EN. Yang ketiga akan berkaitan dengan ISO, Organisasi Standarisasi Internasional

dan menggunakan nomor ISO 9000 sampai ISO 9004 dan judul yang sesuai untuk setiap standar. Semuanya ada hak ciptanya dan tidak diizinkan memfotocopynya.



Gambar 2.5 Gambaran Umum ISO

1.3.3.2. ISO 9004 Unsur Manajemen Mutu dan Sistem Mutu

ISO 9004 adalah pernyataan yang paling menyeluruh mengenai isi standar. Seseorang bisa mengatakan bahwa bila ada suatu sistem dasar sesuai dengan pedoman dari 9004, dia bisa membuat penyesuaian dengan memperluas ke dalam 9001,9002 atau 9003.

Dibawah ini unsur dasar sistem dan kebijakan seperti yang disarankan dalam ISO 9004 :

1. Kebijakan dan sasaran.
2. Organisasi dan tanggung jawab.
3. Pemasaran dan uraian singkat produk.
4. Desain.

5. Pembelian.
6. Produksi.
7. Pengendalian peralatan.
8. Dokumentasi.
9. Verifikasi.

1.3.3.3. ISO 9001 Sistem Mutu – Model untuk Jaminan Mutu dalam Desain / Pengembangan dan Produksi

Ini adalah standar 'utama', meski ISO barangkali tidak seperti suatu penilaian secara kualitatif. Digunakan bagi perusahaan yang ingin memberikan jaminan kepada pelanggannya bahwa seluruh tahap sesuai dengan persyaratan, dari mulai desain, pengembangan produksi, instalasi dan jasa. Dalam studi kasus nanti, kami pilihkan Digital Equipment Internasional sebagai contoh perusahaan yang berusaha memenuhi standar yang sulit dengan kecanggihan fasilitas pabrikasi mereka di Clonmel, Country Tipperary, Irlandia.

Sesudah pembukaan mengenai kebijakan, tanggung jawab dan beberapa keterangan umum mengenai sistem ini, maka unsur khusus dari ISO 9001 diberikan. Satu unsur berupa pengkajian ulang kontrak. Ini menyangkut definisi dan dokumentasi kontrak, resolusi perbedaan dari tender, dan penilaian kemampuan pemasok untuk memenuhi syarat kontrak.

Unsur lain adalah pengendalian desain, yang melibatkan perencanaan, pemberian tugas, organisasi, masukan dan keluaran serta verifikasi desain. Juga menyangkut perubahan desain, persetujuan dokumen dan permasalahan, dan pengendalian perubahan serta modifikasi dokumen. Sisanya yang bersifat rutin, termasuk pembelian, identifikasi produk dan pelacakan, pengendalian produksi, inspeksi dan tes. Inspeksi dan pengukuran serta kalibrasi alat ukur dan tes itu sendiri juga dimasukkan, termasuk pengendalian produk yang tidak sesuai. Penanganan gudang, pengepakan dan pengiriman juga termasuk seperti juga pencatatan mutu, audit dan pelatihan.

1.3.3.4. ISO 9002 Sistem Mutu – Model untuk Jaminan Mutu dalam Produksi dan Instalasi

ISO 9002 merupakan standar yang lebih umum bagi pabrikan dan digunakan bila sudah terdapat suatu desain atau spesifikasi yang merupakan syarat khusus bagi produknya. Juga diasumsikan bahwa sistem menunjukkan bahwa pemasok dapat melanjutkan menghasilkan produk yang sesuai. Sekali lagi terdapat pembukaan yang menyangkut kebijakan dan organisasi. Juga terdapat permintaan bahwa masing-masing kontrak perlu dikaji ulang dan dokumen harus dikendalikan. Dengan pengecualian desain dan perubahan desain, kesinambungan standar mirip dengan ISO 9001.

1.3.4. Six Sigma

Tolak ukur penerapan Six Sigma yang paling terkenal adalah general elektrik, upaya-upaya yang dilakukan GE pada khususnya, dimotori oleh mantan CEO Jack Welch, menarik perhatian media untuk konsep ini dan membuat Six Sigma menjadi sebuah konsep peningkatan kualitas yang populer. Pada pertengahan 1990an, kualitas menjadi kekhawatiran banyak karyawan GE. Jack Welch lalu mengundang Larry Bossidy, yang pada saat itu adalah CEO Allied Signal, yang sudah mengalami kesuksesan luar biasa dengan Six Sigma, untuk memberi ceramah mengenai konsep Six Sigma pada pertemuan dewan eksekutif perusahaan. Pertemuan ini menarik perhatian para manajer GE dan seperti dikatakan Welch:

“saya menjadi sangat semangat mengenai Six Sigma dan meluncurkan program ini”

Welch menyebutnya tugas yang paling ambisius yang pernah dilakukan perusahaan tersebut. Agar program tersebut sukses, GE merubah system kompensasi insentif perusahaan sehingga 60% bonus adalah kinerja keuangan dan 40% berdasarkan Six Sigma, dan memberikan hadiah opsi saham kepada karyawan yang mengikuti pelatihan Six Sigma, setelah bertahun-tahun penancangan program ini, Six Sigma telah menjadi bagian yang sangat penting budaya perusahaan GE. Pada kenyataannya,

ketika GE terus menakuisisi perusahaan perusahaan baru, mengintegrasikan Six Sigma ke berbagai budaya perusahaan menjadi prioritas dalam berbagai akuisisi dan diutarakan pada awal proses akuisisi.

Six Sigma adalah hal yang menarik bagi para eksekutif puncak karena konsep ini berfokus pada kerja yang terukur, menyediakan penyelesaian masalah yang berdasarkan pada fakta dan terdisiplin, serta penyelesaian proyek yang cepat. Sebagai hasilnya, konsep ini mendapatkan dukungan dari para CEO yang sebelumnya tidak terlalu mendukung TQM.

Six Sigma mempunyai banyak aspek yang berbeda jika dibandingkan dengan TQM.

1. TQM lebih banyak mengandalakana pendayagunaan karyawan dan tim, sedangkan Six Sigma adalah proyek andalan pimpinan.
2. Aktivitas TQM bisaanya berlangsung disebuah departemen, proses, atau tempat kerja, sedangkan proyek Six Sigma berlangsung lintasan fungsi sehingga bersifat lebih strategis.
3. Pelatihan TQM terbatas bada alat dan konsep perbaikan, sedangkan Six Sigma tersusun pada sebuah system metode statistic yang terdepan serta metodologi pemecahan masalah yang terstruktur.
4. TQM merupakan pendekatan peningkatan yang kurang memiliki pertanggungjawaban financial, sedangkan Six Sigma mengharuskan ROI terverifikasi dan fokus pada lini bawah.

Manajemen kualitas mdern didasari oleh tiga prinsip dasar sebagai berikut:

1. Fokus pada pelanggan
2. Partisipasi dan kerja sama indifidu di dalam perusahaan
3. Fokus pada proses yang didukung oleh perbaikan dan pembelajaran terus-menerus.

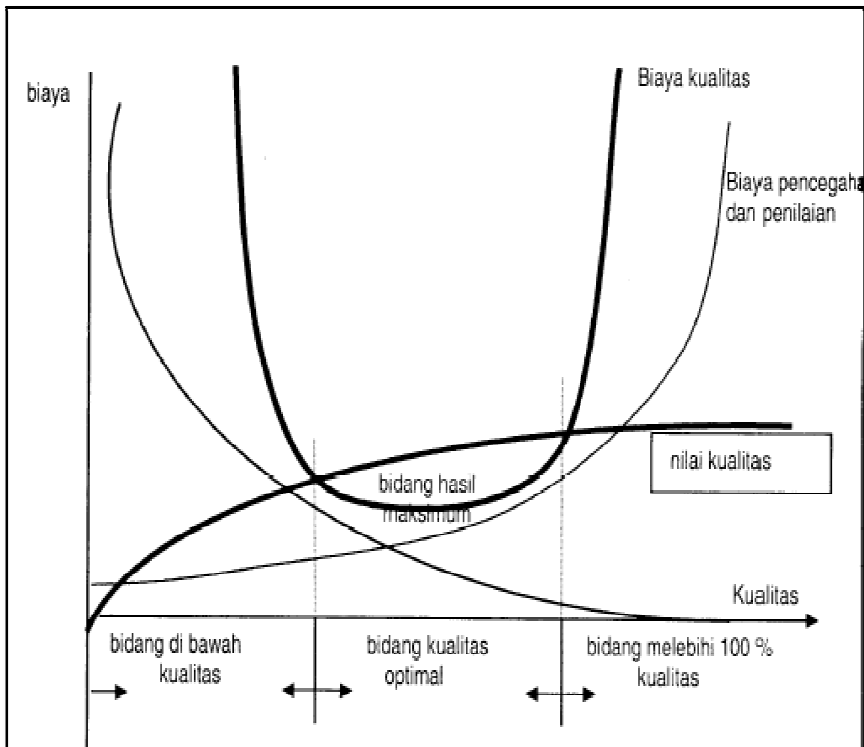
Prinsip-prinsip ini merupakan filosofi Six Sigma, dan walaupun terdengar sederhana, amat berbeda dengan praktik manajemen radisi lama. Dahulu perusahaan jarang memahami tuntutan pelanggan eksternal, apa lagi pelanggan internal. Para manajer dan spesialis fungsi-fungsi tertentu mengontrol proses produksi, sementara para pekerja diberitahu pa yang mesti dilakukan dan bagaimana melakukannya, tanpa pernah dimintai masukan. Kerja tim dan partisipasi karyawan nyaris tidak ada. Sejumlah kesalahan dan cacat produksi ditoleransi dan dikendalikan oleh inspeksi pascaproduksi. Peningkatan kualitas bisaanya merupakan hasil dari gebrakan teknologi dan bukannya berasal dari upaya perbaikan berkelanjutan

1.4. Biaya Kualitas dan Nilai Kualitas

Selama ini, kualitas seringkali hanya digambarkan sebagai konsep yang abstrak seperti bagaimana manajer suatu organisasi menentukan sasaran kualitas, dengan alat apakah manajer organisasi mengevaluasi pencapaian manajemen kualitas, apakah sumber daya yang mendukung kualitas dapat dialokasikan secara lebih efisien, bagaimana tingkat pengembalian kualitas secara ekonomi ditentukan, dan masih banyak lagi.

Selanjutnya, apabila ditinjau kembali Biaya kualitas, sebenarnya ada sisi lain yang belum atau jarang ditinjau, yaitu nilai kualitas yang melekat pada produk atau jasa yang ditawarkan kepada pelanggan. Pelanggan yang membayar produk atau jasa yang ditawarkan tentu mengharapkan akan mendapatkan produk atau jasa yang kualitasnya sebanding dengan nilai yang telah mereka wujudkan dalam membayar harga produk atau jasa tersebut. Nilai kualitas adalah indeks penilaian pelanggan, yang merupakan harga yang dibayarkan pelanggan atas hasil atau manfaat yang dirasakan karena kualitas produk atau proses sesuai dengan harapannya (Bester, 1999). Setiap pelanggan mempunyai nilai indeks yang berbeda-beda, berkaitan dengan kriteria obyektif dan subyektif yang dimilikinya. Dalam praktik, manajemen kualitas harus menyadari bahwa mereka secara nyata mengevaluasi produktivitas dan penjaminan bisnis seperti pada kualitas. Selain itu, bisaanya nilai kualitas produk akan ditingkatkan untuk memperbaiki persepsi masyarakat, walaupun pada

saat yang sama kualitas seringkali ditekan untuk meningkatkan produktivitas. Biaya kualitas dan nilai kualitas dapat digambarkan seperti Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Hubungan Biaya dan Nilai Kualitas

Dari Gambar 1.9 tersebut terlihat bahwa titik minimum kurva Biaya kualitas (*cost of quality* atau *COQ*) dicapai apabila jumlah Biaya pencegahan, penilaian, dan ketidaksesuaian baik internal maupun eksternal berada pada nilai optimum atau minimum. Nilai dari kurva kualitas di sisi lain, tidak memiliki nilai optimum, tetapi lebih pada nilai akhir yang maksimum yang dicapai secara asimtot. Persimpangan kedua kurva tersebut merupakan wilayah optimum untuk merealisasikan manfaat ekonomis dari manajemen kualitas. Ukuran sampel dan

banyaknya penerimaan produk dalam proses produksi merupakan faktor utama yang mempengaruhi *COQ*.

Sementara itu, dalam organisasi moderen khususnya yang mengadopsi metode penilaian *COQ*, perlu menggunakan proses manajemen berdasarkan sasaran. Dalam istilah kualitas dikenal dengan kualitas berdasarkan sasaran atau *quality by objective (QBO)*.

Menurut Bester (1999), metode *QBO* tersebut menggunakan tiga patokan, yaitu:

- Manajer kualitas harus mempunyai komitmen untuk menentukan biaya sasaran kualitas. Berdasarkan sasaran tersebut, kontribusi yang pada keuntungan tiap tahun dapat diprediksi.
- Sasaran kualitas secara menyeluruh merupakan serangkaian sasaran dan pencapaian masing-masing bagian. Oleh karenanya perlu diadakan identifikasi secara tepat sasaran masing-masing bagian.
- Masing-masing dan setup orang dari manajer yang merne_gang fungsi kualitas harus mendukung pencapaian sasarannya untuk menjamin pencapaian sasaran kualitas secara menyeluruh.

Selanjutnya, menurut Bester (1999), *QBO* juga harus mencakup empat komponen utama, yaitu:

- a. Jarak efektivitas kualitas, yang merupakan penentuan syarat-syarat yang dibutuhkan secara umum untuk basil yang berkualitas. Ukuran efektivitas manajemen dalam hal ini meliputi jarak efektivitas dari faktor-faktor yang memberikan kontribusi pada investasi seperti desain kualitas, bahan baku yang berkualitas, proses produksi yang berkualitas, dan sebagainya serta jarak efektivitas dari hasil yang menyusun laba seperti kualitas produk, biaya kualitas, kepuasan pelanggan, dan sebagainya.
- b. Standar efektivitas kualitas, yang merupakan alat dan kriteria di mana pencapaian kualitas dapat diukur.

- c. Sasaran kualitas, yang merupakan penentuan basil kualitas secara kuantitatif dan khusus yang dibutuhkan oleh manajer secara individu.
- d. Efektivitas manajemen kualitas, yang merupakan pengukuran di mana manajer berhasil dalam mencapai kualitas basil yang dibutuhkan.

Penentuan sasaran dalam *QBO* tersebut bersifat *top-down*, dari sasaran organisasi dijabarkan menjadi sasaran organisasi di bidang kualitas. Sasaran organisasi di bidang kualitas tersebut kemudian dijabarkan ke dalam sasaran divisi, departemen, dan seksi-seksi, seperti bagian pemasaran harapan pelanggan, bagian perancangan kegiatan pencegahan risiko, bagian pembelian, kualifikasi bahan dan pemasok, bagian keuangan, mengukur dan melaporkan biaya kualitas, bagian personalia, pelatihan karyawan dan sertifikasi, bagian pelayanan, umpan balik statistik pada kinerja produk, dan sebagainya.

1.5. Hubungan Kualitas, Produktivitas, Efisiensi, dan Penggunaan

Sistem produksi bagi perusahaan manufaktur dan jasa dinilai dengan pengukuran efektivitas dan atau kinerjanya. Pengukuran efektivitas meliputi kemudahan dalam perawatan, kesiapan operasional, ketersediaan dan sebagainya. Sementara itu, pengukuran kinerja meliputi produktivitas, efisiensi, penggunaan, dan kualitas (Al-Darrab, 2000). Pengukuran umum produktivitas mernang sangat erat dengan pengukuran efisiensi dan penggunaan. Namun pengukuran terbaru dalam produktivitas telah melibatkan kualitas didalamnya. Menurut Shaw (1989), perbaikan produktivitas adalah lebih baik daripada sekedar mengadakan pengurangan karyawan, namun produktivitas dapat ditingkatkan dengan cara mengerjakan lebih banyak dengan sumber daya yang sama, mengerjakan lebih sedikit dengan pengurangan sumber daya yang lebih besar, atau mengerjakan lebih sedikit dengan mengkonsumsi sumber daya yang lebih sedikit (Al-Darrab, 2000).

Sementara itu, Omachnu dan Beruvides (1998) merumuskan produktivitas sebagai perbandingan *output* dengan *input* dikalikan dengan faktor kualitas atau:

$$\frac{\text{output}}{\text{input}} \times \text{faktor kualitas}$$

Di mana:

Input = sumber daya yang digunakan

Output = hasil yang dicapai

Faktor kualitas adalah skor atau nilai yang berkaitan dengan jaminan kualitas. Faktor kualitas ini sering disebut dengan indeks kualitas yang merupakan tingkat kualitas yang dihitung berdasarkan persentase jawaban positif dari responden terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Lebih jauh lagi, Lagasse (1995) menunjukkan adanya dua jenis produktivitas, yaitu produktivitas jenis I dan produktivitas jenis II. Produktivitas jenis I didefinisikan sebagai produktivitas tenaga kerja yang merupakan jenis produktivitas yang khusus disediakan bagi pelayanan. Sedangkan produktivitas jenis II merupakan bentuk yang lebih umum yang mentransformasikan semua output dan input ke dalam pengukuran produktivitas.

Pengukuran kinerja selanjutnya adalah penggunaan dan efisiensi. Penggunaan adalah persentase waktu di lingkungan kerja yang digunakan, atau dirumuskan oleh Al-Darrab (2000) menjadi:

$$\text{Utilitas} = \frac{\text{jam kerja yang sesungguhnya digunakan}}{\text{jam kerja yang tersedia}} \times 100$$

Seringkali terjadi bahwa suatu departemen menggunakan 100 jam per minggu tetapi tidak mampu menghasilkan 100 jam kerja standar. Karyawan mungkin bekerja lebih cepat atau lebih lambat daripada standar kerja yang ditetapkan, sehingga efisiensi mencapai lebih dari

100%. Sementara itu, efisiensi dirumuskan oleh Al-Darrab (2000) dengan:

$$\text{efisiensi} = \frac{\text{standar jam kerja yang dihasilkan}}{\text{jam kerja yang sesungguhnya digunakan}} \times 100\%$$

Oleh karena itu, kapasitas yang ada dapat dihitung sebagai waktu yang tersedia x penggunaan x efisiensi. Apabila dibuat tingkatan dalam pengukuran kinerja, maka tingkat pertama adalah kombinasi produktivitas, efisiensi, dan penggunaan, atau

$$\text{Produktivitas} = \text{efisiensi} \times \text{penggunaan}$$

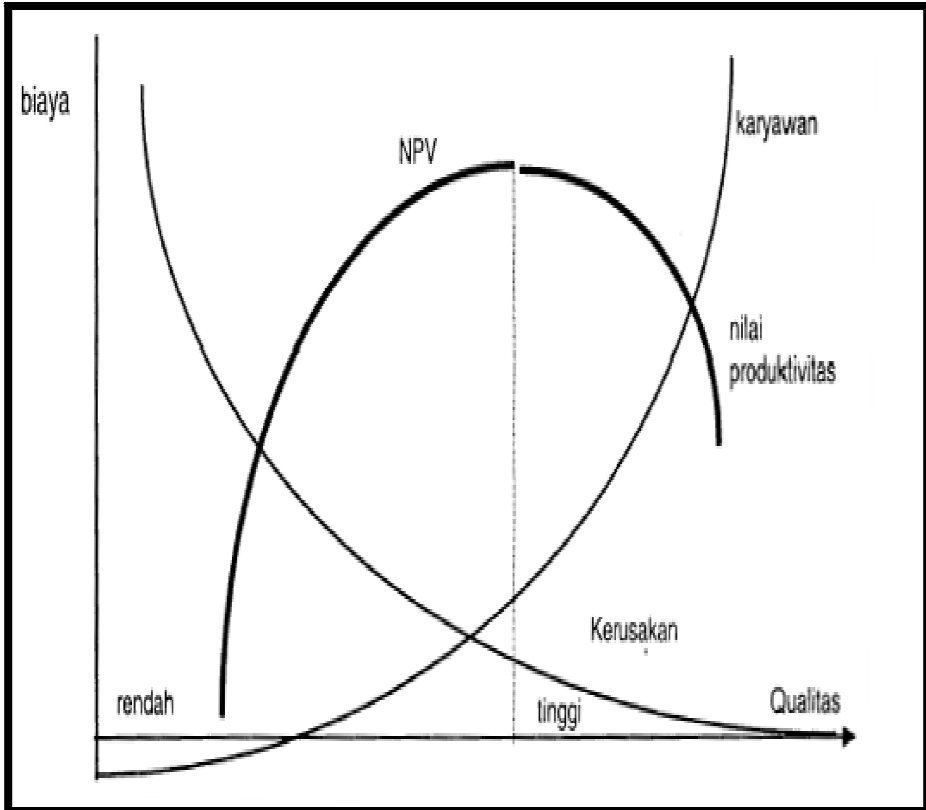
Sedangkan tingkat kedua, yang telah melibatkan kualitas dirumuskan dengan

$$\text{Produktivitas} = \text{efisiensi} \times \text{penggunaan} \times \text{faktor kualitas}$$

Selanjutnya, pengukuran produktivitas biasanya tidak membedakan antara output yang baik dan diterima dengan output yang buruk atau yang ditolak. Dalam pengukuran nilai produktivitas bersih, harus dipisahkan antara output yang diterima dengan output yang ditolak (Bester, 1999). Oleh karenanya, produktivitas diformulasikan dengan output yang diterima/(total output + biaya-biaya non kualitas). Dari formulasi atau rumusan tersebut tampak bahwa untuk input dan output yang sama, produktivitas akan meningkat bila biaya non kualitas rendah dan akan turun bila biaya non kualitas meningkat. Untuk mengetahui nilai produktivitas bersih atau Net Value Productivity (NVP) menurut Bester (1999), digunakan rumus:

$$\text{NVP} = \frac{\text{output yang diterima} - \text{pelayanan eksternal}}{\text{total input}}$$

Atau



Gambar 1.10 Net Value Productivity

Dari Gambar 1.10 tampak bahwa semakin rendah kualitasnya, maka akan semakin banyak kerusakan yang terjadi dan biayanya rendah, atau sebaliknya. Semakin tinggi kualitasnya, memerlukan karyawan yang banyak atau yang ahli, sehingga biayanya tinggi. Nilai produktivitas akan mengalami peningkatan pada tingkat kualitas yang rendah, dan pada titik tertentu akan mengalami nilai produktivitas bersih maksimum sebelum akhirnya menurun.

BAB 2

PRINSIP DASAR SIX SIGMA

2.1. Metrik Dan Pengukuran Six Sigma

Metrik adalah cara untuk mengukur karakter tertentu yang dapat diverifikasi, dinyatakan baik secara numeric (misalnya persentasi kecacatan) ataupun secara kualitatif (tingkat kepuasan). Metrik menyediakan informasi mengenai kinerja dan memberi kesempatan kepada manajer untuk mengevaluasi kinerja dan membuat keputusan, berkomunikasi antara satu sama lain, mengidentifikasi kesempatan untuk mengadakan perbaikan, dan membuat standar kinerja untuk karyawan, pelanggan, pemasok dan pihak-pihak lain yang berkepentingan. Metrik amat penting dalam penerapan Six Sigma karena memfasilitasi keputusan yang berdasarkan fakta.

Six Sigma dimulai dengan penekanan cara pengukuran kualitas yang berlaku secara umum. Dalam terminology Six Sigma, sebuah cacat (defect) atau ketidakcocokan (nonconformance), adalah kekeliruan atau kesalahan yang diterima pelanggan. Unit kerja adalah output suatu proses atau tahapan proses. Kualitas output diukur dalam tingkat kecacatan per unit (defect per unit-DPU)

Tingkat kecacatan per unit = jumlah cacat yang ditemukan/jumlah unit yang diproduksi

Akan tetapi jenis pengukuran output seperti ini cenderung lebih berfokus pada produk akhir, bukan pada proses yang menghasilkan produk tersebut. Selain itu, cara ini sulit diterapkan pada proses dengan tingkat kesulitan yang berbeda, terutama aktivitas jasa. Dua proses yang berbeda bisa saja memiliki jumlah peluang kesalahan yang amat berbeda, sehingga menyulitkan perbandingan konsep. Six Sigma mendefinisikan ulang pengertian kinerja kualitas sebagai tingkat kecacatan per juta kemungkinan. (defect per million opportunities-DPMO)

$$\text{Dpmo} = (\text{jumlah cacat yang ditemukan/ kemungkinan kesalahan}) \times 1.000.000$$

Sebagai contoh, diasumsikan sebuah perusahaan penerbangan ingin mengukur efektivitas system penanganan bagasinya. Pengukuran DPU bisa diartikan sebagai jumlah tas hilang per pelanggan. Meskipun demikian, tiap penumpang bisa saja memiliki jumlah tas yang berbeda, sehingga jumlah total kemungkinan kesalahan adalah jumlah rata-rata tas per pelanggan dikalikan dengan jumlah pelanggan. Jika jumlah rata-rata tas per pelanggan adalah 1,6 dan penerbangan tersebut mencatat tas hilang untuk 8000 penumpang dalam satu bulan, maka terdapat $(8000) \times (1,6)$ kemungkinan untuk melakukan kesalahan dan,

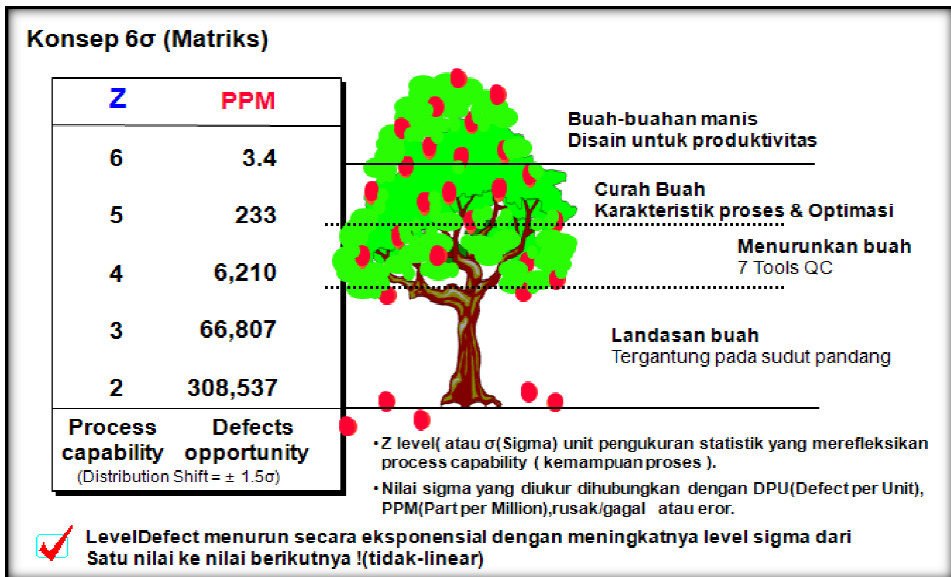
$$\text{dpmo} = 3/[(8000)(1,6)] \times 1.000.000 = 234,375$$

Penerapan dpmo memungkinkan kita untuk mendefinisikan kualitas secara lebih luas. Dalam kasus penerbangan tadi, sebuah kemungkinan dapat diartikan sebagai setiap kemungkinan gagal memenuhi tuntutan pelanggan dari pemesanan tiket awal hingga pengambilan bagasi. Dengandemikian, kegagalan untuk memenuhi tuntutan pelanggan dapat berarti waktu check-in yang berlebihan, pencatatan pemesanan yang salah, petugas penjaga pintu yang kasar, atau penundaan waktu pemberangkatan. Metode ini menyediakan alat pengukuran kemungkinan kegagalan yang lebih lengkap yang mempengaruhi kepuasan pelanggan. Metrik seperti dpmo, meskipun berguna bagi tim yang menangani proyek Six Sigma, perlu diterjemahkan ke dalam bahasa manajemen yaitu uang. Dengan cara ini, pemilihan proyek Six Sigma dapat dijustifikasi dan dalam waktu yang sama menarik bagi manajer tingkat atas.

Pengendalian kualitas produk merupakan suatu system pengendalian yang dilakukan pada tahap awal suatu proses sampai produk jadi dan bahkan sampai pada proses pendistribusian kepada konsumen. Perusahaan yang memiliki kemampuan proses yang tinggi

akan dapat menghasilkan produk cacat sedikit atau bahkan tidak ada. Kemampuan proses merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan bahwa proses mampu menghasilkan sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan manajemen berdasarkan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan. Dengan rumusan dpmo diatas menunjukkan kemampuan proses untuk memproduksi kegagalan per satu juta kesempatan, yang artinya dalam satu unit produksi tunggal terdapat rata-rata kesempatan untuk gagal dari suatu karakter CTQ (Critical To Quality)

Penerapan dpmo memungkinkan kita untuk mendefinisikan kualitas secara lebih luas. Dalam kasus penerbangan tadi, sebuah kemungkinan dapat diartikan sebagai setiap kemungkinan gagal memenuhi tuntutan pelanggan dapat berarti waktu check in yang berlebihan, pencatatan pemesanan yang salah, petugas penjaga pintu yang kasar, atau penundaan waktu keberangkatan. Metode ini menyediakan alat pengukuran kemungkinan kegagalan yang lebih lengkap.



Gambar 2.1 Konsep Metrik Six Sigma

2.2. Dasar Statistik Six Sigma

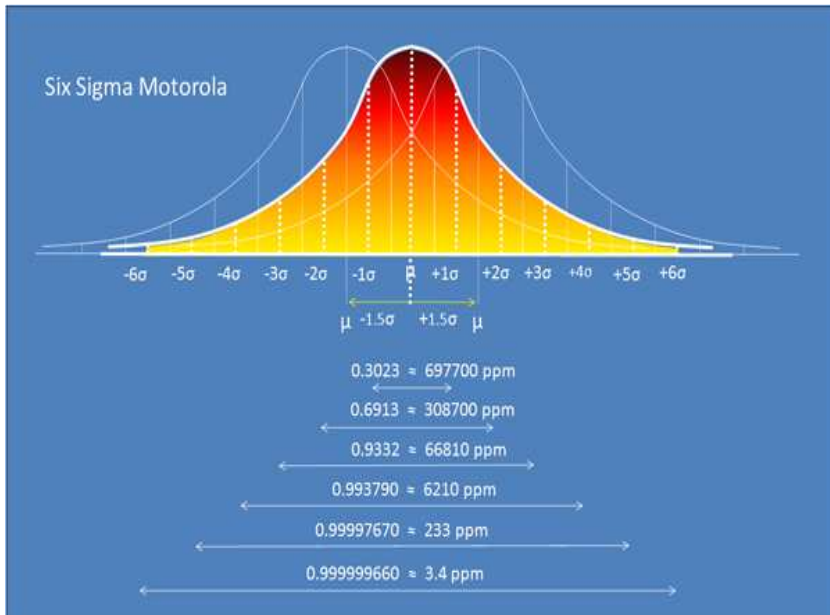
Six Sigma telah terbukti menjadi pendekatan yang populer untuk mengusir variabilitas dari proses melalui penggunaan alat statistik. Sigma, (σ) adalah simbol Yunani untuk pengukuran dispersi statistik yang disebut standar deviasi. Ini adalah pengukuran terbaik dari variabilitas proses, karena lebih kecil nilai deviasi, maka variabilitas akan berkurang dalam proses. Para ahli Six Sigma mengatakan, proses jarang tetap terpusat, tetapi cenderung bergeser ke atas dan di bawah target, dengan nilai 1,5 sigma. Nilai 3,4 cacat per juta kesempatan (DPMO) untuk Six Sigma proses diperoleh dengan asumsi bahwa batas spesifikasinya adalah enam standar penyimpangan dari nilai proses target dan bahwa proses bisa berubah sebanyak sebagai 1,5 sigma.

Kalau pada umumnya standar kualitas dinyatakan dalam ± 3 sigma, maka Six Sigma menggunakan ± 6 sigma. Namun demikian, jika kita hitung berapa banyak produk yang akan berada di luar batas penerimaan atau produk cacat berdasarkan statistik, angkanya jauh lebih kecil daripada 3,4 dpmo (*defect per million opportunity*). Jumlah produk cacat “hanya” 3,4 dalam satu juta produk atau potensinya sebenarnya sudah sangat kecil mengingat masih banyak organisasi yang beroperasi dengan tingkat cacat dalam persen (per seratus produk).

Ukuran enam sigma (Six Sigma) pada kurva normal mewakili tingkatan kualitas jumlah produk yang harus dalam kondisi baik dengan probabilitas 0.9999996660 (probabilitas defect yang diijinkan berarti 1-0.9999996660), yang artinya hanya diijinkan jumlah produk yang cacat adalah 3,4 per satu juta produk. Atau dengan kata lain enam sigma adalah tingkat yang setara dengan variasi proses sejumlah setengah dari yang ditoleransi oleh tahap desain dan dalam waktu yang sama member kesempatan agar rata-rata produksi bergeser sebanyak 1,5 defiasi standar dari target. Gambar 2.2 menjelaskan konsep enam sigma dalam kurva normal.

Jika rata-rata atau target dapat dijaga (pada gambar 2.2 area yang diarsir) maka kemungkinan terjadinya cacat di luar wilayah enam sigma

kedua arah ekor hanyalah satu per satu miliar kejadian. Jika pergeseran terjadi kedua arah, maka kemungkinan cacat pada pada tingkatan enam sigma paling banyak hanyalah 3,4 per satu juta kejadian, dan jika pergeseran terjadi pada target distribusi, maka jumlah cacat hanyalah dua per satu milyar.



Gambar 2.2 Six Sigma Motorola

Dengan cara yang sama dapat dibuat definisi kualitas 3 sigma, kualitas 5 sigma dan seterusnya, cara termudah mempelajari konsep ini adalah dengan membayangkan jarak dari target ke batas atas atau batas bawah spesifikasi (setengah batas toleransi) yang diukur oleh defiasi standar variasi yang terlibat pada tingkatan sigma. Level kualitas (sigma) bisa ditentukan dengan bantuan Excell dengan rumus sebagai berikut:

$$= \text{NORMSINV} (1 - \text{JUMLAH CACAT/JUMLAH KEMUNGKINAN}) + \text{SHIFT}$$

Atau

$$= \text{NORMSINV} (1 - \text{DPMO}/1.000.000) + \text{SHIFT}$$

Penambahan nilai shift adalah nilai pergeseran variansi yang nantinya akan mempengaruhi nilai atau level sigma. Dimana pergeseran nilai sigma untuk level kualitas 5 sigma adalah 0,5, untuk level kulaitas 5,5 sigma adalah 1, dan untuk level kualitas 6 (six) sigma adalah 1,5.

Contoh;

Hasil pengamatan departemen quality control di perusahaan adi raksa dalam pembuatan gelas ukur untuk percobaan kimia, tercatat pada departemen QC memproduksi gelas ukur sejumlah 254.000 unit per hari. Diketahui pada hari ke-28 terdapat cacat sebanyak 34 unit, berapakah level sigma perusahaan ini?

Dengan menggunakan bantuan exell, maka dapat diketahui level kualitas (sigma) produk gelas ukur dari perusahaan adi raksa dengan rumusan sebagai berikut;

$$\begin{aligned} &= \text{NORMSINV} (1 - \text{JUMLAH CACAT}/\text{JUMLAH} \\ &\quad \text{KEMUNGKINAN}) + \text{SHIFT} \\ &= \text{NORMSINV} (1 - 34/254.000) + \text{SHIFT} \end{aligned}$$

Tabel 2.1 menunjukkan perubahan nilai atau tingkat kualitas setiap pergeseran standar deviasi atau sigma per satu juta pada satu ekor distribusi normal .

Tabel 2.1 Tingkat Kualitas Sigma

Yield (probabilitas tanpa cacat)	DPMO (defect permillion opportunity)	Sigma
30.9%	690.000	1
69.2%	308.000	2
93.3%	66.800	3
99.4%	6.210	4
99.98%	320	5
99,9997%	3.4	6

Dalam banyak kasus, pengendalian proses agar sesuai dengan target merupakan pilihan yang lebih murah dibandingkan mengurangi variabilitas proses. Tingkatan sigma dapat dengan mudah dihitung dengan excel menggunakan formula :

NORMSINV (1- jumlah cacat/jumlah kemungkinan) + SHIFT

Tidak semua proses harus beroperasi pada tingkatan kualitas Six Sigma, itu semua bergantung pada seberapa penting suatu proses secara strategis serta biaya perbaikan jika dibandingkan dengan keuntungan yang didapatkan. Tabel 2.2 menunjukkan perbedaan level kualitas pada tiga sigma dan enam sigma di perusahaan.

Tabel 2.2 Level Kualitas Pada 3 Sima Dan 6 Sigma Di Perusahaan

3 Sigma	6 sigma
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Biaya kegagalan 10 – 15 persen dari penjualan. ➤ 66.607 defect per satu juta CTQ. ➤ Tergantung pada deteksi untuk temukan defect. ➤ Percaya kalau kualitas yang tinggi itu mahal. ➤ Tidak tersedia pendekatan sistematis. 	<ul style="list-style-type: none"> Biaya kegagalan 5% dari penjualan. 3,4 defet per satu juta kemungkinan. Focus pada proses, bukan menghasilkan defect. Menghasilkan kualitas tinggi, dan menciptakan biaya rendah. Menggunakan pengukuran analisis, perbaikan dan control. Membandingkan dengan pesaing terbaik dunia. Percaya 99% tidak diteima. Definisi CTQ's secara eksternal (dari customer).

2.3. Metodologi Six Sigma

Untuk mewujudkannya, *Six Sigma* memerlukan sejumlah tahap disingkat DMAIC, yaitu:

a. *Define*

Langkah awal dalam pelaksanaan metodologi Six Sigma adalah proses *define*. Dimana manajemen perusahaan yaitu pimpinan-pimpinan perusahaan yang ingin mencoba Six Sigma, yang pertama perusahaan atau manajemen harus mengidentifikasi secara jelas problema-problema yang dihadapi. Tidak menutup kemungkinan, manajemen harus memetakan proses kegiatan guna memahami dan melokalisir masalah. Kedua, memilih sebuah alternatif tindakan sebagai proyek untuk menanggulangi meluasnya problema atau menyelesaikannya. Ketiga, perusahaan perlu merumuskan tolok ukur atau parameter keberhasilan proyek yang dipilih menyangkut luasnya ruang gerak, tingkat penyelesaian masalah sebagai sasaran yang dibidik, tersedianya alat-alat atau perlengkapan dan tenaga pelaksana, waktu serta biaya.

Define bertujuan untuk mengidentifikasi produk atau proses yang akan diperbaiki dan menentukan sumber-sumber (*resources*) apa yang dibutuhkan dalam pelaksanaan proyek. Sebelum menentukan dan melangkah untuk melakukan tahap *define*, kita harus menentukan terlebih dahulu *potential project* yang layak untuk dilakukan. Kemudian kita buat Project statement dengan beberapa perincian informasi dibawah ini :

1. Critical to quality (CTQ) yang diminta oleh pelanggan?
2. Cacat (defect) apa yang menyebabkan pelanggan merasa tidak puas?
3. Berapa DPMO atau posisi kualitas sigma saat ini?
4. Keuntungan apa yang dari perbaikan yang akan dicapai?
5. Siapa saja tim yang terlibat untuk proses perbaikan?
6. Siapa mentor dan sponsor dari proyek ini?
7. Berapa waktu yang diperlukan untuk perbaikan?
8. Seberapa besar data yang ada dan yang bisa dihasilkan?
9. Kenapa perbaikan itu penting?

Untuk itu, dalam setiap proyek Six Sigma kita harus mendefinisikan dan menentukan beberapa sasaran dan tujuan dari proyek. Tujuan tersebut harus spesifik, dapat diukur (*measurable*), mencapai target kualitas yang ditetapkan (*result oriented*) dan dalam kurun waktu yang terbatas. Pelaksanaan *Six Sigma* memerlukan metode persamaan di antara faktor-faktor kunci yang mempengaruhi hasil (dalam hal ini ditunjukkan dengan variabel x) dan kualitas hasil dari proses kegiatan (ditunjukkan oleh variabel y). Dengan demikian, secara matematis persamaan tersebut dapat dirumuskan dengan:

$$Y = f(x)$$

Untuk memperoleh tingkat kualitas tertentu dari sebuah hasil yang diinginkan, manajemen perusahaan bisa mengukur, mengkaji, mengendalikan dan menyempurnakan faktor-faktor kunci yang amat berpengaruh terhadap hasil tersebut.

b. *Measure*

Pada tahap ini, terlebih dulu manajemen harus memahami proses internal perusahaan yang sangat potensial mempengaruhi mutu output (disebut *critical to quality/CTQ*). Kemudian mengukur besaran penyimpangan yang terjadi dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan pada CTQ. Artinya dalam tahap ini kita harus mengetahui kegagalan atau cacat yang terjadi dalam produk atau proses yang akan kita perbaiki. Secara umum tahap *Measure* bertujuan untuk mengetahui CTQ dari produk atau proses yang ingin kita perbaiki, selanjutnya mengumpulkan beberapa informasi dasar (*baseline information*) dari produk atau proses dan terakhir kita menetapkan target perbaikan yang kita ingin capai.

Penyimpangan merupakan karakteristik yang dapat diukur yang dijumpai pada proses atau output, namun tidak berada di dalam batas-batas penerimaan pelanggan. Setelah besaran penyimpangan

teridentifikasi, manajemen bisa menghitung penghematan dana yang diperoleh jika penyimpangan tersebut tereliminasi. Selanjutnya manajemen perlu membandingkan biaya-biaya yang dikeluarkan untuk menyelenggarakan proyek penanggulangan simpangan dengan penambahan laba sebagai akibat dari penghematan yang diperoleh. Jika biaya proyek lebih besar atau sama dengan penghematan yang diperoleh, maka *Six Sigma* ditolak, dan jika lebih kecil dari pada penghematan yang diperoleh, maka *Six Sigma* harus diwujudkan.

Pada saat menelusuri atau mengukur proses internal yang mempengaruhi CTQ, pengumpulan data harus dilakukan dengan benar, untuk itu dibawah ini beberapa pertanyaan untuk membantu pada saat pengumpulan data:

1. Pertanyaan apa saja yang harus dijawab?
2. Data jenis apa yang yang dibutuhkan untuk menjawab pertanyaan?
3. Siapa yang dapat menyediakan data tersebut?
4. Bagaimana mengumpulkan data yang optimal tanpa melakukan kesalahan?

c. *Analyze*

Di sini manajemen berupaya memahami mengapa terjadi penyimpangan dan mencari alasan-alasan yang mengakibatkannya. Maka dari itu, manajemen harus mengembangkan sejumlah asumsi sebagai hipotesis. Hipotesis atau dugaan-dugaan sementara mengenai faktor-faktor penyebab penyimpangan harus diuji. Jika hasil uji terhadap hipotesis diterima berarti faktor-faktor penyebab simpangan berpengaruh secara signifikan terhadap penyimpangan yang ada. Apabila hasil uji terhadap hipotesis ditolak berarti faktor-faktor tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penyimpangan yang ada. Setelah mendata faktor-faktor yang dominan mengakibatkan penyimpangan, manajemen harus melangkah ke tahap improve.

d. *Improve*

Pada tahap improve, manajemen memastikan variabel-variabel kunci atau faktor-faktor utama (x) dan mengukur daya pengaruhnya terhadap

hasil yang diinginkan (Y). Sebagai hasilnya, manajemen mengidentifikasi jajaran penerimaan maksimum terhadap masing-masing variabel untuk menjamin bahwa sistem pengukurannya memang layak untuk mengukur penyimpangan yang ada. Kemudian manajemen bisa memodifikasi tiap-tiap variabel kunci agar selalu berada di dalam jajaran penerimaan.

e. *Control*

Pada tahap terakhir ini, manajemen harus mempertahankan perubahan-perubahan yang telah dilakukan terhadap variabel-variabel x dalam rangka melestarikan hasil (Y) yang senantiasa memuaskan pelanggan. Secara berkala manajemen tetap wajib membuktikan kebenaran sambil memantau proses kegiatan yang sudah disempurnakan melalui alat-alat ukur dan metode yang telah ditentukan sebelumnya untuk menilai kapabilitas perusahaan. Tabel 2.3 memperlihatkan Aktifitas DMAIC

Tabel 2.3 Aktifitas DMAIC

Langkah	Aktivitas	Fokus
Definition	1. Jelaskan objek yang menjadi target atau sasaran perbaikan 2. Meramalkan dampak atau pengaruh perbaikan 3. Memilih CTQ untuk produk dan proses	Y
Measuyrement	4. Mengerti capability process untuk Y 5. Jelaskan metode pengukuran 'Y' 6. Jelaskan secara terperinci objek yang diperbaiki 'Y'	Y Y Y
Analyze	7. Jelaskan sasaran untuk perbaikan 'Y' 8. Jelaskan faktor mana yang mempengaruhi 'Y'	Y Xi...Xn
Improvement	9. Screening beberapa fator fital 10. Mengerti hubungan antar faktor	Xi...Xn Vital view Xi

	fital 11. Optimasi proses dan konfirmasi eksperimen	Vital view Xi
Control	12. Konfirmasi pengukuran untuk 'X' 13. Pilih metode untuk control faktor-faktor fital 14. Bangun system control proses dan audit faktor krusial	Vital view Xi Vital view Xi Vital view Xi

2.4. Six Sigma di Perusahaan Jasa

Six Sigma merupakan metodologi yang awalnya dipopulerkan oleh Motorola pada tahun 80-an untuk melakukan quality improvement. Setelah itu, sejumlah perusahaan besar lain turut mengimplementasikannya, termasuk General Electric, Ford Motor, dan 3M. Sebagian besar perusahaan yang mengimplementasikan Six Sigma adalah perusahaan manufaktur, sehingga terjadi suatu miskonsepsi bahwa metode ini hanya bisa digunakan oleh industri manufaktur saja. Hanya karena dalam industri jasa tidak ada ukuran berupa produk yang cacat, bukan berarti Six Sigma tidak dapat diimplementasikan di perusahaan jasa (Bank, TV, Travel & Tour, dan lain-lain).

Pada industri manufaktur, umumnya ukuran yang dilihat adalah dari jumlah produk yang cacat. Dalam produk jasa, tidak bisa diterapkan seperti itu, karena industri jasa seringkali tidak atau bahkan tidak menghasilkan produk. Dalam industri jasa, proses yang diukur adalah *people process* karena memang itu adalah yang menjadi komponen utama dari industri jasa. Intinya, defect dalam industri jasa adalah masalah yang menyebabkan penurunan dalam hal kualitas atau mengakibatkan pelanggan tidak puas. Tabel 2.4 merupakan contoh dari *people process* yang ada di rumah sakit.

Tabel 2.4 Kemungkinan Kesalahan Perawatan Rumah Sakit

Jenis kesalahan	Kemungkinan
Penulisan resep	Kesalahan penghitungan dosis
	Kesalahan pemberian obat
	Kesalahan komunikasi secara lisan maupun tulisan
Pemberian obat	Kesalahan dalam interpretasi resep
	Kebingungan mengenai nama obat
	Pelabelan yang buruk
Administrasi	Waktu yang salah
	Dosis yang salah
	Obat yang salah
	Pasien yang salah

Sumber: Lee Revere Dan Ken Black dalam Evans

Proses Six Sigma pada industri jasa pada dasarnya punya tahapan yang sama seperti di industri manufaktur, yakni menggunakan DMAIC.

1. Define, yakni melakukan identifikasi mengenai apa saja yang masuk ke dalam kategori defect.
2. Measure, mengumpulkan data mengenai tingkat defect yang terjadi.
3. Analyze, yakni menganalisa faktor-faktor yang menyebabkan defect tersebut
4. Improve, yakni melakukan process improvement dalam untuk menghilangkan defect
5. Control, mengontrol berjalannya proses dan mencegah supaya defect tidak muncul kembali

Contoh dari implementasi Six Sigma di sektor jasa, adalah seperti yang pernah dilakukan Citibank. Citibank menerapkan Citibank Cross-Functional Performance Challenge dalam divisi-divisinya menggunakan metodologi Six Sigma untuk mengidentifikasi defect, kemudian CFPM (Cross-Functional Process Mapping) untuk membuat map mengenai langkah-langkah perbaikan, kemudian memberikan empowerment terhadap tim untuk melakukannya. Pada intinya, CFPM ini bertujuan untuk menghilangkan aktivitas-aktivitas yang kurang menghasilkan nilai,

serta tidak sesuai dengan tujuan dalam memenuhi kebutuhan pelanggan. CFPM yang dilakukan Citibank melibatkan suatu tim global cross-functional yang terdiri dari 80 orang. Berikut ini adalah tahapan dari CFPM seperti yang dilakukan Citibank:

1. Planning

- Tentukan proses-proses mana saja yang perlu untuk ditingkatkan
- Identifikasi senior champion, steering committee, team leader dan fasilitator
- Bentuk tim yang terdiri dari karyawan terbaik dari seluruh unit utama untuk melakukan redesign proses

2. As Is Session

- Melakukan mapping mengenai proses yang terjadi saat ini
- Mengidentifikasi masalah yang merupakan aktivitas yang menghabiskan banyak waktu dan mengakibatkan ketidakpuasan pelanggan

3. Involve Others

- Berdiskusi dengan rekan kerja
- Melakukan verifikasi terhadap akurasi dari map process yang telah dibuat sebelumnya
- Identifikasi solusi terhadap masalah, dan tekankan kebutuhan akan suatu perubahan

4. Should Be Session

- Menciptakan suatu model “should be” yang lebih baik dan lebih cepat, dibandingkan dengan kondisi pada “as is”, tanpa harus menambahkan orang atau pengeluaran
- Menentukan serangkaian aktivitas yang dapat menciptakan “should be” serta panduannya

5. Detailed Design and Implementation

- Menciptakan item-item tindakan yang perlu dilakukan dengan segenap anggota organisasi
- Membuat project plan. Team leader mengelola timnya lewat pertemuan rutin. Selain itu, diciptakan pula system reward dan recognition.

Supaya CFPM dapat bekerja dengan baik, maka harus terdapat komitmen yang kuat dari seluruh anggota organisasi, di level manapun. Setiap orang perlu berlaku sebagai pemimpin. CFPM ini bersifat cross-functional, yakni melibatkan anggota tim kunci dalam proyek. Sehingga, CFPM memberikan empowerment kepada mereka, karena kemudian mereka dapat melakukan perbaikan dalam divisinya sendiri, sehingga kemudian dapat mengubah pula corporate culture. Tabel 2.5 menjelaskan perbedaan pelaksanaan implementasi Six Sigma di perusahaan jasa dan manufaktur.

Tabel 2.5 Implementasi Six Sigma Di Perusahaan Jasa Dan Manufaktur

Transactional Six Sigma	Manufacturing Six Sigma
<ol style="list-style-type: none"> 1. Focus pada organisasi. 2. Sulit membuat keputusan jika data tercampur. 3. Pendekatan dengan banyak orang (jerjasama). 4. Inspeksi kualitas focus pada 'Y' yang mana bermasalah dalam metode control. 5. Karakteristik output tidak kelihatan. 6. Aktivitas focus pada waktu siklus dan akurasi perbaikan. 7. Tidak mengidentifikasi garis batas proses. 8. Karakter control spec sangat objektif. 9. Aktivitas perbaikan setelah kejadian. 10. Tidak mengidentifikasi manfaat atau penerimaan dari aktivitas perbaikan. 11. Manfaat terbesar diikuti oleh perbaikan hasil. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Focus pada sector yang berfungsi. 2. Keputusan berdasarkan data base. 3. Tentukan penyebab asal. 4. Control hal penting 'Y'. 5. Karakteristik output dapat terlihat dan tidak terlihat. 6. Focus pada optimasi proses. 7. Menjelaskan garis batas proses. 8. Kualitas dilihat dari sudut pandang konsumen dan control spec sangat subjektif. 9. Aktivitas perbaikan untuk pencegahan. 10. Mengidentifikasi manfaat atau penerimaan uang dari aktivitas perbaikan.

2.5. Pihak-Pihak Pelaksana Six Sigma

Brue (2002) mencatat pihak-pihak yang harus bertanggung jawab terhadap pelaksanaan *Six Sigma* di dalam perusahaan. Pihak-pihak tersebut meliputi:

a. *Executive Leaders*

Pimpinan puncak perusahaan yang komit untuk mewujudkan *Six Sigma*, memulai dan memasyarakatkannya di seluruh bagian, divisi, departemen dan cabang-cabang perusahaan.

b. *Champions*

Yaitu orang-orang yang sangat menentukan keberhasilan atau kegagalan proyek *Six Sigma*. Mereka merupakan pendukung utama yang berjuang demi terbentuknya *black belts* dan berupaya meniadakan berbagai rintangan/hambatan baik yang bersifat fungsional, 54actor54al, ataupun pribadi agar *black belts* berfungsi sebagaimana mestinya. Bisa dikatakan *Champions* menyatu dengan proses pelaksanaan proyek, para anggotanya berasal dari kalangan direktur dan manajer, bertanggung jawab terhadap aktivitas proyek sehari-hari, wajib melaporkan perkembangan hasil kepada *executive leaders* sembari mendukung tim pelaksana. Sedangkan tugas-tugas lainnya meliputi memilih calon-calon anggota *black belt*, mengidentifikasi wilayah kerja proyek, menegaskan sasaran yang dikehendaki, menjamin terlaksananya proyek sesuai dengan jadwal, dan memastikan bahwa tim pelaksana telah memahami maksud/tujuan proyek.

c. *Master Black Belt*.

