

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas

2.2.1 Definisi Kualitas

Kualitas atau mutu adalah tingkat baik buruknya atau taraf atau derajat sesuatu. Istilah ini banyak digunakan dalam suatu bisnis, rekayasa dan manufaktur dalam kaitannya dengan teknik dan konsep untuk memperbaiki kualitas produk atau jasa yang dihasilkan, seperti *Six Sigma*, TQM, Kaizen, dll. Sebenarnya ada beberapa definisi yang berhubungan dengan kualitas, tetapi secara umum dapat dikatakan bahwa kualitas atau mutu adalah karakteristik dari suatu produk atau jasa yang ditentukan oleh *customer* dan di peroleh melalui pengukuran proses serta melalui perbaikan yang berkelanjutan (*Continuous Improvement*).

Oleh karena itu definisi kualitas dapat diartikan dari dua perspektif, yaitu dari sisi konsumen dan sisi produsen. Namun pada dasarnya konsep dari kualitas sering dianggap sebagai kesesuaian, keseluruhan ciri-ciri atau karakteristik suatu produk yang di harapkan oleh customer. (Nasution,2001)

Di bawah ini adalah definisi kualitas menurut 5 pakar TQM (Nasution, 2001) :

1. Juran (1993)

Kualitas adalah kecocokan penggunaan produk (*fitness for use*) untuk memenuhi kebutuhan dan kepuasan pelanggan. Kecocokan penggunaan itu didasarkan pada 5 ciri utama berikut :

- a. Teknologi, yaitu kekuatan atau daya tahan.
- b. Psikologi, yaitu cinta rasa atau status
- c. Waktu, yaitu kehandalan
- d. Kontraksual, yaitu adanya jaminan.
- e. Etika, yaitu sopan santun, ramah dan jujur.

Kecocokan penggunaan suatu produk adalah apabila produk mempunyai daya tahan penggunaan yang lama, meningkatkan citra atau status *customer* yang memakainya, tidak mudah rusak , adanya jaminan kualitas dans sesuai etika bila

digunakan. Khusus untuk jasa diperlukan pelayanan kepada pelanggan yang ramah, sopan serta jujur sehingga dapat menyenangkan atau memuaskan pelanggan.

2. Crosby (1979)

Kualitas adalah *conformance to requirement* , yaitu sesuai dengan yang disyaratkan atau distandarkan. Suatu produk memiliki kualitas apabila sesuai dengan standar kualitas yang tentukan. Standar kualitas meliputi bahan baku, proses produksi dan produk jadi.

3. Deming (1982)

Kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan pasar. Apabila mendefinisikan kualitas sebagai *fitness for use* dan Crosby sebagai *conformance to requirement*, maka Deming mendefinisikan kualitas sebagai kesesuaian dengan kebutuhan pasar atau *customer*. Perusahaan harus benar-benar dapat memahami apa yang dibutuhkan *customer* dari suatu produk yang akan dihasilkan.

4. Feigenbaum (1986)

Kualitas adalah kepuasan pelanggan sepenuhnya (*full customer satisfaction*). Suatu produk dikatakan berkualitas apabila dapat memberi kepuasan sepenuhnya kepada *customer*, yaitu sesuai dengan apa yang diharapkan konsumen atas suatu produk.

5. Garvin (1998)

Kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berhubungan dengan produk, manusia atau tenaga kerja , proses dan tugas, serta lingkungan yang memenuhi harapan *customer*. Selera atau harapan *customer* pada suatu produk selalu berubah sehingga kualitas produk juga harus berubah atau disesuaikan. Dengan perubahan kualitas suatu produk tersebut, diperlukan adanya perubahan atau peningkatan yang signifikan terhadap ketrampilan tenaga kerja, peubahan suatu proses produksi dan tugas, serta perubahan lingkungan perusahaan agar produk dapat memenuhi harapan *customer*. Meskipun tidak ada definisi mengenai kualitas yang diterima secara universal, namun dari kelima definisi kualitas diatas terdapat beberapa persamaan, yaitu dalam elemen-elemen sebagai berikut:

1. Kualitas mencakup usaha memenuhi harapan dari *customer*.
2. Kualitas mencakup produk, jasa, manusia, proses dan lingkungan. Kualitas merupakan kondisi yang selalu berubah (misalnya apa yang dianggap merupakan kualitas saat ini mungkin dianggap merupakan kualitas saat ini kurang berkualitas pada masa mendatang) (Nasution , 2001).