Orang-orang yang bertindak sebagai pelatih, penasehat (mentor) dan pemandu. *Master black belt* adalah orang-orang yang sangat menguasai alat-alat dan taktik *Six Sigma*, dan merupakan sumber daya yang secara teknis sangat berharga. Mereka memusatkan seluruh perhatian dan kemampuannya pada penyempurnaan proses. Aspek-aspek kunci dari peranan *master black belt* terletak pada kepiawaiannya untuk memfasilitasi penyelesaian masalah tanpa mengambil alih proyek atau tugas atau pekerjaan.

d. Black Belts

Dipandang sebagai tulang punggung budaya dan pusat keberhasilan *Six Sigma*, mengingat mereka adalah:

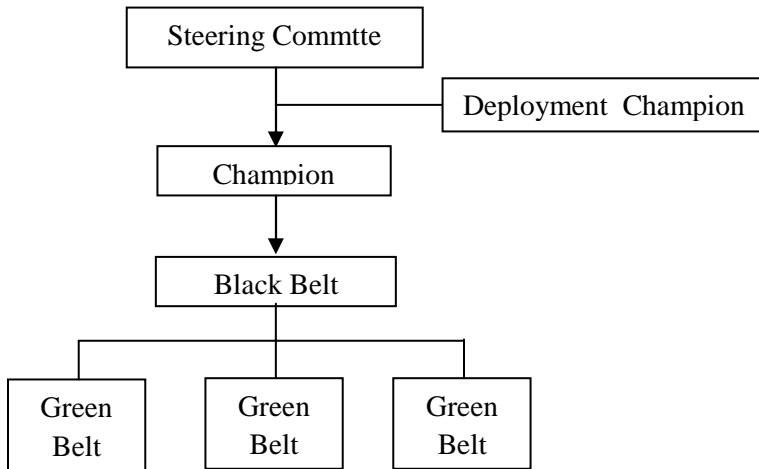
- Orang-orang yang memimpin proyek perbaikan kinerja perusahaan.
- Dilatih untuk menemukan masalah, penyebab beserta penyelesaiannya.
- Bertugas mengubah teori ke dalam tindakan.
- Wajib memilah-milah data, opini dengan fakta, dan secara kuantitatif.
- Menunjukkan faktor-faktor potensial yang menimbulkan masalah produktivitas serta profitabilitas.
- Bertanggung jawab mewujudkan *Six Sigma*.

Para calon anggota *black belts* wajib memenuhi syarat-syarat seperti:

- memiliki disiplin pribadi.
- cakap memimpin.
- menguasai ketrampilan teknis tertentu.
- mengenal prinsip-prinsip statistika.
- mampu berkomunikasi dengan jelas.
- mempunyai motivasi kerja yang memadai.

e. Green Belts

Adalah orang-orang yang membantu *black belts* di wilayah fungsionalnya. Pada umumnya *green belts* bertugas: secara paruh waktu di bidang yang terbatas; mengaplikasikan alat-alat *Six Sigma* untuk menguji dan menyelesaikan problema-problema kronis; mengumpulkan menganalisis data, dan melaksanakan percobaan-percobaan; menanamkan budaya *Six Sigma* dari atas ke bawah. Gambar 2.3 menunjukkan struktur organisasi tim proyek sig sigma.



Gambar 2.3 Struktur Organisasi Tim Proyek Sig Sigma.

Tabel 2.6 Overview of Leader's Rol

	Champion	Master black belt	Blek belt	Green belt
Qualifikasi	Senior eksekutif dan manajer, terbiasa dengan tools statistik dasar dan lanjut	Tehcnical degree dan chief engineer atau kepala customer service master pada tool statistika dasar dan lanjut	Mempunyai latar belakang teknik, black belt adalah engineer dengan pengalaman 4 tahun atau lebih, full time pada manajemen proyek, master pada tool statistika dasar dan lanjut	Sarjana teknik, posisinya berhubungan dengan permasalahan yang harus diselesaikan, terbiasa dengan tool statistika dasar dan lanjut
Profil	Pendukung kuat six sigma, pemimpin dan mentor dari isu bisnis, posisi manajemen	Mempunyai pengetahuan yang bagus dan juga pengaplikasian tool statistik, chief engineer atau kepala customer service, master pada tool statistika dasar dan lanjut	Dihormati oleh asisten pekerja dan manajemen	Dihormati oleh asisten pekerja, menetapkan tool dasar dan lanjut, mampu memilih data untuk informasi
Fungsi	Bertindak sebagai manajer sumber daya, menginspirasi dan membagi visi, mengembangkan pengukuran dan keuntungan biaya	Konsultan internal dan pelatih six sigma, tidak memikirkan pengembangan bagian dari team leader six sigma	Master pada tool statistika dasar dan lanjut, pimpinan dari proyek strategik perpengaruh tinggi, guru dan master anggota tim fungsi silang, full tome leader proyek	Pemimpin tim peningkatan proses, melatih anggota pada tool dan analisis dengan black belt part-time pada proyek
Pelatihan	4 hari pelatihan mentor, pengembangan dan pembagian six sigma	Dua minggu pelatihan, master six sigma, sertifikasi bllack belt	Empat sesi satu minggu dan tiga dengan aplikasi review proyek pada setiap sesi	2 minggu, satun sesi untuk aplikasi dan satu sesi untuk review project

BAB 3

PROSES DEFINISI (*Define*)

3.1. Definisi Proyek Six Sigma

Setelah sebuah proyek Six Sigma dipilih, langkah pertama yang dilakukan adalah mendefinisikan masalah. Aktivitas ini sangat berbeda dari pemilihan proyek. Pemilihan proyek adalah aktivitas yang digunakan untuk merespon gejala suatu permasalahan yang kemudian membuahkan sebuah kesepakatan proyek dimana otoritas dan tanggungjawab diberikan kepada tim Six Sigma. Garis besar masalah biasanya diekspresikan di dalam kesepakatan proyek, tetapi sering kali tidak terlalu jelas. Untuk analisis lebih lanjut, masalah tersebut harus dijelaskan dengan istilah operasional yang sangat spesifik. Sebagai contoh, mungkin perusahaan mempunyai sejarah produksi motor listrik yang tidak memuaskan, sehingga mengadakan proyek Six Sigma untuk memperbaiki kendala motor. Setelah memperbaiki data garansi dan perbaikan lapangan, diduga bahwa sebagian besar masalah berasal dari ausnya sikat, dan lebih spesifik lagi yaitu masalah pada variabilitas kekerasan sikat. Dengan demikian masalah ini bisa didefinisikan sebagai pengurangan variabilitas kekurangan sikat. Proses menyempitkan definisi masalah juga disebut penentuan cakupan proyek (*project scoping*).

Ada beberapa fase dalam proses mendefinisikan masalah adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi proyek CTQs

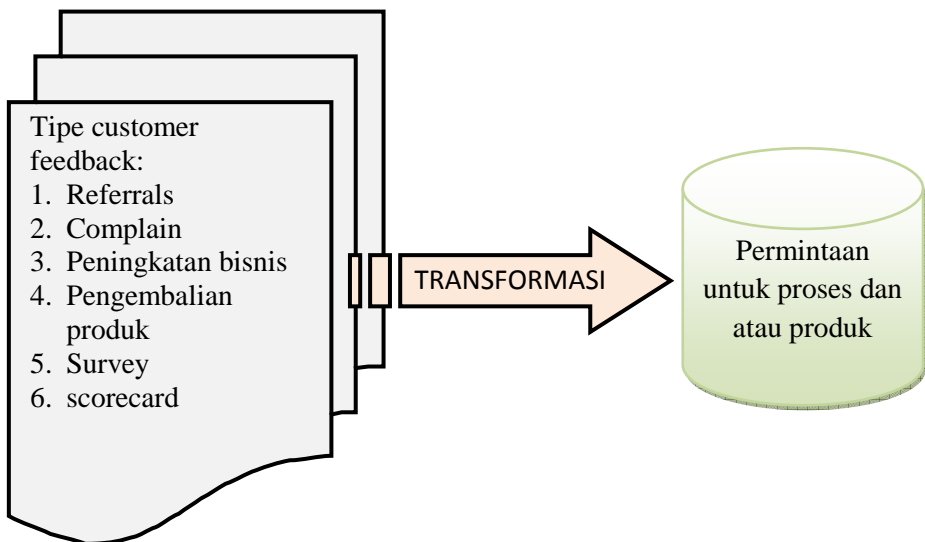
Pernyataan masalah yang baik juga harus mengidentifikasi pelanggan dan CTQ yang memiliki pengaruh terbesar pada kinerja produk atau jasa, menggambarkan tingkat kinerja saat itu atau sifat kesalahan atau keluhan pelanggan, mengidentifikasi metrik kinerja yang bersangkutan, menentukan tolak ukur standar kualitas terbaik, menghitung implikasi biaya atau pendapatan proyek tersebut, serta mengukur tingkat kinerja yang diharapkan dari usaha Six Sigma yang berhasil.

Adapun proses identifikasi proyek CTQ antara lain adalah sebagai berikut:

- mendapatkan dan menginterpretasikan data dari key customers (Customer Feedback) untuk proses dan produk.
- Mengidentifikasi stakeholders yang relevan dan perencanaan bisnis
- Menentukan hal-hal (isu) penting atau permasalahan

Contoh Customer Feedback / Translation Methods :

- Complaints
- Scorecards
- Dashboards
- Surveys
- Quality Assurance Data
- Business Goals
- Market Strategies
- Benchmarking
- Output from other Projects

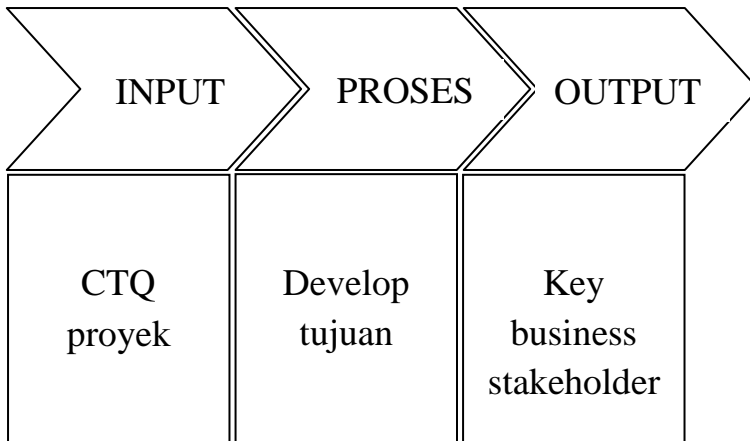


Gambar 3.1 Proses Translasi

2. Sepakat pada suatu tujuan (Charter project) dan memperoleh persetujuan operasional

Untuk dapat menjelaskan target atau sasaran perbaikan tentunya perusahaan harus dapat menangkap suara konsumen atau voice of customer (VOC) untuk fungsi-fungsi produk yang tidak sesuai dengan semestinya, dari sini kita dapat menentukan target perbaikan. Kecuali itu juga harus diketahui tingkat kerusakan atau kegagalan fungsi dari suatu produk, dimana banyak perusahaan yang mengklasifikasikan bentuk cacat kedalam tiga kategori yaitu cacat kritis, cacat penting, cacat kecil. Langkah-langkah dalam fase yang ke dua adalah sebagai berikut:

- Kembangkan tujuan dan rencana proyek
- Tinjau kembali rencana itu ketika proyek telah berjalan untuk mencerminkan peningkatan pemahaman.
- Evaluasi proyek yang telah diselesaikan dengan kunci bisnis stakeholders untuk memperoleh persetujuan mereka.



Gambar 3.2 Approved Charter

Langkah pendekatan charter (Rencana):

- a. Mulai dengan proyek CTQ(s). Rencanamu harus memastikan kamu dapat memecahkan suatu masalah yang penting bagi customer dan bisnis.
- b. Bekerja dengan Tim Advokasi untuk menentukan rencana yang sesuai.
- c. Rencana menunjukkan catatan tambahan yang mungkin dapat membantu.

3. Peta proses High-Level

Ciptakan suatu peta High-Level untuk mengidentifikasi para supplier, input, output, customer, dan yang paling penting empat atau lima langkah-langkah proses itu. Pada proses define (perumusan) bisa digunakan beberapa tools, antara lain:

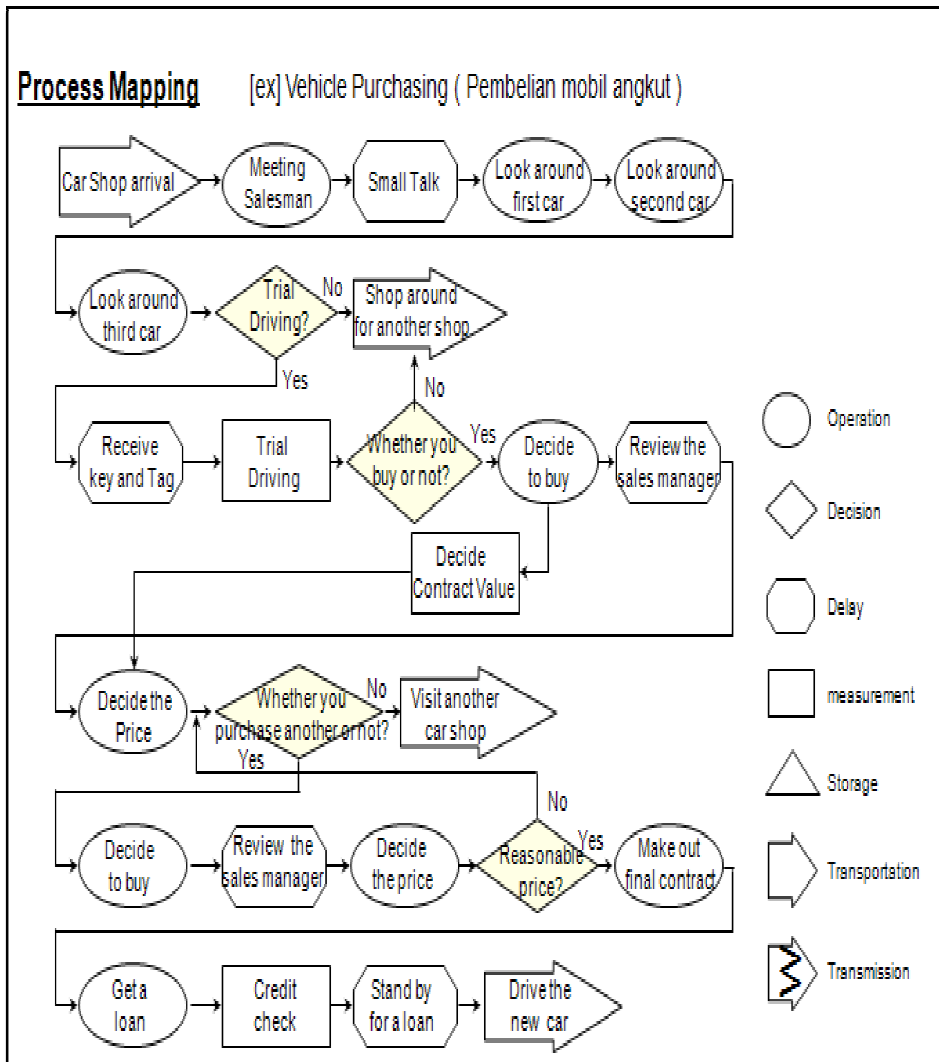
- Brainstorming
- Pareto Analysis
- Quality Function Deployment
- Process Mapping - area and process
- Fishbone Diagram (Cause and Effect)
- Project Schedule

3.1.1. Mapping Process

Process mapping digunakan sebagai dokumen proses untuk menguji aliran informasi dan part. Process mapping adalah tool kunci untuk identifikasi kesempatan perbaikan. Beberapa metode pemetaan proses antara lain :

- Defenisi batasan proses. (General atau proses spesifik yang akan diimprove)
- Brainstorming dan sepakati langkah-langkah proses dengan tim.
- Pengkodean aktivitas menggunakan simbol untuk memudahkan analisis.
- Berjalan keliling proses untuk validasi peta.
- Tambahkan matriks untuk proses-proses kunci
- Analisis peta untuk bisnis kunci, bisa dalam area :
 - Process loss or waste (kegagalan proses atau *waste*)

- Cycle time improvements (perbaikan waktu siklus)
- Quality improvements (perbaikan/peningkatan kualitas)
- Flow improvements (perbaikan aliran)



Gambar 3.3 Pemetaan Prses

Proses pemetaan adalah alat penting proyek Six Sigma, Karena dari hal ini memungkinkan Anda untuk mendapatkan sekilas visual dari proses bisnis Anda dan bagaimana mereka saat ini beroperasi, serta memungkinkan Anda untuk melihat bagaimana mereka bisa beroperasi lebih baik dengan memetakan solusi potensial. Menggunakan proses pemetaan bersama dengan Six Sigma metrik dapat membuktikan menjadi menguntungkan dalam menentukan siapa, apa, dimana, kapan, mengapa, dan bagaimana masalah dan juga solusi yang terbaik berdasarkan informasi yang tersedia. Ada berbagai macam peta proses seperti:

- SIPOC
- Detailed Process Maps
- Swim Lane
- Brown Paper
- Value Stream Maps

3.1.1.1. Proses SIPOC

Setiap proyek *Six Sigma* yang telah dipilih harus didefinisikan proses-proses kunci, sekuens proses, beserta interaksinya serta pelanggan yang terlibat dalam setiap proses itu. Pelanggan ini dapat menjadi pelanggan internal maupun eksternal. Sebelum mendefinisikan proses kunci beserta pelanggan dalam proyek *Six Sigma*, kita perlu mengetahui model proses SIPOC (*supplier, input, process, output, customers*).

Dalam manajemen dan perbaikan proses, diagram SIPOC merupakan salah satu teknik yang paling berguna dan paling sering digunakan. Diagram ini digunakan untuk menyajikan sekilas dari aliran kerja. SIPOC berasal dari lima elemen yang ada pada diagram, yaitu :

Supplier : orang atau kelompok orang yang memberikan informasi kunci, material atau sumber daya lain kepada proses. Jika suatu proses terdiri dari beberapa sub proses maka subproses sebelumnya dapat dianggap sebagai pemasok internal (*internal supplier*)

Input : Segala sesuatu yang diberikan oleh pemasok (*supplier*) kepada proses untuk menghasilkan output.

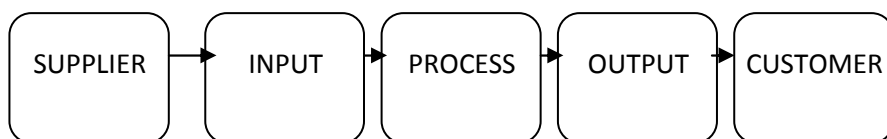
Process: merupakan sekumpulan langkah yang mentransformasi dan serta ideal menambah nilai kepada input (*proses transformasi nilai*)

tambah kepada input). Suatu proses bisaanya terdiri dari beberapa sub proses.

Output: merupakan produk (barang atau jas) dari suatu proses, Dalam industri manufaktur, output dapat berupa barang setengah jadi maupun barang jsdi (*final product*). Termasuk di dalam output adalah informasi-informasi kunci dari proses.

Customer: merupakan orang atau kelompok orang atau sub proses yang menerima output.

Jika sutau proses terdiri dari beberapa subproses maka sub proses sesudahnya dapat dianggap sebagai pelanggan internal (*internal customer*). Proses berikut merupakan pelanggan anda (*the next process is yours customers*). (Gasperz, 2002: 47, Pande P.S dkk, 2003: 179). Peta tingkat tinggi menentukan batasan proyek Six Sigma dengan cara mengidentifikasi proses yang sedang terjadi. Peta SIPOC memberikan garis besar elemen elemen penting di dalam suatu proses serta membantu menjelaskan siapa pelaku utama proses tersebut, siapa yang dilayani oleh proses tersebut, bagaimana cara mendapatkan input, serta bagaimana cara meningkatkan nilai. (Evan dan Lindsay, 2007:93)



Gambar 3.4 Struktur Umum Peta Proses SIPOC

3.1.1.2. Diagram Aliran Proses (*Process Flowchart*)

FlowChart adalah sebuah diagram yang menggunakan simbol simbol untuk menggambarkan sifat dan aliran urutan dari sebuah proses. Nama lain dari alat ini adalah flow diagram. Beberapa keuntungan menggunakan flowchart yaitu:

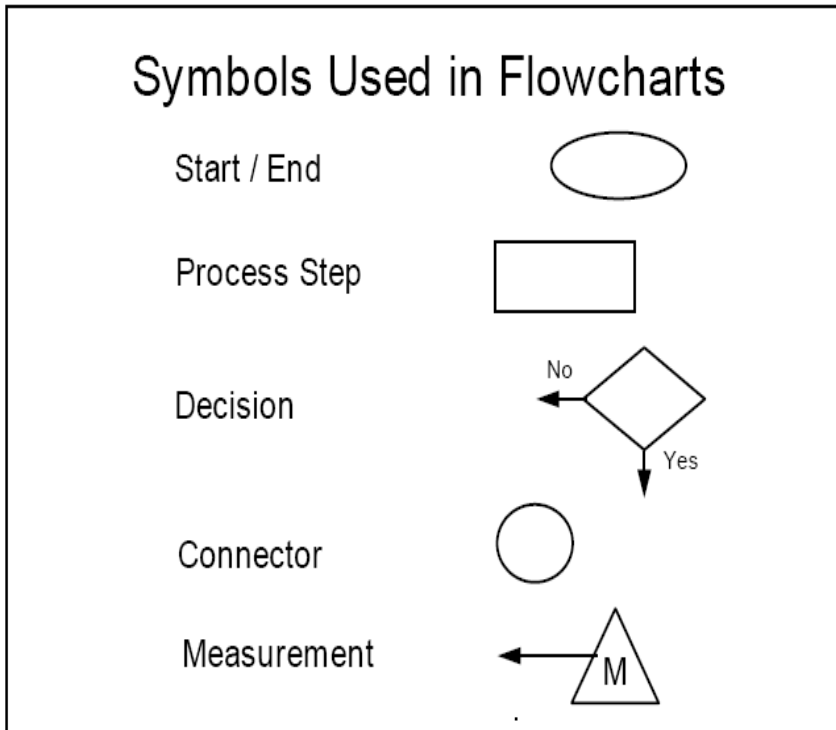
1. Meningkatkan pemahaman dari sebuah proses dengan menjelaskan urutan dengan gambar. Orang mungkin memiliki perbedaan pemahaman terhadap proses yang sedang berlangsung. Flowchart dapat membantu kesamaan persepsi dalam urutan

proses tersebut. Flowchart meningkatkan pemahaman dimana tulisan tidak dapat melakukannya. Bentuk dari flow chart dapat mengganti beberapa halaman dari kata.

2. Menyediakan alat latihan untuk karyawan. Dikarenakan kemampuan secara visual tentang layout urutan proses, flowchart sangat membantu dalam memberikan latihan terhadap karyawan dengan prosedur yang standar.
3. Mengidentifikasi daerah bermasalah dan kesempatan untuk peningkatan dari sebuah proses. Ketika urutan proses dipecah lagi, sehingga permasalahan menjadi semakin jelas. Sehingga mudah melihat titik kesempatan untuk menyederhanakan atau memperbaiki proses dengan menganalisa titik keputusan, langkah yang berulang, aliran pengerjaan ulang.
4. Menggambarkan hubungan pelanggan-pemasok. Membantu proses bekerja untuk memahami siapa pelanggan mereka dan bagaimana mereka bertindak ketika sebagai pemasok dan kadang sebagai pelanggan berhubungan dengan orang lain.

Simbol simbol yang bisa digunakan dalam flowchart secara spesifik maksud yang dihungkan dengan sebuah panah yang menandakan aliran dari satu langkah ke langkah yang lain. Masing-masing simbol akan dijelaskan dibawah ini:

1. Oval. Menandakan titik awal dan titik akhir dari urutan proses.
2. Kotak. Kotak menunjukkan sebuah langkah tunggal atau aktifitas dalam proses.
3. Belah ketupat. Belah ketupat menunjukkan titik keputusan seperti ya atau tidak atau lanjut atau berhenti. Setiap jalan yang dihasilkan dari belah ketupat harus diberi keterangan dengan jawaban yang masuk akal.
4. Lingkaran. Lingkaran menandakan beberapa langkah akan dihubungkan dengan halaman lain atau bagian dari flowchart. Huruf yang diletakkan didalam lingkaran menjelaskan kelanjutan dari proses.
5. Segitiga. Segitiga menunjukkan dimana proses pengukuran berlangsung.



Gambar 3.5 Simbol Flow Chart Diagram

Diagram Aliran Proses menunjukkan aktivitas yang perlu dilakukan dalam suatu proses. *Diagram Aliran Proses* ini penting sekali untuk menganalisa aktivitas yang perlu diperbaiki atau masalah perlu dihilangkan. Penghilangan salah satu step dalam proses tanpa mengurangi kualitas merupakan salah satu prinsip dalam konsep *Lean* (*Reduce non value added activities*). (Manggala D., 2005:19)

3.1.2. Critical To Quality (CTQ)

Banyak karakter produk dan jasa bersifat *Critical To Quality* (CTQ) dari sudut pandang pelanggan. Sebagai contoh pengguna kartu kredit mungkin mempunyai beberapa ekspektasi anempat aktifitas bisnis uama yang berhubungan dengan kartu kredit trsebut:

1. Pendaftaran rekening, mudah diakses, cepat tanggap, akurat, dan professional.
2. Penggunaan kartu, mudah digunakan dan bebas kerepotan, fitur, batas kredit.
3. Penagihan, akurat, tepat weaktu, dan mudah dipahami.
4. Pelayanan pelanggan, mudah diakses, cepat tanggap, dan professional.

Karakter produk bisanya diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Kinerja, merupakan karakter operasional utama produk. Pada mobil misalnya karakter ini mencakup hal-hal seperti akselerasi, jarak pengereman, setir, dan perawatan.
2. Fitur, yaitu aksesoris dari suatu produk. Sebuah mobil bisa memiliki aneka pilihan tenaga, tipe atau cd deck.
3. Reliabilitas, kemungkinan suatu produk untuk tetap bekerja setelah jangka waktu tertentu di dalam kondisi tertentu.
4. Kepatuhan, seberapa banyak karaskteristik fisik dan kinerja suatu produk patuh pada setandar yang telah ditentukan sebelumnya.
5. Durabilitas, jumlah penggunaan produk sebelum kinerja produk tersebut kinerjanya menurun atau harus diganti.
6. Tingkat servis, kecepatan keramahan, dan kompetensi perbaikan.
7. Estetika, bagaimana suatu produk terlihat, terasa, terdengar atau tercium.

Terdapat lima dimensi utama yang disusun sesuai urutan tingkat kepentingan relatifnya sebagai berikut : (Parasuraman, Berry, Zeithaml, 1990 : 26), yaitu :

1. Reliabilitas (*reliability*), berkaitan dengan kemampuan perusahaan untuk memberikan layanan yang akurat sejak pertama

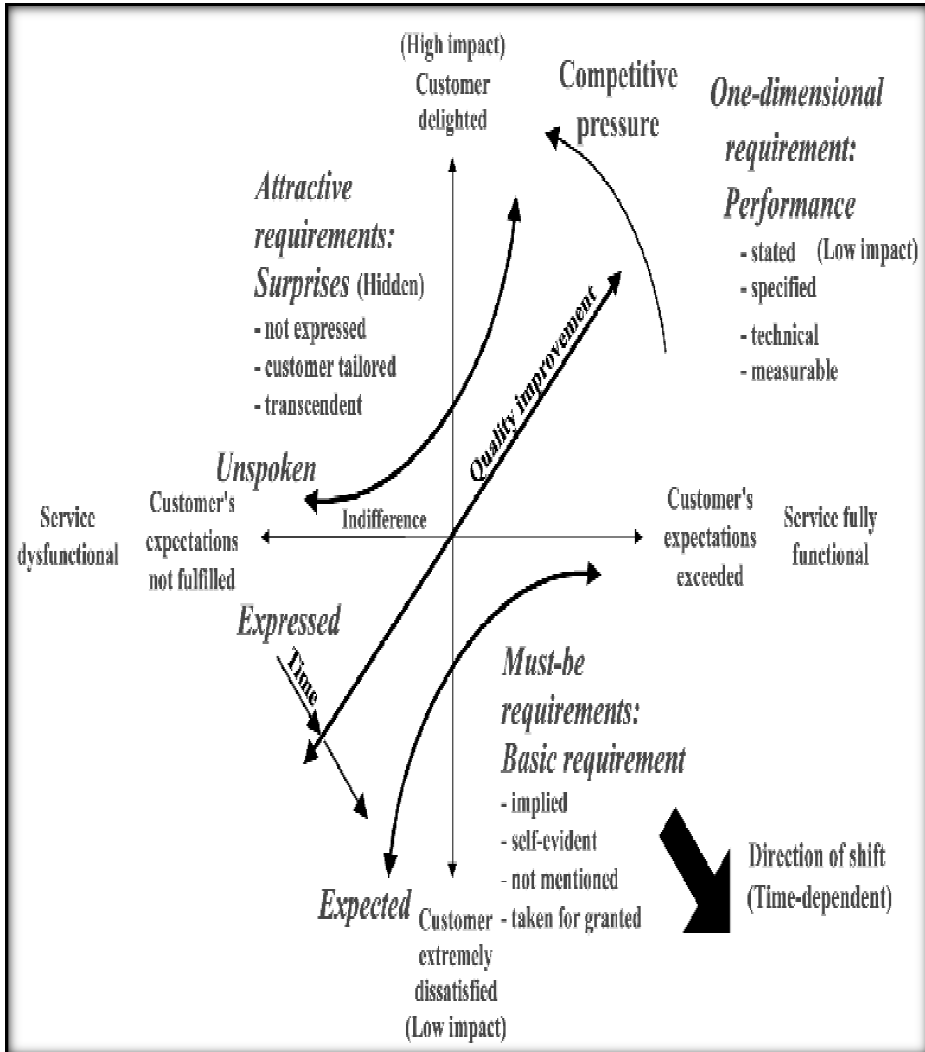
kali tanpa membuat kesalahan apapun dan menyampaikan jasanya sesuai dengan waktu yang disepakati.

2. Daya tanggap (*responsiveness*), berkenaan dengan kesediaan dan kemampuan para karyawan untuk membantu para pelanggan dan merespon permintaan mereka, serta menginformasikan kapan jasa akan diberikan dan kemudian memberikan jasa secara cepat.
3. Jaminan (*assurance*), yakni perilaku para karyawan mampu menumbuhkan kepercayaan pelanggan terhadap perusahaan, dan perusahaan bisa menciptakan rasa aman bagi para pelanggannya. Jaminan juga berarti bahwa karyawan selalu bersikap sopan dan menguasai pengetahuan dan ketrampilan yang dibutuhkan untuk menangani setiap pertanyaan atau masalah pelanggan.
4. Empati (*empathy*), berarti perusahaan memahami masalah para pelanggannya dan bertindak demi kepentingan pelanggan, serta memberikan perhatian personal kepada pelanggan dan memiliki jam operasi yang nyaman.
5. Bukti fisik (*tangibles*), berkenaan dengan daya tarik fasilitas, perlengkapan, dan material yang digunakan perusahaan, serta penampilan karyawan.

CTQ dapat dikategorikan kedalam tiga kategori, seperti yang disarankan Nariaki Kano:

1. Penyebab ketidakpuasan, sesuatu yang diharapkan dalam suatu produk atau jasa. Contohnya, pada sebuah mobil, radio, pemanas, dan fitur keselamatan. Fasilitas tersebut tidak diminta oleh pelanggan tapi jika fasilitas tersebut tidak ada maka akan membuat pelanggan kecewa atau merasa tidak puas.
2. Penyebab kepuasan, sesuatu yang diinginkan oleh pelanggan. Banyak pembeli mobil menginginkan atap mobil, jendela otomatis, atau rem anti kunci. Meskipun kebutuhan ini terkadang tidak diminta oleh pelanggan, namun jika kebutuhan terpenuhi maka akan membuat pelanggan puas.
3. Pembuat senang, fitur baru atau tidak diharapkan oleh pelanggan, adanya fitur yang tidak diharapkan, seperti tombol prakiraan

cuaca, akan membuat pelanggan senang dan membuat persepsi kualitas dari pelanggan menjadi lebih tinggi.

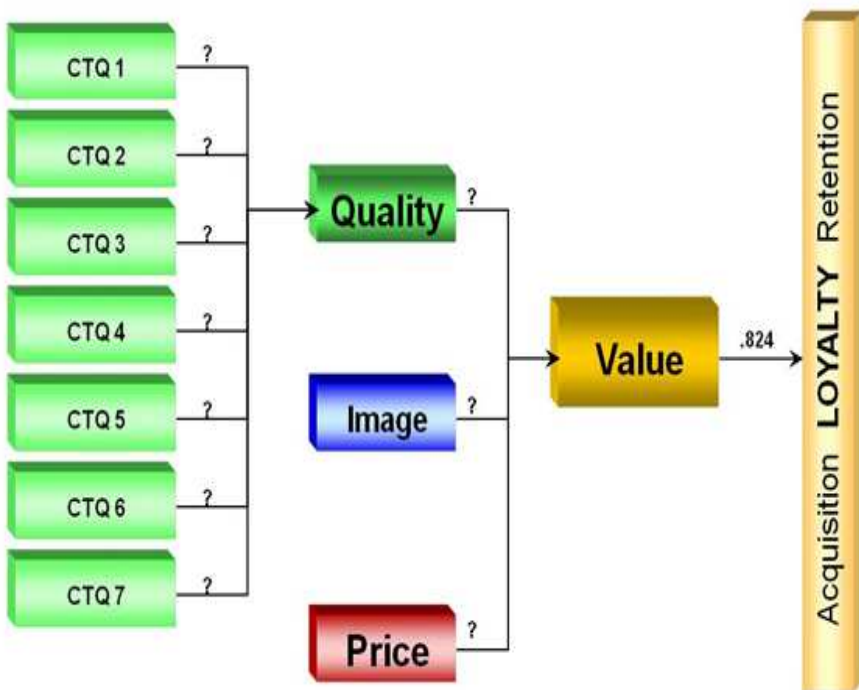


Gambar 3.6 Model Kano

Memenuhi kebutuhan pelanggan (menyediakan penyebab kepuasa) sering kali dianggap sebagai batas minimum yang dibutuhkan

suatu bisnis untuk terus beroperasi. Untuk benar-benar menjadi kompetitif, suatu perusahaan harus mengjutkan dan menyenangkan pelanggan lebih dari yang diharapkan. Dalam system klasifikasi kano, penyebab ketidakpuasan dan penyebab kepuasan cukup mudah dilakukan dengan membuat riset pemasaran rutin. Namun, upaya-upaya riset pasar tradisional jadi tidak efektif untuk memahami faktor penyenang. Gambar 3.7 merupakan salah satu bentuk model untuk identifikasi CTQ.

Market Value Model



Gambar 3.7 Market Value Model

Pemahaman akan CTQ pelanggan akan membantu kita untuk menyeleksi proyek-proyek Six Sigma yang terpenting. Identifikasi CTQ membutuhkan pemahaman akan suara pelanggan (voice of customer), yaitu kebutuhan pelanggan yang diekspresikan kedalam bahasa

pelanggan itu sendiri. Beberapa pendekatan penting untuk mengumpulkan informasi pelanggan antara lain:

1. Kartu komentar dan survey formal
2. Fokus grup
3. Kontak langsung dengan pelanggan
4. Intelejen lapangan
5. Analisis keluhan pelanggan
6. Pengawasan melalui internet

Survey serta pengukuran kepuasan pelanggan formal memungkinkan suatu perusahaan menerjemahkan persepsi pelanggan mengenai seberapa baik perusahaan tersebut memenuhi kebutuhan pelanggan, untuk kemudian mengidentifikasi faktor penyebab ketidakpuasan dan kebutuhan yang tidak terpenuhi maupun faktor penyenang, menemukan ruang untuk perbaikan desain serta perbaikan pengiriman barang dan jasa, serta memantau tren untuk menentukan apakah perubagahan yang dilakukan benar-benar menghasilkan perbaikan dan membenarkan diadakannya upaya Six Sigma.

Pengukuran kepuasan pelanggan mencakup criteria produk seperti kualitas produk, kinerja produk, tingkat penggunaan, dan pemeliharaan. Criteria pelayanan seperti sikap, masa pelayanan, pengiriman yang tepat waktu, penanganan khusus, akuntabilitas, dan dukungan teknis, criteria citra seperti reliabilitas dan harga, serta tolak ukur kepuasan lainnya. Satu cata bahwa untuk menyakinkan bahwa cara pengukuran sudah sesuai adalah dengan mengumpulkan informasi mengenai tingkat kepentingan serta kinerja karakter-karakter kunci CTQ. Sebagai contoh, sebuah hotel dapat menanyakan seberapa penting kecepatan check in, kecepatan check out, sikap staf, serta bagaimana pelanggan menilai hotel tersebut berdasarkan criteria-kriteria tersebut. Evaluasi data seperti ini dapat dicapai menggunakan tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Perbandingan Tingkat Kepentingan-Kinerja

Tingkat Kepentingan	Kinerja	
	Rendah	Tinggi
Rendah	Siapa Yang Peduli	Berlebihan
Tinggi	Rapuh	Kekutan

Hasil yang tertera pada kuadran diagonal (area yang diberi bayangan) adalah baik. Suatu perusahaan idealnya menginginkan kinerja yang tinggi pada criteria penting dan tidak menghabiskan sumber daya pada criteria yang tidak penting. Hasil diluar diagonal menandakan bahwa suatu perusahaan menghabiskan sumber daya yang tidak perlu untuk mencapai kinerja yang tinggi pada criteria pelanggan yang tidak penting, atau tidak menunjukkan kinerja yang seharusnya pada criteria pelanggan yang penting, sehingga membuat perusahaan tersebut rentan terhadap kompetisi. Hasil dari analisis seperti ini dapat membantu menarget area-area untuk melakukan perbaikan serta menghemat biaya, selain menyediakan input yang berguna untuk perencanaan strategis. Ada kalanya data competitor juga digambarkan, agar tersedia perbandingan antara perusahaan tersebut dengan competitor.

CONTOH KASUS CTQ

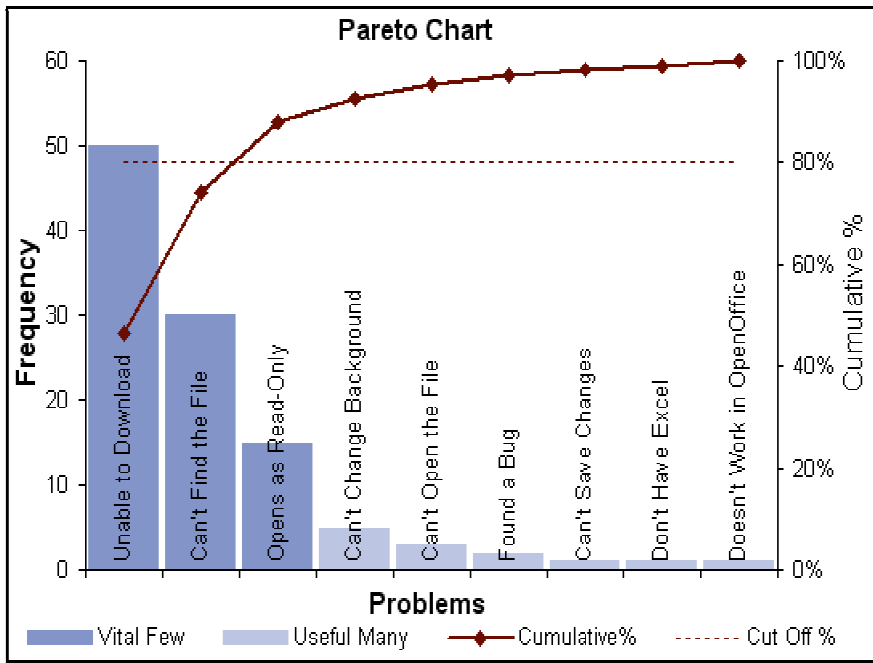
PT. Nojorono Tobacco International. adalah perusahaan manufaktur yang memproduksi rokok. Penurunan kualitas terjadi pada beberapa Critical to Quality (CTQ) di bagian maker. Karenanya, perbaikan berkelanjutan menjadi keharusan bagi PT. Nojorono Tobacco International. Mengingat betapa pentingnya kualitas pada proses maker, maka diperlukan suatu metode pemecahan masalah guna memperbaiki dan mengendalikan proses maker pada mesin M5, M8, M9 dan M10 supaya jumlah produk cacat dapat diminimalisasi, sehingga perusahaan dapat meningkatkan kualitas menuju zero defect. Pemecahan masalah dilakukan dengan metode DMAIC dari Six Sigma terdiri dari tahapan Define, Measure, Analyze, Improve, and Control. Dimulai dari identifikasi tingkat kecacatan tertinggi untuk menentukan CTQ prioritas. selanjutnya pengukuran level sigma, stabilitas CTQ prioritas. Pada tahap

tahap analisis menggunakan diagram sebab akibat untuk mencari penyebab kegagalan CTQ dan kemudian dilakukan analisis kegagalan dengan tool failure modes effect analysis (FMEA). Pada tahap terakhir ditetapkan rencana perbaikan dan pengendalian proses untuk perusahaan. Hasil penelitian dimulai dari tahap define dimana didapatkan cacat fisik rokok batangan sebagai CTQ prioritas. Pada tahap measure diketahui pada tanggal 21 januari sampai 19 maret 2008 level sigma Pada M5,M8,M9 dan M10 berkisar dilevel 3,77 sigma sampai dilevel 3,81 sigma. Dan Pada pengukura kestabilan proses diketahui kondisi proses pada tanggal 21 januari sampai 19 maret 2008 belum stabil. Pada tahap analyze didapatkan informasi bahwa faktor-faktor yang menyebabkan ketidak stabilan proses maker diduga sebagai berikut, faktor mesin menjadi penyebab utama terjadinya kecacatan fisik rokok batangan. Pada tahap improve dan control diberikan usulan improve untuk sisi mamajerial dan teknis serta pada usulan control untuk menjamin dan meningkatkan kualitas pada proses maker

3.2. Pareto Analysis

Josep juran pernah menyebutkan bahwa sebagaian permasalahan kualitas hanya berasal dari beberapa penyebab. Fokus usaha yang digunakan pada hal-hal penting mengenai suatu masalah. Secara khusus 80% masalah adalah disebabkan oleh 20% isu. Contoh, dalam sebuah analisis mengenai 200 jenis kegagalan mesin mobil dilapangan, hanya lima yang menjadi penyebab sepertiga dari semua kegagalan, sementara 25 menjadi penyebab dari dua per tiga kegagalan.

Distribusi pareto (pareto distribution) adalah salah satu jenis distribusi dimana sifat-sifat yang diobserfasi diurutkan dari yang frekuensinya paling besar hingga terkecil. Pareto diagram adalah histogram data yang mengurutkan data dari frekuensinya yang terbesar hingga terkecil.

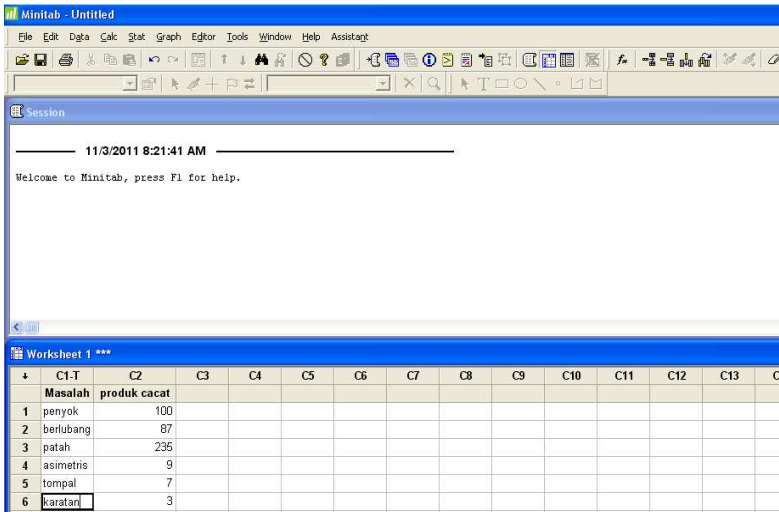


Gambar 3.8 Diagram Pareto

Bentuk diagram pareto tidak berbeda jauh dengan histogram. Pada sumbu horizontal adalah variable bersifat kualitatif yang menunjukkan jenis cacat, sedangkan pada sumbu vertical adalah jumlah cacat dan persentase cacat. Dalam diagram pareto jumlah atau prosentase cacat diurutkan dari yang terbesar ke yang terkeci.

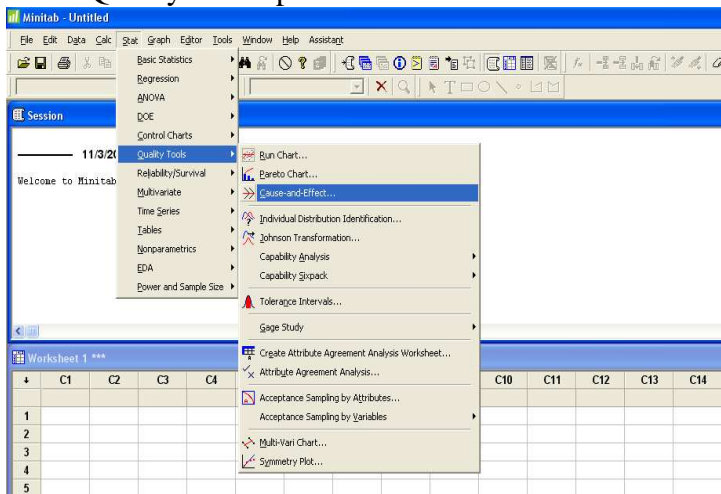
Berikut langkah-langkah dalam membuat diagram pareto dengan minitab.

1. Masukan data ke worksheet



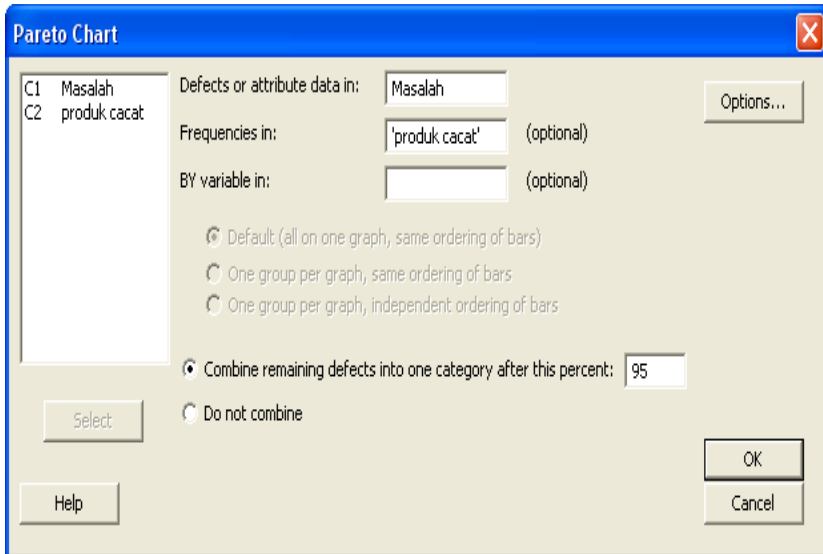
Gambar 3.9 Worksheet Minitab

2. Pilih stat . Quality tools . pareto cahart



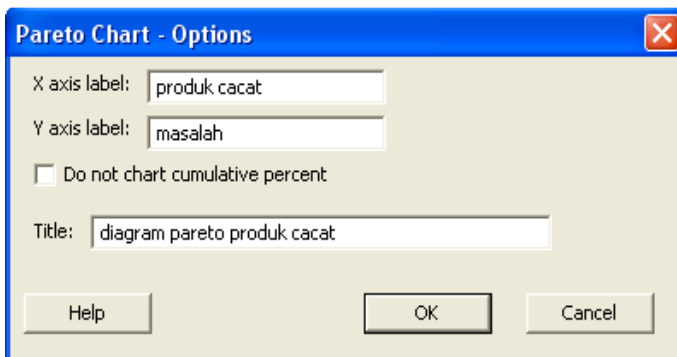
Gambar 3.10 Stat Minitab

3. Dalam kotak dialog, pilih chart defect table. Kemudian masukan variable masalah kedalam label in dan variable produk cacat dalam frequencies



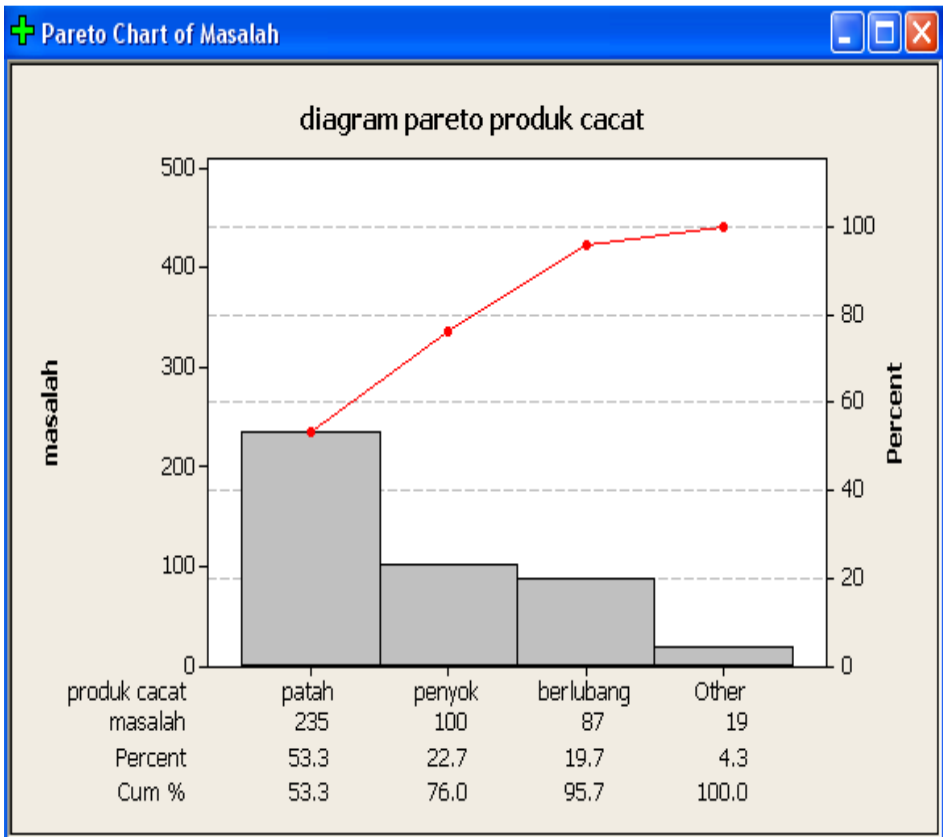
Gambar 3.11 Input Variabel

4. Klik option untuk member keterangan pada diagram pareto



Gambar 3.12 Pareto Chart Option

5. Klik OK!!



Gambar 3.13 Diagram Pareto

3.3. Fishbone Diagram (Cause and Effect)

Setelah masalah target kualitas berhasil ditetapkan, kegiatan kedua yang dilakukan dalam Program Menjaga Kualitas adalah menetapkan penyebab masalah terjadinya produk defect (*Causes of Problem*). Adapun yang dimaksudkan dengan penyebab masalah kualitas disini ialah faktor-faktor yang mempengaruhi timbulnya kesenjangan antara kualitas produk dengan standar yang telah ditetapkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut banyak macamnya, yang secara umum dapat

dibedakan atas tiga macam yakni faktor manusia, mesin, lingkungan, modal, peralatan, dan metode.

Cara menetapkan penyebab kualitas banyak macamnya. Seperti juga yang diterapkan pada waktu menetapkan masalah kualitas, untuk kesederhanaan serta keberhasilan Program Menjaga Kualitas, cara menetapkan penyebab masalah kualitas dianjurkan ialah mempergunakan teknik-teknik kesepakatan kelompok (group decision making), untuk kemudian diikuti dengan teknik kajian data (survey).

Diagram sebab akibat adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antara sebab akibat. Diagram sebab akibat dipergunakan untuk menunjukkan faktor faktor penyebab dan karakteristik. Kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor, penyebab itu, pada dasarnya diagram sebab akibat dapat dipergunakan untuk kebutuhan-kebutuhan berikut :

- a. Membantu mengidentifikasi penyebab dari suatu masalah.
- b. Mencari sebab-sebabnya dan mengambil tindakan korektif
- c. Membantu dalam penyelidikan atau pencarian faktor lebih lanjut.
- d. Menyeleksi metode analisis untuk penyelesaian masalah

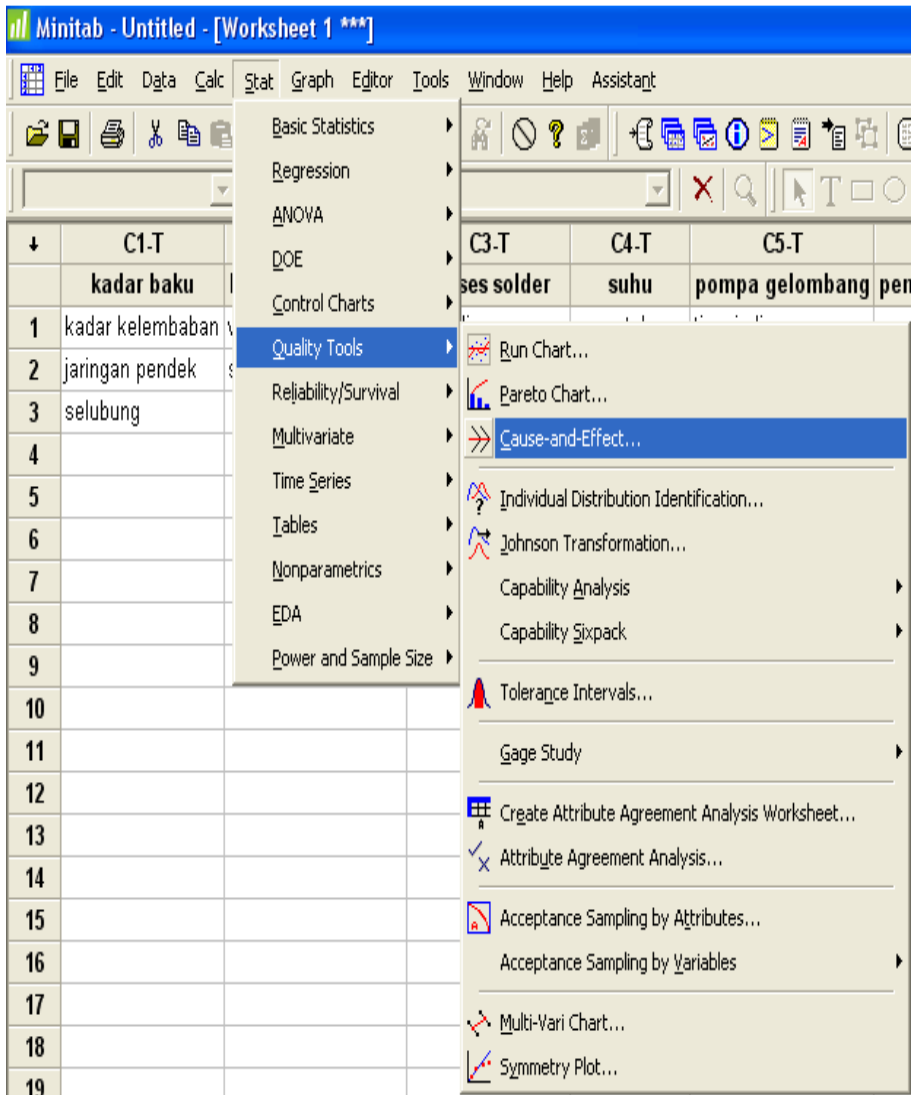
Diagram sebab akibat atau diagram ishikawa, atau sering disebut fishbone diagram digunakan untuk menyajikan penyebab suatu masalah secara grafis. Berikut contoh cara membuat diagram sebab akibat dengan minitab:

1. Masukan data dalam worksheet

	C1-T	C2-T	C3-T	C4-T	C5-T	C6-T	C7-T	C8-T	C9-T
	kadar baku	kadar kelembaban	proses solder	suhu	pompa gelombang	pemeriksaan	komponen	hilang dari sel	penyisipan komponen
1	kadar kelembaban	waktu	pengaliran	penyetelan	tinggi aliran	pengukuran	hilang dari sel	penjual	hambatan
2	jaringan pendek	suhu	suhu	pengendalian		cakupan uji	suku salah	penyetelan	komponen salah
3	selubung		percikan			pemeriksa	kegagalan fungsional		komponen hilang
4			kecepatan rantai						
5			pompa gelombang						
6									
7									
8									

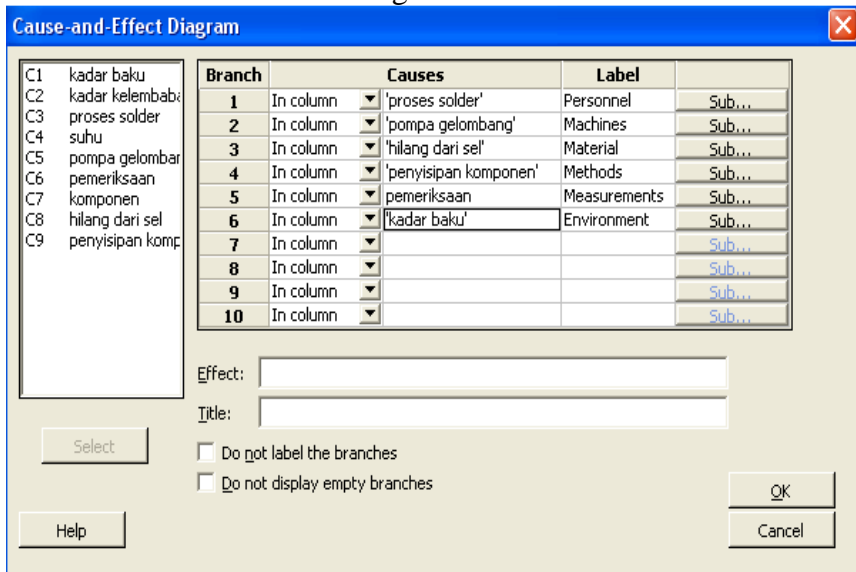
Gambar 3.14 Worksheet Diagram Fishbone

2. Klik stat > quality tools > cause-and-effect



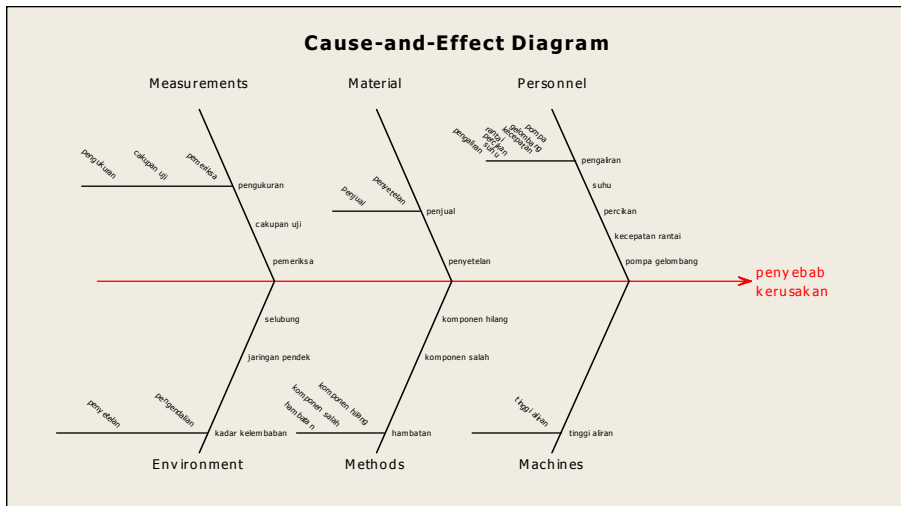
Gambar 3.15 Stat Diagram Fishbone

3. Dalam dialog cause-and-effect diagram, pindahkan kartu baku di bawah causes. Sesuaikan dengan label.



Gambar 3.16 Cause And Effect Diagram

4. Kemudian klik ok.



Gambar 3.17 Diagram Sebab Akibat

3.4. Quality Function Deployment (QFD)

Pandangan modern mengenai konsep kualitas memberikan fokus pada kebutuhan dan harapan konsumen. Salah satu metode yang dilakukan dalam menerjemahkan keinginan dan kebutuhan ini menjadi karakteristik proses dan produk adalah *Quality Function Deployment* (QFD). Dengan berbasis pada keinginan dan kebutuhan konsumen serta kompensasi pada para pesaing, teknik tersebut akan memberikan kemungkinan sistematis dalam menghasilkan persyaratan kualitas produk dan parameter desain yang sesuai dengan persyaratan proses produksi (Bergman dan Klessjo, 1994).

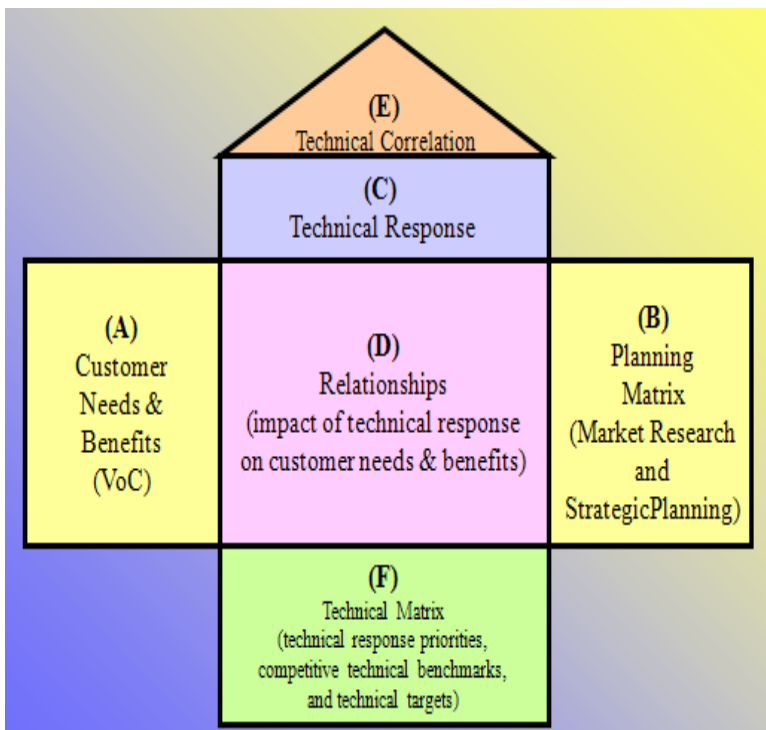
QFD merupakan alat bantu yang baik dalam berkomunikasi, disebabkan penerapan keterlibatan antar bagian dalam organisasi untuk bekerjasama menghasilkan kualitas produk atau jasa yang sesuai dengan keinginan dan kebutuhan konsumen. Dalam prakteknya, QFD bersandar pada interaksi yang membangun antara bagian-bagian desain, pemasaran, produksi serta rekayasa teknik. Fungsi silang QFD dapat diterapkan melalui bagian-bagian tersebut hingga menghasilkan suatu keluaran yang baik. Umpan balik konsumen diperlukan guna membuat keputusan perancangan, pemasaran dan desain.

QFD digunakan untuk memastikan bahwa perusahaan berusaha memusatkan perhatiannya terhadap kebutuhan konsumen sebelum setiap perancangan pekerjaan dilakukan (Tjiptono dan Diana, 1995). Hal ini dimaksudkan untuk menghindari produk atau jasa jatuh di pasaran akibat tidak ditemukannya pasar yang tepat. Penerapan QFD dalam suatu sistem perancangan produk memberikan dampak positif dalam mereduksi biaya perancangan, memperpendek *time to market* serta meningkatkan kesesuaian produk yang dihasilkan terhadap kebutuhan dan keinginan konsumen.

Pengaruh besar yang dimiliki QFD membuat perusahaan-perusahaan yang menerapkan metode tersebut mendapat keuntungan yang kompetitif dalam pasar. Menurut Cohen (1995), memproduksi

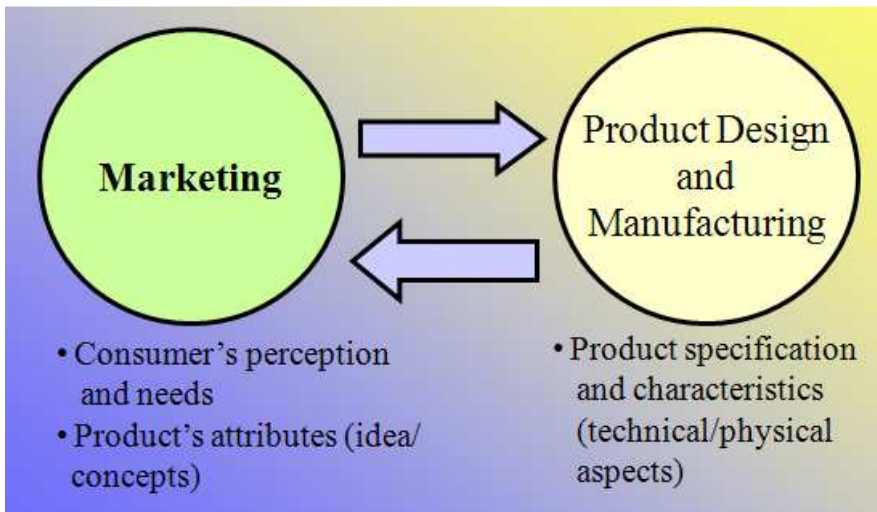
barang atau jasa baru merupakan salah satu langkah penting dalam memenangkan kompetisi. Pekerjaan merancang, memproduksi hingga produk dilepas di pasar disebut "siklus pengembangan produk". Usaha untuk mempersingkat siklus tersebut berarti penghematan biaya dan waktu pengembangan produk bagi organisasi guna menghadapi persaingan dalam dunia usaha.

Alat pokok yang digunakan dalam QFD adalah "Rumah Kualitas" (*House of Quality/HOQ*). HOQ menunjukkan hubungan antara kebutuhan-kebutuhan konsumen yang ditranslasikan menjadi atribut-atribut teknis, sehingga dapat dikatakan bahwa HOQ merupakan inti dari QFD. HOQ merupakan gabungan dari beberapa matriks yang saling berhubungan satu dengan lainnya (Cohen,1995).



Gambar 3.18 House of Quality (HOQ)
 Sumber: Sritomo (2008)

Keberhasilan dari implementasi QFD adalah bagaimana kita mengejawantahkan keinginan dari pelanggan kedalam bentuk produk yang mereka inginkan dengan atribut kualitas yang sudah ditetapkan. Keberhasilan ini didukung oleh pihak marketing dalam menangkap voice of customer (VOC) mengenai persepsi dan atribut kualitas yang dikehendaki oleh pelanggan.



Gambar 3.19 Proses Transfer Customer Needs
Sumber: Sritomo (2008)

QFD pada saat ini telah banyak digunakan dalam industri guna meningkatkan perencanaan produk serta pengembangan proses dan produk itu sendiri. Di Jepang, tempat kelahiran QFD, telah dibuktikan keandalan metode ini dalam mereduksi biaya. Berita sukses terbetik dari USA, dan beberapa negara di Swedia. Dengan pengembangan proses dan produk yang sesuai dengan keinginan konsumen, maka memungkinkan pengurangan resiko kesalahan "*miss product*" setelah di pasar. Philips, Electrolux, Procter and Gamble, DEC, Hewlett Packard, Polaroid, Ford, Chrysler, General Motor, merupakan sedikit perusahaan dari sekian banyak perusahaan dunia yang terus

menggunakan dan mengembangkan QFD. Bahkan perusahaan-perusahaan di Jepang terns mengembangkan metode tersebut dan menjadi ahli di bidangnya. Penggunaan QFD pada perusahaan-perusahaan Jepang telah menyebabkan menjadi pemain tunggal nomor satu dalam bisnis ekspor yang melebihi Amerika serikat. Secara umum proses (QFD) adalah ada pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Proses QFD

Tahap	Aktivitas
1	Identifikasi kebutuhan dan keinginan konsumen
2	Hubungan antara kebutuhan konsumen dan karakteristik perancangan
3	Evaluasi kompetitif terhadap produk pesaing
4	Menghubungkan setiap karakteristik teknis dan karakteristik komponen
5	Menghubungkan proses operasi dengan parameter kontrol
6	Implementasi dan perbaikan kontinyu.

Contoh Implementasi Metodologi QFD (Sritomo, 2008)

Pada contoh ini akan ditunjukkan proses pembuatan produk tas dengan Implementasi Metodologi QFD, langkah-langkah dalam menyelesaikan metode QFD sebagai berikut:

1. Product Attributes

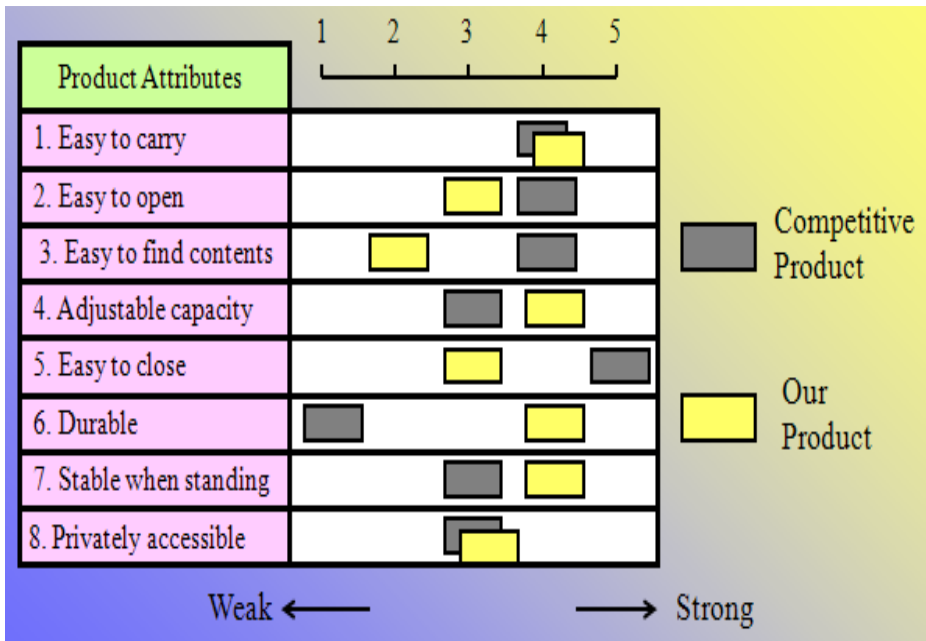
- Menyusun atribut-atribut produk berdasarkan prioritas (diukur dengan pemberian bobot kepentingan) yang mencerminkan hal-hal yang diharapkan oleh konsumen/pemakai produk.
- Creativity techniques, market/consumer research, complaints & repair's file, trend analysis, dan lain-lain.
- Konsumen/Pelanggan akan memberikan hal-hal yang perlu dijadikan dasar pertimbangan didalam perancangan produk dengan memperhatikan atribut- atribut terpentingnya (*the voice of customers*). Hal ini akan ditunjukkan dengan pemberian faktor pembobotan dari setiap atribut yang diberikan (*weight factors* atau *relative importance of product attributes*)
- Contoh : untuk perancangan tas/kopor, maka atribut produk dapat

diklasifikasikan menurut (1) kemudahan untuk dibawa-bawa (*easily transportable*), (2) kemudahan untuk dibuka/ditutup (*easily open & close*), dan (3) kekuatan/ketahananya (*durability*).

Product Attributes	Relative Importance Index (Weight Factors)
1. Easy to carry	2
2. Easy to open	4
3. Easy to find contents	4
4. Adjustable capacity	1
5. Easy to close	3
6. Durable	5
7. Stable when standing	3
8. Privately accessible	2

2. *Evaluasi Produk*

- Tahap melakukan evaluasi produk yang ada dan/atau yang akan dibuat/modifikasi dan membandingkannya dengan produk kompetitor (proses benchmarking).
- Atribut produk (langkah-1) akan dipakai sebagai dasar untuk melakukan evaluasi sesuai dengan kriteria-kriteria yang disusun. Apakah existing product lebih baik, sama atau lebih jelek dari competitive product?
- Tahap ini akan menunjukkan potensi-potensi perbaikan yang bisa dilakukan. Apa kelebihan ataupun kekurangan dari produk yang ada dibandingkan dengan produk pesaingnya menurut konsumen akan bisa diidentifikasi.



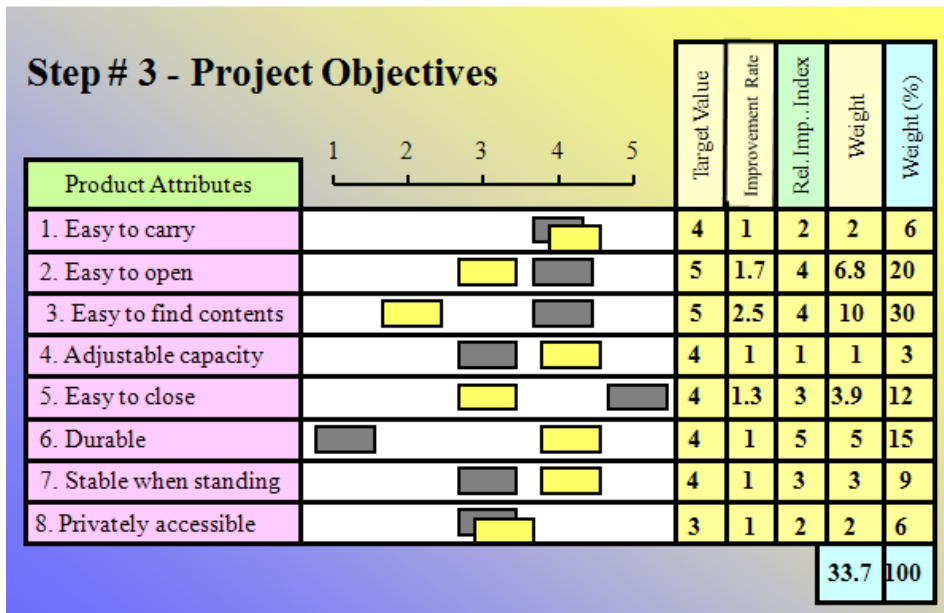
Gambar 3.20 Proses Benchmarking

3. *Project Objective*

- Langkah 2 (product evaluation) memberikan gambaran jelas mengenai problem- problem yang dihadapi oleh produk yang ada bila dibandingkan dengan produk kompetitor yang dijadikan acuan perbandingan (bench marking).
- Dengan memperhatikan performans data perbandingan dan relative importance index (weight faktor) dari atribut produk; maka kita akan dapat melihat peluang perbaikan yang bisa dilakukan dan menetapkannya sebagai tujuan yang harus dipenuhi dalam proyek modifikasi rancangan produk (project objective).
- Untuk masing-masing atribut produk, target yang harus dicapai diberi penilaian (skor) dengan skala 1 - 5. Untuk atribut yang tidak memerlukan modifikasi (karena sudah jauh lebih “unggul” dibandingkan dengan product competitor), maka tidak lagi diperlukan perubahan apa-apa.
- $\text{Improvement rate} = \text{target value} / \text{evaluation score}$; improvement

rate untuk atribut produk 2 (easy to open) = $5/3 = 1.7$; atribut produk 5 (easy to close) = $4/3 = 1.3$, dan seterusnya.

- Perhitungan bobot (weight faktor) untuk atribut dapat dihitung dengan formulasi sbb : Bobot = Relative Importance Index x Improvement Rate. Untuk atribut produk 2 - bobot = $4 \times 1.7 = 6.8$ (atau $6.8/33.7 \times 100\% = 20$); untuk atribut produk 5 = $3 \times 1.3 = 3.9$ (atau $3.9/33.7 \times 100\% = 12\%$), dan seterusnya.



Gambar 3.21 Project Objectives

4. Engineering Characteristics (Technical Parameter)

- Rancangan produk baru dijabarkan dalam pengertian karakteristik/parameter teknis (engineering characteristics/technical parameters).
- Unit-unit ukuran dapat didasarkan pada spesifikasi teknis dari produk, atau dapat pula diuraikan menurut operasionalisasi dari atribut-atribut produk yang ada.
- Technical parameters :
 - diletakan dalam kolom matriks “the House of Quality”.

- dijabarkan (*deploy*) seluas-luasnya, detail dan lengkap.
- bilamana diperlukan dapat disusun secara terstruktur dan dengan hirarki yang jelas.

Product Attributes	Engineering Characteristics (Technical Parameters)									
	Volume	Safety lock	Empty Weight	Opening Steps	Segments	Material	Angle of Opening	Closing Force	Wear of Lock	Relative Importance Index
1. Easy to carry										2
2. Easy to open										4
3. Easy to find contents										4
4. Adjustable capacity										1
5. Easy to close										3
6. Durable										5
7. Stable when standing										3
8. Privately accessible										2

Gambar 3.22 Technical Parameter

5. Interaction Matrix

- *The core of QFD Method.*
- Hubungan (relationship) antara atribut-atribut produk (*what?*) and parameter-parameter teknis (*how?*).
- Evaluasi untuk setiap sel matriks, hubungan macam apakah yang terjadi : kuat-erat (strong), lemah (weak) atau tidak ada hubungannya. Sebagai contoh: *easy to find contents* akan memiliki hubungan erat dengan jumlah segmen atau kompartemen dalam perancangan sebuah tas/ kopor.
- *The relationship score (the importance of the parameter-attribute relation) = the strength of relationship x weight of attribute.* Sebagai contoh : relationship score untuk atribut no. 3 (*easy to find contents*) dan jumlah segmen = $9 \times 30 = 270$.

- Jumlah skor untuk tiap-tiap parameter teknis (per kolom matriks) akan menunjukkan prioritas yang harus diambil dari proyek perbaikan rancangan. Sebagai contoh: prioritas tertinggi dari modifikasi rancangan dari kasus ini terletak pada “the numbers of opening step” yaitu 21%.

Engineering Characteristics (Technical Parameters)

● = strong relationship (9)
□ = medium relationship (3)
△ = weak relationship (1)

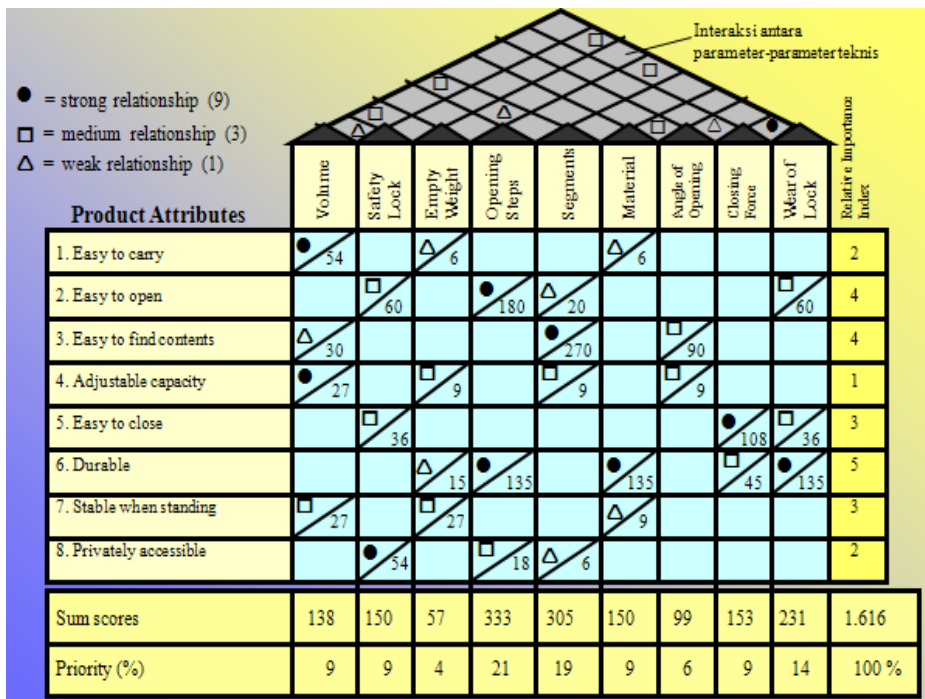
Product Attributes

	Volume	Safety lock	Empty Weight	Opening Steps	Segments	Material	Angle of Opening	Closing Force	Wear of Lock	Relative Importance Index
1. Easy to carry	● 54		△ 6			△ 6				2
2. Easy to open		□ 60		● 180	△ 20				□ 60	4
3. Easy to find contents	△ 30				● 270		□ 90			4
4. Adjustable capacity	● 27		□ 9		□ 9		□ 9			1
5. Easy to close		□ 36						● 108	□ 36	3
6. Durable			△ 15	● 135		● 135		□ 45	● 135	5
7. Stable when standing	□ 27		□ 27			△ 9				3
8. Privately accessible		● 54		□ 18	△ 6					2
Sum scores	138	150	57	333	305	150	99	153	231	1.616
Priority (%)	9	9	4	21	19	9	6	9	14	100 %

Gambar 3.23 Interaction Matrix

6. Interactions Between Parameters

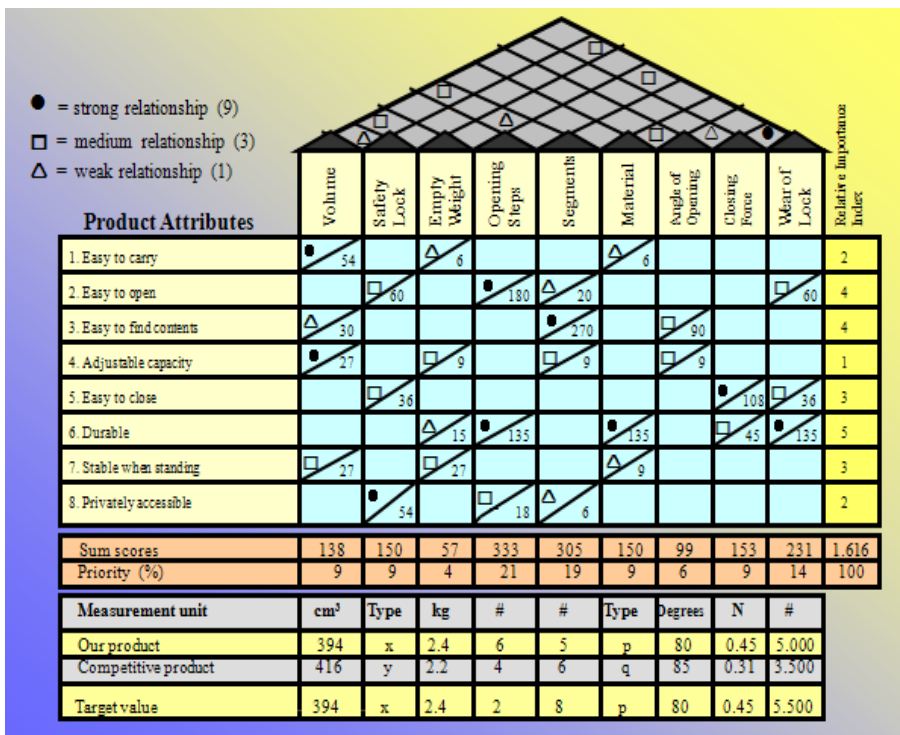
- Langkah perancangan “*the roof of the house of quality*” yang menggambarkan interaksi yang ada diantara parameter-parameter teknis. Sebagai contoh: ada tidaknya sebuah “*safety lock*” akan mempengaruhi jumlah “*opening steps*” dari rancangan yang dibuat.
- Perubahan sebuah parameter akan mempengaruhi hubungan dengan parameter yang lain. Satu hal penting yang perlu ditetapkan terlebih dahulu adalah derajat hubungan antara parameter-parameter yang ada (positive >> negative atau erat/kuat >> lemah, dll) sebelum mengembangkan sebuah solusi alternatif untuk perbaikan satu atau lebih dari parameter-parameter teknis dari produk secara spesifik.



Gambar 3.24 Interactions Between Parameters

7. Technical Analysis & Target Values

- Rancangan produk yang ada (existing) dan produk kompetitor-nya yang dijadikan sebagai acuan untuk langkah “benchmarking” dianalisa, diperbandingkan dan dievaluasi untuk menetapkan nilai-nilai parameter teknis yang perlu memperoleh perhatian untuk perbaikan.
- Langkah ke # 7 ini akan memberikan : (1) kemungkinan-kemungkinan untuk langkah perbaikan (2) penetapan “*target values*” yang harus bisa dipenuhi oleh rancangan produk yang akan dikembangkan.
- Penetapan didasarkan pada data teknis yang ada dan prioritas dari parameter-parameter teknis yang telah dievaluasi sesuai dengan langkah # 5.



Gambar 3.25 Technical Analysis & Target Values

8. Feasibility

- Perbaikan (*improvements*) yang akan dilakukan sangat tergantung pada : (1) pengetahuan dan skill dari pekerja/karyawan baik yang dari bagian perancangan (*design*) maupun produksi. (2) tersedia tidaknya kapasitas untuk pengembangan. (3) tersedia tidaknya kapasitas produksi.
- Merupakan langkah untuk mengestimasi derajat kompleksitas dan/atau biaya (*costs*) perbaikan.
- Penetapan parameter-parameter dan *target values* yang harus mendapatkan perhatian utama untuk perbaikan rancangan dengan berdasarkan prioritas, kelayakan dan hubungan timbal balik diantara parameter-parameter yang ada.

9. Development

- Final result of QFD (*Development Plan*).
- Memutuskan target values (requirements) untuk parameter-parameter teknis dan menyesuaikan dengan kapasitas pengembangan yang tersedia.
- Dari contoh kasus, prioritas perbaikan rancangan produk akan difokuskan terhadap (1) technical parameter “# steps necessary to open the case” (21%) dengan target value = 2 dan dilakukan melalui pemasangan “*central safety lock*” untuk membuka/menutup tas/kopor. Solusi permasalahan bisa dengan menambah reliabilitas kunci (lock) atau memperbaiki MTTR-nya (5.500); dan (2) rancangan baru dari interior (convenient arrangement) dengan target values of # segments = 8.

3.5. Failure Mode Effect Analyze (FMEA)

Failure modes and effects analysis (FMEA) merupakan salah satu teknik yang sistematis untuk menganalisa kegagalan. Teknik ini dikembangkan pertama kali sekitar tahun 1950-an oleh para insinyur kehandalan yang sedang mempelajari masalah yang ditimbulkan oleh peralatan militer yang mengalami malfungsi.

Secara umum tujuan dari penyusunan FMEA (IEEE STD. 352) adalah sebagai berikut.

- ❖ Membantu dalam pemilihan desain alternatif yang memiliki keandalan dan keselamatan potensial yang tinggi selama fase desain.
- ❖ Untuk menjamin bahwa semua bentuk mode kegagalan yang dapat diperkirakan berikut dampak yang ditimbulkannya terhadap kesuksesan operasional sistem telah dipertimbangkan.
- ❖ Membuat daftar kegagalan potensial serta mengidentifikasi seberapa besar dampak yang ditimbulkannya.
- ❖ Men-*develop* kriteria awal untuk rencana dan desain pengujian serta untuk membuat daftar pemeriksaan sistem.
- ❖ Sebagai basis analisa kualitatif keandalan dan ketersediaan.
- ❖ Sebagai dokumentasi untuk referensi pada masa yang akan datang untuk membantu menganalisa kegagalan yang terjadi di lapangan serta membantu bila sewaktu-waktu terjadi perubahan desain.
- ❖ Sebagai data input untuk studi banding.
- ❖ Sebagai basis untuk menentukan prioritas perawatan korektif.

Menurut Purdianta FMEA adalah suatu alat yang secara sistematis mengidentifikasi akibat atau konsekuensi dari kegagalan sistem atau proses, serta mengurangi atau mengeliminasi peluang terjadinya kegagalan. Sedangkan menurut Stamatis yang mengutip Omdahl dan ASQC, FMEA adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mendefinisikan, mengenali dan mengurangi kegagalan, masalah, kesalahan dan seterusnya yang diketahui dan atau potensial dari sebuah sistem, desain, proses dan atau servis sebelum mencapai ke konsumen. Dari dua definisi FMEA di atas, yang lebih mengacu ke kualitas, dapat disimpulkan bahwa FMEA merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa suatu kegagalan dan akibatnya untuk menghindari kegagalan tersebut. Dalam konteks kesehatan dan keselamatan kerja (K3), kegagalan yang dimaksudkan dalam definisi di atas merupakan suatu bahaya yang muncul dari suatu proses.

3.5.1. Tipe FMEA

Ada beberapa tipe dari FMEA. Berikut ini dijelaskan beberapa tipe dari FMEA, yaitu:

1. Design FMEA. Design FMEA digunakan untuk menganalisa produk sebelum dimasukkan ke dalam proses produksi. Design FMEA fokus pada modus kegagalan yang diakibatkan oleh desain (Stamatis, 2003),
2. Process FMEA. Process FMEA digunakan untuk menganalisa proses produksi dan perakitan. Process FMEA ini fokus pada modus kegagalan yang disebabkan oleh proses produksi atau perakitan (Stamatis, 2003),
3. System FMEA. System FMEA digunakan untuk menganalisa sistem dan subsistem dalam proses desain dan konsep. System FMEA ini fokus pada modus kegagalan antara fungsi dari sistem yang disebabkan oleh defisiensi sistem (Stamatis, 2003).
4. Service FMEA. Service FMEA digunakan untuk menganalisa servis sebelum mencapai ke konsumen. Service FMEA fokus pada kegagalan yang disebabkan oleh system atau proses (Stamatis, 2003),
5. Product FMEA. Product FMEA fokus pada modus kegagalan yang terjadi pada produk atau proyek (Gygi, DeCarlo, Williams, 2005).
6. Software FMEA. Software FMEA digunakan untuk menganalisa modus kegagalan pada sebuah software (Gygi, DeCarlo, Williams, 2005).

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah pendekatan sistematis yang menerapkan suatu metode pentabelan untuk membantu proses pemikiran yang digunakan oleh *engineers* untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan efeknya. FMEA merupakan teknik evaluasi tingkat keandalan dari sebuah sistem untuk menentukan efek dari kegagalan dari sistem tersebut. Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem.

Secara umum, FMEA (*Failure Modes and Effect Analysis*) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu :

- Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya,
- Efek dari kegagalan tersebut,
- Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

Berikut ini adalah tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan penerapan FMEA:

- Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya
- Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
- Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses
- Untuk membantu fokus engineer dalam mengurangi perhatian terhadap produk dan proses, dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.

Dari penerapan FMEA pada perusahaan, maka akan dapat diperoleh keuntungan-keuntungan yang sangat bermanfaat untuk perusahaan, (*Ford Motor Company, 1992*) antara lain:

- Meningkatkan kualitas, keandalan, dan keamanan produk
- Membantu meningkatkan kepuasan pelanggan
- Meningkatkan citra baik dan daya saing perusahaan
- Menurangi waktu dan biaya pengembangan produk
- Memperkirakan tindakan dan dokumen yang dapat mengurangi resiko

Sedangkan manfaat khusus dari *Process* FMEA bagi perusahaan adalah:

- Membantu menganalisis proses manufaktur baru.
- Meningkatkan pemahaman bahwa kegagalan potensial pada proses manufaktur harus dipertimbangkan.

- Mengidentifikasi defisiensi proses, sehingga para *engineer* dapat berfokus pada pengendalian untuk mengurangi munculnya produksi yang menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan yang diinginkan atau pada metode untuk meningkatkan deteksi pada produk yang tidak sesuai tersebut.
- Menetapkan prioritas untuk tindakan perbaikan pada proses.
- Menyediakan dokumen yang lengkap tentang perubahan proses untuk memandu pengembangan proses manufaktur atau perakitan di masa datang.

Output dari *Process* FMEA adalah:

- Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses.
- Daftar *critical characteristic* dan *significant characteristic*.
- Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya dan untuk meningkatkan deteksi terhadap produk cacat bila kapabilitas proses tidak dapat ditingkatkan.

FMEA merupakan dokumen yang berkembang terus. Semua pembaharuan dan perubahan siklus pengembangan produk dibuat untuk produk atau proses. Perubahan ini dapat dan sering digunakan untuk mengenal mode kegagalan baru. Mengulas dan memperbaharui FMEA adalah penting terutama ketika:

- Produk atau proses baru diperkenalkan.
- Perubahan dibuat pada kondisi operasi produk atau proses diharapkan berfungsi.
- Perubahan dibuat pada produk atau proses (dimana produk atau proses berhubungan). Jika desain produk dirubah, maka proses terpengaruh begitu juga sebaliknya.
- Konsumen memberikan indikasi masalah pada produk atau proses.

Salah satu tools yang bisa digunakan dalam quality management adalah *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA). FMEA adalah suatu metodologi dalam menganalisa masalah kualitas yang muncul sejak di

tahap pengembangan. Dengan demikian, maka tindakan koreksi bisa langsung diambil, dan desain langsung bisa diperbaiki. FMEA awalnya mengklasifikasikan jenis failure mode yang muncul, kemudian menentukan dampaknya terhadap produksi, kemudian menjalankan tindakan koreksi.

Dalam menjalankan FMEA, yang langkah-langkahnya akan dijelaskan nanti, terlebih dahulu kita harus memahami 3 variabel utama, yakni:

1. Severity, yakni rating yang mengacu pada besarnya dampak serius dari suatu potential failure mode.
2. Occurrence, yakni rating yang mengacu pada berapa banyak frekuensi potential failure terjadi
3. Detection, yakni mengacu pada kemungkinan metode deteksi yang sekarang dapat mendeteksi potential failure mode sebelum produk tersebut dirilis untuk produksi.

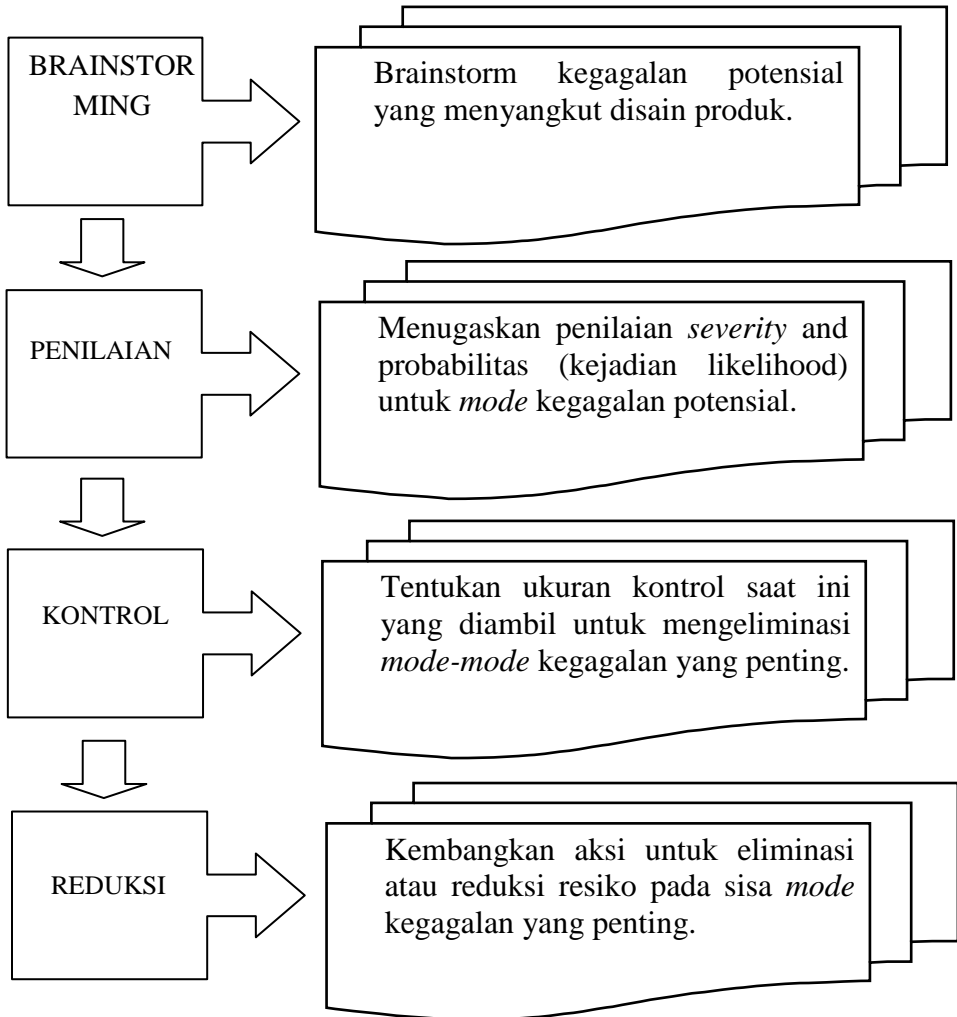
Metode FMEA mengenal apa yang disebut dengan Risk Priority Number (RPN), yakni angka yang bakal menggambarkan area mana yang perlu jadi prioritas perhatian kita. RPN diukur berdasarkan pertimbangan rating dari ketiga faktor diatas, yakni severity, occurrence, dan detection.

$$\text{RPN} = \text{rating severity} \times \text{rating occurrence} \times \text{rating detection}$$

Anda harus melakukan suatu tindakan koreksi, seandainya severity menunjukkan angka 9 atau 10, karena dampaknya akan sangat serius, dan berpotensi menghasilkan kerugian yang sangat besar. severity rating x occurrence rating menghasilkan angka yang tinggi tidak ada aturan khusus, lakukan judgement sendiri berdasarkan analisa RPN

3.5.2. Proses FME

Untuk dapat mengetahui jenis kegagalan dan bagaimana cara untuk melakukan perbaikan dengan metode FMEA, maka di bawah ini adalah proses-proses FMEA;



Gambar 3.26 Proses FMEA

Tabel 3.3 FMEA (Failure Mode & Effects Analysis)

Failure Mode and Effect Analysis																
Assy Name	Deck-Assembly		Model Name	LG-VCR		PJT Name	W-PJT		Purpose	Obtaining reliable quality						
Key Date	1997.4.22-28		Supervisor	Mr. Lee		Participant	Mr Lee, Mr Lee, Mr. Kim, Mr. Baek									
Item/Function	Potential Failure Mode	Potential Effect of Failure	Sev.	Potential cause/ Mechanism of failure	Occur	Current Design Controls	Detection	R,P,N	Recommended Actions	operator	Cp, Cpk, Ppk, Dppm	Action taken	Action Results			
													Sev	Occ	Det	R,P,N
101 Holder Assy, CST	Fail-off	Tape no insert	6	Guide projection little/breakdown	6	In assembling Holder, CST, Holder, Side(L)	2	72	In CST Holder, Stopper installation	Mr. Lee	2/10	In CST Holder Stopper change	6	2	1	10
	Incomplete settlement Modify	Tape Damage, noise Tape insert unstable	6 6	Bent Forced	6 6	inner width parallel	5 6	180 216					6 6	3 4	3 5	45 100
	Wrong operation	function wrong operation	6	static electricity	2	Screw joint	8	96	Embossing add-up on the holder	Mr. Lee	"	Embossing add-up	6	1	6	24
1001 Holder, CST	Drift	Tape insert unstable	4	abnormal size	2	shape(Bending Holder, Side assembly)	4	32	same on the above	Mr. Lee	"	same on the above	4	1	2	8
1002 Holder, Side(L)	Fail-off	Tape no insert	6	Bent	6	Guide Boss 2-3	3	108	CST Holder Sto	Mr. Lee	2/10	Boss axes distance change	6	2	2	16
	Noise	odd noise breakout	4	Rail design unstable	6	same on the above	7	168	opper structure design Boss distance between axes	Mr. Kim	5/30		4	3	5	45
	Breakdown	Tape no insert	6	Weak shape. Incomplete R.treatment.	6	same on the above	5	180	C/S item control. 1st Guide Boss R treatment. (Screw 4 spots joint structure apply. Falling test wreckage Yes/No verification (W/S-))	Mr. Baek	2/10 test 5/30 IQC continue	1st Guide Boss R treatment. (Screw 4 spots joint structure apply. Falling test pass)	6	5	3	75
1004 Plate, Spring	Tape scratch	Tape surface scratch	2		2	shape(Caulk	4	16		Mr. Lee	2/10	insert part improvement	2	1	2	4
	Tape slipped	Unstable tape settlement	4	Spring power strong	6	-ing-Holder	4	96	Spring power control (CS control item)				4	2	2	16
	Spring fail-off	Unstable tape settlement	6	Spring power weak Opposite gap big	2	-er Side assembly)	6	72	insert part structure improvement design (if size comes out, it's OK)				6	1	3	15

FMEA, atau Mode Kegagalan dan Analisis Efek, lanjut mengidentifikasi dan mengevaluasi cacat yang berpotensi dapat mengakibatkan mengurangi kualitas produk. Cacat dalam metodologi didefinisikan sebagai sesuatu yang mengurangi kecepatan atau kualitas di mana produk atau layanan dikirimkan ke pelanggan senang. Sementara teknik Six Sigma diimplementasikan untuk menemukan dan mengurangi variabel dalam proses yang menyebabkan fluktuasi non-acak, FMEA digunakan untuk menemukan dan memprioritaskan aspek dari proses

yang menuntut perbaikan dan juga untuk menganalisis statistik keberhasilan solusi preemptive.

Proses pemetaan dicapai dengan grafis pemetaan area perusahaan atau organisasi Anda yang menunjukkan masalah dan menunjukkan apa dan di mana input dan output penting pada setiap tahap proses. Misalnya, langkah proses sederhana menggali lubang melibatkan sekop dan lokasi (input), dan ukuran lubang tertentu (output). Potensi kegagalan adalah dibuat ketika output yang dihasilkan yang mengandung kesalahan (cacat). Efek ini kemudian dialami oleh beberapa daerah yang berkaitan dengan proses pelanggan, pengguna akhir dari produk, atau stasiun menerima produk yang terletak di antara pelanggan dan pengguna akhir. Setelah semua mode kegagalan yang dicatat dan dianalisis secara statistik, korelasi dan teknik regresi digunakan untuk membandingkan modus untuk menemukan titik-titik lemah yang perlu perbaikan.

Kegagalan Mode dan Analisis Efek diperiksa menggunakan spreadsheet yang mengkategorikan data yang ditemukan ketika menerapkan strategi ini. Daftar juga dibuat yang menyediakan panduan langkah demi langkah untuk mengikuti ketika mengevaluasi proses peta yang meliputi:

1. Tahapan proses kunci
2. Mungkin kegagalan mode untuk setiap tahap
3. Efek ini modus kegagalan
4. Keparahan efek pada skala 1-10
5. Identifikasi penyebab modus kegagalan
6. Identifikasi kontrol yang digunakan untuk mendeteksi masalah
7. Analisis statistik data yang dikumpulkan
8. Alokasi tindakan yang diperlukan untuk individu yang bertanggung jawab
9. Re-evaluasi proses

Salah satu manajer tingkat atas keluhan terbesar miliki ketika FMEA digunakan untuk menilai proses adalah bahwa hal itu disimpan jauh setelah selesai dan tidak lagi disebutkan ketika masalah tambahan

saja terjadi dalam proyek-proyek tambahan berkembang. FMEA adalah dianggap sebagai Six Sigma Alat dinamis dan sepotong informasi berharga yang berisi implikasi menguntungkan mengenai produk atau proses produk. Ini harus lebih dimanfaatkan ketika masalah serupa terjadi dalam proyek-proyek masa depan, yang dapat menghemat waktu, uang dan pengeluaran tidak berguna energi dan tenaga kerja.

BAB 4

PROSES PENGUKURAN (*MEASURE*)

Setelah kita berhasil mendefinisikan permasalahan (define Process), langkah selanjutnya dalam metodologi Six Sigma adalah melakukan pengukuran (measurement process). Dimana langkah ini fokus pada pemahaman kinerja proses yang dipilih untuk diperbaiki pada saat ini, serta pengumpulan semua data yang dibutuhkan untuk analisis.

Proses pengukuran bertujuan untuk tingkat kecacatan produk yang mungkin dipengaruhi oleh tingkat repeatability dan reproductibility (variansi peralatan dan variansi operator) serta untuk mengetahui kemampuan proses atau kinerja dari proses produksi. Pada tingkatan proyek Six Sigma, indicator kualitas produk dan jasa difokuskan pada output dari proses manufaktur dan jasa, maka dari itu pengukuran ini dilakukan pada kinerja proses. Indicator yang umum digunakan dalam pengukuran kualitas Six Sigma adalah ketidaksesuaian per unit atau cacat per unit.

4.1. Definisi Peroduk Defect

Untuk dapat mendefinisikan produk yang kita hasilkan memenuhi spesifikasi kualitas dari konsumen atau tidak, atau dengan kata lain cacat atau tidak, manajemen atau perusahaan harus mendapatkan suara konsumen atau voice of customer (VOC). Dari VOC manajemen dapat mengidentifikasi atribut kualitas yang diinginkan oleh konsumen atau sering disebut dengan Critical To Quality (CTQ).

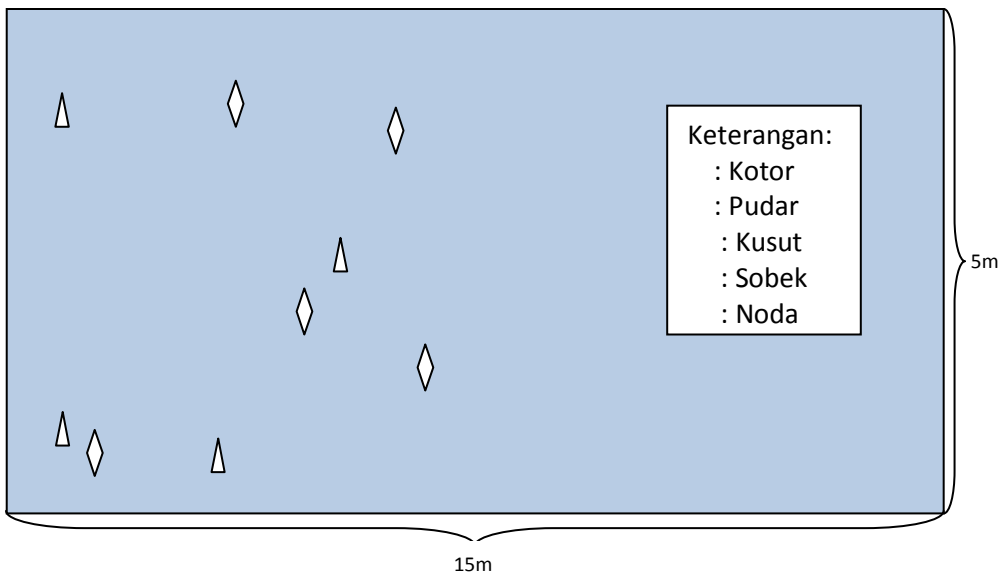
Setelah didapatkan CTQ, langkah selanjutnya adalah mengukur tingkat kualitas dari proses kinerja yang berhubungan dengan CTQ tersebut, tujuannya adalah agar produk yang dihasilkan dari proses tersebut terjaga kualitasnya. Beberapa metode yang dapat membantu proses pengukuran ini antara lain adalah metode check sheet dan metode sampling.

4.1.1. Check Sheet

Check-sheet merupakan dokumen sederhana yang digunakan untuk mengumpulkan data secara real-time di lokasi data tersebut berada. Dokumen ini didesain supaya dapat mengumpulkan informasi yang diinginkan secara mudah, baik kualitatif dan kuantitatif. Tujuan pembuatan lembar pengecekan adalah menjamin bahwa data dikumpulkan secara teliti dan akurat oleh karyawan operasional untuk diadakan pengendalian proses dan penyelesaian masalah, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 menunjukkan adanya jenis dan jumlah cacat di produk baju yang harus dilihat berapa jumlah dan jenis kecacatannya dengan menggunakan check sheet. Data dalam lembar pengecekan tersebut nantinya akan digunakan dan dianalisis secara cepat dan mudah.

Check Sheet mempunyai dua tujuan utama :

1. Untuk membuat pengumpulan data menjadi mudah.
2. Untuk penyusunan & pengolahan data selanjutnya, sehingga dapat dipakai dengan mudah.



Gambar 4.1 Pemeriksaan Cacat Pada Kain

Setelah diketahui jenis cacat yang ada pada suatu produk, langkah selanjutnya adalah menghitung jumlah dan jenis cacat dari produk tersebut kedalam lembar check sheet seperti yang terlihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Check Sheet

Lembar pemeriksaan kualitas Pekerjaan:1 Pemeriksa:Rodin		
Problem	Frekuensi	jumlah
Kotor	III III III III	18
Pudar	III III III III	20
Kusut	III III	10
Sobek	III	5
Noda	III III III III III	25

Dalam melakukan pengukuran tentunya kita harus memperhatikan jumlah sampel yang kita gunakan untuk dijadikan untuk pengujian tingkat kualitas produk yang kita hasilkan. Mengingat jenis pengujian adakalanya yang bersifat merusak dan sifat pengujian merupakan aktivitas yang sebenarnya non added value, maka dibutuhkan metode sampling agar biaya pada saat pengukuran tidak terlalu besar dan membutuhkan waktu yang lama. Metode sampling ini harus dapat mewakili sejumlah populasi yang ada, yaitu jumlah sampel yang digunakan untuk melakukan ujian harus mewakili jumlah seluruh produk yang diproduksi, maka dari itu akan dibahas mengenai metode sampling pada sub bab 4.1.2 di bawah ini.

4.1.2. Metode Sampling

Sering kali kita harus mengembangkan suatu penelitian atau pengujian data produksi terhadap suatu populasi yang sangat besar. Akan tetapi,

karena batasan-batasan waktu dan biaya, bisaanya hal ini menjadi tidak praktis atau tidak mungkin dilakukan pada seluruh populasi. Sampling secara statistic memungkinkan kita untuk mengumpulkan informasi tentang suatu populasi tanpa harus meneliti seluruh populasi.

Pada Six Sigma, sampling bisa diterapkan diseluruh area. Penerapannya meliputi pengujian hipotesis, pembuatan model distribusi probabilitas, ANOVA, rancangan eksperimen, validasi system pengukuran dan analisis regresi. Sampling dapat digunakan untuk mengukur populasi dan parameter proses (misalnya rata-rata, variasi, dan perbandingan) secara efisien dan ekonomis.

Salah satu keuntungan menggunakan teknik sampling adalah kita bisa menentukan tingkat akurasi dan ketepatan uji statistic kita sebelum disebarkan.

4.1.2.1. Jenis Sampel

Ada dua jenis sampel, yaitu judgmental dan statistical. Sample judgmental dipilih berdasarkan pendapat analisis dan hasil penelitiannya akan digunakan untuk menarik kesimpulan tentang item-item dalam sampel, yaitu pada obsevasi sesungguhnya.

Sampel statistical dipilih secara acak dari seluruh populasi dan hasil penelitiannya dapat digunakan untuk menarik kesimpulan tentang seluruh populasi. Tabel 4.2 menjelaskan perbedaan antara keduanya.

Tabel 4.2 Sampling Judgmental Vs Statistical

Sampel Judgmental	Sampel Statistical
Sampel dipilih berdasarkan pengetahuan dan pengalaman	Sampel dipilih secara acak
Hanya sebagian kecil dari populasi yang diikutsertakan dalam proses seleksi	Seluruh populasi dikutsertakan dalam proses seleksi
Sampel dianggap mewakili populasi	Sampel mewakili seluruh populasi

4.1.2.2. Jenis Data

Data diklasifikasikan menjadi dua kategori umum, yaitu data atribut dan data variabel. Ketika menggunakan data atribut, fokusnya adalah untuk mempelajari satu atau lebih ciri-ciri non-numerik dari populasi yang menjadi sampel. Contoh kategori atribut adalah merah atau hijau, rusak atau tidak rusak, dan sebagainya. Dengan menggunakan data variabel, perhitungan numerik diperoleh dari satu atau lebih dari ciri-ciri dari populasi yang menjadi sampel. Contohnya adalah diameter, panjang, jumlah hari, dan sebagainya.

4.1.2.3. Jumlah Sampel

Pada saat bekerja menggunakan data atribut, kunci utama ukuran sampel adalah ketepatan sampel (perbandingan populasi yang digunakan dalam perhitungan besar sampel – mengacu pada formula untuk memperkirakan besar sampel dengan data atribut).

Pada saat menggunakan data variabel, ketepatan sampel dan varian populasi berpengaruh paling besar dalam besarnya sampel. Populasi-populasi yang mempunyai nilai varian tinggi memerlukan ukuran sampel yang lebih besar dari pada populasi yang memiliki varian rendah untuk ketepatan sampel yang digunakan. Pada kedua kategori data, atribut dan variabel, semakin tinggi nilai ketepatan sampel yang diharapkan, semakin besar juga ukuran sampel yang dibutuhkan.

4.1.2.4. Teknik Sampel

Ada beberapa teknik sampling yang umum digunakan dalam pengujian tingkat kualitas pada level Six Sigma antara lain adalah sebagai berikut:

a. Sampel acak sederhana

Sample benar-benar dipilih secara acak, yaitu setiap item dalam populasi memiliki kesempatan yang sama untuk diikutsertakan menjadi sampel, hal ini merupakan bentuk sampling yang paling sederhana dan umum digunakan dalam penilaian nilai populasi.

b. Sampel acak berjenjang

Populasi dibagi menjadi lebih dari satu lapisan (stratum) dan setiap item secara acak dipilih dari masing-masing lapisan. Di sini, setiap item dalam populasi mempunyai kesempatan (tidak harus sama) untuk diikutsertakan menjadi sampel. Pendekatan ini biasanya digunakan untuk mengurangi ukuran sampel secara keseluruhan dalam populasi dengan tingkat varian yang besar. Sampling ini juga bisa digunakan dalam strategi untuk mengurangi resiko dengan lebih menitikberatkan pada pemilihan sampel-sampel yang berada dalam lapisan beresiko tinggi.

c. sampel sistematis

Sampel-sampel dipilih berdasarkan urutan yang sebelumnya sudah ditentukan dan dipilih karena mereka diproduksi melalui sebuah proses. Sampling sistematis umumnya digunakan untuk memilih sampel dari proses manufaktur untuk kepentingan monitor dan control, juga di dalam transaksi, misalnya transaksi-transaksi nasabah di bank.

4.1.2.5. Formula Untuk Menentukan Besar Sampel

a. Formula atau model matematik untuk menentukan besar sampel untuk jenis data atribut:

$$n = \left(\frac{2Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}}{\omega} \right)^2 \cdot p \cdot q$$

Dimana:

n adalah jumlah sampel

Z adalah nilai z yang berhubungan dengan level kepercayaan yang diinginkan

ω adalah ketepatan yang diharapkan dari sampel (tingkat kesalahan)

p adalah perbandingan populasi (gunakan 0,5 jika tidak diketahui)

q adalah (1-p)

Contoh: berapa besar sampel yang dibutuhkan untuk menilai perbandingan invoice yang salah dengan ketepatan sampel +/- 2% pada level kepercayaan 95%?

$$n = \left(\frac{2Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}}{\omega} \right)^2 \cdot p \cdot q$$

$$n = \left(\frac{2.1,96}{0,02} \right)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5$$

$$n = 2.401$$

Agar sampel anda menilai dalam kisaran +/- 2% dari nilai populasi sebenarnya dan dengan level kepercayaan 95%, maka 2.401 item harus dipilih secara acak dari populasi yang akan diukur. Dari sini terbukti semakin kecil tingkat kesalahan dari sampel maka semakin tinggi data yang dibutuhkan.

b. Formula untuk memperkirakan besar sampel untuk jenis data variabel:

$$n = \left(\frac{2Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\sigma}{\omega} \right)^2$$

n adalah jumlah sampel

Z adalah nilai z yang berhubungan dengan level kepercayaan yang diinginkan (lihat tabel 3.2)

ω adalah ketepatan yang diharapkan dari sampel (tingkat kesalahan)

σ adalah standar deviasi populasi (atau perkiraan atas σ)

Tabel 4.3 Level Kepercayaan

Level kepercayaan (%)	Nilai $Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$
99	2,58
95	1,96
90	1,65
80	1,28

Contoh: berapa besar sampel yang dibutuhkan untuk menilai rata-rata invoice yang belum terbayar dalam rentang +/- \$10 pada level kepercayaan 90% dan dengan standar deviasi \$65?

$$n = \left(\frac{2Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\sigma}{\omega} \right)^2$$

$$n = \left(\frac{21,65 \cdot \$65}{\$20} \right)^2$$

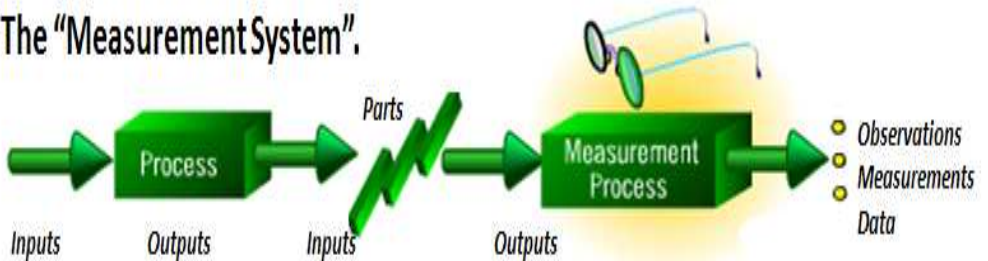
$$n = 115$$

4.2. Gage R & R

Pengukuran adalah Penentuan angka yang menggambarkan suatu sifat tertentu kepada suatu benda, Sistem pengukuran adalah Kesatuan dari prosedur, peralatan, personil yang digunakan untuk menentukan angka yang menggambarkan suatu sifat tertentu kepada suatu benda. Tujuan dari system pengukuran adalah :

- Memisahkan ‘variasi karena sistem pengukuran’ dari ‘variasi proses’
- Variasi proses yang sebenarnya dapat diketahui, sebagai pijakan untuk meningkatkan kinerja proses
- Mengidentifikasi sumber dan penyebab-penyebab variasi karena sistem pengukuran
- Mengurangi kemungkinan misklasifikasi produk

-- The "Measurement System".



Gambar 4.2 Measurement System

Variasi dalam system pengukuran terjadi karena beberapa hal antara lain adalah:

- Bisa, adalah perbedaan antara hasil pengukuran dengan nilai referensi
- Linearity adalah perbedaan antara nilai bisa disepanjang rentang operasi pengukuran
- Stability adalah Variasi yang dihasilkan sama bila pengukuran dilakukan berulang-ulang dalam jangka waktu yang cukup panjang
- Repeatability adalah Angka yang menunjukkan besarnya variasi bila pengukur yang sama, dengan alat yang sama, mengukur objek yang sama berulang-ulang.
- Reproducibility adalah Angka yang menunjukkan besarnya variasi bila beberapa pengukur, dengan alat yang sama, mengukur objek yang sama

Analisis pengukuran dengan menggunakan gage r&r dimaksudkan untuk mengetahui tingkat repeatability dan reproductibility (variansi peralatan dan variansi operator) yang disebabkan karena proses pengukuran. Tujuan utama dari Gage R&R Study pada proyek 6s adalah

untuk menentukan apakah data yang digunakan pada proyek dapat dipercaya. GR&R Study dapat juga digunakan untuk:

- Evaluasi peralatan pengukur baru
- Membandingkan satu metode pengukuran terhadap yang lain
- Evaluasi suatu metode yang diduga tidak sempurna
- Identifikasi dan memecahkan problem variasi sistem pengukuran

$$\sigma^2_{\text{Total}} = \sigma^2_{\text{Product}} + \sigma^2_{\text{Measurement}}$$

Total Observed
Variation of data Variation due to Part
Differences Variation due to the
Measurement System

4.2.1. Perencanaan Gage R&R Study

1. Identifikasi Tipe Data

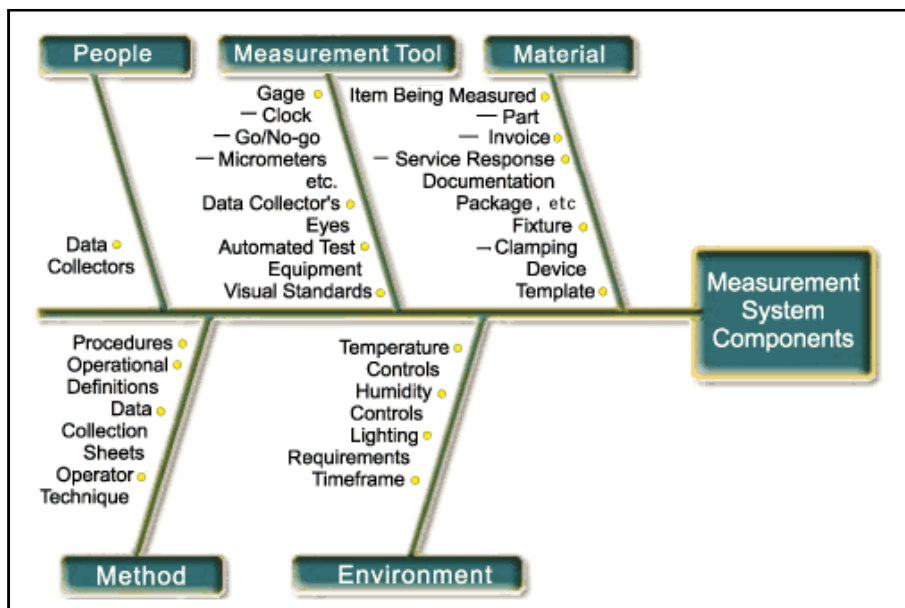
- Data kontinyu dari suatu pengukuran tidak merusak
- Data Kontinyu dari suatu pengukuran bersifat merusak
- Data Diskrit Berpasangan (hanya dua pilihan)
- Data Diskrit (lebih dari dua pilihan)
- Data Bukan Pengukuran (tidak dari suatu pengukuran – seperti data penjualan dan data keuangan)
- Data Survey

2. Identifikasi sumber Variasi

Beberapa hal yang harus kita perhatikan dalam mengidentifikasi sumber variasi antara lain adalah:

- a. Pertimbangkan waktu untuk memperbaiki data dari suatu proses pelayanan konsumen.
- b. Identifikasi apa yang menyebabkan variasi
- c. Apakah variasi berkaitan dengan perbedaan waktu perbaikan?
- d. Dapatkah variasi disebabkan oleh kesalahan pengukuran (kesalahan peralatan)?

Cause and Effect Diagrams dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber potensial dari variasi dalam proses pengukuran. Sistem pengukuran yang digunakan untuk mendapatkan data waktu perbaikan mempunyai lima sumber variabilitas, orang, alat pengukuran, material, metode, dan lingkungan. Gambar 4. 3 menunjukkan contoh penggunaan fishbone diagram.



Gambar 4.3 Diagram Sebab Akibat

3. Pilih Sampel

Kontinyu

- Pilih sampel dari keseluruhan pengamatan yang diharapkan. Variasi sampel harus representatif dari variasi proses yang sebenarnya/nyata.
- Pilih beberapa sampel yang keluar dari spesifikasi.

Kontinyu (dari test yang bersifat merusak)

- Pilih sampel homogen (minimalkan kedalaman variasi sampel) dari keseluruhan range dari Select homogeneous samples (minimize

within sample variation) from the entire range dari pengamatan yang diharapkan.

Diskrit

- Pilih spesifikasi sebaik sampel yang out-of-spec
- Pilih beberapa sample yang dekat dengan batas spesifikasi (marginal)

Data bukan-Pengukuran dan Data Survey

- Pilih sampel yang representatif

4. Kumpulkan Data

- Gunakan prosedur pengukuran khusus
 - Memastikan kalibrasi peralatan
 - Memastikan peralatan mempunyai resolusi yang cukup
- Menentukan berapa banyak angka/bilangan penting yang ingin dicatat.
- Gunakan sedikitnya tiga operator
- Biasanya mengukur 10 unit
- Setiap unit diukur 2 – 3 kali oleh masing-masing operator.

5. Analisa Data

Data Kontinyu

- Format Ringkas
- ANOVA (Minitab Gage R&R Study)

Data Diskrit

- Data Berpasangan yang sesuai (hanya 2 pilihan)
- Diskrit yang sesuai (lebih dari 2 pilihan)
- Validasi Data
- Validasi Survey

4.2.2. Cara mengerjakan Gage R&R dengan Cara Manual

Pada setiap system pengukuran idealnya akurasi, pengulangan dan reproduksibilitas dapat diukur dan dievaluasi secara akurat. Akurasi dapat diukur dengan cara membandingkan rata-rata pengukuran yang diamati dengan nilai sebenarnya dari standar nilai referensi. Berikut

rumusan untuk mengukur tingkat repeatability (variasi peralatan), reproducibility (variasi operator), dan Gage R&R.

a. Repeatability (Variasi Peralatan)

Pengukuran repeatability (equipment variation), dinotasikan dengan EV , dan dirumuskan sebagai berikut:

$$EV = \bar{R}xK_1$$

Dimana:

EV : equipment variation

\bar{R} : rata-rata *range*

K_1 : *adjustment faktor* dari

Nilai K_1 didapatkan dari rumusan di bawah ini:

$$K_1 = \frac{v}{d_2}$$

Dimana:

v : adalah nilai pengali (4, 5.15, dan 6)

d_2 : adalah faktor for center line (lihat pada lampiran), nilainya tergantung pada jumlah percobaan (2-4)

b. Reproducibility (Variasi Operator)

Pengukuran Reproducibility (Variasi Operator), dinotasikan dengan AV , dan dirumuskan sebagai berikut:

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} x K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}}$$

Dimana:

AV : appraiser variation

\bar{X}_{diff} : perbedaan antara rata-rata operator yang maksimum dan rata-rata operator yang minimum

K_2 : adalah adjustment faktor, dimana

$$K_2 = \frac{v}{d_2^*}$$

n : jumlah part (sampel)

r : jumlah percobaan

d_2^* : adalah faktor for center line untuk operator (lihat pada lampiran)

c. Gage R&R.

Pengukuran dari repeatability dan reproducibility, dinotasikan dengan $R\&R$, dengan rumus sebagai berikut:

$$R\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

d. Part-to-part variation (PV),

$$PV = R_p \times K_3$$

Dimana R_p adalah range of part averages and K_3 adalah adjustment faktor

$$K_3 = \frac{v}{d_2^*}$$

e. Total variation (TV)

$$TV = \sqrt{(R \& R)^2 + (PV)^2}$$

Untuk menentukan apakah system pengukuran acceptable, maka dilakukan prosentase dari *process variation*, adapun rumusannya adalah sebagai berikut:

$$\%EV = 100 \frac{EV}{TV}$$

$$\%AV = 100 \frac{AV}{TV}$$

$$\%R \& R = 100 \frac{R \& R}{TV}$$

$$\%PV = 100 \frac{PV}{TV}$$

Catatan: jumlah prosentase diatas bukan berarti harus berjumlah 100%, artinya bisa lebih dan bisa juga kurang.

Barrentine (1991) memberikan tolak ukur pada data yang sifatnya acceptable:

$\geq 10\%$	= Sangat baik
11% sampai 20%	= Memadai
21% sampai 30%	= Sedikit yang dapat diterima
over 30%	= unacceptable

Contoh:

Dilakukan pengukuran terhadap suatu produk terhadap diameternya dengan dua kali percobaan, tiga operator, dan sepuluh sampel. Dengan data sebagai berikut:

Operator	Percobaan									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0.630	1.000	0.830	0.860	0.590	0.980	0.960	0.860	0.970	0.640
	0.590	1.000	0.770	0.940	0.510	0.980	0.960	0.830	0.970	0.720
B	0.560	0.104	0.800	0.820	0.430	1.000	0.940	0.720	0.980	0.560
	0.560	0.960	0.760	0.780	0.430	1.040	0.900	0.740	0.940	0.520
C	0.510	1.050	0.810	0.810	0.460	1.040	0.950	0.810	1.030	0.840
	0.540	1.010	0.810	0.810	0.490	1.000	0.950	0.810	1.030	0.810

Operator:	A	AMIN SYUKRON	B	SYIFAUL UMMAH	C	ANISA FITRIA SY
-----------	---	--------------	---	---------------	---	-----------------

No Operators: 3 Tolerance: 0.5
Number of Trials: 2 Number of Parts: 10

Operator	Trial Number	Part										Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	1	0.63	1.00	0.83	0.86	0.59	0.98	0.96	0.86	0.97	0.64	0.83
	2	0.59	1.00	0.77	0.94	0.51	0.98	0.96	0.83	0.97	0.72	0.83
	3											
	Average	0.61	1.00	0.80	0.90	0.55	0.98	0.96	0.85	0.97	0.68	X-bar
Range	0.04	0.00	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.03	0.00	0.08	R-bar	0.04

Operator	Trial Number	Part										Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
B	1	0.56	0.10	0.80	0.82	0.43	1.00	0.94	0.72	0.98	0.56	0.69
	2	0.56	0.96	0.76	0.78	0.43	1.04	0.90	0.74	0.94	0.52	0.76
	3											
	Average	0.56	0.53	0.78	0.80	0.43	1.02	0.92	0.73	0.96	0.54	X-bar
Range	0.00	0.86	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04	R-bar	0.11

Operator	Trial Number	Part										Average
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
C	1	0.51	1.05	0.81	0.81	0.46	1.04	0.95	0.81	1.03	0.84	0.83
	2	0.54	1.01	0.81	0.81	0.49	1.00	0.95	0.81	1.03	0.81	0.83
	3											
	Average	0.53	1.03	0.81	0.81	0.48	1.02	0.95	0.81	1.03	0.83	X-bar
Range	0.03	0.04	0.00	0.00	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	R-bar	0.02

Part Average	0.57	0.85	0.80	0.84	0.49	1.01	0.94	0.80	0.99	0.68	R_p	0.52
---------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------	-------------

Repeatability (Variasi Peralatan)

$$EV = \bar{R}xK_1$$

$$EV = \frac{0.04 + 0.11 + 0.02}{3} x K_1$$

Nilai K_1 didapatkan dari rumusan di bawah ini:

$$K_1 = \frac{5.15}{4.56}$$

$$K_1 = 0.25$$

$$EV = \frac{0.04 + 0.11 + 0.02}{3} x 0.25$$

$$EV = 0.014$$

Reproducibility (Variasi Operator)

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} x K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}}$$

$$AV = \sqrt{\left(\frac{0.83 + 0.73 + 0.83}{3} x K_2\right)^2 - \frac{(0.014)^2}{10 x 2}}$$

$$K_2 = \frac{5.15}{1.716}$$

$$K_2 = 3.00$$

$$AV = \sqrt{((0.83 - 0.73) \times 3.00)^2 - \frac{(0.014)^2}{10 \times 2}}$$

$$AV = \sqrt{0.09 - \frac{(0.014)^2}{10 \times 2}}$$

$$AV = \sqrt{0.09}$$

$$AV = 0.3$$

Gage R&R.

$$R\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

$$R\&R = \sqrt{(0.014)^2 + (0.3)^2}$$

$$R\&R = \sqrt{0.090}$$

$$R\&R = 0.3$$

Part-to-part variation (PV),

$$PV = R_p \times K_3$$

Dimana R_p adalah range of part averages and K_3 adalah adjustment faktor

$$K_2 = \frac{5.15}{1.716}$$

$$K_2 = 3.00$$
$$PV = 0.52 \times 3$$

$$PV = 1.56$$

Total variation (*TV*)

$$TV = \sqrt{(0.3)^2 + (1.56)^2}$$

$$TV = 1.58$$

$$\%EV = 100 \frac{0.014}{1.58} = 0.8\%$$

$$\%AV = 100 \frac{0.3}{1.58} = 18.98\%$$

$$\%R \& R = 100 \frac{0.3}{1.58} = 18.98\%$$

$$\%PV = 100 \frac{1.56}{1.58} = 98.73\%$$

4.3. Analisis Kemampuan Proses

Aktivitas yang mencakup teknik statistik yang digunakan sepanjang putaran proses produk yang meliputi pengembangan sebelum produksi, untuk kuantifikasi variabilitas proses, analisis variabilitas

relative terhadap persyaratan atau spesifikasi produk yang berguna untuk membantu pengembangan dan produksi dalam menghilangkan atau mengurangi banyaknya variabilitas disebut analisis kemampuan proses. Kemampuan proses berkenaan dengan keseragaman proses yang meliputi variabilitas yang menjadi sifat atau alami pada waktu tertentu; yakni variabilitas “seketika” dan variabilitas yang meliputi “waktu”.

Metode penyelidikan dan penilaian proses pada umumnya menggunakan penyebaran 6-sigma dalam distribusi karakteristik kualitas produk sebagai ukuran kemampuan proses. Karakteristik kualitas proses berdistribusi normal menggunakan mean μ dan deviasi standar σ . “Batas toleransi alami” atas dan bawah masing-masing jatuh pada $\mu + 3\sigma$ dan $\mu - 3\sigma$.

Kemampuan proses bisaanya mengukur parameter fungsional pada produk, bukan pada proses itu sendiri. Penganalisa harus dapat mengamati proses secara langsung dan dapat mengendalikan dan memantau aktivitas pengumpulan data serta dapat mengetahui urutan waktu data sehingga dapat menetapkan stabilitas proses terhadap waktu. Jadi analisis kemampuan proses adalah teknik yang mempunyai penerapan dalam banyak bagian dari putaran produk, termasuk rancangan produk dan proses, asal mula penjualan, perencanaan produksi dan produksi.

Analisis kemampuan proses dikenal adanya batas-batas spesifikasi. Batas spesifikasi ditentukan berdasarkan kebutuhan pelanggan, disebut juga batas toleransi. Analisis kemampuan proses membedakan kesesuaian dengan batas-batas toleransi.

Cara membuat analisis kemampuan proses, antara lain :

- 1) Rasio kemampuan proses atau Indeks Kemampuan Proses (Process Capability Ratio atau Capability Process Index / Cp)

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6s}$$

Di mana :

- USL = *Upper specification limit* = batas spesifikasi atas
- LSL = *Lower specification limit* = batas spesifikasi bawah
- 6s = enam simpangan baku

Dari hasil perhitungan tersebut apabila :

- Cp > 1 proses masih baik (*capable*)
- Cp < 1 proses tidak baik (*not capable*)
- Cp = 1 proses = spesifikasi konsumen

2. Index Kemampuan Proses Atas dan Kemampuan Proses Bawah (*Upper and lower capability index*)

$$\text{CPU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

$$\text{CPL} = \frac{\mu - USL}{3\sigma}$$

CPU : perbandingan dari rentang atas rata-rata

CPL : perbandingan rentang bawah rata-rata.

3. Indeks Kemampuan Proses (Cpk Index)

Indeks Kemampuan Proses di atas mengukur kemampuan potensial, dengan tidak memperhatikan kondisi rata-rata proses. Rata-rata proses tersebut diasumsikan sama dengan titik tengah dari batas-batas spesifikasi dan proses berada pada kondisi *in statistical control*. Kenyataannya, nilai rata-rata tidak selalu berada di tengah, sehingga perlu mengetahui variasi dan lokasi rata-rata proses. Nilai Cpk mewakili

kemampuan sesungguhnya dari suatu proses dengan parameter nilai tertentu

Nilai Cpk diformulasikan dengan :

$$Cpk = \min \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right) = \text{Min} (Cpu, Cpl)$$

Bila $Cpk \geq 1$ Proses disebut baik (capable)
 $Cpk \leq 1$ Proses kurang baik (not capable)

Nilai cpk ini menunjukkan kemampuan sesungguhnya dari proses dengan nilai-nilai parameter yang ada. Apabila nilai rata-rata yang sesungguhnya sama dengan nilai tengah, maka sebenarnya nilai Cpk = nilai Cp. Semakin tinggi indeks kemampuan proses maka semakin sedikit produk yang berada di luar batas-batas spesifikasi.

Ada beberapa hal yang digunakan sebagai gambaran dalam analisis kemampuan proses dan nilai indeks Cpk, yaitu :

- 1) Nilai rasio kemampuan proses tidak dapat berubah seperti perubahan pusat proses
- 1) Nilai rasio kemampuan proses sama dengan Indeks Cpk apabila proses berada pada kondisi terpusat
- 2) Nilai indeks Cpk selalu sama atau lebih kecil daripada nilai rasio kemampuan proses
- 3) Standar Cpk secara de facto sama dengan 1, yang menunjukkan bahwa proses menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi
- 4) Nilai Cpk lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa proses menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi
- 5) Nilai rasio kemampuan proses lebih kecil dari 1 menunjukkan proses tidak baik atau tidak layak
- 6) Nilai Cpk sama dengan 0 menunjukkan rata-rata nilai Cpk sama dengan 1 berarti sama dengan batas spesifikasi

- 7) Nilai Cpk negatif menunjukkan rata-rata berada di luar spesifikasi
- 8) Nilai rasio kemampuan proses yang dikehendaki adalah lebih besar atau sama dengan 1
- 9) Nilai rasio kemampuan proses sama dengan 1 berarti bentangan proses sama dengan spesifikasi.

Tabel 4.4. Indeks Kemampuan Proses (Cp) dan Produk yang di Luar Batas-batas Spesifikasi

Indeks kemampuan proses (Cp)	Banyaknya produk yang berada diluar kedua sisi batas-batas spesifikasi
0,5	13,36%
0,67	4,55%
1,00	0,3%
1,33	64 ppm
1,63	1 ppm
2,00	0

Dari tabel 4.4. tampak bahwa semakin besar nilai Cp, maka semakin sedikit produk yang berada di luar spesifikasi.

Tabel 4.5 Indeks Kemampuan Proses dan Indeks Kinerja Proses

Kemampuan Proses	Kinerja Proses
$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$	$= \frac{USL - LSL}{6s}$
$Cpk = \min \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - USL}{3\sigma} \right)$	$Cpk = \min \left(\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - USL}{3\sigma} \right)$

Ada dua indeks kemampuan proses dalam Tabel 4.5. yang bisa digunakan, dimana semakin tinggi nilai indeks, semakin sedikit produk yang berada di luar spesifikasi.

Analisis kemampuan proses ini hanya dapat digunakan untuk pengendalian mutu proses data variabel, untuk pengendalian mutu proses data atribut analisis ini tidak dapat dilakukan , karena dalam pengendalian mutu proses data atribut ini telah ada pada nilai garis pusat atau nilai pada garis pusatnya

Analisis kemampuan proses dapat dilakukan dengan mempelajari kekuatan proses dan mempelajari kinerja proses. Untuk memahami kekuatan proses dan kinerja proses, berikut contoh kecil mengenai hasil analisis kekuatan proses dan kinerja proses. Jika diasumsikan proses dalam kondisi *in statistical control* dengan nilai $\bar{R} = 6,0$ dan sampel yang diambil setiap kali observasi 6 unit. Dengan menggunakan batas kemampuan proses $\pm 3 \sigma$, maka :

$$S = \frac{\bar{R}}{d2} = \frac{6,0}{2,534} = 2,37$$

Dan $\pm 3 s = \pm 3 (2,37) = 7,11$, atau bila $\pm 6 s = 14,22$ atau 0,0142 pada unit data sesungguhnya. Bila spesifikasi $0,258 \pm 0,005$ atau USL = 0,263 dan LSL = 0,253, maka :

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{0,263 - 0,253}{0,0142} = 0,704$$

Apabila proses berada pada kondisi *out of statistical control* dan penyebabnya tidak dapat dihilangkan, maka deviasi standard dan batas-batas kemampuan proses dapat dihitung dengan memasukkan data yang berada di luar batas pengendalian. Batas-batas pengendalian ini dapat ditingkatkan karena proses tidak beroperasi dengan baik. Sementara itu, harus dibedakan pula proses yang berada pada kondisi *in statistical control* dan proses yang memenuhi spesifikasi .

Proses yang berada pada kondisi *in statistical control* bukan berarti produk dari proses tersebut sesuai dengan spesifikasi. Batas-batas pengendalian statistik pada rata-rata sampel tidak dapat dibandingkan dengan batas-batas spesifikasi. Karena batas-batas spesifikasi berlaku untuk unit-unit secara individu.

Untuk mengukur kinerja proses dengan indeks Cpk dapat digunakan contoh berikut ini. Apabila diketahui USL = 103,5 dan LSL = 94,5 dengan periode proses selama satu bulan dan tidak ada data yang *out of control*, didapatkan $\bar{X} = 98,2$ dan $s = 0,98$. Dalam mengukur kinerja proses ini proses harus sudah berada pada kondisi *in statistical control* dan menggunakan rentang waktu yang lebih lama daripada dalam pengukuran kekuatan proses. Indeks Cpk diperoleh adalah :

$$Cpk = \min \left(\frac{103,5 - 94,5}{3(0,98)}, \frac{98,2 - 94,5}{3(0,98)} \right) = (3,06 ; 1,26)$$

$$= 1,26$$

Cpk merupakan pemendekan dari dua parameter, yaitu rata-rata dan standar deviasi. Untuk meningkatkan nilai Cpk diperlukan perubahan rata-rata proses dan standar deviasi atau penyimpangan standar proses, atau keduanya. Penilaian Cpk dapat juga menggunakan indeks Cpm. Indeks Cp mini mengukur kemampuan disepular nilai target T, bukan nilai rata-rata. Apabila nilai target sama dengan nilai rata-rata, maka nilai indeks Cpm akan sama dengan nilai indeks Cpk.

Contoh :

$$X = 20,864 \quad R = 3,5$$

Bila konsumen menetapkan spesifikasi sebesar 20 ± 4 , maka

$$Cpk = \min \left\{ \frac{24 - 20,864}{3\sigma}, \frac{20,864 - 16}{3\sigma} \right\}$$

$$\text{Dimana : } \sigma = \frac{\overline{R}}{d2} = 1,505$$

Sehingga $Cpk = 0,695$.

$Cpk < 1$, maka ada situasi yang tidak diinginkan atau ada masalah yang menyebabkan timbulnya cacat. Berapakah proporsi kesalahannya ? Hal ini dapat dicari dengan menggunakan nilai standard normal (Z) untuk nilai USL dan LSL, yaitu :

$$ZA = \frac{24,20,864}{1,505} = 2,08$$

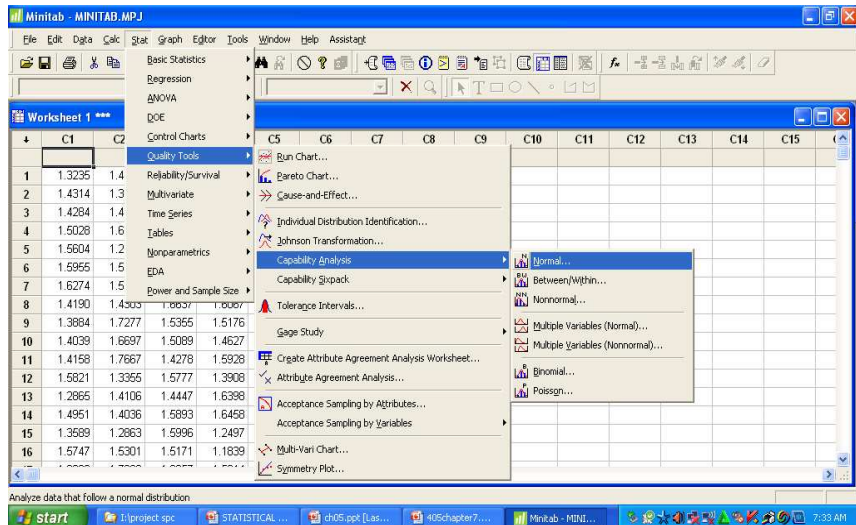
Dari tabel normal dapat diketahui bahwa 0,0188 atau 1,88% kesalahan atau cacat berada diatas USL

$$ZB = \frac{16 - 20,864}{1,505} = - 3,23$$

Dari tabel normal dapat diketahui bahwa 0,0006 atau 0,06% kesalahan atau cacat berada dibawah LSL

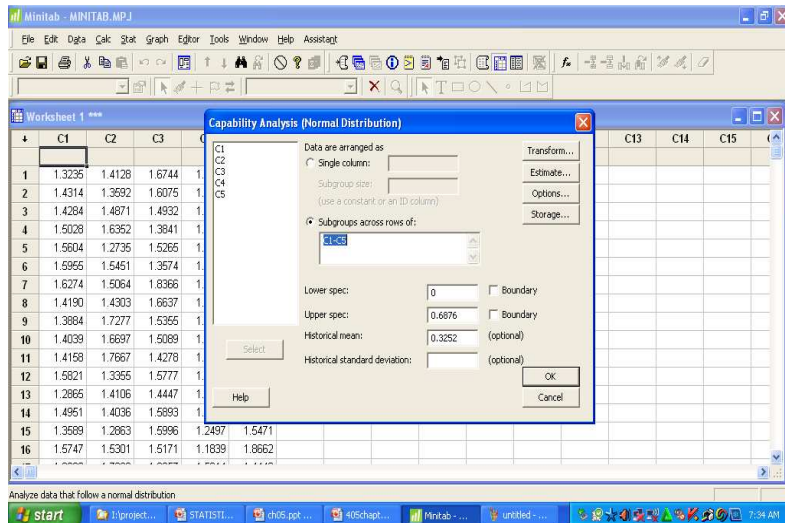
Kapabilitas proses bisa diselesaikan dengan menggunakan software minitab dan langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Masukkan data hasil data pengamatan yang bersifat variable, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini, dan kemudian pilih stat>> Quality tools>> Quality Analysis>> Normal. Dapat dilihat pada gamba 4.6



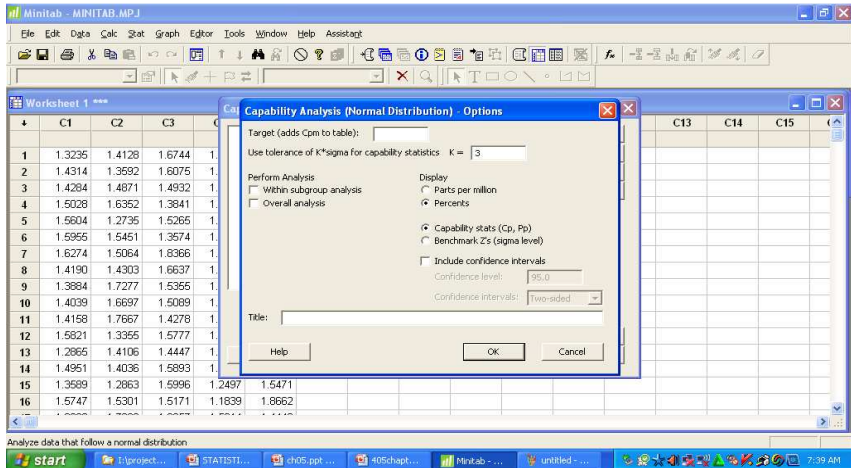
Gambar 4.6 Entri Data Capability Process

2. Isikan subgroup seperti gambar 4.7 dibawah ini.



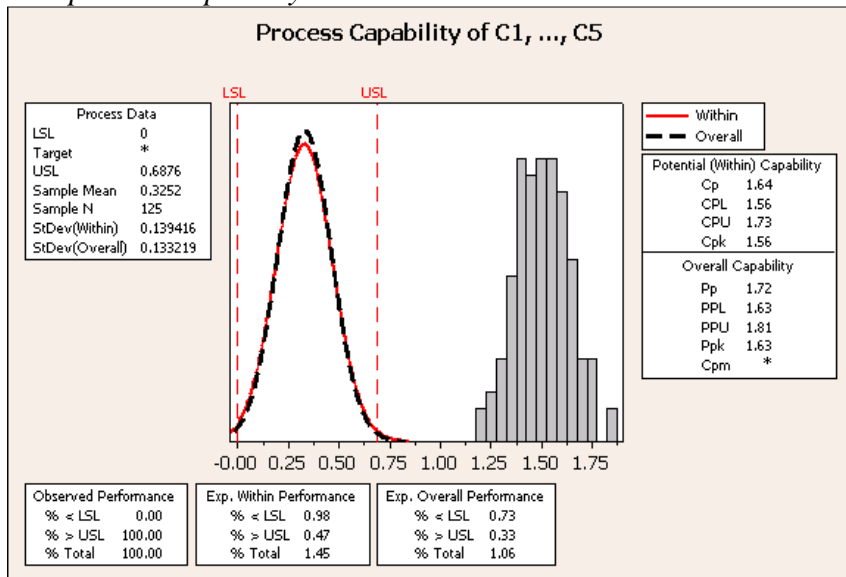
Gambar 4.7 Sub Grup

3. Isikan toleransi yang digunakan (ukuran sigma)



Gambar 4.8 Ukuran Siga

4. Setelah selesai, maka klik ok, maka anda akan mendapatkan hasil dari *process capability*



Gambar 4.9 Kemampuan Proses

BAB 5

PROSES ANALISIS

Yang dilakukan pada tahap analisis adalah menjelaskan sasaran perbaikan 'Y' atau tujuan dan menjelaskan faktor mana yang mempengaruhi target tersebut. Untuk itu beberapa metode yang dapat digunakan dalam tahap analisis antarlain uji hipotesis dan analisis regresi akan dijelaskan pada bab ini.

5.1. Pengujian Hipotesis

Hipotesis adalah pernyataan tentang nilai parameter suatu distribusi probabilistik. Contohnya, misalnya kita menyangka bahwa mean diameter dalam suatu bantalan adalah 1.500 inc. Kita dapat mengungkapkan pernyataan ini dalam cara yang formal sebagai :

$$H_0 : \mu = 1,500$$

$$H_1 : \mu \neq 1,500$$

Umumnya hipotesis dilakukan dalam satu dari tiga cara yaitu :

1. nilai-nilai mungkin hasil dari fakta atau pengetahuan yang lalu.
2. Nilai-nilai itu mungkin hasil dari suatu teori atau model proses itu.
3. Nilai-nilai yang dipilih bagi parameter itu mungkin merupakan hasil dari spesifikasi perjanjian atau rancangan.

Jadi, prosedur uji hipotesis statistik dapat digunakan untuk memeriksa kesesuaian parameter proses dengan nilai yang ditentukan, atau untuk membantu dalam mengubah proses sampai nilai yang diinginkan tercapai.

Pada Six Sigma, pengujian hipotesis digunakan untuk menilai kinerja proses (rata-rata dan variansi) secara relative terhadap sebuah standar atau spesifikasi, menentukan apakah terdapat perbedaan-

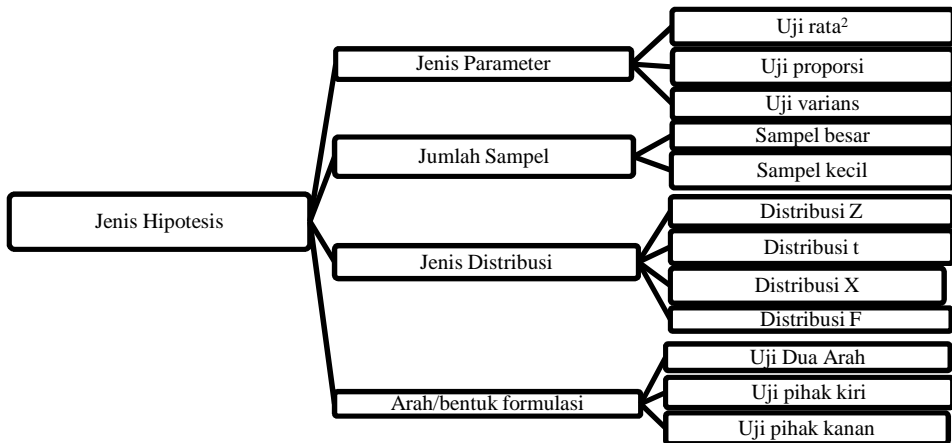
perbedaan yang terjadi selama proses, menguji peningkatan proses dengan membandingkan data yang lama dan yang baru.

Pengujian hipotesis menggunakan dua kondisi yang bertolak belakang, hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternative (H_a). Hipotesis nol menyatakan bahwa tidak ada perbedaan antara nilai-nilai sampel dan parameter populasi yang diuji, sedangkan hipotesis alternative menyatakan bahwa dapat perbedaan antara nilai-nilai sampel dan parameter populasi yang di uji. hipotesis yang baik harus memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Hipotesis harus menyatakan hubungan
2. Hipotesis harus sesuai dengan fakta
3. Hipotesis harus sesuai dengan ilmu
4. Hipotesis harus dapat diuji
5. Hipotesis harus sederhana
6. Hipotesis harus dapat menerangkan fakta

5.1.1. Jenis Hipotesis

Jenis hipotesis bisa dibagikan menjadi empat jenis yaitu berdasarkan parameter, jumlah sampel, jenis distribusi, dan bentuk formulasi. Secara singkat dapat dilihat pada gambar 5.1 di bawah ini.

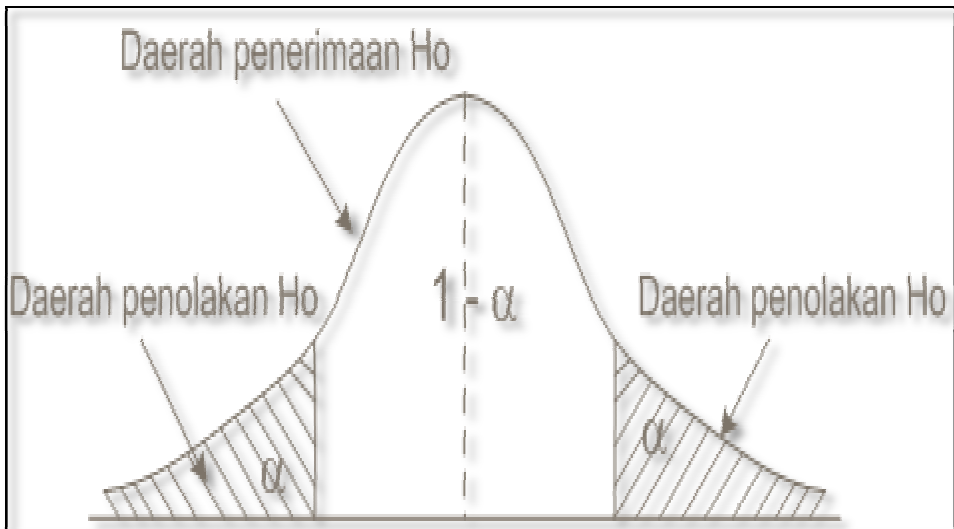


Gambar 5.1 Jenis Uji Hipotesis

1. Berdasarkan Jenis Parameter
 - a. Pengujian hipotesis tentang rata-rata
contoh :
 - pengujian hipotesis satu rata-rata
 - pengujian hipotesis beda dua rata-rata
 - pengujian hipotesis beda tiga rata-rata
 - b. Pengujian hipotesis tentang proporsi
contoh :
 - pengujian hipotesis satu proporsi
 - pengujian hipotesis beda dua proporsi
 - pengujian hipotesis beda tiga proporsi
 - c. Pengujian hipotesis tentang varian
 - pengujian hipotesis satu varian
 - pengujian hipotesis kesamaan dua varian
2. Berdasarkan Jumlah Sampelnya
 - a. Pengujian hipotesis sampel besar, pengujian hipotesis yang menggunakan *sampel $n > 30$*
 - b. Pengujian hipotesis sampel kecil, pengujian hipotesis yang menggunakan *sampel $n \leq 30$*
3. Berdasarkan Jenis Distribusinya
 - a. Pengujian hipotesis dengan ***Distribusi Z***, pengujian hipotesis yang menggunakan distribusi Z sebagai Uji statistik. Contoh :
 1. Uji Hipotesis satu dan beda dua rata-rata sampel besar
 2. Uji Hipotesis satu dan beda dua proporsi
 - b. Pengujian hipotesis dengan ***Distribusi t***, pengujian hipotesis yang menggunakan distribusi t sebagai Uji statistik. Contoh : Uji Hipotesis satu dan beda dua rata-rata sampel kecil
 - c. Pengujian hipotesis dengan ***Distribusi c^2*** , pengujian hipotesis yang menggunakan distribusi c^2 sebagai Uji statistik. Contoh :

1. Uji Hipotesis beda tiga proporsi
 2. Uji Hipotesis independensi
 3. Uji Hipotesis kompatibilitas
- d. Pengujian hipotesis dengan **Distribusi F**, pengujian hipotesis yang menggunakan distribusi F sebagai Uji statistik. Contoh :
1. Uji Hipotesis beda tiga rata-rata
 2. Uji Hipotesis kesamaan dua varians
- e. Berdasarkan arah atau bentuk formulasinya
- Pengujian hipotesis dua pihak (*two tail test*) pengujian hipotesis dimana hipotesis nol berbunyi “sama dengan” dan alternative berbunyi “tidak sama dengan”.

Ho : $q = q_0$
 H₁ : $q \neq q_0$



Gambar 5.1 Hipotesis Dua Arah

➤ Pengujian hipotesis pihak kiri / sisi kiri

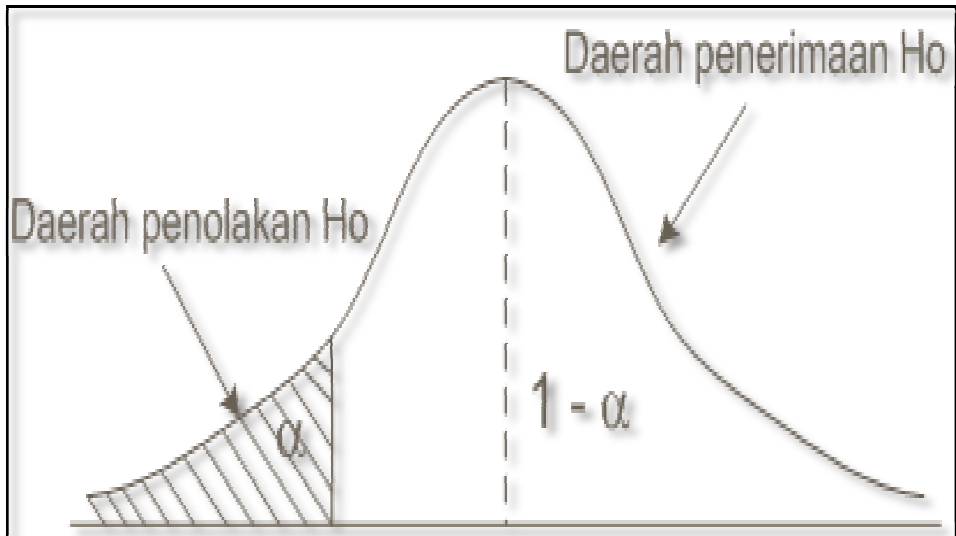
$H_0 : q = q_0$

$H_1 : q < q_0$

Atau

$H_0 : q \geq q_0$

$H_1 : q \leq q_0$



Gambar 5.2 Hipotesis Sisi Kiri

➤ Pengujian hipotesis pihak kanan/sisi kanan

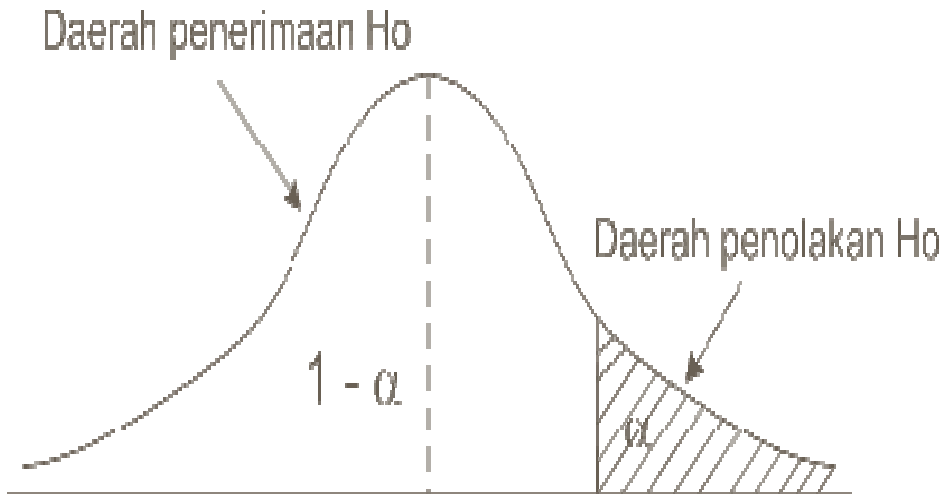
$H_0 : q = q_0$

$H_1 : q > q_0$

Atau

$H_0 : q \leq q_0$

$H_1 : q \geq q_0$



Gambar 5.3 Hipotesis Sisi Kanan

5.1.2. Masalah Uji Hipotesis

Beberapa masalah uji hipotesis dalam penerapan pengendalian kualitas, yang akan dipandang dari beberapa keadaan sebagai berikut :

1. Perbandingan mean apabila variansi diketahui
 2. Perbandingan mean distribusi normal apabila variansi tidak diketahui.
 3. Perbandingan variansi distribusi normal
 4. Perbandingan parameter binomial
 5. Perbandingan parameter Poisson.
1. Uji tentang Mean Variansi Diketahui
 - Uji hipotesis untuk satu populasi mean (μ) tidak diketahui = nilai standar(μ_0)

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$
 - Diuji dengan sampel random dengan n observasi pada variabel random x

$$Z_0 = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$$

tolak $H_0 : |Z_0| > Z_{\alpha/2}$ (distribusi normal standar)

- Berdasarkan teorema limit pusat bahwa mean sampel \bar{x} berdistribusi mendekati $N(\mu; \sigma^2/n)$. Bila $H_0 : \mu = \mu_0$ benar, maka Z_0 mendekati distribusi $N(0;1)$, nilai Z_0 diantara $-Z_{\alpha/2}$ dan $Z_{\alpha/2}$. Bila diluar batas ini H_0 ditolak.
- Hipotesis alternatif satu sisi menolak $H_0 : \mu = \mu_0$ bila $Z_0 > Z_{\alpha}$; maka $H_0 : \mu > \mu_0$ $H_0 : \mu < \mu_0$ bila $Z_0 < -Z_{\alpha}$; maka $H_0 : \mu < \mu_0$
- Uji hipotesis untuk dua populasi mean (μ_1 & μ_2) tidak diketahui & variansi diketahui (σ_1^2 & σ_2^2) dan diambil sampel random untuk tiap populasi (n_1 & n_2). Tolak $H_0 : |Z_0| > Z_{\alpha/2}$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

dengan statistic pengujinya sebagai berikut:

$$Z_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(\sigma_1^2/n_1) + (\sigma_2^2/n_2)}}$$

Hipotesis alternatif satu sisi menolak $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ bila $Z_0 > Z_{\alpha}$; maka $H_0 : \mu_1 > \mu_2$, $H_0 : \mu_1 < \mu_0$ bila $Z_0 < -Z_{\alpha}$; maka $H_0 : \mu_1 < \mu_2$.

Contoh:

Kekuatan tekanan dalam botol-botol gelas yang digunakan sebagai tempat minuman berkarbonat merupakan karakteristik kualitas yang penting. Pengusaha minuman ingin mengetahui apakah mean kekuatan

tekanan melebihi 175 psi. Dari pengalaman yang lalu, dia mengetahui bahwa deviasi standar kekuatan tekanan adalah 10 psi. Pengusaha gelas memasukkan kotak-kotak berisi botol-botol ini kepada pengusaha minuman, yang tertarik untuk menguji hipotesis.

$$H_0 : \mu = 175$$

$$H_1 : \mu > 175$$

Sampel random dengan 25 botol dipilih. Rata-rata sampel () = 182 psi

—————

Apabila dinyatakan kesalahan tipe I (resiko produsen) $\alpha = 0.05$. Diperoleh $Z_\alpha = 1.645$. Maka H_0 ditolak. Kesimpulannya mean kekuatan tekanan botol-botol itu melebihi 175 psi

2. Uji Tentang Mean Distribusi Normal, Variansi Tidak Diketahui
 Variabel random normal (X) dengan mean μ dan variansi σ^2 tidak diketahui. Hipotesisnya:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Variabel berdistribusi Normal dengan statistik pengujian distribusi t dengan simpangan baku s secara matematis dirumuskan seperti dibawah ini:

—————

—————

Hipotesis nol akan ditolak apabila $t > t_{\alpha;n-1}$ dengan $t_{\alpha;n-1}$ dan titik persentase α atas distribusi t dengan df $(n - 1)$.

Contoh:

Edison Electric Institute telah menerbitkan angka banyaknya kilowatt-jam tahunan yang digunakan oleh berbagai peralatan rumah tangga. Dikatakan bahwa alat penyedot debu menggunakan rata-rata 46 kilowatt-jam per tahun. Bila sampel acak 12 rumah disertakan dalam rancangan penelitian dan menunjukkan bahwa penyedot debu menggunakan rata-rata 42 kilowatt-jam per tahun dengan simpangan baku 11,9 kilowatt-jam, apakah ini menunjukkan pada taraf keberartian 0,05 bahwa penyedot debu menggunakan pada rata-ratanya kurang dari 46 kilowatt-jam setahun? Anggap bahwa populasi kilowatt-jam berdistribusi normal.

Jawab:

Hipotesis:

$H_0 : \mu = \text{kilowatt-jam}$

$H_1 : \mu < 46 \text{ kilowatt-jam}$

Dengan alfa (α) 0,05 maka daerah kritis distribusi $t < -1,796$, jika

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$$

dengan $v = 11$ ($n-1$), maka

$$t = \frac{42 - 46}{\frac{11,9}{\sqrt{12}}} = -1,16$$

Kesimpulannya, terima H_0 karena $t < t_{\alpha;n-1}$, artinya bahwa banyaknya rata-rata penggunaan kilowatt-jam per tahun penyedot debu tidak berbeda secara berarti dengan 46.

Jika terdiri dari dua populasi normal dengan mean μ_1 & μ_2 dan variansi σ_1^2 & σ_2^2 tidak diketahui, hipotesisnya:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Prosedur uji tergantung pada apakah $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$, variansi diperoleh dengan mengkombinasikan atau menggabung taksiran dua sampel random n_1 & n_2 , maka statistik pengujinya:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}}$$

H_0 ditolak apabila $t > t_{\alpha/2; n_1 + n_2 - 2}$ untuk jenis hipotesisnya searah, dan tolak H_0 jika $-t_{\alpha/2; n_1 + n_2 - 2} < t < t_{\alpha/2; n_1 + n_2 - 2}$ untuk hipotesis dua arah.

Contoh:

Suatu percobaan dilakukan untuk membandingkan keausan karena gosokan dua bahan yang dilapisi. Duabelas bahan 1 diuji dengan memasukkan tiap potong bahan kedalam mesin pengukur aus. Sepuluh potong dari bahan 2 diuji dengan cara yang sama. Hasil dari uji coba tersebut dihasilkan rata-rata keausan dari bahan 1 adalah 85 satuan dengan simpangan baku 4, sedangkan bahan 2 memberikan rata-rata keausan sebanyak 81 satuan dengan simpangan baku 5. Dapatkah disimpulkan bahwa pada taraf 0,05 keausan bahan 1 melampaui keausan bahan 2 sebanyak 2 satuan? Anggap kedua populasi hampir normal dengan variansi yang sama.

Jawab:

Dengan alfa (α) 0,05 maka daerah kritis distribusi $t > 1,796$, jika

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

dengan $v = 20$ ($n-1$), maka

$$s_p^2 = \frac{4^2(11) + 5^2(9)}{12 + 10 - 2}$$

$$s_p = 4,47$$

$$t = \frac{(85 - 81) - 2}{4,47 \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{10}}} = 1,04$$

Kesimpulannya, terima H_0 karena $t < t_{\alpha/2; n + n - 2}$, artinya bahwa keausan bahan 1 melampaui bahan 2 lebih dari 2 satuan.

Tabel 5.1 Uji Untuk Mean Populasi Normal

Hipotesis	Statistik Pengujian	Criteria Penolakan
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu \neq \mu_0$ $H_1: \mu < \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0$ Variansi (σ) diketahui	$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$	$z < -z_{\alpha/2} \text{ dan } z > z_{\alpha/2}$ $z < -z_{\alpha}$ $z > z_{\alpha}$
$H_0: \mu = \mu_0$ $H_1: \mu \neq \mu_0$ $H_1: \mu < \mu_0$ $H_1: \mu > \mu_0$ Variansi (σ) tidak diketahui	$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$	$t < -t_{\alpha/2} \text{ dan } t > t_{\alpha/2}$ $t < -t_{\alpha}$ $t > t_{\alpha}$
$H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 < d_0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 > d_0$ Variansi (σ_1 & σ_2) diketahui	$z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$	$z < -z_{\alpha/2} \text{ dan } z > z_{\alpha/2}$ $z < -z_{\alpha}$ $z > z_{\alpha}$

	$v(df) = n_1 + n_2 - 2$	
$H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 < d_0$ $H_1: \mu_1 - \mu_2 > d_0$ Variansi (σ_1 & σ_2) tidak diketahui	$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$ $s_p^2 = \frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}$	$t < -t_{\alpha/2} \text{ dan } t > t_{\alpha/2}$ $t < -t_{\alpha}$ $t > t_{\alpha}$

3. Uji Untuk Variansi Distribusi Normal

Jika kita ingin menguji bahwa variansi suatu populasi normal sama dengan suatu bilangan konstan misalnya σ_0^2 , hipotesisnya adalah

$$H_0 : \sigma^2 = \sigma_0^2$$

$$H_1 : \sigma^2 \neq \sigma_0^2$$

Dan statistik pengujian untuk hipotesis ini adalah

$$X_0^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$$

Dengan :

S^2 = variansi sampel yang dihitung dari sampel random

n = jumlah observasi

H_0 ditolak jika,

$$X_0^2 > X_{\sigma/2; n-1}^2 \text{ atau } X_0^2 < \overline{X}_{1-\sigma/2; n-1}^2$$

Dengan

$$\overline{X}_{\sigma/2; n-1}^2 \text{ atau } X_0^2 < \overline{X}_{1-\sigma/2; n-1}^2$$

Tabel 5.2 Uji Variansi Distribusi Normal

Hipotesis	Statistic penguji	Criteria penolakan
$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$ $H_1: \sigma^2 \neq \sigma_0^2$	$\chi_0^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2}$	$\chi_0^2 > \chi_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2$ atau $\chi_0^2 < \chi_{1-\frac{\alpha}{2}, n-1}^2$
$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$ $H_1: \sigma^2 < \sigma_0^2$		$\chi_0^2 < \chi_{1-\alpha, n-1}^2$
$H_0: \sigma^2 = \sigma_0^2$ $H_1: \sigma^2 > \sigma_0^2$		$\chi_0^2 > \chi_{1-\alpha, n-1}^2$
$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $H_0: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$	$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$	$F_0 > F_{\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_2-1}$ atau $F_0 < F_{1-\frac{\alpha}{2}, n_1-1, n_2-1}$
$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $H_0: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$		$F_0 < F_{\alpha, n_1-1, n_2-1}$
$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ $H_0: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$		$F_0 > F_{\alpha, n_1-1, n_2-1}$

Uji ini berguna dalam pengendalian kualitas. Misal suatu variabel random normal dengan mean μ dan variansi σ^2 . jika $\sigma^2 \leq$ maka perubahan yang merupakan sifat dasar proses itu akan ada dalam persyaratan rancangan, akibatnya hampir semua produk akan sesuai dengan spesifikasinya. Tapi jika $\sigma^2 >$ maka penyebaran dasar dalam proses itu akan melebihi batasa-batas spesifikasi yang menghasilkan persentasi produksi tidak sesuai.

Jika sampel random berukuran n_1 dan n_2 masing-masing diambil dari populasi satu atau dua, maka statistik pengjiannya adalah :

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Dan perbandingan dua variansi saampel sebagai berikut :

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

H_0 ditolak jika

$$F_0 > F_{\sigma/2;n_1-1;n_2-1} \text{ atau } F_0 < F_{1-(\sigma/2);n_1-1;n_2-1}$$

dengan

$$F_{(\sigma/2);n_1-1;n_2-1} \text{ dan } F_{1-(\sigma/2);n_1-1;n_2-1}$$

Masing-masing menunjukkan titik persentase atas $\sigma/2$ dan bawah $1 - (\sigma/2)$.

Contoh:

Jika kita akan menghipotesis bahwa variansi banyak kedua oktan bagi dua perumusan bensin dalam adalah sebagai berikut :

$$H_0 : \sigma^2 = \sigma^2$$

K: $H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ 06 maka statistik pengujinya adalah :

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{1,35}{1,06} = 1,2$$

4. Uji Untuk Parameter Binomial

Uji yang didasarkan atas pendekatan normal untuk binomial. Apabila sampel random dengan n benda diambil dan x benda diantaranya dalam sampel termasuk kelas yang berkaitan dengan p . Maka untuk menguji;

$$H_0 : p = p_0$$

$$H_1 : p \neq p_0$$

Gunakan statistik:

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{(x - 0,5) - np_0}{\sqrt{np_0(1 - p_0)}} & \text{apabila } x < np_0 \\ \frac{(x - 0,5) - np_0}{\sqrt{np_0(1 - p_0)}} & \text{apabila } x > np_0 \end{cases}$$

Contoh:

Pabrik pengecoran menghasilkan cor baja yang digunakan dalam industriomotif. Kita ingin menguji hipotesis bahwa bagian tak sesuai atau “rontok” dari proses ini adalah 10%. Dalam sampel random dengan 250 cor, terdapat 41 yang tak sesuai spesifikasi.

$$H_0 : p = p_0$$

Untuk menguji :

$$H_1 : p \neq p_0$$

Hitung statistik pengujian:

$$Z_0 = \frac{(x - 0,5) - np_0}{\sqrt{np_0(1 - p_0)}} = \frac{(41 - 0,5) - (250) \cdot (0,1)}{\sqrt{250(0,1)(1 - 0,1)}} = 3,27$$

Dengan menggunakan $\alpha = 0,05$, kita peroleh $Z_{0.025} = 1,96$. Maka $H_0 : p = 0,1$ ditolak yakni; bagian tak sesuai atau “rontok” proses itu tidak sama dengan 10%. Pendekatan Normal untuk menguji dua parameter binomial adalah:

$$H_0 : p_1 = p_2$$

$$H_1 : p_1 \neq p_2$$

Di mana:

n_1 = jumlah sampel dari populasi 1

n_2 = jumlah sampel dari populasi 2

x_1 & x_2 termasuk dalam kelas yang berkaitan dengan p

Penaksir untuk parameter binomial :

$$\hat{p}_1 = x_1 / n_1$$

$$\hat{p}_2 = x_2 / n_2$$

Bila H_0 diterima, maka :

$$\hat{p}_1 = \hat{p}_2 = p \implies \hat{p} = \frac{n_1 \hat{p}_1 + n_2 \hat{p}_2}{n_1 + n_2}$$

Rumus untuk menguji H_0 adalah :

$$Z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

To

$$|Z_0| > Z_{\alpha / 2}$$

Contoh :

Hasil pemeriksaan produk dari dua mesin yang berbeda sebagai berikut : mesin 1 dengan ukuran sampel 10 diperoleh bagian tak sesuai 10%, dari mesin 2 dengan ukuran sampel 12 diperoleh bagian tak sesuai 5%. Apakah parameter dari kedua hasil pemeriksaan tersebut sama?

Penyelesaian : $H_0 : p_1 = p_2$
 $H_1 : p_1 \neq p_2$

$$\hat{p} = \frac{n_1 p_1 + n_2 p_2}{n_1 + n_2} = \frac{(10)(0,10) + (12)(0,05)}{10 + 12} = 0,072$$

$$\text{Untuk } \alpha = 0,05 \text{ diperoleh } Z_0 = \frac{0,10 - 0,05}{\sqrt{0,072(1 - 0,072)\left(\frac{1}{10} + \frac{1}{12}\right)}} = 4,0849$$

Karena $Z_0 > |Z_0|$ maka H_0 ditolak, kesimpulannya, parameter dari kedua mesin tersebut berbeda secara signifikan pada $\alpha = 0,05$

5. Uji untuk Parameter Poisson

Kerap kali digunakan dalam pengendalian kualitas guna memodelkan terjadinya ketidaksesuaian atau cacat didalam suatu produk.

$$p(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

Dalam penerapan seperti itu, parameter λ dinamakan rata-rata tingkat terjadinya ketidaksesuaian. Dalam paragraf ini kita menyelidiki prosedur tentang parameter λ distribusi Poisson.

uji hipotesis :

$$H_0 : \lambda = \lambda_0$$

$$H_1 : \lambda \neq \lambda_0$$

Sampel random dengan n observasi diambil, misalnya x_1, x_2, \dots, x_n . Tiap (x_i) berdistribusi poisson dengan parameter λ ; selanjutnya , jumlah $x = x_1 + x_2 + \dots + x_n$ berdistribusi poisson dengan parameter $n\lambda$. Jika n besar, dapat menggunakan kenyataan bahwa $\bar{x} = x/n$ mendekati distribusi normal dengan mean λ dan variansi λ/n guna mengembangkan uji untuk H_0 Statistik pengujianya adalah:

$$z_0 = \frac{\bar{x} - \lambda_0}{\sqrt{\lambda_0 / n}}$$

Dan $H_0 : \lambda = \lambda_0$ akan ditolak apabila $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$

Contoh:

Suatu sampel random dengan tiga mesin fotokopi kantor masing-masing menghasilkan $x_1=3$, $x_2=1$ dan $x_3=6$ ketidaksesuaian per unit. Kita ingin menguji hipotesa

$$H_0 : \lambda = 1$$

$$H_1 : \lambda > 1$$

Uji yang digunakan memanfaatkan sifat ;

$x = x_1 + x_2 + x_3$ berdistribusi Poisson dengan parameter 3λ

Hitung :

$$\theta = 1 - F(x - 1)$$

Dimana :

$F(x - 1)$ diperoleh dari distribusi Poisson kumulatif dalam tabel dengan anggapan $H_0 : \lambda = \lambda_0$ benar.

θ adalah probabilitas akan terrealisasikanya sampel itu apabila H_0 benar, apabila $\theta \leq \alpha$, kita akan menolak $H_0 : \lambda = \lambda_0$.

$$x = x_1 + x_2 + x_3 = 3 + 1 + 6 = 10$$

dibawah H_0 , x mengikuti distribusi Poisson dengan parameter $3\lambda_0 = 3$
 $(1) = 3$ Dari tabel diperoleh:

$$F(x - 1) = F(9) = 0,998$$

$$\theta = 1 - F(x - 1) = 1 - 0,998 = 0,002$$

Karena $0,002 < \alpha = 0,05$, misalnya, maka hipotesis nol H_0 ditolak.

5.2. Analisis Regresi

Analisis regresi adalah sebuah pendekatan yang digunakan dalam mendefinisikan hubungan matematis antara sebuah variabel output (y) dan satu atau lebih variabel input (x). Hubungan matematis dinyatakan dalam bentuk model regresi yang dihubungkan untuk meramalkan nilai variabel output sebagai sebuah fungsi nilai variabel input.

Pada Six Sigma, analisis regresi digunakan untuk :

1. Memperkirakan tingkat output sebuah proses, contohnya hasil proses, contohnya hasil proses, kecacatan produk, dan lain sebagainya.
2. Menentukan hubungan matematis antara input proses dan output proses, contohnya adalah pengaruh temperatur (input) pada berat bagian plastik cetakan (output) dan pengaruh jam kerja dan ongkos produksi (input) terhadap harga produk atau layanan.
3. Memperkirakan kebutuhan sumber daya untuk memuaskan kebutuhan bisnis. Misalnya adalah untuk staf call center yang dibutuhkan untuk melayani pelanggan dengan berbagai tingkat permintaan, jumlah teknisi perawatan yang dibutuhkan untuk mendukung kegiatan produksi, dan sebagainya.
4. Memperkirakan siklus waktu produk atau layanan, contohnya jumlah waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan pengiriman dari pelanggan untuk produk pesanan, jumlah perwakilan layanan pelanggan yang dibutuhkan untuk merespon secara cepat pertanyaan pelanggan dan sebagainya.

5.2.1. Regresi Linier Sederhana

Regresi linier sederhana digunakan untuk menentukan hubungan matematis antara sebuah variabel input tunggal (x) dengan sebuah variabel output.

Persamaan Garis Regresi Sampel : $\hat{Y} = a + bX + e_i$

Dimana:

a adalah intercept (nilai y ketika x = 0).

b adalah tingkat perubahan y untuk setiap perubagahan unit x.

\hat{Y} adalah perkiraan nilai variable input.

e_i adalah nilai residu, pengukuran perbedaan antara nilai y asli dan perkiraan model regresi nilai y.

Ada beberapa metode dalam menyelesaikan permasalahan regresi antarlain dengan beberapa metode dibawah ini :

a. Metode Kuadrat Terkecil

$$Y_i = a + bX_i + e_i$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$a = \frac{\sum X_i^2 \sum Y_i - \sum X_i \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

b. Pendugaan parameter regresi

Garis linier yang menghubungkan dua peubah dengan bentuk yang sebenarnya :

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i$$

Nilai harapan :

$$\begin{aligned} E(Y_i) &= E(\alpha + \beta X_i + \epsilon_i) \\ &= E(\alpha + \beta X_i) + E(\epsilon_i) \\ &= \alpha + \beta X_i \end{aligned}$$

c. Ragam Kuadrat Terkecil

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X_i$$

$$s_{\hat{\alpha}}^2 = \sigma^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \right)$$

$$s_{\hat{\beta}}^2 = \frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Jika σ^2 tidak diketahui, maka diduga dengan s_e^2

$$s_e^2 = \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - 2}$$

Agar lebih memahami analisis regresi sederhana kita dapat menggunakan ilustrasi dalam contoh berikut ini:

No	Karbon CO (mg)	Nikotin (mg)	No	Karbon CO (mg)	Nikotin (mg)	No	Karbon CO (mg)	Nikotin (mg)
1	13.6	0.9	11	13	1	21	15.9	1
2	16.6	1.1	12	14.4	0.9	21	8.5	0.6
3	23.5	2	13	10	0.6	21	10.6	0.7
4	10.2	0.7	14	10.2	0.8	21	13.9	1
5	5.4	0.4	15	9.5	0.7	21	14.9	0.8
6	15	1	16	1.5	0.1			
7	9	0.8	17	18.5	1.3			
8	12.3	1	18	12.6	1.1			
9	16.3	1.1	19	17.5	1			
10	15.4	1	20	4.9	0.4			

$$\sum x_i y_i = 312$$

$$\sum x_i^2 = 22,21$$

$$\sum x_i = 21,9$$

$$\sum (x_i)^2 = 480$$

$$\sum y_i = 313$$

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$b = \frac{(25 \times 312) - (21,9 \times 313)}{(25 \times 22,21) - 480}$$

$$b = 12,56$$

$$a = \frac{\sum X_i^2 \sum Y_i - \sum X_i \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$a = \frac{(22,21 \times 313) - (21,9 \times 312)}{(25 \times 22,21) - 480}$$

$$a = 1,58$$

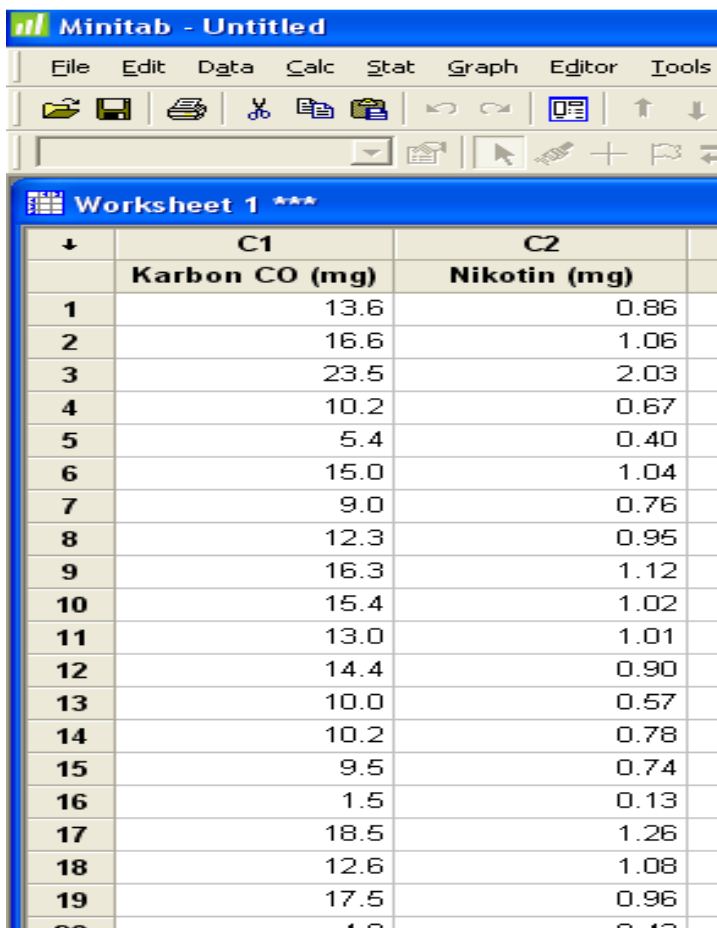
$$Y_i = a + bX_i + e_i$$

$$Y = 1,56 + 12,56 X + e$$

5.2.2. Regresi dengan Minitab

Dengan menggunakan software minitab dihasilkan grafik yang dapat dilihat dengan langkah-langkah sebagai berikut :

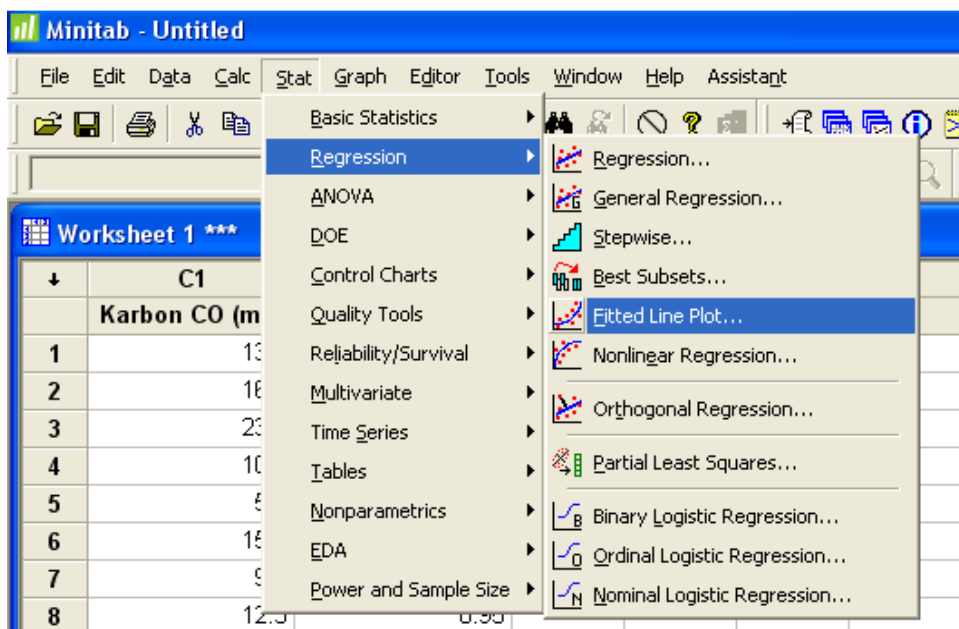
1. Masukan data seperti gambar di bawah ini



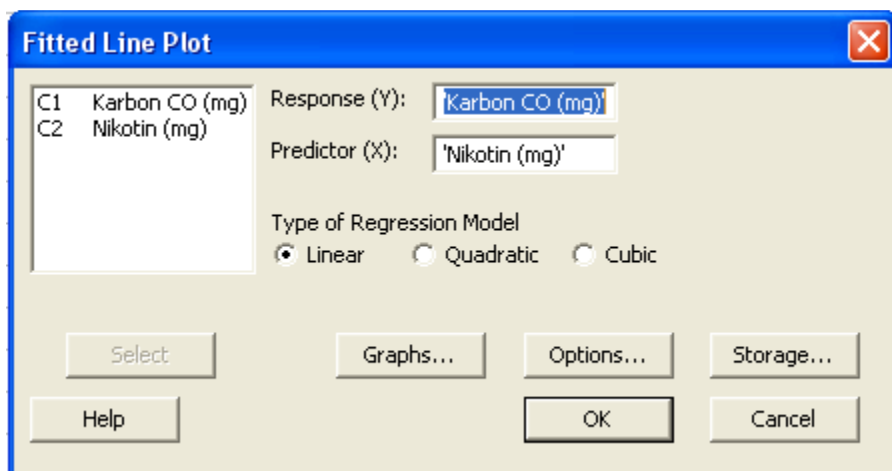
The screenshot shows the Minitab software interface with a worksheet titled 'Worksheet 1 ***'. The worksheet contains two columns of data: C1, labeled 'Karbon CO (mg)', and C2, labeled 'Nikotin (mg)'. The data is entered for 19 rows, numbered 1 through 19. The values for C1 range from 1.5 to 23.5, and the values for C2 range from 0.13 to 1.26.

	C1	C2
	Karbon CO (mg)	Nikotin (mg)
1	13.6	0.86
2	16.6	1.06
3	23.5	2.03
4	10.2	0.67
5	5.4	0.40
6	15.0	1.04
7	9.0	0.76
8	12.3	0.95
9	16.3	1.12
10	15.4	1.02
11	13.0	1.01
12	14.4	0.90
13	10.0	0.57
14	10.2	0.78
15	9.5	0.74
16	1.5	0.13
17	18.5	1.26
18	12.6	1.08
19	17.5	0.96

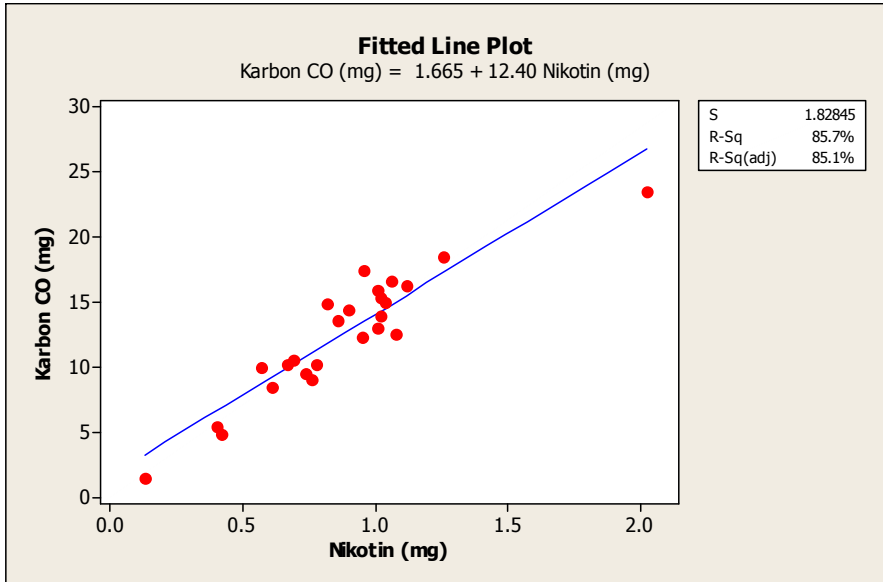
2. Pilih stat >> regrestion >> fitted line plot seperti gambar dibawah ini.



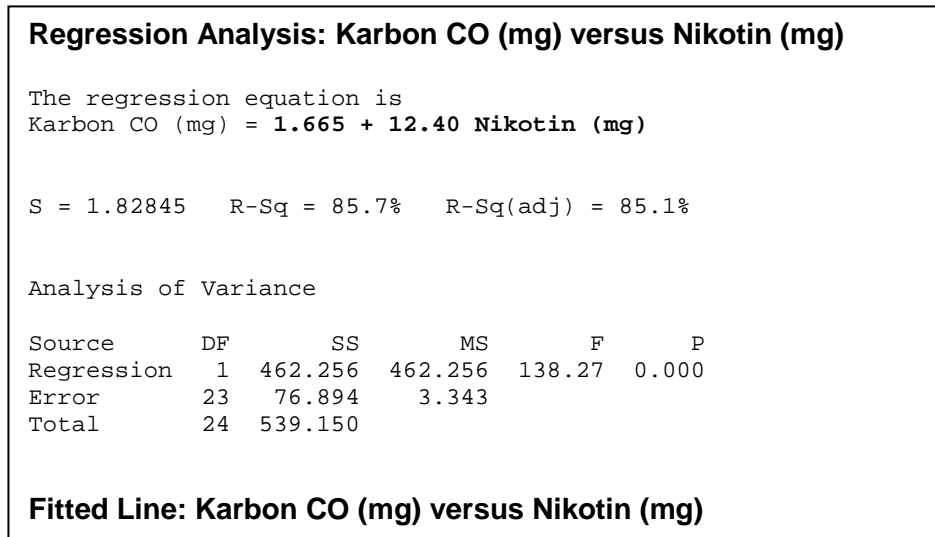
3. Masukan respond an predictor seperti gambar di bawah ini.



4. Klik ok!! Maka akan di dapatkan gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4 Grafik Regresi



Gambar 5.5 ANOVA Regresi Linier Sederhana

5.3. The 7 QC Tools

The 7 QC tools banyak dikenal luas dalam lingkup masyarakat mutu, hal ini tidak dapat dipungkiri karena memang alat-alat bantu ini berkembang penggunaannya di dalam proses kegiatan peningkatan mutu atau pemecahan masalah yang bisaa dilakukan dalam konteks QC Circle atau Quality Improvement Team, dan lain sebagainya.

Sesungguhnya keunggulan alat-alat bantu ini, tidak hanya terbatas dalam lingkup QMS (Quality Management System) saja. Karena, kalau saja para pakar yang menekuni disiplin ilmu lainnya, seperti misalnya ahli politik, ahli ekonomi, ahli pemasaran dan lain sebagainya, berkenan untuk mempelajari secara massif penggunaan alat-alat bantu ini dan memahaminya secara baik, mereka dapat memanfaatkannya untuk melengkapi keilmuan dan kemampuan analisisnya. Sebagai contoh, bila Anda adalah seorang politikus yang sedang menghadapi perpecahan anggota organisasinya, atau sedang menghadapi krisis kepercayaan dari para konstituen, dan bila Anda menguasai dengan baik “ 7 QC Tools”, maka dalam menghadapi persoalan ini, Anda akan berusaha mengumpulkan data dengan metode survey dan menggunakan alat bantu Checksheet, kemudian “raw data” yang diperoleh dianalisa kembali melalui alat bantu lainnya, misalnya dengan Pareto diagram, untuk mengetahui prioritas persoalan, kemudian dengan Fishbone diagram ditelusuri faktor-faktor penyebab yang berpeluang dominan sebagai akar persoalan, untuk kemudian dibuatkan solusinya. Demikianlah sebuah persoalan politik sekalipun dapat ditelusuri, dianalisa dan dibuat kesimpulan serta keputusannya melalui penggunaan alat bantu kendali mutu (The 7 QC tools).

The 7 QC tools adalah alat-alat bantu yang bermanfaat untuk memetakan lingkup persoalan, menyusun data dalam diagram-diagram agar lebih mudah untuk dipahami, menelusuri berbagai kemungkinan penyebab persoalan dan memperjelas kenyataan atau fenomena yang otentik dalam suatu persoalan. Kemampuan 7 QC tools yang dahsyat dalam mengemukakan fakta/fenomena inilah yang menyebabkan para pakar dalam setiap proses kegiatan mutu sangat tergantung pada alat-alat

bantu ini. Meskipun demikian, keberhasilan dalam menggunakan 7 QC tools sangat dipengaruhi oleh seberapa massif pengetahuan si pengguna akan alat bantu yang dipakainya. Semakin baik pengetahuan yang dimiliki, akan semakin tepat dalam memilih alat bantu yang akan digunakan. Itulah sebabnya, ada 2 hal pokok yang perlu menjadi pedoman, sebelum menggunakan 7 QC tools, yaitu efisien (tepat) dan efektif (benar).

Efisien, maksudnya adalah ketepatan dalam memilih alat bantu yang sesuai dengan karakteristik persoalan yang akan dibahas. efektif, artinya bahwa penggunaan dua alat bantu tersebut dilakukan dengan “benar”, sehingga persoalan menjadi lebih jelas, mudah dimengerti dan memberikan peluang untuk diperbaiki. Jenis-jenis alat bantu yang tergabung dalam “The 7 QC Tools” dan cara penggunaannya, sebagai berikut :

1. Checksheet

Alat bantu ini sangat tepat digunakan sebagai alat pengumpul data, tetapi tidak cukup memenuhi syarat bila digunakan untuk menganalisa data, karena semua data yang dikumpulkan adalah data fenomena/fakta yang sedang terjadi (berlangsung). Itulah sebabnya dikatakan bahwa Checksheet adalah alat bantu yang digunakan pada saat suatu proses/kegiatan berlangsung.

2. Pareto Diagram

Diagram Pareto pertama kali diperkenalkan oleh seorang ahli ekonomi dari Italia, bernama “Vilfredo Pareto”, pada tahun 1897 dan kemudian digunakan oleh Dr. M. Juran dalam bidang pengendalian mutu. Alat bantu ini bisa digunakan untuk menganalisa suatu fenomena, agar dapat diketahui hal-hal yang prioritas dari fenomena tersebut. Maka istilah pareto bisaanya identik dengan priority.

3. Histogram

Dikenal juga sebagai grafik distribusi frekuensi, salah satu jenis grafik batang yang digunakan untuk menganalisa mutu dari sekelompok data (hasil produksi), dengan menampilkan nilai tengah sebagai standar mutu

produk dan distribusi atau penyebaran datanya. Meski sekelompok data memiliki standar mutu yang sama, tetapi bila penyebaran data semakin melebar ke kiri atau ke kanan, maka dapat dikatakan bahwa mutu hasil produksi pada kelompok tersebut kurang bermutu, sebaliknya, semakin sempit sebaran data pada kiri dan kanan nilai tengah, maka hasil produksi dapat dikatakan lebih bermutu, karena mendekati spect yang telah ditetapkan.

4. Scatter Diagram

Alat bantu ini sangat berguna untuk mendeteksi korelasi (hubungan) antara dua variable (faktor), sekaligus juga memperlihatkan tingkat hubungan tersebut (kuat atau lemah). Pada pemanfaatannya, scatter diagram membutuhkan data berpasangan sebagai bahan baku analisisnya, yaitu sekumpulan nilai x sebagai faktor yang independen berpasangan dengan sekumpulan nilai y sebagai faktor dependen.

5. Control Chart

Ini adalah sebuah alat bantu berupa grafik yang akan menggambarkan stabilitas suatu proses kerja. Melalui gambaran tersebut akan dapat dideteksi apakah proses tersebut berjalan baik (stabil) atau tidak ? Alat bantu ini pertama kali diperkenalkan oleh W.A. Shewhart di Laboratorium Bell Telephone. Karakteristik pokok pada alat bantu ini adalah adanya sepasang batas kendali (Upper dan Lower Limit), sehingga dari data yang dikumpulkan akan dapat terdeteksi kecenderungan kondisi proses yang sesungguhnya. Pada dasarnya alat bantu ini adalah berupa rekaman data suatu proses yang sudah berjalan. Bila data yang terkumpul sebagian besar berada dalam batas pengendalian, maka dapat disimpulkan bahwa proses berjalan dalam kondisi stabil. Tetapi sebaliknya, bila sebagian besar data menunjukkan deviasi di luar batas kendali, maka bisa dikatakan proses berjalan tidak normal, yang bisa berdampak pada penurunan Mutu produk.

6. Graphs (Block diagram, Pie Chart, Sun Chart etc.)

Grafik bisaa digunakan sebagai alat bantu untuk menerangkan suatu kondisi, menggambarkan trend, memprediksi situasi secara lebih jelas,

melalui sejumlah data yang digambarkan, baik dalam bentuk balok (block), lingkaran (Pie Chart), garis (Line chart) dan lain sebagainya. Penggambaran grafik yang tepat akan memberikan kemudahan dalam membaca data yang ditampilkan, sehingga memungkinkan untuk penelitian atau analisa lebih lanjut.

7. Ishikawa Diagram

Ini adalah satu-satunya alat bantu yang menggunakan data verbal (nonnumerical) atau data kualitatif dalam penyajiannya. Alat bantu ini menggambarkan tentang suatu kondisi "penyimpangan mutu" yang dipengaruhi oleh bermacam-macam penyebab yang saling berhubungan. Berbeda dengan alat-alat bantu lainnya, karena penggunaannya akan lebih efektif bila dilakukan dalam kelompok. Sehingga alat bantu ini seringkali identik dengan kegiatan kelompok. Di samping itu, manfaat optimum diperoleh bila Diagram Ishikawa mampu menampilkan akar-akar penyebab yang sesungguhnya dari suatu penyimpangan (ketidakbermutuan).

Dari ketujuh alat kualitas tidak semua harus dipakai dalam melakukan analisis. Namun dari kesemua itu, seven tools mempunyai kelemahan dalam melakukan analisis yaitu tidak mampu menggambarkan keterkaitan antar faktor yang mempengaruhi target.

BAB 6 PROSES PERBAIKAN (IMPROVEMENT)

6.1. Analisis Varian (ANOVA)

Analisis varian umumnya disebut dengan ANOVA, adalah alat multiguna yang memungkinkan kita untuk melakukan pengujian hipotesis terhadap lebih dari dua rata-rata populasi. Contohnya, kita mungkin ingin membandingkan kinerja beberapa proses, mesin, atau orang. ANOVA memberikan cara yang mudah untuk melakukannya tanpa mengharuskan kita melakukan multiple test. Manfaat yang kedua adalah memahami hubungan yang kompleks antara variable yang berhubunga hanya pada bagian atau tingkat yang diteliti, yaitu interaksi antar variable) atau mengevaluasi pengaruh variable kualitatif terhadap sebuah respons (misalnya merek pasta gigi yang digunakan dengan jumlah lubang gigi yang diteliti).

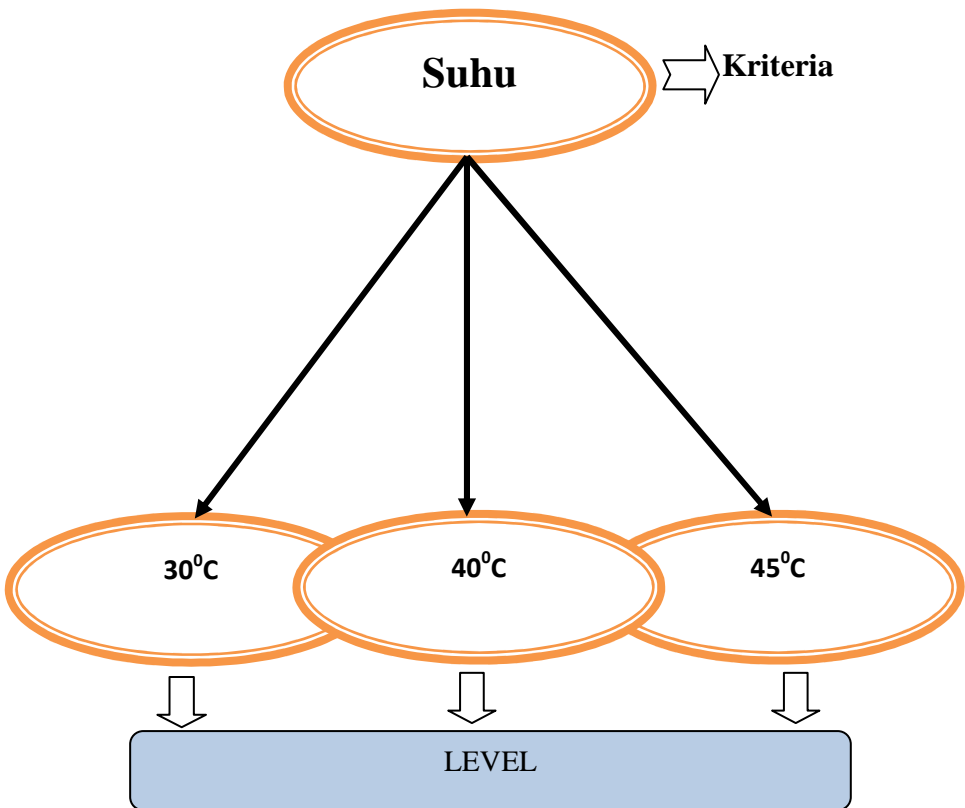
Pada Six Sigma, ANOVA digunakan untuk menampilkan pengukur R & R (repeatability & reproducibility), mengukur perbedaan kinerja faktor-faktor multiple (mesin, pelanggan, jenis produk, dan sebagainya), menentukan pengaruh variable input multiple terhadap kinerja proses (output), dan validasi tindakan perbaikan proses.

Analisis ragam (*Analysis of Variance*) atau yang lebih dikenal dengan istilah ANOVA adalah suatu teknik untuk menguji kesamaan beberapa rata-rata secara sekaligus. Uji yang dipergunakan dalam ANOVA adalah uji F karena dipakai untuk pengujian lebih dan 2 sampel. Anova dapat digolongkan kedalam beberapa kriteria, yaitu :

1. Klasifikasi 1 arah, ANOVA klasifikasi 1 arah merupakan ANOVA yang didasarkan pada pengamatan 1 kriteria.
2. Klasifikasi 2 arah, ANOVA kiasifikasi 2 arah merupakan ANOVA yang didasarkan pada pengamatan 2 kriterenia.
3. Klasifikasi banyak arah, ANOVA banyak arah merupakan ANOVA yang didasarkan pada pengamatan banyak kriteria.

6.1.1. ANOVA Satu Arah

Pada sub bab ini dijelaskan mengenai pengujian ANOVA 1 arah yaitu pengujian ANOVA yang didasarkan pada pengamatan 1 kriteria. Setiap kriteria dalam pengujian ANOVA mempunyai level. ANOVA satu arah ini digunakan untuk membandingkan rata-rata beberapa pop[ulasi atau proses yang menggunakan satu faktor perbandingan misalnya lokasi geografis atau warna kemasan produk.



Gambar 6.1 Kriteria dan Level Satu Arah

Asumsi pengujian ANOVA :

1. Populasi yang akan diuji berdistribusi normal
2. Varians/ragam dan populasi yang diuji sama
3. Sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain

Tujuan dan pengujian ANOVA ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dan berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Contoh, seorang manajer produksi menguji apakah ada pengaruh kebisingan yang ditimbulkan oleh mesin-mesin produksi di pabrik pada hasil perakitan sebuah komponen yang cukup kecil dan sebuah sirkuit yang memerlukan konsentrasi yang tinggi dan seorang operator rakit.

Dalam pengujian ANOVA ini, dipergunakan rumus hitung sebagai berikut:

Tabel 6.1 Analisis Ragam Klasifikasi Satu Arah

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F hitung
Nilai tengah kolom	JKK	$k - 1$	$S_1^2 = \frac{JKK}{k - 1}$	$\frac{s_1^2}{s_2^2}$
Galat (Error)	JKG	$k(n-1)$	$S_1^2 = \frac{JKG}{k(n-1)}$	
Total	HKT	$nk - 1$		

Sumber: Walpole, Ronald E. (199)

Dimana :

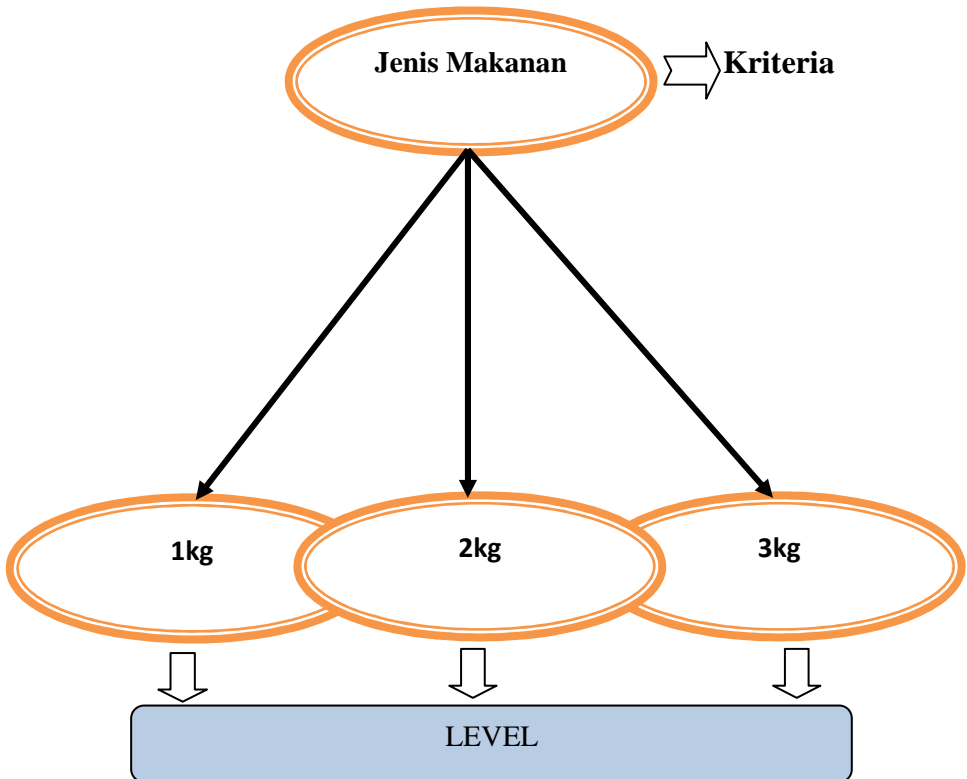
$$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{T^2}{nk}$$

$$JKG = JKT - JKK$$

$$JKK = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - \frac{T_{..}^2}{nk}$$

6.1.2. ANOVA Dua Arah

Pada pembahasan. kali ini, dititikberatkan pada pengujian ANOVA 2 arah yaitu pengujian ANOVA yang didasarkan pada pengamatan 2 kriteria. Setiap kriteria dalam pengujian ANOVA mempunyai level.



Gambar 6.2 Kriteria dan Level Dua Arah

Tujuan dan pengujian ANOVA 2 arah ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan. Misal, seorang peternak menguji apakah ada pengaruh antara jenis makanan ternak yang diberikan kepada ayam pedaging dengan jumlah porsi makanan tiap jenisnya.

Dalam pengujian ANOVA ini, dipergunakan rumus hitung sebagai berikut:

Tabel 6.2 Analisis Ragam Klasifikasi Dua Arah

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F hitung
Nilai tengah baris	JKB	$r - 1$	$S_1^2 = \frac{JKB}{r - 1}$	$f_1 = \frac{s_1^2}{s_3^2}$
Nilai tengah kolom	JKK	$k - 1$	$S_1^2 = \frac{JKK}{c - 1}$	
Galat (Error)	JKG	$(r - 1)(c - 1)$	$S_1^2 = \frac{JKG}{(r - 1)(c - 1)}$	$f_2 = \frac{s_1^2}{s_3^2}$
Total	JKT	$rc - 1$		

Sumber: Walpole, Ronald E. (1995)

Dimana :

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c x_{ij}^2 - \frac{T^2}{rc}$$

$$JKG = JKT - JKB - JKK$$

$$JKB = \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{c} - \frac{T^2}{rc}$$

$$JKK = \frac{\sum_{j=1}^c T_{.j}^2}{r} - \frac{T^2}{rc}$$

6.1.3. ANOVA dengan MINITAB

Analysis of variance (ANOVA) mirip dengan pemodelan di dalam regresi. Pemodelannya menggunakan hubungan antara respon (dependent variable) dan prediktor (independent variable). Tetapi ANOVA mempunyai dua prinsip beda dengan regresi, yaitu:

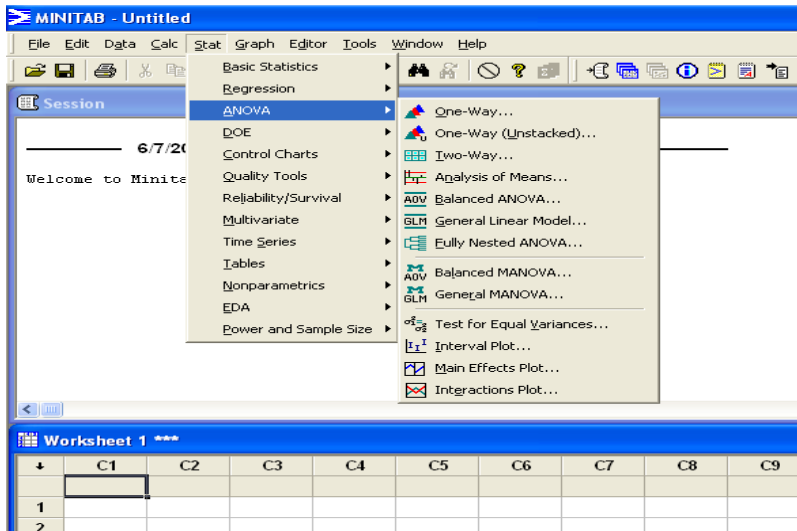
1. independent variable-nya adalah qualitative (categorical), dan
2. tidak dikenal adanya asumsi dalam hubungan antara respon dan prediktor (model tidak memasukkan coefficient dari variabel).

Akibatnya ANOVA hanya melakukan testing hipotesis secara umum saja, yaitu:

H_0 : Semua mean sama

H_1 : tidak semua mean sama.

Perintah *menu driven* dalam MINITAB adalah **Stat > ANOVA**, gambar tampilan perintah ini dapat dilihat pada dalam Gambar 6.3.



Gambar 6.3. Tampilan ANOVA dalam menu driven di MINITAB 14

Dimana masing-masing fasilitas mempunyai fungsi dan kemampuan sebagai berikut:

One-Way digunakan untuk menganalisis model ANOVA satu arah, dimana struktur data respon dituliskan dalam sebuah kolom (*stacked*) dan satu kolom lain sebagai *sub-script* dari masing-masing treatment.

One-Way (Unstacked) digunakan untuk menganalisis model ANOVA satu arah, dimana struktur data respon setiap treatment dituliskan dalam kolom yang terpisah (*unstacked*)

Two-way digunakan untuk menganalisis model *balanced ANOVA* dua arah, dimana struktur datanya seperti dalam One-Way.

Analysis of Means digunakan untuk menampilkan chart dari Analisis Means untuk data yang berdistribusi normal, binomial, atau Poisson

Balanced ANOVA digunakan untuk menganalisis model balanced ANOVA dengan struktur *crossed* atau *nested* dengan faktor *fixed* atau *random*.

General Linear Model digunakan untuk menganalisis model *balanced* atau *unbalanced ANOVA* dengan struktur *crossed* atau *nested* dengan faktor *fixed* atau *random*. Disini dapat dimasukkan *covariates* sehingga dapat melakukan perbandingan serentak dari beberapa mean.

Fully Nested ANOVA digunakan untuk menganalisis model *fully nested ANOVA* dan mengestimasi *variance components*

Balanced MANOVA digunakan untuk menganalisis model balanced MANOVA dengan struktur *crossed* atau *nested* dengan faktor *fixed* atau *random*

General MANOVA digunakan untuk menganalisis model *balanced* atau *unbalanced MANOVA* dengan struktur *crossed* atau *nested* dengan faktor *fixed* atau *random*. Disini juga dapat dimasukkan *covariates*-nya.

Test for Equal Variances digunakan untuk melakukan pengujian Bartlett dan Levene untuk membedakan besaran dan kesamaan beberapa variance

Interval Plot digunakan untuk menampilkan grafik yang menunjukkan variasi dari suatu grup rata-rata data dengan menggambarkan standard error bar atau confidence interval

Main Effects Plot digunakan untuk menampilkan plot dari respon dari beberapa main effect

Interactions Plot digunakan untuk menampilkan plot interaksi antar faktor (atau matrik dari beberapa plot interaksi)

Dari uraian fasilitas di atas, MINITAB memberikan tiga skop bahasan yang berbeda yaitu:

1. Pemodelan One-Way dan Two-Way ANOVA

□ One-way ANOVA melakukan pengujian kesamaan mean dari beberapa populasi yang diklasifikasikan sesuai dengan variabel atau faktor-faktornya. Setiap variabel atau faktor bisaanya mempunyai level (*treatment*) sebanyak 3 atau lebih. One-Way ANOVA dengan 2 level adalah sama dengan t-test. Setiap level merepresentasikan treatment.

□ Two-way ANOVA melakukan ANOVA untuk pengujian kesamaan mean populasi dengan klasifikasi *treatment*-nya dipisahkan dalam dua variabel atau faktor. Dalam two-way ANOVA, data harus *balance* (banyaknya observasi di setiap sel harus sama) dan semua faktor-nya harus *fixed*.

Jika diinginkan suatu faktor-nya random, gunakan Balanced ANOVA jika memang datanya adalah *balanced*; dan gunakan General Linear Models jika datanya *unbalanced* atau jika diinginkan untuk membandingkan mean-nya secara serentak.

2. Pemodelan yang lebih kompleks

MINITAB memberikan pilihan atas tiga prosedur dalam pembentukan sebuah model berdasarkan pada jenis disain yang lebih kompleks, lebih complicated dari pada one-way dan two-way ANOVA. Balanced ANOVA dan General Linear Model adalah prosedur yang umum dalam pemodelan dengan ANOVA. Tiga prosedur tersebut adalah:

□ Balanced ANOVA melakukan ANOVA univariate (satu respon) dengan data harus dalam balanced design. Faktor-faktor yang ada

dapat di-crossed atau di-nested, dianggap fixed atau dianggap random. Data dengan disain Balanced ANOVA ini dapat dianalisis dengan General Linear Models sesuai dengan unbalanced design.

- General linear model (GLM) memodelkan general linear model untuk univariate respons. Dalam notasi matrix GLM akan membentuk model $Y = XB + E$, dengan Y adalah response vector, X terdiri predictors, B mengandung parameters yang di-estimate, dan E merepresentasikan errors yang dianggap berdistribusi normal dengan mean vector 0 and variance σ^2 . Dengan menggunakan general linear model, kita dapat memodelkan ANOVA univariate dengan balanced dan unbalanced design, analysis of covariance (ANACOVA), dan analisis regresi. GLM juga memfasilitasi pengujian perbedaan antara beberapa means menggunakan multiple comparisons.
- Fully nested ANOVA memodelkan sebuah ANOVA yang fully nested (hierarchical) dan mampu meng-estimate variance components. Semua faktor secara implisit dianggap random.

3. Penampilan hasil analisis dengan Grafik

- Test for equal variances melakukan testing hipotesis Bartlett's (F-test jika terdapat 2 levels) dan melakukan Levene's untuk pengujian kesamaan varian atau homogeneity of variances. Banyak prosedur statistika, termasuk ANOVA, didasarkan pada asumsi bahwa sample-sample yang digunakan adalah berasal dari populasi yang berbeda namun masih mempunyai varian yang sama.
- Interval plot akan membuat sebuah plot dari means atau sebuah confidence intervals jika datanya adalah dalam bentuk one-way design.
- Main effects plot akan membuat sebuah main effects plot untuk data pengamatan atau data prediksi (*fitted values*) hasil pemodelan. Titik-titik dalam plot adalah nilai rata-rata pada beberapa level di setiap faktor dengan referensi perbedaan garis

penghubung. Gunakan main effects plot ini untuk membandingkan besarnya marginal means.

- Interactions plot membuat *single interaction plot* jika dua faktor saja yang dimasukkan sebagai data input, atau membuat sebuah matrik interaction plots jika ada 3 sampai 9 faktor yang dimasukkan sebagai input. Plot interaksi ini menggambarkan plot rata-rata setiap level dari suatu faktor dengan menganggap faktor yang lain konstan. Interaction plot sangat berguna dalam memutuskan ada/tidaknya interaksi antar faktor dalam menghasilkan respon. Garis paralel dalam sebuah interaction plot menunjukkan tidak adanya interaksi. Semakin besar perbedaan arah dua garis dari arah paralel, maka semakin kuat adanya indikasi interaksi. Gunakan perintah Faktorial Plots untuk membuat main effects plots dan interaction plot, khususnya untuk 2-level faktorial design.

6.1.3.1. Stat > ANOVA > One-way

Perintah ini digunakan untuk ANOVA satu arah dengan struktur data respon dituliskan dalam sebuah kolom (*stacked*) dan kolom yang lain sebagai sub-script dari masing-masing treatment. Jika masing-masing grup data (treatment/faktor) berada dalam kolom-nya masing-masing, maka gunakan Stat > ANOVA > One-Way (Unstacked). Dalam ANOVA One-Way ini kita juga dapat melakukan *multiple comparisons* dan menampilkan grafik datanya. Menu isian One-Way ANOVA ini dapat dilihat dalam Gambar 3, dengan keterangan dialog box-nya adalah sebagai berikut:

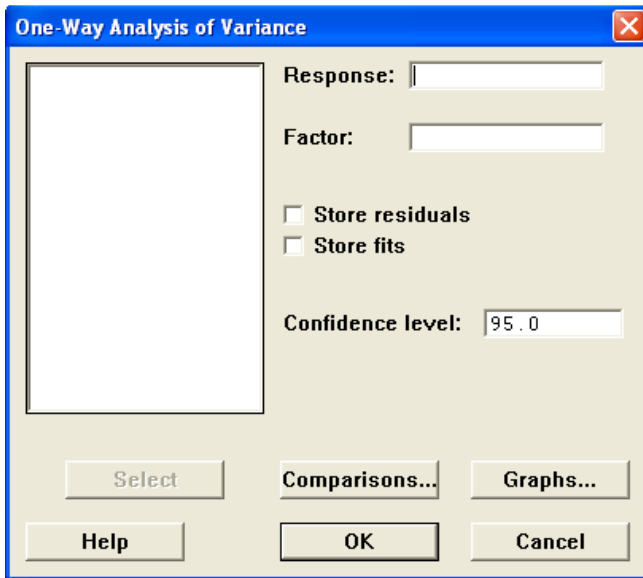
Response: masukkan kolom data yang memuat data respon

Faktor: masukkan kolom data yang memuat data level faktor.

Store Residuals: aktifkan dengan men-Check-nya untuk menyimpan residuals di kolom yang kosong berikutnya di dalam worksheet minitab.

Store fits: aktifkan dengan men-Check-nya untuk menyimpan fitted values di kolom yang kosong berikutnya di dalam worksheet minitab.

Confidence level: masukkan nilai confidence level yang akan digunakan. Contoh, masukkan 90 untuk 90%. Nilai default-nya adalah 95%.

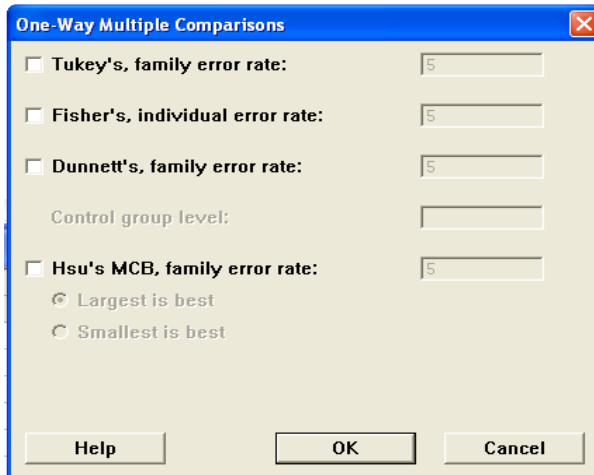


Gambar 6.4. Tampilan Dialog-Box untuk One-Way ANOVA

6.1.3.2. Stat > ANOVA > One-Way > Comparisons

Pilihan comparisons ini memberikan tampilan confidence interval untuk perbedaan antar mean, dengan menggunakan 4 metode yang berbeda: Tukey, Fisher, Dunnett, and Hsu's MCB (*Multiple Comparisons with the Best*). Tukey and Fisher menyajikan confidence interval untuk pasangan perbedaan antara beberapa level mean. Dunnett memberikan confidence interval untuk perbedaan antar beberapa mean treatment terhadap control mean. Hsu's MCB menyajikan confidence interval untuk perbedaan antara setiap level mean dengan level mean yang dianggap terbaik (*the best of the other level means*). Pengujian dengan Tukey, Dunnett dan Hsu's MCB menggunakan family error rate, sementara itu Fisher's LSD menggunakan individual error rate. Fasilitas ini dapat

dilihat dalam *dialog box* pada Gambar 4, dengan keterangannya sebagai-berikut:



Gambar 6.5 Tampilan Dialog-Box untuk Comparison

Tukey's, family error rate: pilih bagian ini untuk mendapatkan confidence interval level mean dari semua pasangan yang mungkin dihitung dengan metode Tukey's, dan masukkan nilai family error rate antara 0.5 dan 0.001. Apabila nilai yang dimasukkan adalah lebih dari atau sama dengan 1.0, maka diartikan sebagai angka percentase. Nilai default untuk error rate adalah 0.05.

Fisher's, individual error rate: pilih bagian ini untuk mendapatkan confidence intervals level mean dari semua pasangan yang mungkin yang dihitung dengan metode Fisher's LSD, dan masukkan nilai family error rate antara 0.5 dan 0.001. Apabila nilai yang dimasukkan adalah lebih dari atau sama dengan 1.0, maka diartikan sebagai angka percentase. Nilai default untuk error rate adalah 0.05.

Dunnnett's family error rate: pilih bagian ini untuk mendapatkan confidence intervals dari perbedaan antara setiap treatment

mean dengan control mean, dan masukkan nilai family error rate antara 0.5 dan 0.001. Apabila nilai yang dimasukkan adalah lebih dari atau sama dengan 1.0, maka diartikan sebagai angka percentase. Nilai default untuk error rate adalah 0.05.

Control group level: masukkan banyaknya level faktor control grup. (Untuk variabel yang memuat data text, tuliskan dengan didahului dan diakhiri oleh *double quotes*.)

Hsu's MCB, family error rate: pilih bagian ini untuk mendapatkan confidence interval selisih antara setiap level mean dan the best level mean. Ada dua pemilihan untuk "best level mean". Jika mean terkecil dianggap sebagai nilai terbaik (the best), maka set $K = 1$; jika mean terbesar dianggap sebagai terbaik (the best), maka set $K = 1$. Masukkan nilai family error rate antara 0.5 dan 0.001. Apabila nilai yang dimasukkan adalah lebih dari atau sama dengan 1.0, maka diartikan sebagai angka percentase. Nilai default untuk error rate adalah 0.05.

Largest is best: pilih bagian ini untuk mendefinisikan nilai mean terbesar adalah sebagai nilai terbaik (the best).

Smallest is best: pilih bagian ini untuk mendefinisikan nilai mean terkecil adalah sebagai nilai terbaik (the best).

6.1.3.3. Stat > ANOVA > One-way > Graphs

Fasilitas ini mampu menampilkan individual value plot, boxplot, dan residual plots. Dialog box untuk keperluan penampilan grafik ini dapat dilihat pada Gambar 6.6, dengan keterangan sebagai berikut:

Individual value plot: aktifkan pilihan ini untuk menampilkan individual value plot dari setiap sampel.

Boxplots of data: aktifkan pilihan ini untuk menampilkan boxplot setiap sampel.

Residual Plots

Individual plots: aktifkan untuk menampilkan satu atau lebih plot.

Histogram of residuals: aktifkan untuk menampilkan histogram dari residuals.

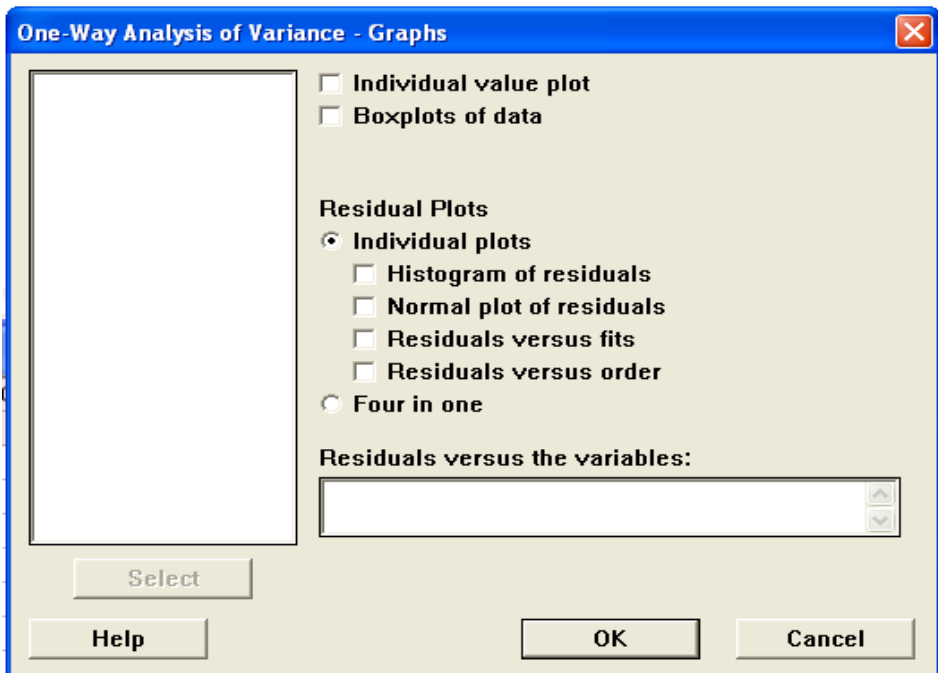
Normal plot of residuals: aktifkan pilihan ini untuk menampilkan normal probability plot dari residuals.

Residuals versus fits: aktifkan pilihan ini untuk menampilkan plot residuals versus fitted values.

Residuals versus order: aktifkan pilihan ini untuk menampilkan plot residuals versus order data.

Four in one: aktifkan pilihan ini untuk menampilkan layout dari histogram residuals, normal plot residuals, plot residuals versus fits, dan plot residuals versus order.

Residuals versus the variables: masukkan satu atau lebih kolom data yang memuat variabel untuk di plot melawan residuals.



Gambar 6.6. Tampilan Dialog-Box untuk Graphs

Contoh:

Suatu departemen pengembangan ingin mengetahui perbedaan kandungan kapas pada serat sintesis yang mempengaruhi kekuatan tarik. Oleh karena itu, mereka melakukan suatu eksperimen dengan membuat lima level kandungan kapas, yaitu 15%, 20%, 25%, 30%, dan 35%. Pada tiap-tiap level, mereka melakukan lima kali replikasi.

Persentase Kapas	Kekuatan Tarik (lb/in)				
	1	2	3	4	5
15	7	7	15	11	9
20	12	17	12	18	18
25	14	18	18	19	19
30	19	25	22	19	23
35	7	10	11	15	11

Untuk melakukan analisis terhadap masalah di atas, masukan data ke window data dalam minitab dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Letakan kursor dalam window session dan aktifkan perintah MTB dengan cara pilih **Editor .. Enable Command.** pada window session ketikan:

```
MTB > set c1  
DATA> 5(15) 5(20) 5(25) 5(30) 5(35)  
DATA> end.
```

2. Kolom C1 akan menunjukkan data dengan bilangan 15,20,25,30, dan 35 masing-masing sebanyak lima. Beri nama pada kolom C1 dengan nama “Kandungan Kapas”. Dalam kolom C2 lakukan :

```
MTB > set c2  
DATA> 5(1:5)  
DATA> end.
```

3. Kolom C2 akan menunjukkan data bilangan 1 sampai 5 yang berulang sebanyak 5 kali. Dan beri nama "Replikasi" pada kolom C2
4. Pada kolom C3 masukan data yang ada di tabel, dan beri nama kekuatan tarik pada kolom C3. Simpan worksheet dengan nama "Kekuatan Tarik. MTW".
5. Setelah data tersimpan kemudian lakukan tahap-tahap sebagai berikut:
 - Pilih **Stat > ANOVA > One-Way**.
 - Pada button **Response**, masukkan *kekuatan tarik*. Pada button **Faktor**, masukkan *kandungan kapas*.
 - Click **Comparisons**. Pilih **Tukey's, family error rate**. Pilih **Hsu's MCB, family error rate** dan masukkan 5 (*tingkat kesalahan 0,05*).
 - Click button **OK** pada dialog box.

Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:

One-way ANOVA: kekuatan tarik versus kandungan kapas						
Source		DF	SS	MS	F	P
kandungan kapas		4	475.76	118.94	14.76	0.000
Error		20	161.20	8.06		
Total		24	636.96			
S = 2.839 R-Sq = 74.69% R-Sq(adj) = 69.63%						
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev						
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----		
15	5	9.800	3.347	(------*-----)		
20	5	15.400	3.130	(-----*-----)		
25	5	17.600	2.074	(-----*-----)		
30	5	21.600	2.608	(-----*-----)		
35	5	10.800	2.864	(------*-----)		

Untuk dapat menyimpulkan output dari hasil analisis menggunakan minitab kita melakukan hipotesis sebagai berikut:

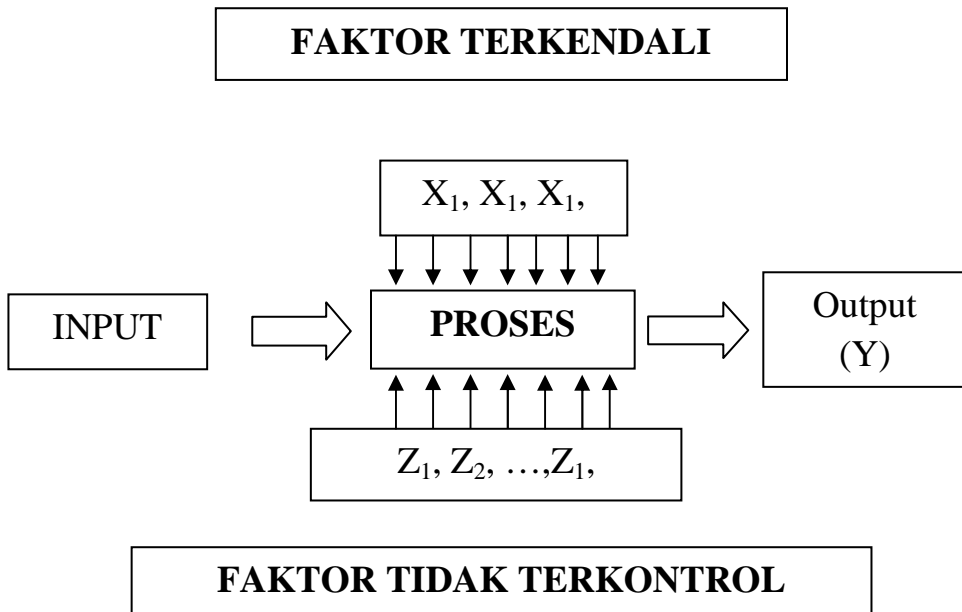
$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5$ (rata-rata sampel tiap perlakuan sama)

$H_0: \tau_1 \neq 0$ (ada perlakuan yang rata-ratanya tidak sama)

Pada ANOVA menunjukkan bahwa nilai F 14,76, jika dilihat pada tabel distribusi F nilai $F_{(5\%,4,20)} = 2,8$. Karena nilai F lebih besar dari $F_{(5\%,4,20)}$, maka hipotesis awal ditolak, yang artinya ada perlakuan yang rata-ratanya tidak sama.

6.2. Design of Experiment

Rancangan eksperimen (*Design of Experiment-DOE*) adalah metodologi terstruktur yang member kita mekanisme untuk mengamati bagaimana output sebuah proses dipengaruhi oleh perubahan tertentu yang kita ciptakan dalam pengaturan input proses.



Gambar 6.7 Desain Eksperimen

Kita sering menggunakan rancangan faktorial untuk menentukan pengaruh yang dialami oleh dua faktor atau lebih dalam suatu proses. Semua kombinasi yang mungkin terjadi antara faktor dan level faktor berpengaruh dalam eksperimen dan memungkinkan kita untuk menilai, baik pengaruh utama maupun pengaruh interaksi. Pengaruh utama adalah pengaruh pada variable respon yang dihasilkan karena mengubah pengaturan sebuah variable input, sedangkan pengaruh interaksi adalah pengaruh pada variable respon yang dihasilkan karena kombinasi dua variable input atau lebih.

Contoh variable proses input (faktor) antarlain adalah tekanan, temperature, jenis bahan, kecepatan, jenis reagen, lokasi, kelembaban isi, dan sebagainya. Contoh variable proses output antarlain adalah persen hasil, berat, ketebalan, panjang, siklus waktu proses dan sebagainya.

Pada Six Sigma, rancangan eksperimen digunakan untuk menentukan input-input yang mempunyai pengaruh paling besar terhadap output sebuah proses dan pengaturan atas faktor-faktor yang akan memberikan kinerja yang lebih baik. Beberapa keuntungan melakukan perancangan eksperimen antara lain adalah:

- a. Perancangan eksperimen dapat digunakan dalam mengidentifikasi kunci keputusan tidak hanya dalam pengendalian proses tetapi juga untuk peningkatan atau perbaikan proses.
- b. Pada pengembangan proses baru di mana data historis tidak tersedia, perancangan eksperimen digunakan pada fase pengembangan karena dapat menunjukkan faktor-faktor yang penting yang akan memaksimalkan hasil dan mengurangi biaya secara keseluruhan.
- c. Perancangan eksperimen dapat membantu mengurangi lead time antara desain dan *manufacturing* dan menghasilkan desain yang *robust* (kokoh) terhadap faktor-faktor yang tidak terkontrol.

Ada 3 prinsip dasar dalam desain eksperimen, yaitu replikasi, randomisasi, dan control local. Prinsip pertama adalah replikasi, dimana dalam eksperimen ada perulangan perlakuan yang sama pada unit eksperimen berbeda. Dengan melakukan replikasi, kita dapat mengetahui variabilitas alami dan kesalahan pengukuran. Replikasi memiliki 2 properti penting, pertama penyimpangan taksiran dalam eksperimen. Penyimpangan taksiran merupakan unit pengukuran dasar untuk menentukan waktu terjadi perbedaan pengamatan dalam data secara statistik yang berbeda secara nyata. Property kedua adalah rata-rata sampel yang digunakan untuk menaksir pengaruh suatu faktor dalam eksperimen. Dengan melakukan replikasi, ada kemungkinan akan diperoleh nilai taksiran pengaruh yang lebih tepat.

Prinsip kedua adalah randomisasi, perlakuan harus diberikan secara acak pada unit-unit eksperimen. Secara umum, metode statistic mengharapkan bahwa pengamatan atau eror adalah variable independen, random, dan distribusi tertentu.

Prinsip ketiga adalah control local. Control local adalah sembarang metode yang dapat menjelaskan dan mengurangi variabilitas alami. Prinsip ini dilakukan dengan mengelompokkan satuan unit eksperimen yang mirip kedalam kelompok (blok) tertentu. Pengelompokan (blocking) bertujuan meningkatkan ketepatan eksperimen.

Desain eksperimen memerlukan tahapan-tahapan penting yang berguna agar desain mengarah pada hasil yang diinginkan. Berikut adalah langkah-langkah melakukan desain eksperimen:

1. Mengenali permasalahan

Tahap awal desain eksperimen adalah mengendalikan permasalahan. Tahapan ini merupakan tahap penting sebagai permulaan suatu eksperimen. Dengan melakukan identifikasi permasalahan, kita dapat memperoleh suatu kesimpulan yang menjawab segala permasalahan. Dari permasalahan yang ada, kita membuat suatu pernyataan yang tepat mewakili permasalahan agar memperoleh penyelesaian yang tepat.

2. Memilih variable respon

Tahap kedua adalah menentukan variable respon. (variable dependen) yaitu variable yang dipengaruhi oleh level faktor atau kombinasi level faktor. Untuk mengukur variable respon kita menggunakan statistic rata-rata dan standar deviasi.

3. Menentukan faktor dan level

Tahap selanjutnya adalah menentukan faktor dan level suatu faktor dalam eksperimen. Peneliti harus pula menentukan cara mengendalikan faktor dan cara mengukurnya. Tahap ini memerlukan pengetahuan lebih mengenai permasalahan yang akan diteliti agar faktor dan level yang ditentukan tidak menyimpang jauh dari hasil yang diinginkan.

4. Memilih metode desain eksperimen

Salah satu tahap penting dalam desain eksperimen adalah memilih metode yang akan digunakan. Metode desain eksperimen seharusnya disesuaikan dengan tujuan penelitian dan permasalahan yang ada. Beberapa metode eksperimen desain antaralain desain acak sederhana, desain blok, desain faktorial, desain latin, desain nested, desain taguchi, dan metode lain yang secara lengkap dapat dibaca pada buku desain of experiment montgomery (2003)

5. Melaksanakan eksperimen

Dalam melaksanakan eksperimen, kita perlu mengamati proses supaya eksperimen berjalan sesuai rencana.

6. Analisis data

Analisis data pada desain eksperimen dilakukan sesuai dengan metode yang telah dibuat. Salah satu tahap dalam desain eksperimen adalah melakukan analisis residual dan uji kecukupan model. Analisis data merupakan tahap penting dalam desain eksperimen dan dapat digunakan sebagai dasar membuat keputusan dan pernyataan yang tepat.

7. Membuat suatu keputusan

Setelah melakukan analisis data, kita dapat membuat suatu keputusan dan pernyataan berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan.

6.2.1. Desain Eksperimen Faktorial

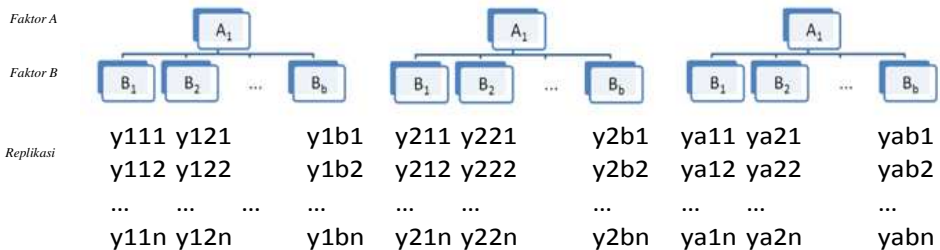
Salah satu strategi proses eksperimentasi yang memiliki pendekatan terhadap sistem paling tepat adalah analisa dengan teknik desain faktorial (*Faktorial Design*) $2k$. Metode ini merupakan perancangan eksperimentasi dengan beberapa faktor sampai dengan k faktor yang masing-masing terdiri dari dua level, yaitu 1 atau + (*high*) dan 0 atau - (*low*). Faktor-faktor tersebut diduga berpengaruh dalam sistem dan dapat diuji pengaruhnya, baik secara individu maupun pengaruh interaksi antar faktor-faktor yang ada. Serta bervariasi bukan hanya pada satu waktu tertentu.

Metode *Faktorial Design* $2k$ memiliki prosedur analisis sebagai berikut:

1. Mengestimasi efek-efek yang ditimbulkan oleh faktor-faktor yang akan diuji dengan menilai tanda atau gejala dan besaran atau ukuran yang ditimbulkan. Informasi awal ini diperlukan untuk mengetahui sejauh mana kemungkinan faktor-faktor dan interaksinya mempengaruhi dan ke mana faktor-faktor tersebut harus disesuaikan untuk memperbaiki respon.
2. Membangun model inisial untuk proses eksperimentasi, jika rancangan eksperimen direplikasi, maka model disusun dalam bentuk lengkap. Jika rancangan eksperimen tanpa replikasi, maka model dibuat dengan memplot efek-efek faktor, menggunakan probabilitas normal.
3. Melaksanakan uji statistik ANOVA untuk menguji efek-efek faktor-faktor dan interaksi yang utama, di mana terdapat sebanyak n replikasi.
4. Melakukan proses eliminasi terhadap variabel-variabel yang tidak memiliki keterkaitan yang berarti dari model perancangan eksperimen.

5. Menganalisa faktor dan efek yang masih tersisa pada model untuk memeriksa keakuratan asumsi yang diterapkan pada model perancangan eksperimen.
6. Apabila ternyata ditemukan ketidakwajaran model dan penyimpangan akibat kesalahan asumsi, maka dilakukan kembali prosedur analisis di atas, sampai ditemukan model yang akurat dengan asumsi yang tepat.
7. Sebagai langkah prosedur analisis yang terakhir adalah analisis deskripsi dengan berbagai grafik, seperti: *ploting* efek faktor utama dan interaksinya, *ploting* permukaan, dan *response surface*.

Desain eksperimen faktorial digunakan apabila eksperimen terdiri atas dua faktor atau lebih. Desain faktorial memungkinkan kita untuk melakukan kombinasi antar level faktor. Gambar 6.8 menunjukkan contoh hierarki desain faktorial untuk dua faktor dan tabel 6.3 menunjukkan struktur datanya.



Gambar 6.8 Desain Eksperimen Faktorial

Kita memerlukan desain faktorial apabila interaksi antar faktor mempengaruhi respons dan apabila menghilangkan interaksi antar faktor mungkin mempengaruhi kesimpulan. Kemudian, kita mengetahui bahwa desain faktorial lebih efisien dibandingkan desain n faktor karena bisa mendeteksi pengaruh perbedaan antar level faktor pada saat bersamaan. Berbeda dengan desain n faktor, pengaruh interaksi tidak bisa dideteksi.

Tabel 6.3 bentuk desain faktorial 2 faktor

		Faktor A			
		A1	A2	...	An
Faktor B	B1	y111	y211	...	y1b1
		y112	y212	...	y1b2
	
		y11n	y21n	...	y1bn
	B2	y121	y221	...	y2b1
		y122	y222	...	y2b2
	
		y12n	y22n	...	y2bn
	B3	y1b1	y2b1	...	yabn
		y1b2	y2b2	...	yabn
...		
y1bn		y2bn	...	yabn	

Berikut adalah ilustrasi desain faktorial dengan dua faktor. Studi kasus yang akan diangkat dalam contoh ini adalah desain batererai dengan waktu hidup lebih lama. Data-data desain eksperimen dengan dua faktor yaitu temperature dan tipe material ditampilkan dalam table 6.4.

Table 6.4 Data Tipe Material

Tipe material (B)	Temperatur (A)		
	15	70	125
1	130	34	20
	155	40	70
	74	80	82
	180	75	56
2	150	136	25
	188	122	70
	159	106	58
	126	115	45
3	138	174	96
	110	120	104
	168	150	82
	160	139	60

Ahli baterai memperkirakan ada dua faktor yang memiliki pengaruh terhadap lama waktu hidup baterai, yaitu tipe material yang dijadikan bahan baterai dan temperature yang digunakan. Eksperimen mengidentifikasi tiga tipe material yang diperkirakan mempengaruhi baterai dan dapat memaksimalkan waktu hidupnya. Pada eksperimen, ahli baterai mengetahui bahwa rentang temperature tentu dapat pula memaksimalkan waktu hidup. Untuk memaksimalkannya, temperature dikendalikan dalam tiga level untuk tiap-tiap material, yaitu 15° F, 70° F, dan 125° F. pada eksperimen, ahli baterai menguji empat baterai di ditiap kombinasi level tipe material dan temperature sehingga total ada 36 pengamatan yang dilakukan.

Dengan model statistic linier observasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_j + \varepsilon_{ijk}$$

Dimana:

- μ = efek rata-rata keseluruhan
- τ_i = efek lefel ke-I dari faktor A
- β_i = efek dari level k-j faktor B

$(\tau\beta)_{ij}$ = komponen random acak

Faktor A dan B diasumsikan tetap (fixed) dan efek treatment diasumsikan sebagai deviasi dari semua mean. Jadi $\sum_{i=1}^a \tau_i = 0$ dan $\sum_{j=1}^b \tau_j = 0$. Hipotesis dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_0: \text{paling sedikit ada satu } \tau_i \neq 0$$

Untuk dapat menyelesaikan permasalahan diatas, maka perlu disusun tabel ANOVA-nya terlebih dahulu sebagai berikut:

Tabel 6.5 ANOVA Faktorial

Sumber variasi	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F ₀
A treatment	SS _A	a-1	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B treatment	SS _B	b-1	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interaksi	SS _{AB}	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS _E	ab(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	SS _T	abn-1		

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_i^2 - \frac{Y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a y_j^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_{Subtotal} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=i}^b y_{ij}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_{AB} = SS_{Subtotal} - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \text{ atau}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotal}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_T = (130)^2 + (155)^2 + (74)^2 + \dots + (60)^2 - \frac{(3799)^2}{36} = 77,64$$

$$SS_{Material} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_i^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_{Material} = \frac{1}{(3)(4)} (998)^2 + (1300)^2 + (1501)^2 - \frac{(3799)^2}{36} = 10,683$$

$$SS_{Temperatur} = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a y_j^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_{Temperatur} = \frac{1}{(3)(4)} (1738)^2 + (1291)^2 + (770)^2 - \frac{(3799)^2}{36}$$

$$= 39,230$$

$$SS_{Interaction} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=i}^b y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{abn} - SS_{Material} - SS_{Temperatur}$$

$$SS_{Interaction} = \frac{1}{(4)} [(539)^2 + (229)^2 + \dots + (342)^2] - \frac{(3799)^2}{36}$$

$$- 10,683 - 39,230 = 3913,78$$

dan

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \text{ atau}$$

$$SS_E = 77,64 + 10,68 + 39,12 - 9613,78 = 18,230$$

Sumber variasi	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F ₀
Tipe material	10,683	2	5,341	7,91
Temperatur	39,118	2	19,558	28,97
Interaksi	9,613	4	2,403	3,56
Error	18,230	27	675,21	
Total	77,646	35		

Dari hasil analisis desain eksperimen diatas ditemukan bahwa pada tabel distribusi f ($F_{0,05,4,27} = 2.73$ dan pada F hitung didapatkan 3.35, sehingga kita menolak H_0 karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, artinya ada hubungan yang

signifikan antara material dan temperature terhadap waktu hidup bola lampu.

6.2.2. Desain Eksperimen Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Dr. Genichi Taghuchi (1940) yang merupakan metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk robust terhadap noise, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*.

Metode Taguchi adalah suatu metodologi untuk merekayasa atau memperbaiki produktivitas selama penelitian dan pengembangan supaya produk-produk berkualitas tinggi dapat dihasilkan dengan cepat dan dengan biaya rendah. Metode Taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter.

Metode Taguchi didasarkan pada sebuah pendekatan dengan perbedaan yang sama sekali berasal dari praktisi teknik kualitas. Metodologinya menekankan pada desain kualitas dalam produk dan proses. Dimana biasanya praktisi yakin pada pemeriksaan. Dalam perbaikan kualitasnya Taguchi pada dasarnya memanfaatkan perangkat statistik biasa, tetapi secara sederhana mereka mendefinisikan sebuah himpunan garis pedoman yang keras untuk tampilan eksperimen dan analisis kesimpulan/keputusan. Taguchi melakukan pendekatan secara ekstrim yang efektif dalam memperbaiki kualitas produk di Jepang. Barubaru ini industri barat mulai memperkenalkan metode taguchi yang sederhana tapi dengan pendekatan keefektifan yang tinggi untuk memperbaiki kualitas produk dan proses.

Pengendalian kualitas pada metode Taguchi dapat dibagi ke dalam dua tahap yaitu :

1. Pengendalian kualitas “*off line*” terkait dengan aktivitas selama pengembangan produk dan disain proses. Aktivitas yang dilakukan adalah :
 - Mengidentifikasi kebutuhan konsumen dan apa saja yang diharapkan oleh konsumen.
 - Mendesain produk yang sesuai dengan harapan konsumen.
 - Mendesain produk secara konsisten dan secara ekonomi menguntungkan.
 - Mengembangkan secara jelas dan spesifik dari standar, prosedur dan peralatan.
2. Pengendalian kualitas “*Online*” terkait dengan proses selama produksi. Pengendalian kualitas “*Online*” berarti memelihara kekonsistenan produk dan proses sehingga meminimumkan variasi antar.

Taguchi membedakan tiga desain proses yang terkait dengan proses selama produksi, yaitu: desain sistem, desain parameter dan desain toleransi. Tahap *desain sistem* membutuhkan pengetahuan mendalam mengenai sistem yang akan dirancang. Desain terkait dengan upaya mengembangkan suatu produk. Tujuan *desain parameter* adalah menentukan nilai nominal parameter produk atau proses optimal. *Desain toleransi* bertujuan menentukan toleransi nilai nominal yang telah ditentukan dalam desain parameter. Dalam hal ini, toleransi diartikan sebagai variasi nilai nominal yang diperbolehkan. Desain toleransi sangat dipengaruhi oleh taguchi loss function.

Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep, yaitu:

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target, Produk harus didesain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.

3. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem (Ishak, 2002: 10).

Perancangan eksperimen merupakan evaluasi secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) terhadap kemampuan mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Ada beberapa langkah yang diusulkan Taguchi untuk melakukan eksperimen secara sistematis, yaitu :

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan.

Mendefinisikan dengan jelas permasalahan yang akan dihadapi untuk kemudian dilakukan usaha untuk perbaikan kualitas.

2. Menentukan tujuan penelitian.

Mengidentifikasi karakteristik kualitas dan tingkat performansi dari eksperimen.

3. Menentukan metode pengukuran.

Menentukan bagaimana parameter-parameter yang diamati akan diukur dan bagaimana cara pengukurannya, serta peralatan apa saja yang diperlukan untuk mengukur.

4. Identifikasi faktor.

Melakukan pendekatan yang sistematis guna menemukan penyebab permasalahan, hindari aktivitas yang meloncat-loncat karena akan menyebabkan perolehan kesimpulan yang salah.

5. Memisahkan faktor kontrol dan faktor noise.

Menentukan jenis-jenis faktor yang mempengaruhi karakteristik produk/proses, kemudian dibedakan antara faktor terkendali dan faktor noise.

6. Menentukan level setiap faktor dan nilai faktor.

Berguna untuk menentukan jumlah derajat kebebasan yang akan digunakan dalam pemilihan Orthogonal Array. *Orthogonal Array (Matriks Ortogonal)* adalah matriks dari sejumlah baris dan kolom.

Setiap kolom merepresentasikan faktor atau kondisi tertentu yang dapat berubah dari suatu percobaan ke percobaan lainnya, Masing-masing kolom mewakili faktor-faktor yang dari percobaan yang

dilakukan. *Array* disebut *orthogonal* karena setiap level dari masing-masing faktor adalah seimbang (*balance*) dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam percobaan.

Orthogonal array merupakan suatu matriks faktor dan level yang tidak membawa pengaruh dari faktor atau level yang lain. *Orthogonal array* adalah matriks faktor dan level yang disusun sedemikian rupa sehingga pengaruh suatu faktor dan level tidak berbaur dengan faktor dan level lainnya. Elemen-elemen matriks disusun menurut baris dan kolom. Baris merupakan keadaan suatu faktor, sedangkan kolom adalah faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Notasi orthogonal array adalah:

$$L_n(l^f)$$

dimana :

f = banyaknya faktor (*kolom*)

l = banyaknya level

n = banyaknya pengamatan (*baris*)

L = rancangan bujur sangkar latin

Berikut ini adalah beberapa contoh tabel Ortogonal Array pada desain eksperimen Taguchi:

Tabel 6.6 Ortogonal Array $L_4(2^3)$

EXP	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Tabel 6.7 Orthogonal Array $L_8(2^7)$

EXP	Faktor						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Tabel 6.8 Orthogonal Array $L_9(3^4)$

EXP	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Dari matrik diatas dapat disajikan sebuah table orthogonal Array untuk jumlah faktor dan level tertentu yaitu sebagai berikut:

Tabel 6.9 Ortogonal Array

Matrik Ortogonal	Jumlah faktor	Jumlah level
$L_4(2^3)$	3	2
$L_8(2^7)$	7	2
$L_{12}(2^{11})$	11	2
$L_{16}(2^{15})$	15	2
$L_{32}(2^{31})$	31	2
$L_9(3^4)$	4	3
$L_{18}(2^1, 3^7)$	1 dan 7	2 dan 3
$L_{27}(3^{13})$	13	3
$L_{16}(4^5)$	5	4
$L_{32}(2^1, 4^9)$	1 dan 9	2 dan 4
$L_{64}(4^{21})$	21	4

Untuk dua level, tabel OA terdiri dari L4, L8, L12, L16, dan L32, sedangkan untuk tiga level tabel OA terdiri dari L9, L18 dan L27. Pemilihan jenis *orthogonal array* yang akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total.

7. Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi.

Interaksi terjadi jika suatu faktor dipengaruhi oleh level dari faktor lain atau interaksi akan terjadi apabila kumpulan pengaruh dari dua atau lebih faktor berbeda dari jumlah masing-masing faktor secara individu. Adanya interaksi ini juga ikut mempengaruhi jumlah derajat kebebasan.

8. Menggambar *linier graph* yang diperlukan untuk faktor kontrol dan interaksi.

Taguchi telah menetapkan beberapa *linier graph* untuk mempermudah mengatur faktor-faktor dan interaksi yang terjadi kedalam suatu kolom, Penggambaran *linier graph* berguna untuk menentukan penempatan faktor-faktor serta interaksi pada kolom-kolom dalam *orthogonal array*.

9. Memilih Orthogonal Array.

Pemilihan orthogonal array yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan serta nilai level dari tiap faktor. Penentuan ini akan mempengaruhi total jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan orthogonal array yang akan dipilih.

10. Memasukkan faktor atau interaksi ke dalam kolom.

Untuk membantu memasukkan faktor dan interaksi ke dalam kolom orthogonal array dipakai *linier graph* dan *triangular tables*, *Linier graph* menunjukkan variasi kolom dimana faktor dapat dimasukkan dan mengevaluasi interaksi faktor. *Triangular tables* berisi semua kemungkinan interaksi antara faktor / kolom.

11. Melakukan eksperimen.

Dalam melakukan eksperimen, sejumlah percobaan (trial) disusun untuk meminimalkan kesempatan terjadinya kesalahan dalam menyusun level yang tepat untuk percobaan tersebut.

12. Analisa hasil eksperimen.

Dalam menganalisa hasil eksperimen. Taguchi juga menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA), dimana ada hasil perhitungan mengenai jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat rata-rata, jumlah kuadrat faktor, dan jumlah kuadrat *error*.

Hal-hal yang dilakukan dalam analisa hasil eksperimen adalah :

- Koefisien Keragaman, bagian dari total variasi yang menunjukkan kekuatan relatif dari suatu faktor dan atau interaksi yang signifikan untuk mengurangi variasi.
- *Signal to Noise Ratio* (SNR), taguchi memperkenalkan pendekatan SNR guna meneliti pengaruh faktor noise terhadap variasi yang timbul. Taguchi memperkenalkan transformasi dari pengulangan data kepada nilai yang lain yang mengukur variabilitas yang ada. SNR menggabungkan beberapa pengulangan pada satu point data yang mencerminkan jumlah variasi yang ada.

13. Interpretasi hasil.

Mengevaluasi faktor-faktor mana yang berpengaruh dan tidak berpengaruh terhadap karakteristik kualitas yang dikehendaki.

14. Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal.

Apabila dalam percobaan ada beberapa faktor dan setiap faktor terdiri dari beberapa level, maka untuk menentukan kombinasi level yang optimal adalah dengan membandingkan nilai perbedaan rata-rata eksperimen dari level-level yang ada. Faktor dengan perbedaan rata-rata percobaan dari levelnya besar, maka faktor tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan.

15. Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal.

Setelah kondisi optimal dari eksperimen orthogonal array didapat, maka dapat diperkirakan rata-rata proses μ prediksi pada kondisi yang optimal. Hal ini didapat dengan menjumlahkan pengaruh dari ranking faktor yang lebih tinggi.

16. Menjalankan eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dimaksudkan bahwa faktor dan level yang dimaksud memberikan hasil seperti yang diharapkan. Untuk menguji apakah hasil yang didapat sesuai dengan yang diharapkan, maka harus diuji dengan interval keyakinan. Hasil yang didapat harus berada pada interval keyakinan yang ditentukan.

6.2.2.1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Desain Eksperimen Taguchi

Parameter-parameter yang berpengaruh dalam suatu proses produksi adalah:

1. Faktor Sinyal. *Faktor sinyal* adalah parameter yang diatur untuk menentukan nilai respon produk yang diinginkan.
2. Faktor Noise (*Uncontrollable Faktor*). Faktor ini termasuk faktor yang tidak dapat dikendalikan oleh perancang, atau bobotnya dalam lingkungan sulit atau mahal untuk dikendalikan.
3. Faktor Kendali (*Controllable Faktor*). Faktor ini termasuk parameter yang dapat ditentukan secara bebas oleh perancang dalam nilai terbaik parameter tersebut. Bila nilai tiap faktor terkendali tertentu diubah maka karakteristik mutu dapat pula berubah.

Taguchi mengembangkan faktor perancangan dan pengembangan produk/proses ke dalam dua kelompok yaitu faktor terkendali dan faktor

noise. Faktor terkendali adalah faktor yang ditetapkan (atau dapat dikendalikan) oleh produsen selama tahap perancangan produk/proses dan tidak dapat diubah oleh konsumen. Sedangkan faktor noise adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan langsung oleh produsen.

Dalam desain Taguchi, adakalanya terjadi suatu produk atau proses yang tidak sensitif terhadap pengaruh faktor-faktor yang dapat mempengaruhi produk atau proses. Faktor noise merupakan sumber variasi yang tidak bisa atau sulit dikendalikan dan mempengaruhi karakteristik produk. Dalam hal ini ada tiga tipe faktor noise, yaitu:

1. Unit to unit noise faktor, adalah faktor yang melekat dalam variasi acak dan disebabkan adanya variabilitas bahan, mesin dan manusia.
2. Internal noise faktor, adalah variasi yang bersumber dari dalam produk. Contohnya adalah kesalahan operasional.
3. Eksternal noise faktor, adalah variasi yang bersumber dari luar produk dan sulit dikendalikan. Contohnya adalah suhu.

Dalam perancangan eksperimen Taguchi, penanganan faktor noise melalui 3 (tiga) cara, yaitu :

1. Dengan melakukan pengulangan terhadap masing-masing percobaan.
2. Dengan memasukkan faktor noise tersebut kedalam percobaan dengan menempatkannya diluar faktor terkendali.
3. Dengan menganggap faktor terkendali bervariasi.

6.2.2.2. Taguchi Loss Function

Taguchi mendefinisikan kualitas sebagai kerugian dalam dalam suatu masyarakat mulai dari pengiriman suatu produk. Kerugian mencakup pengeluaran, limbah dan kesempatan yang hilang karena ketidaktepatan produk terhadap nilai target. Taguchi membuat fungsi kerugian (loss function) sebagai persamaan:

$$L(Y) = k(y-y_0)^2$$

Jika $E(Y) = Y_0$, maka $E(L(Y)) = k\sigma^2$, dimana $\sigma^2 = \text{var}(Y)$,

dimana:

$L(Y)$ = rata-rata kerugian tiap unit (Average Loss per Unit)

Y = karakteristik kualitas,

Y_0 = nilai target untuk karakteristik kualitas

K = konstanta yang bebas pada struktur harga proses produk atau *organisasi*

Perlu ditekankan bahwa istilah $(y-y_0)$ menjelaskan deviasi karakteristik kualitas Y dari nilai target Y_0 dan persamaan untuk loss function adalah order kedua dalam istilah deviasi karakteristik kualitas.

6.2.2.3. Efektifitas Penggunaan SNR dalam Metode Taguchi

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadrat dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. SNR mengukur tingkat unjuk kerja dan efek dari faktor noise dari unjuk kerja tersebut dan juga mengevaluasi stabilitas unjuk kerja dari karakteristik mutu *output*. Semakin tinggi unjuk kerja yang diukur dengan tingginya SNR sama dengan kerugian yang mengecil. Seperti fungsi kerugian mutu. SNR adalah ukuran obyektif dari kualitas yang memuat baik mean dan varian dalam perhitungan.

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah kontribusi original taguchi pada rancangan eksperimen yang penting dan sekaligus kontroversial. Taguchi mendefinisikan *SN* dengan rasio sebagai berikut:

$$SN = \frac{(rata - rata)^2}{Varians} = \frac{\mu^2}{\sigma^2}$$

Taguchi menciptakan *new performance measure* untuk kriteria pemilihan rancangan yang robust (kriteria uji hipotesa) dengan melakukan perbandingan analisis variansi yang menggunakan rasio F untuk kriteria uji hipotesa. Secara umum SN rasio diperoleh dari persamaan berikut yaitu:

$$SN = -10 \log(MSD)$$

Dimana, nilai MSD pada masing-masing karakteristik mutu ditentukan oleh persamaan berikut:

1. Nilai MSD untuk *nominal the better*.

$$MSD = \frac{((y_1 - y_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + \dots + (y_n - y_0)^2)}{n}$$

2. Nilai MSD untuk *larger the better*.

$$MSD = \frac{(\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \dots + \frac{1}{Y_n^2})}{n}$$

3. Nilai MSD untuk *smaller the better*.

$$MSD = \frac{Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_n^2}{n}$$

Dalam Taguchi, *Signal to Noise Ratio* (SNR) digunakan sebagai ukuran performa karakteristik kualitas. SNR diturunkan dari loss function sehingga ada 3 SNR, yaitu:

1. Jenis Nominal terbaik atau *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk *nominal the better* (n.t.b) digunakan bila karakteristik mutu mempunyai nilai target tertentu, bisaanya bukan nol, dan kerugian mutunya simetris pada kedua sisi target.

$$SNR_{n.t.b} = 10 \log \bar{y}^2$$

dimana : $SNR_{ntb} = \text{Rasio SN untuk nominal the better}$

$$\bar{y} = \text{ratarata}$$

$$S^2 = \text{varians}$$

2. Jenis semakin besar semakin baik atau *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk *larger the better* (l.t.b), Digunakan bilamana karakteristik mutu yang dikehendaki semakin besar nilainya semakin baik.

$$SNR_{1.t.b} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right)$$

dimana :

1tb SNR = Rasio SN untuk larger the better

n = jumlah data

$y_i = \text{data ke-}i, \quad i=1,2,3,\dots,n$

3. Jenis semakin besar semakin baik *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk *smaller the better* (n.t.b), digunakan bilamana karakteristik mutunya tidak negatif, idealnya nol.

$$SNR_{s.t.b} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right)$$

dimana :

$SNR_{stb} = \text{Rasio SN untuk smaller the better}$

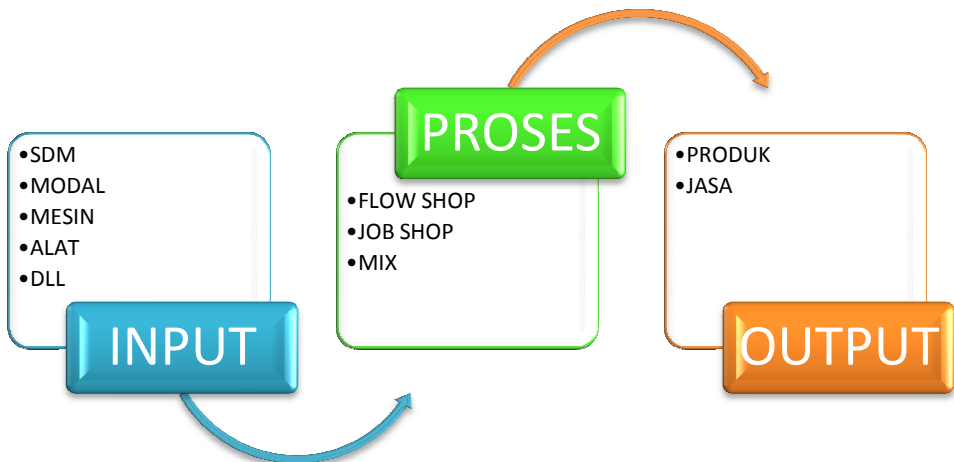
n = jumlah data

$y_i = \text{data ke-}i, \quad i=1,2,3,\dots,n$

BAB 7 PROSES PENGENDALIAN (CONTROL)

7.1. Grafik Pengendali

Dalam banyak proses produksi, bagaimanapun baiknya dirancang atau hati-hatinya dipelihara, akan selalu ada sebanyak tertentu variabilitas dasar atau yang menjadi sifatnya. Variabilitas dasar atau “gangguan dasar” ini adalah pengaruh kumulatif dari banyak sebab-sebab kecil, yang pada dasarnya tak terkendali. Apabila gangguan dasar proses relatif kecil, kita bisaanya memandangnya sebagai tingkat yang dapat diterima dari peranan proses. Dalam kerangka pengendalian kualitas statistic, variabilitas dasar ini kadang-kadang dinamakan “system stabil sebab-sebab tak terduga”. Suatu proses yang bekerja hanya dengan adanya variasi sebab-sebab tak terduga dikatakan ada dalam *pengendalian statistik*.



Gambar 7.1 Input Proses Output

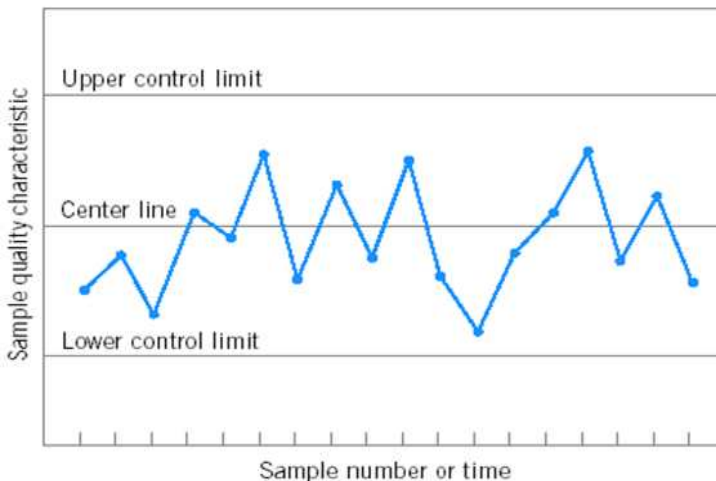
Macam-macam variabilitas lain kadang-kadang dapat timbul dalam hasil suatu proses. Variabilitas ini dalam karakteristik kualitas kunci bisaanya timbul dari tiga sumber, antara lain:

1. Mesin yang dipasang dengan sejajar.
2. Kesalahan operator.
3. Bahan baku yang cacat.

Variabilitas yang disebabkan oleh ketiga faktor diatas bisaanya lebih besar jika dibandingkan dengan gangguan dasar, dan bisaanya merupakan tingkat yang tidak dapat diterima dari peranan proses. Sumber-sumber variabilitas yang bukan bagian dari pola sebab tak terduga kita namakan "sebab-sebab terduga". Suatu proses yang bekerja dengan adanya sebab-sebab terduga disebut proses yang tidak terkendali.

Merupakan ciri sangat khusus bahwa proses produksi yang bekerja dalam keadaan terkendali akan menghasilkan produk yang dapat diterima untuk periode waktu yang relatif panjang. Tetapi, kadang-kadang sebab-sebab terduga akan terjadi, kelihatannya secara random, yang mengakibatkan "pergeseran" ke keadaan tak terkendali dengan bagian yang lebih besar hasil proses itu tidak memenuhi persyaratan. Tujuan pokok pengendalian kualitas statistik adalah menyidik dengan cepat terjadinya sebab-sebab terduga atau pergeseran proses sedemikian hingga penyelidikan terhadap proses itu dan tindakan pembetulan dapat dilakukan sebelum terlalu banyak unit yang tak sesuai diproduksi. Grafik pengendali adalah teknik pengendali proses pada jalur yang digunakan secara luas untuk maksud ini. Grafik pengendali dapat juga digunakan untuk menaksir parameter suatu proses produksi, dan melalui informasi ini, menentukan kemampuan proses. Grafik pengendali dapat juga memberi informasi yang berguna dalam meningkatkan proses itu. Akhirnya, ingat bahwa tujuan akhir pengendalian proses statistik adalah *menyingkirkan variabilitas dalam proses*. Mungkin tidak dapat menyingkirkan variabilitas selengkapnya, tetapi grafik pengendali adalah alat yang efektif dalam mengurangi variabilitas sebanyak mungkin.

Bentuk dasar grafik pengendali ditunjukkan dalam Gambar 7.1 yang merupakan peragaan grafik suatu karakteristik kualitas yang telah diukur atau dihitung dari sampel terhadap nomor sampel atau waktu. Grafik itu memuat garis tengah yang merupakan nilai rata-rata karakteristik kualitas yang berkaitan dengan keadaan terkendali (yakni, hanya sebab-sebab tak tersangka yang ada). Dua garis mendatar ini, yang dinamakan batas pengendali atas (BPA) dan batas pengendali bawah (BPB), juga ditunjukkan dalam grafik itu. Batas-batas pengendali ini dipilih sedemikian hingga apabila proses terkendali, hampir semua titik-titik sampel akan jatuh di antara kedua garis itu. Selama titik-titik terletak di dalam batas-batas pengendali, proses dianggap dalam keadaan terkendali, dan tidak perlu tindakan apa pun. Tetapi, titik yang terletak di luar batas pengendali diinterpretasikan sebagai fakta bahwa proses tak terkendali, dan diperlukan tindakan penyelidikan dan perbaikan untuk mendapatkan dan menyingkirkan sebab atau sebab-sebab tersangka yang menyebabkan tingkah laku itu. Merupakan kebiasaan untuk menghubungkan titik-titik sampel di dalam grafik dengan segmen garis lurus, sehingga mudah untuk melihat bagaimana barisan-barisan titik itu tersusun menurut waktu.



**Gambar 7.2 Suatu grafik pengendali.
(Montgomery, 1993)**

Meskipun semua titik-titik terletak di dalam batas pengendali, apabila titik-titik itu bertingkah secara sistematis atau tak random, maka ini merupakan petunjuk bahwa proses tak terkendali. Misalnya, apabila 18 dari 20 titik terakhir terletak di atas garis tengah tetapi dibawah batas pengendali atas dan hanya dua dari titik-titik ini terletak di bawah garis tengah tetapi di atas batas pengendali bawah, kita akan sangat curiga bahwa ada sesuatu yang salah. Apabila proses itu terkendali semua titik-titik yang digambar harus mempunyai pola yang pada dasarnya random. Metode melihat urutan atau pola tak random dapat diterapkan pada grafik pengendali sebagai penolong dalam menyidik keadaan tak terkendali. Biasanya, ada batasan mengapa pola tak random tertentu tampak dalam grafik pengendali, dan apabila ini dapat diperoleh dan dihilangkan, penampilan proses dapat ditingkatkan.

Ada hubungan yang dekat antara grafik pengendali dan uji hipotesis. Pada dasarnya, grafik pengendali adalah uji hipotesis bahwa proses itu ada dalam keadaan terkendali statistik. Satu titik terletak di dalam Batas pengendali adalah ekuivalen-dengan gagal menolak hipotesis bahwa terkendali statistik, dan satu titik yang terletak di luar Batas pengendali ekuivalen dengan menolak hipotesis terkendali statistik.

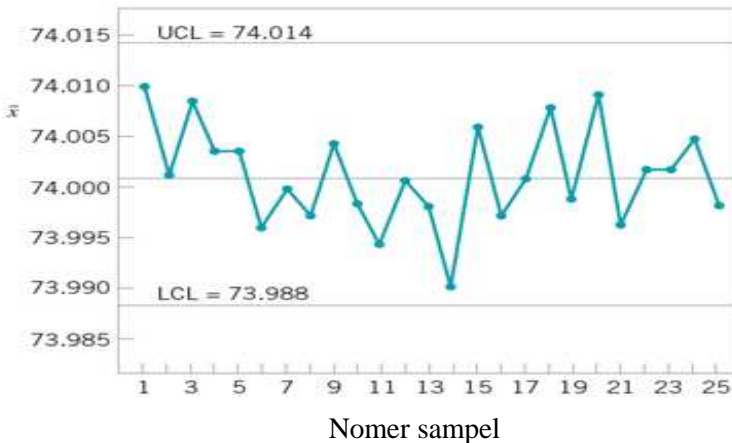
Seperti dalam uji hipotesis, dalam grafik pengendali kita dapat memikirkan probabilitas kesalahan tipe I (menyimpulkan proses itu tak terkendali apabila sebenarnya terkendali) dan probabilitas kesalahan tipe II (menyimpulkan proses itu terkendali apabila sebenarnya tak terkendali). Kadang-kadang menolong untuk menggunakan kurva karakteristik operasi grafik pengendali untuk memperagakan probabilitas kesalahan tipe II. Ini akan merupakan petunjuk kemampuan grafik pengendali guna menyidik pergeseran proses yang besarnya berbeda-beda.

Untuk melukiskan jalan pikiran di atas, kita beri satu contoh grafik pengendali. Dalam pembuatan cincin piston mesin mobil, karakteristik kualitas adalah diameter luar cincin itu. Proses itu dapat

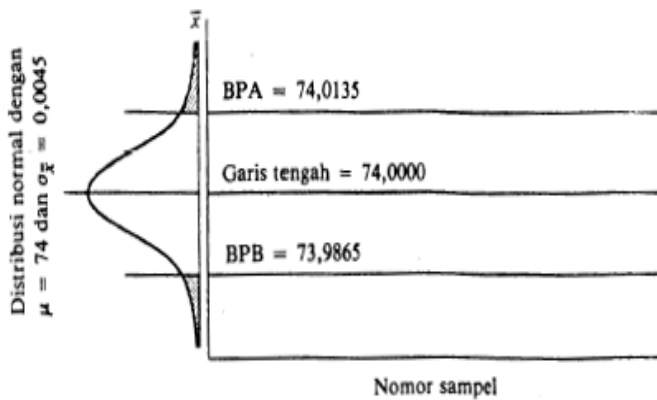
dikendalikan pada mean diameter cincin luar 74 mm, dan diketahui bahwa deviasi standar diameter cincin 0,01 mm. Grafik pengendali untuk diameter cincin rata-rata ditunjukkan dalam Gambar 6.2. Tiap setengah jam sampel random dengan lima cincin diambil, diameter cincin rata-rata (katakan \bar{x}) dihitung, dan \bar{x} dituangkan dalam grafik. Karena grafik pengendali ini memanfaatkan mean sampel untuk memantau mean proses, maka grafik ini bisa dinamakan grafik pengendali \bar{x} . Perhatikan bahwa semua titik jatuh di dalam Batas pengendali, sehingga grafik itu menunjukkan bahwa proses dalam terkendali statistik.

Untuk membantu dalam pemahaman dasar statistik grafik pengendali, perhatikan bagaimana Batas pengendali ditentukan. Rata-rata proses adalah 74 mm, dan deviasi standar proses $\sigma = 0,01$ mm. Sekarang apabila sampel-sampel berukuran $n = 5$ diambil, deviasi standar mean sampel \bar{x} adalah:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,01}{\sqrt{5}} = 0,0045$$



Gambar 7.3 Grafik pengendali \bar{x} diameter cincin piston. (Montgomery, 1993)



**Gambar 7.4 Bagaimana Grafik Pengendali Bekerja.
 (Montgomery, 1993)**

Dengan demikian, apabila proses itu dalam keadaan terkendali dengan mean diameter 74 mm, maka dengan menggunakan teorema limit pusat guna menganggap bahwa \bar{x} mendekati distribusi normal, kita akan mengharapkan $100(1 - \alpha)\%$ mean sampel diameter \bar{x} akan jatuh di antara $74 + Z_{\alpha/2}(0,0045)$ dan $74 - Z_{\alpha/2}(0,0045)$. Kita akan memilih menurut keinginan kita konstan $Z_{\alpha/2}$ sama dengan 3, sehingga batas pengendali atas dan bawah menjadi

$$\text{BPA} = 74 + 3(0,0045) = 74,0135$$

dan

$$\text{BPB} = 74 - 3(0,0045) = 73,9865$$

Sebagaimana ditunjukkan dalam grafik pengendali, ini secara khusus dinamakan Batas pengendalian "3-sigma". Lebar Batas pengendali berbanding terbalik dengan ukuran sampel n untuk kelipatan sigma tertentu. Perhatikan bahwa pemilihan Batas pengendali ekivalen dengan

penetapan daerah kritik untuk uji hipotesis

$$H_0: \mu = 74$$

$$H_1: \mu \neq 74$$

dengan $\sigma = 0,01$ diketahui. Pada dasarnya, grafik pengendali hanyalah uji hipotesis ini berulang-ulang pada titik waktu yang lain. Situasi itu dilukiskan dengan grafik dalam Gambar 7.3.

Kita dapat memberikan model umum untuk grafik pengendali. Misalkan w adalah statistik sampel yang mengukur suatu karakteristik kualitas yang menjadi perhatian, dan misalkan bahwa mean w adalah μ_w dan deviasi standar w adalah σ_w , Maka garis tengah, Batas pengendali atas dan Batas pengendali bawah menjadi

$$\text{BPA} = \mu_w + k\sigma_w$$

$$\text{Garis tengah} = \mu_w$$

$$\text{BPB} = \mu_w - k\sigma_w$$

dengan k adalah "jarak" Batas-Batas ngendali dari garis tengah, yang dinyatakan dalam unit deviasi standar. Teori umum grafik pengendali ini pertamakali ditemukan oleh Dr. Walter' A. Shewhart, dan grafik pengendali yang dikembangkan menurut asas-asas ini kerap kali dinamakan *Grafik pengendali Shewhart*.

Grafik pengendali adalah alat untuk menggambarkan dengan cara yang tepat apa yang dimaksudkan dengan pengendalian statistic, dengan itu dapat digunakan dalam berbagai cara. Dalam banyak penerapan, ini digunakan untuk mengawasi proses pada jalur. Yakni, data sampel dikumpulkan dan digunakan untuk membentuk grafik pengendali, dan apabila nilai sampel \bar{x} (misalnya) jatuh di dalam batas-batas pengendali, dan tidak memperlihatkan sesuatu pola sistematis, kita katakan proses dalam keadaan terkendali pada tingkat yang ditunjukkan oleh grafik. Perhatikan bahwa kita di sini dapat tertarik pada penentuan apakah data yang lalu data dari suatu proses yang

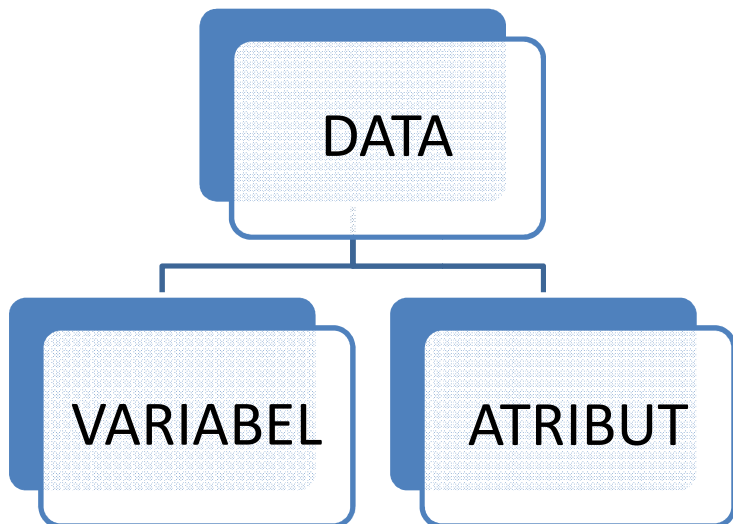
terkendali dan apakah kelompok bagian yang akan datang dari proses ini menunjukkan terkendali statistik.

Grafik pengendali dapat juga digunakan sebagai alat pengendalian manajemen guna mencapai tujuan tertentu berkenaan dengan kualitas proses. Garis tengah dan batas-batas pengendali mungkin *nilai-nilai standar* yang dipilih oleh manajemen sedemikian hingga mereka menghendaki proses dalam keadaan terkendali pada tingkat kualitas itu. Data sampel dapat dituangkan dalam grafik, dan apabila penyimpangan dari keadaan terkendali diselidiki dan diperbaiki, maka akhirnya proses dapat dibawa ke keadaan terkendali pada nilai sasaran atau standar. Pemeliharaan grafik pengendali di masa rriendatang akan menyidik penyimpangan berikutnya dari keadaan terkendali.

Kita dapat juga menggunakan grafik pengendali sebagai, *alat penaksir*. Yakni, dari grafik pengendali yang menunjukkan terkendali statistik, kita dapat menaksir parameter proses tertentu, seperti mean, deviasi standar, bagian yang tak sesuai atau "rontok", dan sebagainya. Selanjutnya taksiran ini dapat digunakan untuk menentukan *kemampuan* proses itu dalam menghasilkan produk yang dapat diterima. *Studi kemampuan proses* seperti itu mempunyai dampak yang cukup besar pada banyak masalah keputusan manajemen yang terjadi dalam putaran produk, termasuk putusan membuat atau membeli, peningkatan pabrik dan proses yang mengurangi variabilitas proses, dan perjanjian kontrak dengan langganan atau penjual mengenai kualitas produk.

Grafik pengendali dapat diklasifikasikan ke dalam dua tipe umum. Apabila karakteristik kualitas dapat diukur dan dinyatakan dalam bilangan, ini bisaanya dinamakan *variabel*. Dalam hal seperti itu, tepat sekali untuk melukiskan karakteristik kualitas dengan ukuran tengah dan ukuran variabilitas. Grafik pengendali untuk nilai tengah dan variabilitas bersama-sama dinamakan *grafik pengendali variabel*. Grafik \bar{x} adalah yang paling luas digunakan untuk pengendalian nilai

tengah, sedang grafik yang berdasarkan rentang sampel atau deviasi standar sampel digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses,. Banyak karakteristik kualitas yang tidak diukur dengan skala kuantitatif. Dalam keadaan ini kita dapat menilai tiap unit produk sebagai sesuai atau tidak sesuai atas dasar apakah produk itu memiliki atau tidak memiliki sifat tertentu, atau kita dapat mencacah banyak yang tidak sesuai (cacat) yang tampak pada suatu unit produk. Grafik pengendali untuk karakteristik kualitas semacam itu dinamakan grafik pengendali *sifat (atribut)*.



Gambar 7.5 Klasifikasi Data

Merupakan kebiasaan, dalam kebanyakan masalah pengendali kualitas, untuk merancang grafik pengendali terutama menggunakan pertimbangan-pertimbangan statistik. Misalnya, kita tahu bahwa menaikkan ukuran sampel akan mengurangi probabilitas kesalahan tipe II, jadi mempertinggi kemampuan grafik untuk menyidik keadaan tak terkendali, dan seterusnya. Penggunaan kriteria statistik seperti ini bersama dengan pengalaman industri telah membawa ke garis pedoman dan prosedur umum untuk merancang grafik pengendali. Prosedur ini

bisaanya memandang faktorr biaya hanya dalam cara implisit. Tetapi, baru-baru ini kita telah mulai memeriksa rancangan grafik pengendali dari sudut pandangan,ekonomi, dengan memandang biaya pengambilan sampel secara eksplisit, kerugian dari membiarkan terlalu banyak produk yang cacat yang diproduksi, dan biaya penyelidikan tanda-tanda tak terkendali yang sebenarnya "tanda bahaya palsu".

Grafik pengendali telah rnepunyai sejarah penggunaan yang panjang dalam industri Amerika dan juga dalam banyak industri lepas pantai. Paling sedikit ada lima alasan untuk ini,

1. Grafik pengendali adalah teknik yang telah terbukti guna meningkatkan produktivitas. Suatu program grafik pengendali yang berhasil akan mengurangi buangan dan pembuatan ulang yang merupakan pembunuh produktivitas yang utama dalam *setiap* operasi. Apabila anda mengurangi buangan dan pembuatan ulang, maka produktivitas bertambah, biaya berkurang, dan kapasitas produksi (diukur dalam bagian-bagian yang *balk* per jaln) bertambah.
2. Grafik pengendali efektif dalam pencegahan cacat. Grafik pengendali membantu memelihara proses itu terkendali, yang konsisten dengan falsafah "kerjakan dengan benar sejak awal". Tidak pernah lebih murah memisahkan unit "baik" dari unit yang "buruk" kemudian daripada membuatnya benar pada awalnya. Apabila anda tidak mempunyai pengendali proses yang efektif, anda membayar seseorang untuk membuat produk yang tidak sesuai.
3. Grafik pengendali mencegah penyesuaian proses yang tidak perlu. Grafik pengendali dapat membedakan antara gangguan dasar dan variasi abnormal, tidak ada alat yang lain termasuk operator manusia sama efektifnya dengan ini. Apabila operator proses menyesuaikan proses berdasarkan pengujian periodik yang tidak berrhubungan dengan program grafik pengendali, mereka sering kali bertindak berlebihan sampai gangguan dasar dan melakukan penyesuaian-penyesuaian yang tidak diperlukan. Penyesuaian yang tidak perlu ini benar-benar dapat mengakibatkan kemerosotan penampilan proses. Dengan perkataan lain, grafik pengendali kon-

- sisten dengan falsafah "apabila tidak rusak, jangan diperbaikinya".
4. Grafik pengendali memberikan informasi diagnostik. Sering kali pola titik-titik dalam grafik pengendali akan memuat informasi bernilai diagnostik bagi operator atau insinyur yang berpengalaman. Informasi ini memberikan pelaksanaan suatu perubahan dalam proses
 5. Grafik pengendali memberikan informasi tentang kemampuan proses. Grafik pengendali memberikan informasi tentang nilai parameter proses yang penting dan stabilitasnya terhadap waktu. Ini memberikan taksiran kemampuan proses yang akan dibuat. Informasi ini berguna bagi perancang produk dan proses.

Tabel 7.1 Jenis Peta kendali

Tipe	Jenis	Kegunaan
Atribut	Peta p	Untuk proporsi unit cacat
	Peta np	Untuk proporsi unit cacat dengan jumlah sampel sama
	Peta c	Untuk jumlah cacat suatu unit dengan jumlah sampel berbeda
	Peta u	Untuk jumlah cacat suatu unit dengan sampel berbeda
Variabel	Peta \bar{x} -R	Untuk rata-rata subgrup dan range subgrup
	Peta \bar{x} -S	Untuk rata-rata subgrup dan standar deviasi subgrup

7.1.1. Pemilihan Batas-Batas Pengendali

Menentukan Batas pengendali adalah salah satu putusan yang penting yang harus dibuat dalam merancang grafik pengendali. Dalam

memindahkan Batas pengendali lebih jauh dari garis tengah, kita menurunkan risiko kesalahan tipe I, yakni risiko suatu titik akan jatuh di luar Batas pengendali, yang menunjukkan keadaan tak terkendali apabila tidak ada sebab tersangka. Tetapi, memperlebar Batas pengendali juga akan menaikkan risiko kesalahan tipe II, yakni suatu titik akan jatuh di antara Batas pengendali ketika proses benar-benar tak terkendali. Apabila kita memindahkan Batas pengendali lebih dekat ke garis tengah, akan diperoleh akibat yang sebaliknya, risiko kesalahan tipe I naik, sedangkan risiko kesalahan tipe II turun.

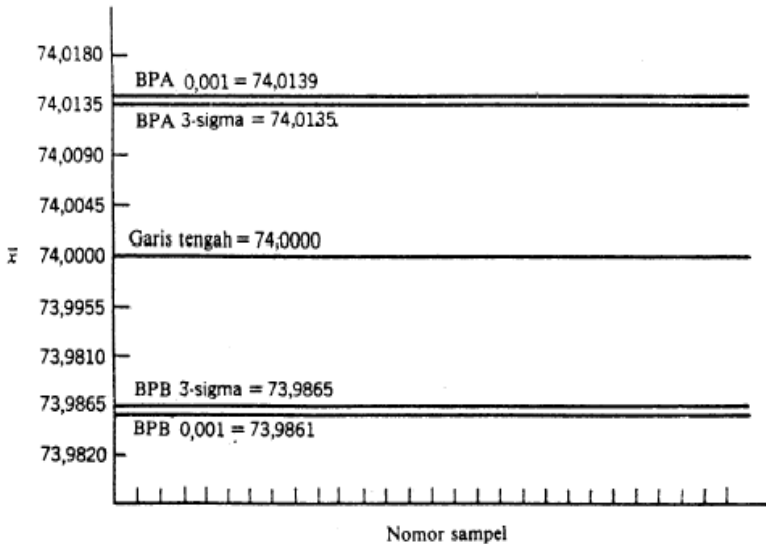
Untuk grafik \bar{x} yang ditunjukkan dalam Gambar 7.3, di mana digunakan Batas pengendali 3-sigma, apabila kita anggap bahwa diameter cincin piston berdistribusi normal, kita peroleh dari tabel normal standar bahwa probabilitas kesalahan tipe I adalah 0,0027. Yakni, suatu tanda tak terkendali yang salah atau tanda bahaya salah akan dibangkitkan hanya dalam 27 dari 10.000 titik. Lagi pula, probabilitas bahwa suatu titik yang diambil ketika proses itu dalam keadaan terkendali akan melebihi Batas 3-sigma hanya dalam satu arah adalah 0,00135. Kecuali menyatakan Batas pengendali sebagai kelipatan deviasi standar x , kita dapat memilih secara langsung probabilitas kesalahan tipe I dan menghitung batas pengendali yang bersangkutan. Misalnya, apabila kita nyatakan probabilitas kesalahan tipe I dalam satu arah 0,001, maka kelipatan deviasi standar yang sesuai adalah 3,09. Maka batas-batas pengendali untuk grafik x adalah

$$\begin{aligned} \text{BPA} &= 74 + 3,09(0,0045) = 74,0139 \\ \text{BPB} &= 74 - 3,09(0,0045) = 73,9861 \end{aligned}$$

Batas pengendali ini dinamakan Batas probabilitas 0,001. Grafik \bar{x} dengan Batas 3-sigma dan Batas 0,001 ditunjukkan dalam Gambar 6.4. Hanya terdapat perbedaan sedikit antara kedua Batas itu.

Apa pun distribusi karakteristik kualitas, merupakan standar pelaksanaan di Amerika Serikat untuk menentukan Batas pengendali sebagai kelipatan deviasi standar statistik yang digambar grafiknya.

Kelipatan yang bisa dipilih adalah 3, sehingga Batas 3-sigma bisa digunakan dalam grafik pengendali. Ini benar apa pun macam grafik.



**Gambar 7.6 Batas Kendali
(Montgomery, 1993)**

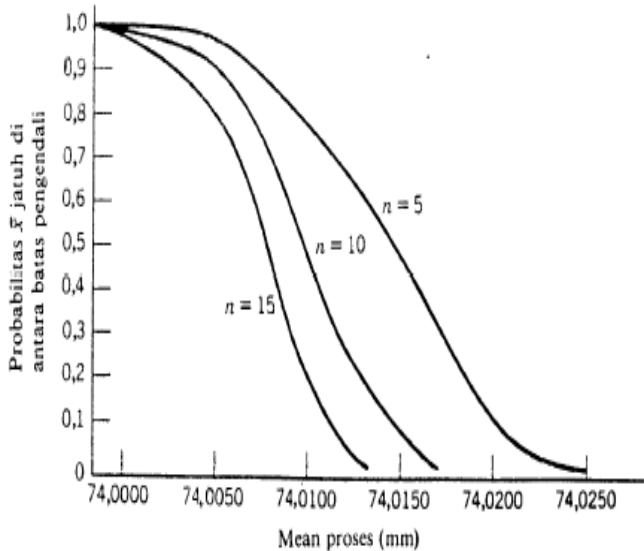
Perbandingan batas probabilitas 3-sigma dan 0,001 grafik \bar{x} yang digunakan. Di Inggris dan beberapa bagian Eropa Barat, Batas probabilitas yang digunakan, dengan tingkat probabilitas standar adalah 0,001.

Kita khususnya membenarkan penggunaan Batas pengendali 3-sigma itu atas dasar bahwa Batas-Batas itu memberikan hasil yang baik dalam praktek. Demikian juga, dalam banyak hal distribusi karakteristik kualitas yang sebenarnya tidak diketahui cukup baik untuk menghitung batas probabilitas yang tepat. Apabila distribusi karakteristik kualitas didekati dengan baik oleh distribusi normal, maka akan kecil perbedaan antara Batas 3-sigma dan Batas probabilitas 0,001.

Pemilihan Batas 3-sigma digunakan secara luas dalam praktek, pemilihan kelipatan sigma yang digunakan harus diarahkan oleh pertimbangan-pertimbangan ekonomi. Misalnya, apabila kerugian yang berkaitan dengan membiarkan proses beroperasi dalam keadaan tak terkendali adalah besar relatif dengan biaya penyelidikan dan mungkin perbaikan sebab-sebab terduga, maka mungkin cocok dengan kelipatan sigma yang lebih kecil, seperti misalnya 2 atau 2,5.

Batas *tindakan* yang bisa, yakni, apabila suatu titik jatuh di luar Batas ini, maka dilakukan pencarian sebab terduga dan jika perlu diambil tindakan perbaikan. Batas dalam, biasanya pada 2 sigma, dinamakan Batas *peringatan*. Apabila digunakan Batas probabilitas, maka umumnya Batas tindakan adalah batas 0,001 dan Batas peringatan adalah Batas 0,025. Apabila satu atau beberapa titik jatuh di antara Batas peringatan dan Batas tindakan atau sangat dekat Batas peringatan, maka kita harus curiga mungkin proses itu tidak bekerja dengan wajar. Satu tindakan yang mungkin jika ini terjadi adalah meningkatkan frekuensi pengambilan sampel dan menggunakan data tambahan ini dalam hubungannya dengan titik-titik yang mencurigakan untuk menyelidiki keadaan pengendalian proses itu.

Batas peringatan meningkatkan kepekaan grafik pengendaii. Kekurangannya adalah bahwa Batas itu tidak mempunyai interpretasi praktis dan dapat membingungkan personil pelaksana. Biasanya ini bukan keberatan yang serius.



**Gambar 7.7 Kurva Karakteristik Operasi Grafik \bar{x} .
(Montgomery, 1993)**

7.1.2. Ukuran Sampel dan Frekuensi Pengambilan Sampel

Dalam merancang grafik pengendali, orang harus menentukan ukuran sampel yang digunakan dan frekuensi pengambilan sampel. Umumnya, makin besar sampel akan makin mudah menyidik pergeseran kecil dalam proses itu. Ini ditunjukkan dalam Gambar 6.5, di mana kita telah menggambarkan kurva karakteristik operasi bagi grafik \bar{x} dalam Gambar 6.1 untuk berbagai ukuran sampel. Perhatikan bahwa probabilitas akan menyidik suatu pergeseran dari 74,0000 mm ke 74,0100 mm (misalnya) naik apabila ukuran sampel n baik. Bilamana memilih ukuran sampel, kita harus selalu mengingat besar pergeseran yang kita coba menyidiknya. Apabila pergeseran proses relatif besar, maka kita gunakan ukuran sampel yang lebih kecil daripada yang akan kita gunakan apabila pergeseran yang menjadi perhatian kita relatif kecil.

Kita juga harus menentukan frekuensi pengambilan sampel. Keadaan yang paling disenangi dari pandangan penyidikan pergeseran adalah mengambil sampel-sampel besar dengan sangat seringnya, tetapi biasanya secara ekonomi tidak mungkin. Masalah yang umum adalah masalah *usaha penentuan bagaimana pengambilan sampel itu*. Yakni, apakah kita mengambil sampel-sampel kecil dalam interval waktu yang pendek atau sampel-sampel besar dalam interval waktu yang lebih lama. Praktek industri masa kini cenderung menyenangi sampelsampel yang lebih kecil dan lebih sering, khususnya dalam proses produksi volume tinggi, atau waktu banyak sekali macam sebab terduga yang dapat terjadi. Selanjutnya, selagi teknologi pengukuran dan penginderaan otomatis berkembang, ini memungkinkan untuk banyak mengurangi frekuensi pengambilan sampel. Akhirnya, setiap unit dapat diuji sebagaimana diproduksi. Penginderaan otomatis dan mikrokomputer yang kuat dengan perangkat lunak pengendalian proses statistik yang diterapkan pada pusat kerja untuk pengendalian proses pada jalur dalam waktu riil adalah dimensi baru yang penting dalam pengendalian Proses statistik.

Untuk menjawab pertanyaan tentang frekuensi pengambilan sampel secara lebih tepat, kita harus memperhitungkan beberapa faktor, termasuk biaya pengambilan sampel, kerugian yang berkaitan dengan membiarkan proses bekerja dalam keadaan tak terkendali, tingkat proyeksi, dan probabilitas berbagai macam pergeseran proses akan terjadi.

7.1.3. Himpunan Bagian Rasional

Pemikiran dasar dalam penggunaan grafik pengendali adalah kumpulan data sampel menurut yang dinamakan Shewhart konsep *himpunan bagian rasional*. Umumnya, ini berarti bahwa himpunan bagian atau sampel harus dipilih sedemikian, hingga apabila sebab-sebab terduga itu ada, kemungkinan adanya perbedaan *antara* himpunan bagian akan maksimum, sedangkan kemungkinan adanya perbedaan di dalam himpunan bagian akan minimum.

Apabila grafik pengendali diterapkan pada proses produksi, urutan waktu produksi adalah dasar yang logis guna pengambilan himpunan bagian rasional. Meskipun urutan waktu terpelihara, masih mungkin membentuk himpunan bagian secara salah. Apabila beberapa observasi dalam sampel diambil pada akhir satu periode kerja dan observasi yang lain diambil pada awal periode kerja berikutnya, maka perbedaan antara periode kerja mungkin tidak dapat disidik. Urutan waktu sering kali merupakan dasar yang baik guna pembentukan himpunan bagian sebab urutan waktu memungkinkan kita menyidik sebab-sebab terduga yang terjadi menurut waktu.

Dua pendekatan umum digunakan dalam pembentukan himpunan bagian rasional. Dalam pendekatan pertama, tiap sampel terdiri dari unit yang diproduksi pada waktu yang sama (atau sedekat mungkin bersama). Pendekatan ini digunakan apabila tujuan utama grafik pengendali adalah untuk menyidik pergeseran proses. Ini meminimumkan kemungkinan variabilitas *dalam* suatu sampel, dan memaksimumkan variabilitas *antara* sampel apabila ada sebab-sebab terduga. Ini juga memberikan taksiran yang lebih baik untuk deviasi standar proses itu dalam hal grafik pengendali variabel.

Dalam pendekatan kedua, tiap sampel terdiri dari unit produk yang mewakili *semua* unit yang sudah diproduksi sejak himpunan bagian terakhir diambil. Pada dasarnya, tiap sampel adalah *sampel random* dari semua hasil proses selama interval pengambilan sampel. Metode himpunan bagian ini digunakan apabila grafik pengendali dipakai untuk membuat keputusan tentang penerimaan semua produk yang telah diproduksi sejak sampel terakhir. Misalkan kita membentuk sampelsampel seperti dalam metode pertama di atas, dan keadaannya mungkin bagi proses itu bergeser ke dalam keadaan tak terkendali, dan kemudian kembali ke keadaan terkendali lagi di antara sampel-sampel itu. Apabila produk yang cacat ini tidak dapat disidik dari awal proses produksi, maka metode pengambilan himpunan bagian kedua ini harus digunakan. Perhatikan bahwa apabila kita bentuk himpunan bagian dengan cara ini, grafik pengendali bagi pemencaran proses (seperti

grafik rentang atau deviasi standar) memerlukan interpretasi yang saksama. Tentulah mungkin pergeseran dalam rata-rata proses menyebabkan titik-titik pada grafik dispersi memperlihatkan tak terkendali, meskipun tidak ada perubahan dalam variabilitas proses.

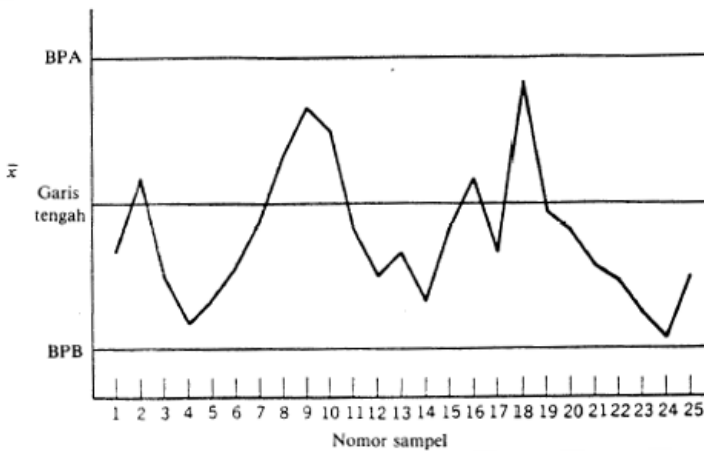
Ada lagi dasar-dasar lain guna membentuk himpunan bagian rasional. Sebagai contoh, andaikan suatu proses terdiri dari mesin-mesin yang menggabungkan hasilnya ke dalam aliran bersama. Apabila kita mengambil sampel dari aliran hasil bersama ini, akan sangat sukar menyidik apakah beberapa dari mesin itu tak terkendali atau tidak. Suatu pendekatan yang masuk akal guna pengambilan himpunan bagian rasional di sini adalah penerapan teknik grafik pengendali bagi hasil tiap-tiap mesin. Kadang-kadang konsep ini perlu diterapkan pada bagian depan yang berbeda pada mesin yang sama, stasiun kerja yang berbeda, operator yang berlainan, dan seterusnya.

7.1.4. Analisis Pola Pada Diagram Pengendali

Suatu pengendali dapat menunjukkan keadaan tak terkendali apabila satu atau beberapa titik jatuh di luar batas pengendali, atau apabila titik dalam dalam grafik menunjukkan pola tingkah laku yang takrandom, pandang grafik \bar{x} yang ditunjukkan dalam gambar 6.6. meskipun semua 25 titik jatuh di dalam batas pengendali, titik-titik itu tidak menunjukkan terkendali statistik karena polanya tampak sangat tidak random. Khususnya, kita catat bahwa 19 dari 25 titik jatuh di bawah garis tengah, sedangkan hanya 6 di antaranya jatuh di atasnya. Apabila titik itu benar-benar random, kita seharusnya mengharapkan distribusi titik-titik di atas dan di bawah garis tengah kira-kira sama. Kita juga mengamati bahwa setelah titik keempat, lima titik berturut-turut bertambah besar. Susunan titik semacam ini dinamakan giliran giliran (run) karena observasi bertambah besar, kita dapat menamakan ini giliran naik Demikian juga, barisan titik-titik yang menurun dinamakan giliran turun. Grafik pengendali ini mempunyai suatu giliran naik yang luar biasa panjang (mulai dengan titik keempat), dan suatu giliran turun yang panjang luar biasa (mulai dengan titik kedelapan belas).

Pada umumnya, kita mendefinisikan suatu giliran sebagai barisan observasi yang semacam. Kecuali giliran naik dan giliran turun, kita dapat mendefinisikan macam-macam observasi seperti yang di atas dan di bawah garis tengah, sehingga dua titik berturutan di atas garis tengah akan merupakan giliran dengan panjang 2.

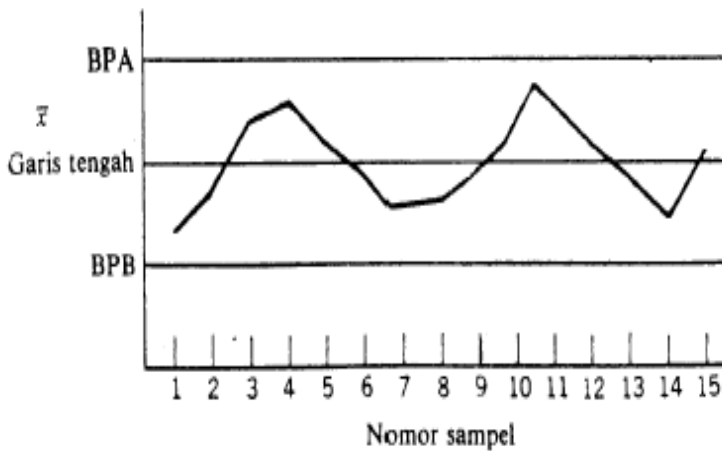
Suatu giliran dengan panjang delapan titik atau lebih mempunyai probabilitas sangat rendah akan terjadinya dalam sampel random titik-titik. Akibatnya, setiap giliran dengan panjang delapan lebih harus diambil sebagai tanda keadaan tak terkendali. Misalnya, delapan titik berturut-turut pada satu sisi garis tengah akan menunjukkan bahwa proses itu tak terkendali.



Gambar 7.8 Grafik pengendali \bar{x} .
(Montgomery, 1993)

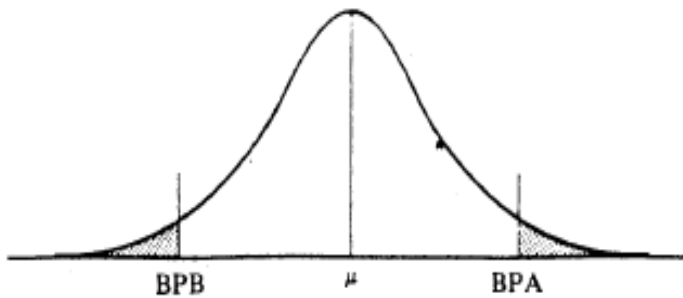
Selagi giliran adalah ukuran yang penting tingkah laku tak random pada suatu grafik pengendali, maca-macam pola lain dapat juga mnunjukkan keadaan tak terkendali. Sebagai contoh, pandang grafik \bar{x} dalam Gambar 7.7. Perhatikan bahwa gambar rata-rata sampel

menunjukkan tingkah laku siklis, sekalipun demikian rata-rata itu semuanya jatuh di dalam batas pengendali. Pola semacam itu dapat menunjukkan suatu masalah dengan proses itu, seperti misalnya kelelahan operator, pengiriman bahan baku, penambahan tegangan atau panas, dan seterusnya. Meskipun proses tidak benar-benar tak terkendali, hasilnya dapat ditingkatkan dengan penghapusan atau pengurangan sumber-sumber variabilitas yang menyebabkan tingkah laku siklis ini. (lihat Gambar 7.8).

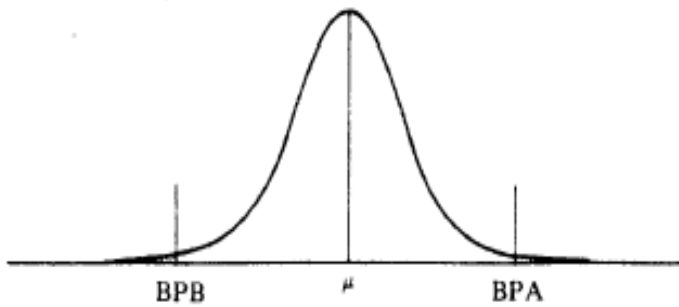


Gambar 7.9 Gambar \bar{x} dengan pola siklis.
(Montgomery, 1993)

Masalah ini adalah masalah *pengenalan pola*, yakni, mengenali pola sistematis atau tak random pada grafik pengendali dan mengenali alasan sebab tingkah laku ini. Kemampuan menginterpretasi suatu pola tertentu dalam bentuk sumber-sumber tersangka memerlukan pengalaman dan pengetahuan mengenai proses tersebut. Yakni, seharusnya kita harus juga tidak hanya mengetahui asas-asas statistik grafik pengendali, tetapi kita harus juga mempunyai pengertian yang baik tentang proses itu.



(a)

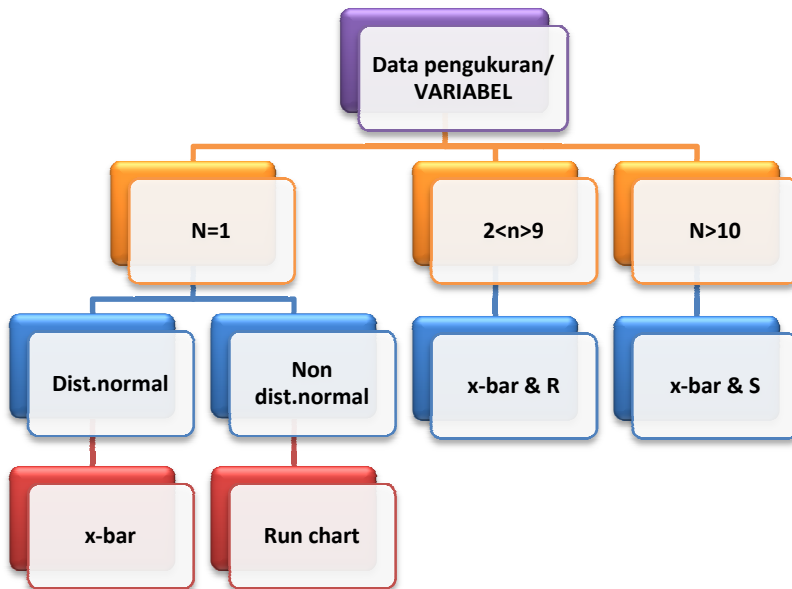


(b)

Gambar 7.10 (a) Variabilitas dengan pola siklis. (b) Variabilitas dengan pola siklis dihilangkan.

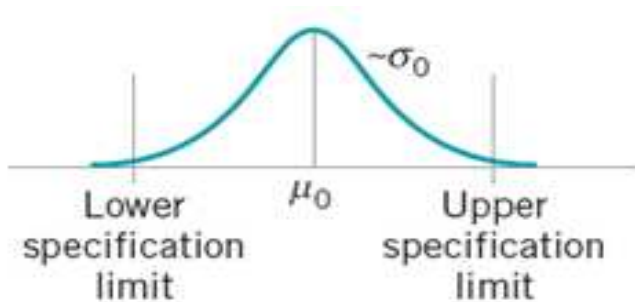
7.2. Grafik Pengendali Sifat Variable

Suatu karakteristik yang dapat diukur seperti dimensi, berat, atau volume dinamakan variabel. Pengendalian rata-rata proses mean tingkat kualitas bisaanya dengan grafik pengendali untuk mean atau grafik x-bar.

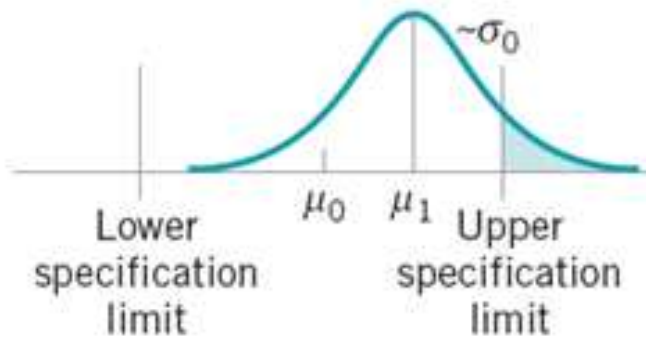


Gambar 7.11 Klasifikasi Peta Kendali Variabel

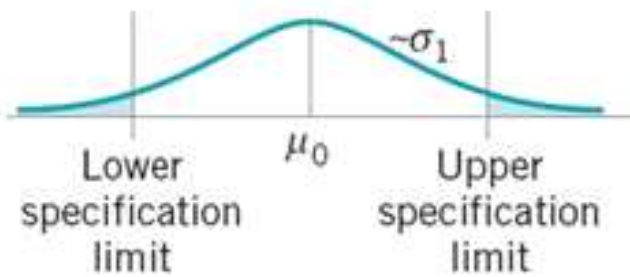
Variabilitas atau pemencaran proses dapat dikendalikan dengan grafik pengendali untuk deviasi standar (grafik S) atau grafik pengendali rentang (grafik R)



(a)



(b)



(c)

Gambar 7.12 Perlunya Mengendalikan Mean Proses Dan Variabilitas Proses, (A) Mean Deviasi Standar Pada Tingkat Nominal, (b) Mean Proses $\mu_1 > \mu_0$, Deviasi Standar Proses $\sigma_1 > \sigma_0$

7.2.1. Grafik pengendali x-bar dan R

1. μ dan σ diketahui

Jika karakteristik kualitas berdistribusi normal dan x_1, x_2, \dots, x_n sampel berukuran n , maka rata – ratanya adalah



$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

\bar{x} berdistribusi normal dengan mean μ dan deviasi standar, probabilitas $1-\alpha$, dan setiap mean sampel akan berada diantara

$$\mu + Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{dan} \quad \mu - Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Karena menggunakan batas 3σ maka $Z_{\alpha/2}$ bisa diganti dengan 3, didapatkan

$$\mu + Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{dan} \quad \mu - Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

 **Batas Pengendali Atas**  **Batas Pengendali Bawah**

2. μ dan σ tidak diketahui

1. Menaksir μ

Misalkan tersedia m sampel, masing – masing memuat n observasi pada karakteristik kualitas, dengan x_1, x_2, \dots, x_m adalah rata tiap sampel, maka penaksir terbaik untuk rata – rata proses μ adalah

2. Menaksir σ

Untuk menaksir σ dari deviasi standar atau rentang m sampel dapat menggunakan metode rentang, jika x_1, x_2, \dots, x_n suatu sampel berukuran n , maka rentang sampel (R)

$$R = x_{\text{maks}} - x_{\text{min}}$$

Hubungan rentang sampel dan standar deviasi dari dist normal

$$W = \frac{R}{\sigma} \rightarrow \text{Rentang relatif}$$
$$\bar{W} = d_2$$

Sehingga penaksir untuk σ

W adalah fungsi ukuran sampel n dan d_2 adalah ukuran sampel diberikan pada lampiran.

Jika R_1, R_2, \dots, R_m adalah rentang m sampel, maka rentang rata – ratanya

Sehingga taksiran untuk σ

Jika ukuran sampel relatif kecil, metode rentang menghasilkan penaksir untuk variansi yang hampir sama baiknya seperti penaksir kuadratik bisaa (variansi sampel S^2). Efisiensi relatif metode rentang

terhadap S^2 untuk berbagai ukuran sampel ditunjukkan di bawah ini

Table 7.2 Efisiensi Relatif

n	Efisiensi Relatif
2	1,000
3	0,992
4	0,975
5	0,955
6	0,930
10	0,850

Jika $n \geq 10$, rentang kehilangan efisiensi secara cepat karena rentang mengabaikan semua informasi dalam sampel antara $x_{\text{maks}} - x_{\text{min}}$. Ukuran sampel yang kecil ($n = 4, 5, 6$) kerap kali digunakan pada grafik pengendali variabel karena menghasilkan hasil yang memuaskan. Jika \bar{X} adalah μ dan \bar{R}/d_2 adalah σ , maka grafik \bar{X} adalah:

$$UCL = \bar{X} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

$$\text{Centre line} = \bar{X}$$

$$LCL = \bar{X} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}}\bar{R}$$

Dan jika

$$A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$$

Maka kita dapat menuliskan rumusnya menjadi;

$$BPA = \bar{\bar{x}} + R_2\bar{x}$$

$$\text{Garis tengah} = \bar{\bar{x}}$$

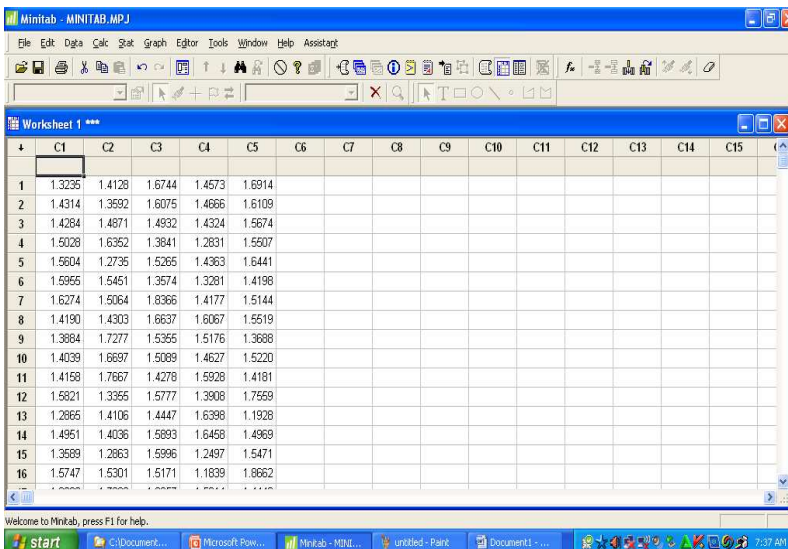
$$BPB = \bar{\bar{x}} - R_2\bar{x}$$

A_2 : Suatu kuantitas yang bernilai konstan yang tergantung pada ukuran sampel.

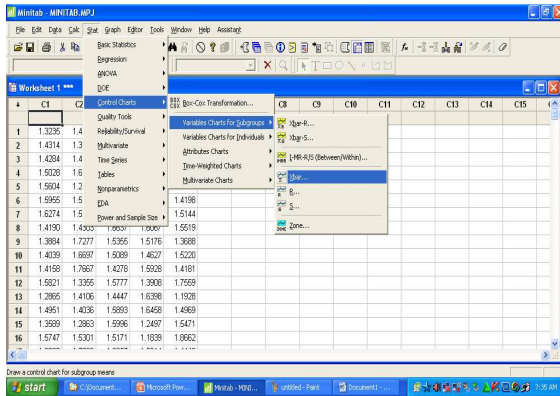
7.2.2. Membuat grafik \bar{X} dengan Minitab

Untuk membuat grafik kendali \bar{X} bisa menggunakan bantuan software minitab dengan langkah-langkah berikut ini;

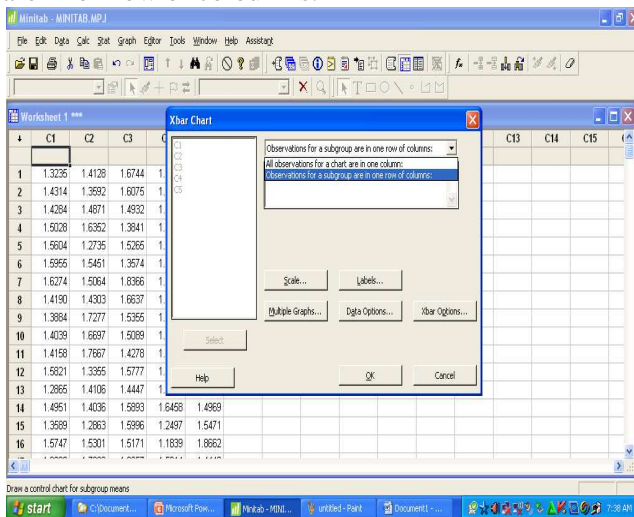
1. Masukkan data dalam lembar kerja minitab



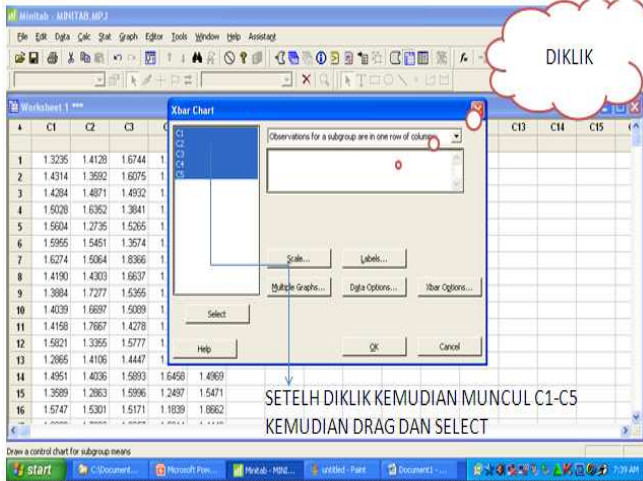
2. Pilih stat>control chart>variabel chart for sub group>x-bar



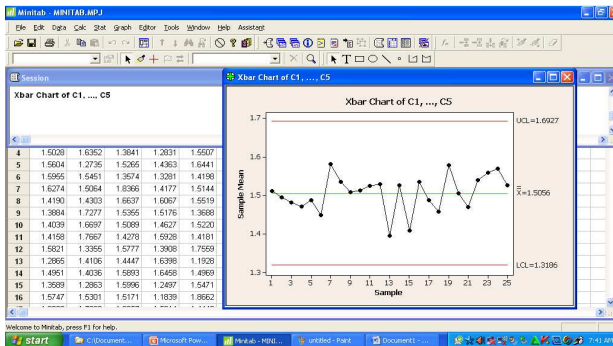
3. Kemudian akan muncul gambar dibawah ini pilih observation for a group are in on row of columns.



- Setelah langkah diatas dilakukan, maka akan muncul C1-C5 (data) seperti gambar dibawah ini, kemudian drag dan klik select.



- Setelah C1-C5 muncul kemudian langkah selanjutnya adalah klik ok, maka kita akan mendapatkan grafik kendali seperti gambar di bawah ini.



7.2.3. Grafik R

Pada grafik R, yang menjadi target atau titik tengah adalah \bar{R} , dan untuk menentukan batas control kita butuh estimasi dari σ_R . Jika diasumsikan bahwa karakteristik kualitas berdistribusi normal, $\hat{\sigma}_R$ dapat didapatkan dengan $W=R/\sigma$. Dan jika standar deviasi dari W adalah d_3 , maka

$$R = \sigma W$$

Dan

$$\sigma_R = d_3 \sigma$$

Jika σ tidak diketahui, maka kita harus estimasikan σ_R dengan :

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Sehingga,

$$UCL = \bar{R} + \frac{3d_3\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Centre line} = \bar{X}$$

$$LCL = \bar{R} - \frac{3d_3\bar{R}}{d_2}$$

7.2.4. Grafik Pengendali Unit Individual

Banyak keadaan yang menggunakan sampel $n=1$ untuk pengendalian proses. Ini sering kali terjadi apabila digunakan teknologi pemeriksaan dan pengukuran otomatis dan setiap unit yang diproduksi diperiksa. Ini juga terjadi jika tingkat produksi terlalu lamban untuk dapat menggunakan ukuran sampel $n > 1$ atau apabila pengukuran-pengukuran berulang hanya erbeda karena kesalahan laboratory atau analisis seperti contohnya pada proses kimia.

Contoh:

Kekentalan suatu produk kimia adalah karakteristik kualitas yang penting. Produk itu diproduksi dalam kantong, dan arena untuk memproduksi tiap kantong memerlukan waktu beberapa jam, maka tingkat produksinya terlalu lamban untuk menggunakan ukuran sampel lebih dari satu. Kekentalan 20 kantong yang lalu ada pada table 7.3.

Table 7.3. Kekentalan Produk Kimia (Montgomery, 2005)

Nomor Kantong	Kekentalan	Rentang Bergerak
1	34.05	
2	34.40	0.35
3	33.59	0.81
4	35.96	2.37
5	34.70	1.26
6	33.51	1.19
7	33.79	0.28
8	34.04	0.25
9	34.52	0.48
10	33.75	0.77
11	33.27	0.48
12	33.71	0.44
13	34.03	0.32
14	34.58	0.55
15	34.02	0.56
16	33.97	0.05
17	34.05	0.08
18	34.04	0.01
19	33.73	0.31
20	34.05	0.32
	$\bar{x} = 34.088$	$\overline{MR} = 0.5726$

Untuk membuat grafik pengendali observasi individual, perhatikan bahwa rata-rata sampel 20 pembacaan kekentalan adalah:

$$\bar{x} = 34.008$$

dan rata-rata rentang bergerak dua observasi adalah $\overline{MR} = 0.5726$.

untuk membuat grafik rentang bergerak, kita catat bahwa $D_3 = 0$

dan $D_4 = 3,267$. Untuk $n = 2$,

maka grafik rentang bergerak mempunyai garis tengah $\overline{MR} = 0.5726$,

$LCL = 0$

$$UCL = D_4 \overline{MR} = (3,267) 0.5726 = 1.871$$

Parameter grafik pengendali pengukuran individual adalah :

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$\text{Centre line} = \bar{X}$$

$$UCL = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

Jika digunakan rentang bergerak $n = 2$ observasi, maka $d_2 = 1,128$, sehingga,

$$UCL = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$= 34.008 + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$= 35.64$$

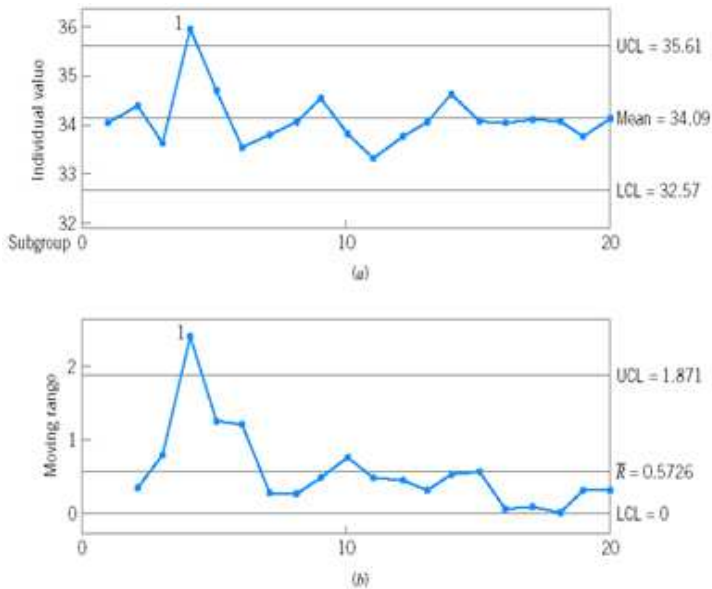
$$\text{Centre line} = \bar{X}$$

$$= 34.008$$

$$UCL = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$UCL = \bar{x} - 3 \frac{0.5726}{1,128}$$

$$= 32.57$$



Gambar 7.13 (a) Rentang Bergerak, dan (b) Observasi Individual

Harus berhati-hati dalam menginterpretasikan pola pada grafik rentang bergerak, rentang bergerak berkorelasi, dan kerap kali korelasi ini dapat mengakibatkan pola giliran atau siklis pada grafik.

Akhirnya, telah kita catat bahwa grafik pengendali individual berguna apabila teknologi pengukuran otomatis memungkinkan pemeriksaan tiap unit pada jalur sewaktu diproduksi. Prosedur pengendalian proses statistik yang lain yang bermanfaat dalam keadaan ini termasuk grafik pengendali jumlah kumulatif dan grafik pengendali berdasarkan rata-rata tertimbang.

7.3. Grafik Pengendali Sifat Atribut

Karakteristik Kualitas yang tidak dapat dinyatakan secara numerik, sesuai klasifikasi dan tidak sesuai klasifikasi atau cacat dan tidak cacat. Karakteristik kualitas seperti ini dinamakan sifat (atribut). Grafik pengendali sifat yang banyak digunakan :

1. Yang berhubungan dengan bagian produk yang tak sesuai atau cacat yang diproduksi, dinamakan grafik pengendali bagian tak sesuai atau grafik p
2. Yang berhubungan dengan banyaknya cacat atau ketidaksesuaian disebut grafik pengendali ketidaksesuaian atau grafik c
3. Yang berhubungan dengan rata-rata banyak ketidaksesuaian per unit disebut grafik pengendali ketidaksesuaian per unit atau grafik u , merupakan dasar yang lebih baik untuk pengendalian proses

7.3.1. Grafik Pengendali Bagian Tak Sesuai (Grafik p)

Merupakan perbandingan banyak benda yang tak sesuai dalam suatu populasi dengan banyak benda keseluruhan dalam populasi itu. Bisaanya dinyatakan dalam bentuk pecahan desimal, atau dapat dinyatakan dalam persen tak sesuai. Asas-asas statistik yang melandasi grafik pengendali untuk bagian tak sesuai didasarkan atas distribusi normal

Probabilitas unit produk yang tak sesuai berdistribusi Binomial dengan parameter n dan p , yakni :

$$P\{D = x\} = p^x (1 - p)^{n-x} \quad x = 0, 1, \dots, n$$

Dimana;

D = banyak unit produk yang tak sesuai

n = unit produk yang diambil

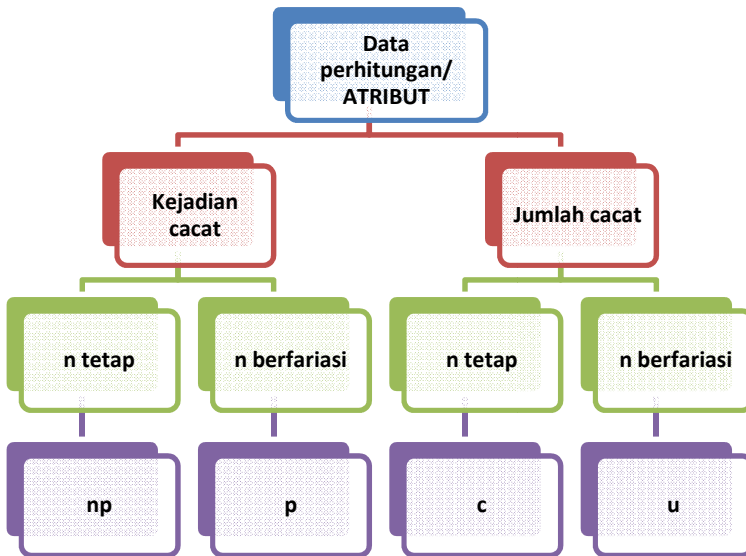
p = bagian tak sesuai

Mean $[np]$ dan variansi $[np(1 - p)]$ variabel random D , Bagian tak sesuai dalam sampel D dengan ukuran sampel n yakni :

Mean : $\mu = p$

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

Variansi :



Gambar 7.14 Klasifikasi Peta Kendali Atribut

7.3.2. Pengembangan dan Operasi Grafik Pengendali.

Dalam bab sebelumnya, kita telah membicarakan asas-asas statistic umum yang menjadi dasar grafik pengendali shewhart. Jika W suatu statistik yang mengukur suatu karakteristik kualitas, dan jika mean W adalah μ_w dan variansi W adalah, maka model umum grafik pengendali shwhart adalah sebagai berikut :

$$BPA = \mu_w + k\sigma_w$$

$$\text{GarisTengah} = \mu_w$$

$$BPB = \mu_w - k\sigma_w$$

Dengan k adalah jarak batas pengendali dari garis tengah, dalam kelipatan fariansi standar W , bisaanya dipilih $k = 3$. Jika bagian yang tak sesuai adalah p dalam proses produksi itu diketahui, atau nilai standar yang ditentukan manajemen, maka dari (7.3), garis tengah dan batas pengendali grafik pengendali bagian tak sesuai adalah :

$$BPA = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$\text{GarisTengah} = p$$

$$BPB = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Apabila bagian tak sesuai proses itu p tidak terkendali maka p itu harus ditaksir dari data observasi. Prosedur yang bisaa adalah memilih m sampel pendahuluan, masing-masing berukuran n . sebagai aturan umum, m haruslah 20 atau 25. maka jika ada D_i unit tak sesuai dalam sampel i , kita hitung bagian tak sesuai dalam sampel ke i itu sebagai sebagai berikut:

$$\hat{p} = \frac{D_i}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Dengan rata-rata bagian tak sesuai itu adalah:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{mn} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{p}_i}{m}$$

Statistik menaksir bagian tak sesuai \bar{p} yang tidak diketahui. Garis tengah dan grafik pengendali untuk bagian tak sesuai dihitung sebagai :

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

$$\text{Garis Tengah} = \bar{p}$$

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

Contoh soal

Sari jeruk dingin dipak dalam kotak karton 6 ons. Kotak ini terbuat dari mesin dengan memintalnya dari bahan karton, dan memasang lembaran metal pada bagian bawahnya. Dengan pemeriksaan kotak kita dapat menentukan apakah kotak bocor (bila diisi) pada lipatan sisi atau sekeliling lipatan bawah. Ketidaka sesuaian kotak seperti itu mempunyai tanda tak wajar bak pada lipatan sisi atau lembaran bawah. Kita ingin membuat grafik pengendali untuk memantau bagian kotak tak sesuai yang dihasilkan pada mesin ini.

Untuk membuat grafik pengendali, 30 sampel masing-masing dengan 50 kotak dipilih dalam selang setengah jam meliputi periode 3 giliran waktu mesin beroperasi terus menerus. Kita susun grafik pengendali awal untuk melihat apakah proses terkendaliketika data ini dikumpulkan. Karena 30 sampel memuat 347 kotak tak sesuai maka:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m Di}{mn}$$

$$= 347/1500 = 0,2313$$

Table 7.4 Data Untuk Batas Pengendali Percobaan (Montgomery, 2005)

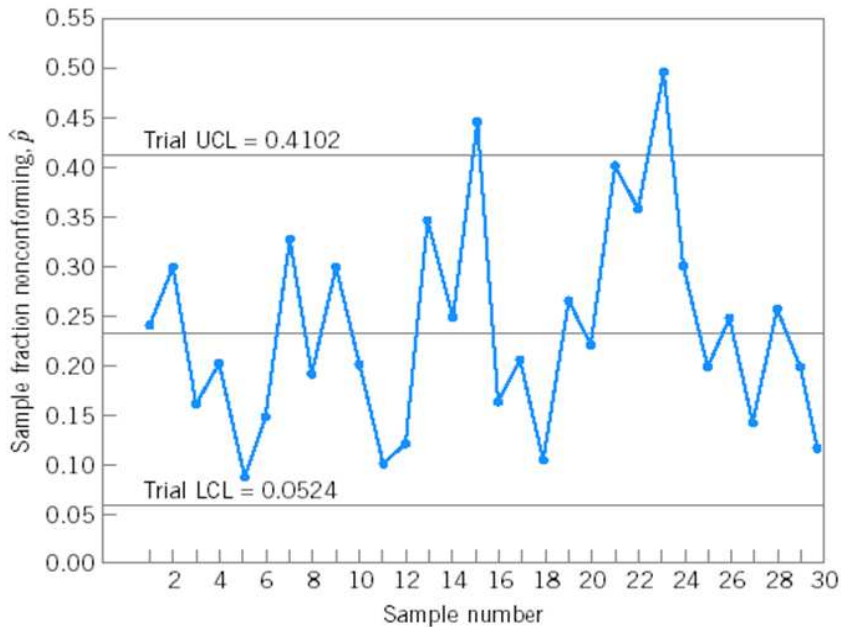
Sample Number	Number of Nonconforming Cans, D_i	Sample Fraction Nonconforming, \hat{p}_i	Sample Number	Number of Nonconforming Cans, D_i	Sample Fraction Nonconforming, \hat{p}_i
1	12	0.24	17	10	0.20
2	15	0.30	18	5	0.10
3	8	0.16	19	13	0.26
4	10	0.20	20	11	0.22
5	4	0.08	21	20	0.40
6	7	0.14	22	18	0.36
7	16	0.32	23	24	0.48
8	9	0.18	24	15	0.30
9	14	0.28	25	9	0.18
10	10	0.20	26	12	0.24
11	5	0.10	27	7	0.14
12	6	0.12	28	13	0.26
13	17	0.34	29	9	0.18
14	12	0.24	30	6	0.12
15	22	0.44		<u>347</u>	<u>0.12</u>
16	8	0.16			$\bar{p} = 0.2313$

Dengan demikian :

$$\begin{aligned}
 BPA &= \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0,2313 + 0,1718 \\
 &= 0,4102
 \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
 BPB &= \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0,2313 - 0,1718 \\
 &= 0,0524
 \end{aligned}$$



Gambar 7.15 Peta Kendali *P Out Of Control*
(Montgomery, 1993)

Analisis data dari sampel 15 menunjukkan bahwa setumpuk bahan karton bisa diketahui untuk produksi selama periode jam itu. Selanjutnya selama periode setengah jam waktu sampel 23 peroleh operator yang relatif yang belum pengalaman telah ditugaskan pada masa itu. Dan ini merupakan penyebab bagian tak sesuai, diperoleh dari sampel itu. Akibatnya, sampel 15 dan 23 harus dikeluarkan dan garis tengah baru dan batas pengendali yang diperbaiki dihitung sebagai:

$$\bar{p} = \frac{301}{(28)(50)} = 0,2150$$

$$BPA = \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0,2150 + 3\sqrt{\frac{(0,2150)(0,7850)}{50}} = 0,3893$$

dan

$$BPB = \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}} = 0,2150 - 3\sqrt{\frac{(0,2150)(0,7850)}{50}} = 0,0407$$

Setelah pengenalan grafik kendali dan dilakukannya penyesuaian mesin, pengambilan sampel 24 kali masing-masing dengan 50 observasi.

Table 7.5 data kotak sari jeruk dalam sampel berukuran n = 50

Sample Number	Number of Nonconforming Cans, D_i	Sample Fraction Nonconforming, \hat{p}_i	Sample Number	Number of Nonconforming Cans, D_i	Sample Fraction Nonconforming, \hat{p}_i
31	9	0.18	44	6	0.12
32	6	0.12	45	5	0.10
33	12	0.24	46	4	0.08
34	5	0.10	47	8	0.16
35	6	0.12	48	5	0.10
36	4	0.08	49	6	0.12
37	6	0.12	50	7	0.14
38	3	0.06	51	5	0.10
39	7	0.14	52	6	0.12
40	6	0.12	53	3	0.06
41	2	0.04	54	5	0.10
42	4	0.08		133	$\bar{p} = 0.1108$
43	3	0.06			

Dari gambar 7.9 menunjukkan bahwa proses sekarang bekerja pada tingkat kualitas baru yang jauh lebih rendah dari $\bar{p} = 0,2150$. Dilakukan

Uji hipotesa, apakah proses sekarang ini berbeda dengan bagian tak sesuai proses dalam data pendahuluan .

Hipotesisnya adalah :

$$H_0 : p_1 = p_2$$

$$H_1 : p_1 > p_2$$

p_1 = bagian tak sesuai dari data pendahuluan

p_2 = bagian tak sesuai dari proses dalam periode sekarang

Statistik pengujian untuk hipotesa adalah :

$$Z_0 = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p})\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}, \text{ dimana } \hat{p} = \frac{n_1\hat{p}_1 + n_2\hat{p}_2}{n_1 + n_2}$$

p_1 dapat ditaksir dengan

$$\hat{p}_1 = p = 0,2150$$

p_2 dapat ditaksir dengan

$$\hat{p}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{24} D_i}{(50)(24)} = \frac{133}{1200} = 0.1108$$

Sehingga didapatkan :

$$\hat{p} = \frac{(1400)(0.21250) + (1200)(0.1108)}{1400 + 1200} = 0.1669$$

$$Z_0 = \frac{0.2150 - 0.1108}{\sqrt{(0.1669)(0.8331)\left(\frac{1}{1400} + \frac{1}{1200}\right)}} = 7.22$$

Dari tabel distribusi normal didapat $Z_{0.05} = 1.645$, Jadi $Z_0 > Z_{0.05}$

Kesimpulan : Tolak H_0 , Ada penurunan yang signifikan dalam ketidaksesuaian proses.

Batas kendali dapat diperbaiki lagi dengan menggunakan data pada periode sekarang. Sehingga menghasilkan :

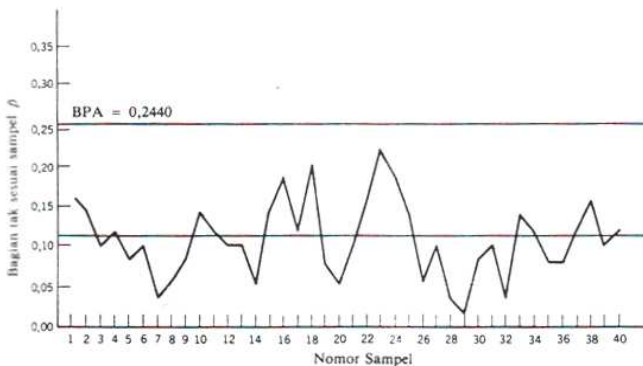
$$\text{garis tengah } \bar{p} = 0.1108$$

$$BPA = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.1108 + 3\sqrt{\frac{(0.1108)(0.8892)}{50}} = 0.2440$$

$$BPB = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.1108 - 3\sqrt{\frac{(0.1108)(0.8892)}{50}} = -0.0224$$

Karena batas pengendali bawah lebih kecil dari 0, maka diambil $BPB = 0$. Sehingga, grafik pengendali yang baru hanya akan mempunyai batas pengendali atas.

Gambar 7.9 menunjukkan semua titik akan jatuh dalam batas pengendali atas yang diperbaiki, maka dapat disimpulkan bahwa proses ini terkendali.



Gambar 7.16 Grafik Dengan Proses Terkendali (Montgomery, 1993)

Tindakan lebih lanjut untuk meningkatkan hasil dapat, dengan melakukan penyesuaian mesin lebih lanjut. Grafik pengendali harus digunakan terus menerus selama periode penyesuaian dilakukan (menjadi *buku harian*). Dengan demikian maka pengaruh perubahan terhadap penampilan proses dapat dilihat dengan mudah.

Grafik pengendali bagian tak sesuai mempunyai tiga parameter yang harus ditentukan : ukuran sampel, frekuensi pengambilan sampel, dan lebar batas kendali.

Dalam pemilihan ukuran sampel, jika p sangat kecil, n harus cukup besar, jika tidak maka kita mendapatkan batas kendali yang hanya dengan satu unit tak sesuai dalam sampel akan menunjukkan keadaan tak terkendali.

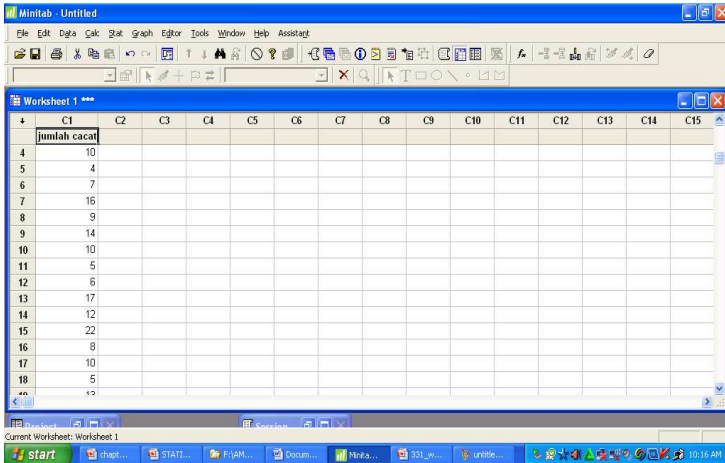
Contoh : jika $p = 0.01$, dan $n = 8$. Diperoleh batas atas :

$$BPA = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 0.01 + 3\sqrt{\frac{(0.01)(0.99)}{8}} = 0.1155$$

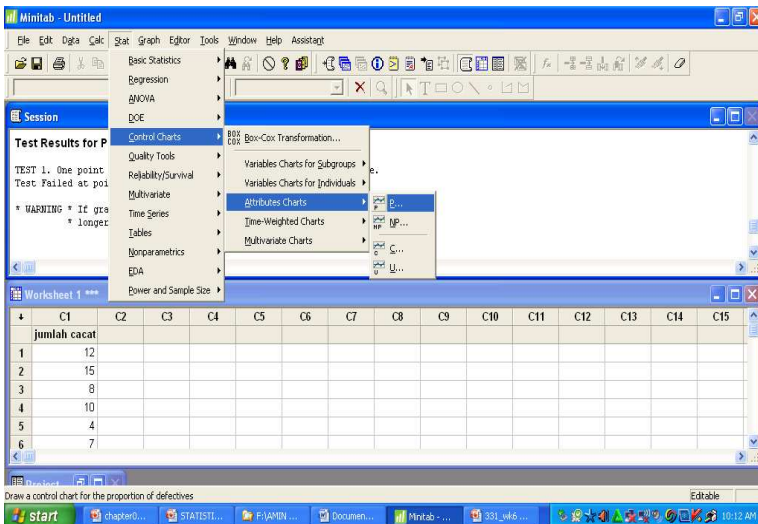
jika ada satu unit tak sesuai dalam sampel itu, maka $\frac{1}{8} = 0.1250$, dan kita akan menyimpulkan bahwa proses tak terkendali. Jadi tidak cukup beralasan apabila menyimpulkan proses tak terkendali hanya dengan mengamati satu unit tak sesuai saja.

7.3.3. Membuat peta kendali p dengan minitab

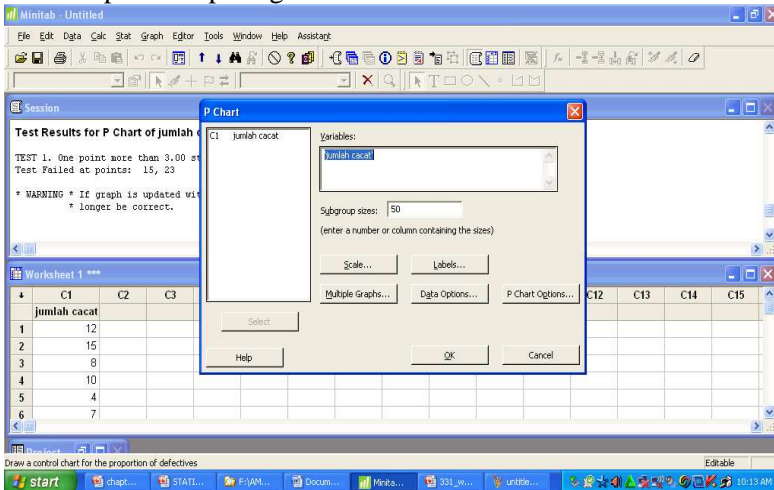
1. Langkah pertama dalam membuat peta control p dalam minitab adalah dengan melakukan entri data seperti gambar dibawah ini.



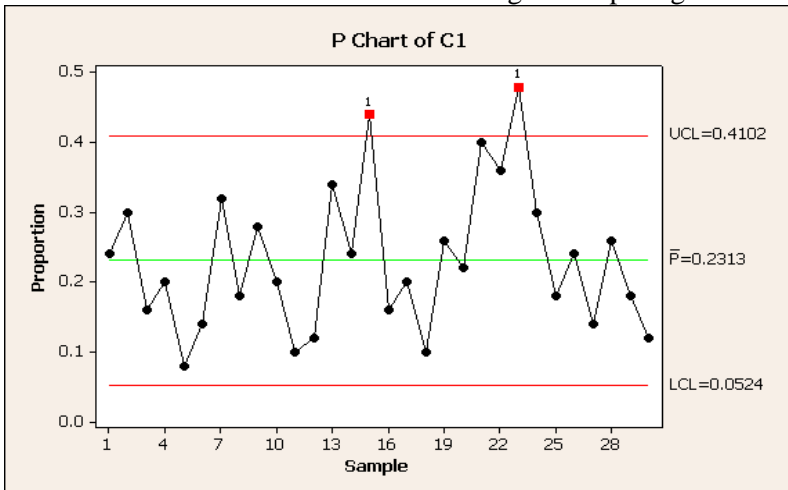
2. Selanjutnya lakukan seperti gambar di bawah ini.



- Setelah langkah ke-2 pilih jumlah cacat sebagai variabel dan jumlah sampel 50 seperti gambar di bawah ini.



- Kemudian klik ok dan akan dihasilkan grafik seperti gambar dibawah ini.



7.3.4. Grafik pengendali p dengan jumlah sampel berbeda

Jumlah produksi suatu industri tidak selamanya sama setiap hari atau periodenya, akan tetapi disesuaikan dengan hasil forecast pada periode produksi mendatang dan order. Dalam penerapan grafik pengendali bagian tak sesuai sampelnya adalah 100% pemeriksaan hasil proses selama periode waktu

tertentu, hal ini menyebabkan adanya perbedaan sampel pada setiap periode produksi.

Pendekatan yang paling sederhana untuk membuat grafik pengendali adalah dengan menentukan batas pengendali untuk tiap-tiap sampel yang didasarkan pada ukuran sampel tertentu. Jika sampel ke i berukuran n_i , maka batas atas bawahnya adalah $p \pm 3\sqrt{p(1-p)/n_i}$. Perhatikan tabel

Tabel 7.6 Data Untuk Grafik Pengendali Bagian Tak Sesuai Dengan Ukuran Sampel Berbeda-Beda.

Sample Number, i	Sample Size, n_i	Number of Nonconforming Units, D_i	Sample Fraction Nonconforming, $\hat{p}_i = D_i/n_i$	Standard Deviation	Control Limits	
				$\hat{\sigma}_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{(0,096)(0,904)}{n_i}}$	LCL	UCL
1	100	12	0.120	0.029	0.009	0.183
2	80	8	0.100	0.033	0	0.195
3	80	6	0.075	0.033	0	0.195
4	100	9	0.090	0.029	0.009	0.183
5	110	10	0.091	0.028	0.012	0.180
6	110	12	0.109	0.028	0.012	0.180
7	100	11	0.110	0.029	0.009	0.183
8	100	16	0.160	0.029	0.009	0.183
9	90	10	0.110	0.031	0.003	0.189
10	90	6	0.067	0.031	0.003	0.189
11	110	20	0.182	0.028	0.012	0.180
12	120	15	0.125	0.027	0.015	0.177
13	120	9	0.075	0.027	0.015	0.177
14	120	8	0.067	0.027	0.015	0.177
15	110	6	0.055	0.028	0.012	0.180
16	80	8	0.100	0.033	0	0.195
17	80	10	0.125	0.033	0	0.195
18	80	7	0.088	0.033	0	0.195
19	90	5	0.056	0.031	0.003	0.189
20	100	8	0.080	0.029	0.009	0.183
21	100	5	0.050	0.029	0.009	0.183
22	100	8	0.080	0.029	0.009	0.183
23	100	10	0.100	0.029	0.009	0.183
24	90	6	0.067	0.031	0.003	0.189
25	90	9	0.100	0.031	0.003	0.189
	2450	234	2.383			

Dari data tabel diatas dapat diambil beberapa kesimpulan untuk data dengan jumlah sampel yang berbeda sebagai berikut:

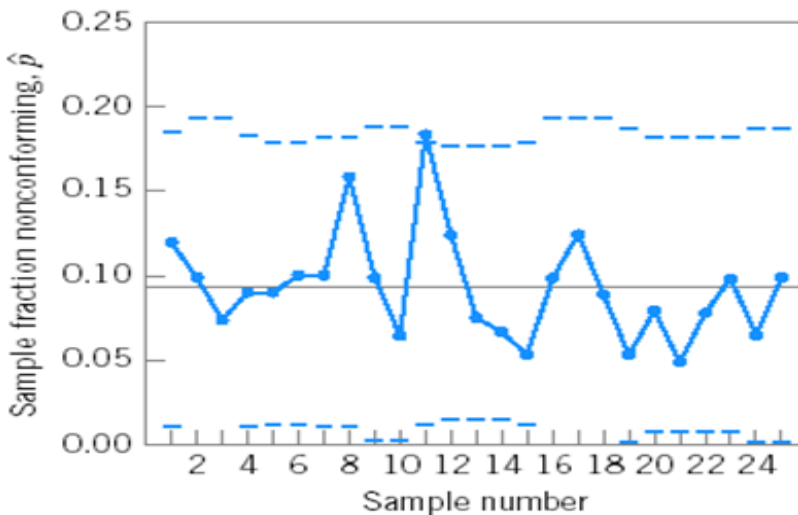
1. Banyaknya sampel (m) dari data diatas adalah 25.
2. Masing-masing sampel mempunyai jumlah (n) yang berbeda, contohnya pada sampel pertama jumlahnya adalah 100 unit.
3. Banyaknya ketidak sesuaian (cacat/ D_i) dalam satu sampel dapat dilihat contohnya pada sampel pertama jumlah ketidaksiuaiannya adalah 12 unit.
4. Bagian tak sesuai dari sampel ($\hat{p} = \frac{D_i}{n}$) untuk sampel yang pertama adalah 0,120. Dan rata-rata ketidak sesuaian ($\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{25} D_i}{\sum_{i=1}^{25} n_i}$) adalah 0,096.
5. Deviasi standar ($\hat{\sigma}_{\bar{p}}$) untuk setiap sampel dirumuskan sebagai berikut:

$$\hat{\sigma}_{\bar{p}} = \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_i}}$$

6. Batas kendali atas dan bawahnya (BKA dan BKB) dirumuskan sebagai berikut:

$$= \bar{p} \pm 3\hat{\sigma}_{\bar{p}}$$

7. Dari perhitungan diatas dapat digambarkan grafik kendali seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 7.17 grafik pengendali bagian tak sesuai dengan ukuran sampel variabel (Montgomery, 2005)

Pendekatan yang kedua untuk grafik pengendali dengan ukuran sampel yang berbeda-beda adalah mendasarkan grafik pengendali dengan ukuran sampel rata-rata.

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^{25} n_i}{m}$$

$$\bar{n} = \frac{2450}{25} = 98$$

Maka batas pengendalinya adalah sebagai berikut:

$$= \bar{p} \pm 3\hat{\sigma}_{\bar{p}}$$

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

7.3.5. Grafik Pengendali np

Terkadang yang menjadi dasar dalam grafik pengendali bukan pada bagian tak sesuai melainkan pada banyaknya unit tak sesuai. Peta kendali np menampilkan jumlah (bukan proporsi) item yang memiliki karakteristik tertentu (misal jumlah produk yang tidak memenuhi syarat) dan grafik np digunakan jika ukuran sampel subgroup sama. Untuk kasus ini grafik pengendali yang tepat digunakan adalah grafik np. Parameter grafik sebagai berikut;

$$BPA = np + \sqrt{np(1-np)}$$

$$\text{Garis tengah} = np$$

$$BPB = np - \sqrt{np(1-np)}$$

Jika nilai standar untuk p tidak tersedia, maka p akan digunakan sebagai taksiran p. banyak personil yang tidak terlatih statistik mendapatkan grafik np lebih mudah diinterpretasikan daripada grafik pengendali tak sesuai yang lainnya. Jika nilai hasil hitungan batas kontrol bawah adalah angka negatif, maka batas kontrol bawah tidak digambarkan grafik kontrol, artinya yang digunakan sebagai batas kontrol bawah adalah nol.

7.3.6. Grafik pengendali c

Grafik pengendali c digunakan untuk melacak jumlah kecacatan per unit pengukuran, menggunakan ukuran sampel yang konstan (area kesempatannya sama untuk setiap subgroup) dan probabilitas terjadi kecacatan di lokasi tertentu rendah. Grafik pengendali c cocok digunakan untuk menghitung lebih dari satu kecacatan per unit sampel, contohnya jumlah cacat pada satu meter persegi karpet yang diklasifikasikan sebagai kotoran, sobekan, dan lubang.

Karakteristik peta kendali c adalah sebagai berikut:

$$BPA = c + 3\sqrt{c}$$

$$\text{Garis tengah} = c$$

$$BPB = c - 3\sqrt{c}$$

Jika nilai standar tidak diberikan, maka c dapat ditaksir dengan banyak ketidaksesuaian rata-rata yang diamati dalam sampel pendahuluan unit pemeriksaan, misalnya \bar{c} . Dalam hal ini grafik pengendali mempunyai parameter sebagai berikut:

$$BPA = c + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$\text{Garis tengah} = \bar{c}$$

$$BPB = c - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Contoh:

Pada tabel 7.7 menyajikan banyak ketidak sesuaian yang diamati dalam 26 sampel berturut-turut 100 papan untaian tercetak. Unit pemeriksaan didefinisikan 100 papan. Terdapat 516 ketidak sesuaian dalam 26 sampel, maka;

$$\bar{c} = \frac{516}{26} = 19,85$$

Dengan demikian, batas pengendalinya adalah sebagai berikut:

$$BPA = c + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$BPA = 19,85 + 3\sqrt{19,85}$$

$$BPA = 33,22$$

$$\text{Garis tengah} = 19,85$$

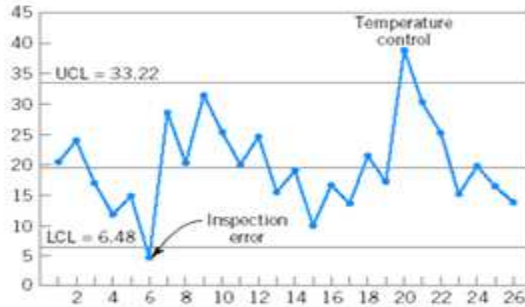
$$BPB = c - 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$BPB = 19,85 - 3\sqrt{19,85}$$

$$BPB = 6,48$$

Tabel 7.7 Data Banyak Ketidaksesuaian Dalam Sampel Dengan 100 Papan Untaian Tercetak (Montgomery, 2005)

Sample Number	Number of Nonconformities	Sample Number	Number of Nonconformities
1	21	14	19
2	24	15	10
3	16	16	17
4	12	17	13
5	15	18	22
6	5	19	18
7	28	20	39
8	20	21	30
9	31	22	24
10	25	23	16
11	20	24	19
12	24	25	17
13	16	26	15



Gambar 7.18 Grafik Pengendali Ketidaksesuaian Untuk Tabel 7.7

Dari grafik diatas terlihat adanya data yang tidak terkendali (keluar dari BKA dan BKB), maka dari itu untuk memperbaiki grafik diatas cukup beralasan untuk mengeluarkan data yang keluar dari sampel ini, dan untuk itu batas pengendali harus diperbaiki sebagai berikut:

$$\bar{c} = \frac{472}{24} = 19,67$$

$$BPA = c + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$BPA = 19,85 + 3\sqrt{19,85}$$

$$BPA = 33,22$$

$$\text{Garis tengah} = 19,85$$

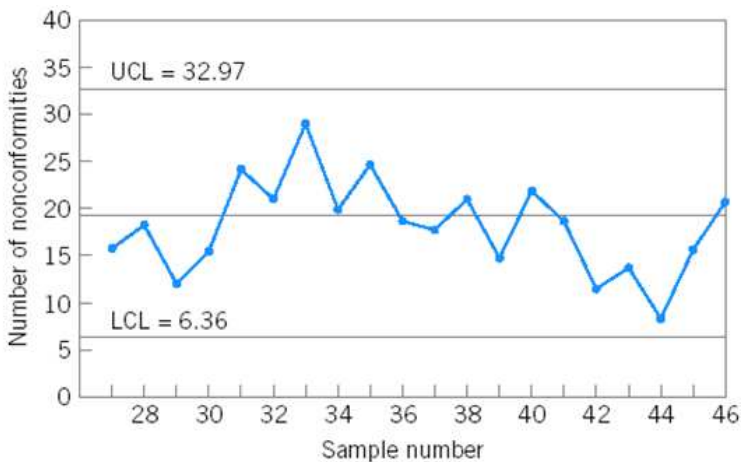
$$BPB = c - 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$BPB = 19,85 - 3\sqrt{19,85}$$

$$BPB = 6,48$$

Tabel 7.8 Data Tambahan Untuk Grafik Pengendali Bagian Tak Sesuai

Sample Number	Number of Nonconformities	Sample Number	Number of Nonconformities
27	16	37	18
28	18	38	21
29	12	39	16
30	15	40	22
31	24	41	19
32	21	42	12
33	28	43	14
34	20	44	9
35	25	45	16
36	19	46	21



Gambar 7.17 Lanjutan Grafik Pengendali Ketidaksesuaian.

7.3.7. Grafik pengendali u

Grafik pengendali u mirip dengan grafik kendali c, kecuali bahwa unit sampel tidak harus memiliki ukuran yang sama (area kesempatan tidak harus sama) pada u chart.

Sebenarnya terkadang kita lebih senang menggunakan beberapa unit pemeriksaan dalam sampel, dengan demikian meningkatkan daerah

kesempatan akan terjadinya ketidak sesuaian. Untuk sampel harus dipilih menurut pertimbangan statistic. Seperti menentukan ukuran sampel cukup besar untuk menjamin batas pengendali bawah positif atau guna memperoleh probabilitas tentu akan menyidik suatu pergeseran proses. Sebagai alternative lain, factor-faktor ekonomi bias juga masuk dalam penentuan ukuran sampel.

Karakteristik grafik pengendali u

$$BPA = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}}$$

$$\text{Garis tengah} = \bar{u}$$

$$BPB = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}}$$

dengan \bar{u} menunjukkan banyak ketidak sesuaian rata-rata per unit yang diamati dalam himpunan data permulaan

Contoh:

pengusaha computer akan membentuk grafik pengendali untuk ketidak sesuaian per unit pada jalur perakitan akhir. Sebagai ukuran sampel dipilih lima puluh computer. Data banyak ketidak sesuaian adalah 20 sampel masing-masing dengan lima computer ditunjukkan dalam table 7.9. Dari data ini, kita akan menaksir banyak ketidak sesuaian rata-rata per unit sebagai berikut:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^{20} u_i}{20}$$

$$\bar{u} = \frac{1.48}{20} = 0.0740$$

Dengan demikian, parameter grafik pengendali itu adalah:

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

$$= 0.0740 + 3 \sqrt{\frac{0.0740}{50}}$$

$$= 0.1894$$

Garis tengah = 0.0740

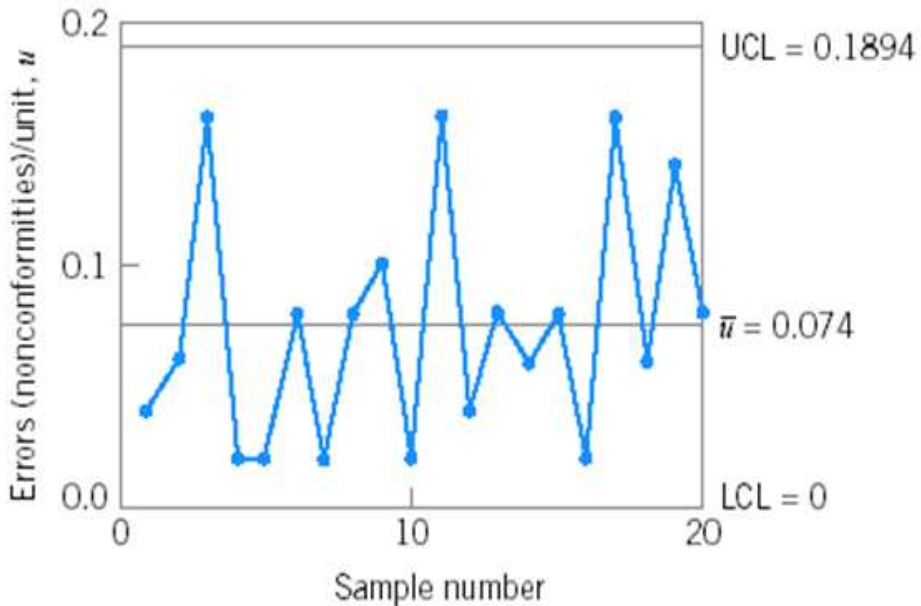
$$BPB = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$= 0.0740 - 3 \sqrt{\frac{0.0740}{50}}$$

$$= -0,0414$$

Table 7.9 Data Banyak Ketidak Sesuaian Pengiriman Material n = 50 (Montgomery, 2005)

Sample Number (week), <i>i</i>	Sample Size, <i>n</i>	Total Number of Errors (Nonconformities), <i>x_i</i>	Average Number of Errors (Nonconformities) per Unit, <i>u_i</i> = <i>x_i</i> / <i>n</i>
1	50	2	0.04
2	50	3	0.06
3	50	8	0.16
4	50	1	0.02
5	50	1	0.02
6	50	4	0.08
7	50	1	0.02
8	50	4	0.08
9	50	5	0.10
10	50	1	0.02
11	50	8	0.16
12	50	2	0.04
13	50	4	0.08
14	50	3	0.06
15	50	4	0.08
16	50	1	0.02
17	50	8	0.16
18	50	3	0.06
19	50	7	0.14
20	50	4	0.08
		74	1.48



Gambar 7.18 Grafik Pengendali Bagi Ketidaksesuaian Per Unit Untuk Table 7.9

7.3.8. Grafik Pengendali U Dengan Sampel Berbeda-Beda

Grafik pengendali untuk ketidaksesuaian kadang-kadang dibentuk dengan menggunakan pemeriksaan produk 100%. Apabila metode pengambilan sampel ini digunakan, biasanya banyak unit pemeriksaan dalam sampel tidak konstan. Demikian juga pemeriksaan gulungan kain atau kertas sering kali mengarah ke keadaan yang ukuran sampelnya berbeda-beda, sebab panjang semua gulungan tidak tepat sama. Jika di dalam keadaan ini digunakan, grafik pengendali untuk ketidaksesuaian (grafik c), garis tengah dan batas pengendali keduanya akan berubah-ubah dengan ukuran sampel. Grafik pengendali semacam itu dapat sangat sukar menginterpretasikannya. Prosedur yang benar adalah dengan menggunakan grafik pengendali untuk ketidaksesuaian per unit (grafik u) grafik ini akan mempunyai garis tengah konstan, tetapi batas pengendali akan berubah-ubah berkebalikan dengan ukuran sampel n .

Contoh:

Dalam pabrik tekstil, bahan celupan diperiksa adanya cacat per 50 meter persegi . data dari sepuluh gulungan bahan ditunjukkan pada table 7.10.

Table 7.10 Peristiwa Ketidaksesuaian Dalam Bahan Celupan (Montgomery, 2005)

Roll Number	Number of Square Meters	Total Number of Nonconformities	Number of Inspection Units in Roll, n	Number of Nonconformities per Inspection Unit
1	500	14	10.0	1.40
2	400	12	8.0	1.50
3	650	20	13.0	1.54
4	500	11	10.0	1.10
5	475	7	9.5	0.74
6	500	10	10.0	1.00
7	600	21	12.0	1.75
8	525	16	10.5	1.52
9	600	19	12.0	1.58
10	625	23	12.5	1.84
		<u>153</u>	<u>107.50</u>	

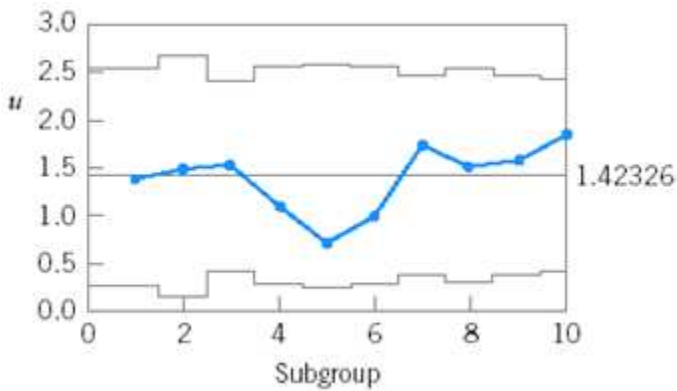
Garis tengah grafik itu haruskah banyak ketidak sesuaian rata-rata per unit pemeriksaan, yakni banyak ketidak sesuaian rata-rata per 50 meter persegi, dihitung sebagai berikut;

$$\bar{u} = \frac{153}{107,5} = 1,42$$

Dan didapatkan LCL dan UCL dalam table 7.11 berikut;

Table 7.11 Perhitungan Batas Pengendali

Roll Number, i	n_i	$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n_i}$	$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n_i}$
1	10.0	2.55	0.29
2	8.0	2.68	0.16
3	13.0	2.41	0.43
4	10.0	2.55	0.29
5	9.5	2.58	0.26
6	10.0	2.55	0.29
7	12.0	2.45	0.39
8	10.5	2.52	0.32
9	12.0	2.45	0.39
10	12.5	2.43	0.41



Gambar Pengendali Ketidaksesuaian Per Unit Dengan Ukuran Sampel Variable (Montgomery, 2005)