Secara umum, dimensi kualitas menurut Garvin (dalam Gaspersz, 2005) mengidentifikasikan delapan dimensi kualitas yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik kualitas produk, yaitu sebagai berikut :

1. Performa (*performance*)
Berkaitan dengan aspek fungsional dari produk dan merupakan karakteristik utama yang dipertimbangkan customer ketika ingin membeli produk.
2. Keistimewaan (*features*)
Merupakan aspek kedua dari performansi yang menambah fungsi dasar, berkaitan dengan pilihan-pilihan dan pengembangannya.
3. Keandalan (*reliability*)
Berkaitan dengan kemungkinan suatu produk melaksanakan fungsinya secara berhasil dalam periode waktu tertentu dibawah kondisi tertentu.
4. Konformasi (*conformance*)
Berkaitan dengan tingkat kesesuaian produk terhadap spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya berdasarkan keinginan *customer*.
5. Daya Tahan (*durability*)
Merupakan ukuran masa pakai suatu produk. Karakteristik ini berkaitan dengan daya tahan dari produk tersebut.
6. Kemampuan Pelayanan (*serviceability*)
Merupakan karakteristik yang berkaitan dengan kecepatan, keramahan atau kesopanan, kompetensi, kemudahan serta akurasi dalam perbaikan.
7. Estetika (*estheticsz*)
Merupakan karakteristik yang bersifat subjektif sehingga berkaitan dengan pertimbangan pribadi dan refleksi dari preferensi atau pilihan individual.
8. Kualitas yang di persepsikan (*perceived quality*)

Bersifat subjektif, berkaitan dengan perasaan customer dalam mengonsumsi produk tersebut.

2.2 Pengendalian Kualitas

2.2.1 Pengertian Pengendalian Kualitas

Pengertian kualitas merupakan salah satu faktor yang penting bagi setiap perusahaan industri. Dengan adanya pengendalian kualitas merupakan jaminan bagi perusahaan untuk mendapatkan mutu barang dengan hasil yang baik dan memuaskan. Apabila didalam perusahaan tidak melaksanakan pengendalian kualitas dengan baik maka mutu barang yang dihasilkan tidak memuaskan. Berikut ini pengertian yang dikemukakan oleh para ahli :

1. Menurut Assauri (1998) pengendalian mutu merupakan usaha untuk mempertahankan mutu atau kualitas dari produk yang dihasilkan, agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijaksanaan pimpinan Assauri perusahaan.
2. Menurut Gaspersz (2005), *“Quality control is the operational techniques and activities used to fulfill requirements for quality”*.
3. Pengendalian kualitas merupakan alat penting bagi manajemen untuk memperbaiki kualitas produk bila diperlukan, mempertahankan kualitas yang sudah tinggi dan mengurangi jumlah barang yang rusak (reksohadiprojo, 2000).

Berdasarkan pengertian diatas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pengendalian kualitas adalah suatu teknik dan aktivitas atau tindakan yang terencana yang dilakukan untuk mencapai, mempertahankan dan meningkatkan kualitas suatu produk dan jasa agar sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan dan dapat memenuhi kepuasan *customer*.

2.2.2 Tujuan Pengendalian Kualitas

Tujuan dari pengendalian kualitas menurut Assauri (1998) adalah:

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

Tujuan dari pengendalian kualitas adalah untuk mengawasi tingkat produksi melalui banyak tahapan produksi. Tujuan dari pengendalian kualitas adalah untuk mengetahui sampai sejauh mana proses dan hasil produk yang dibuat sesuai dengan standar yang sudah ditetapkan oleh perusahaan.

Pengendalian kualitas tidak dapat dilepaskan dari pengendalian produksi, karena pengendalian kualitas merupakan bagian dari pengendalian produksi. Pengendalian produksi baik secara kualitas maupun kuantitas merupakan kegiatan yang sangat penting dalam suatu perusahaan. Hal ini disebabkan karena semua kegiatan produksi yang dilaksanakan akan dikendalikan, supaya barang dan jasa yang dihasilkan sesuai dengan rencana yang telah sudah ditetapkan, dimana penyimpangan-penyimpangan yang terjadi diusahakan serendah-rendahnya.

Pengendalian kualitas juga menjamin barang atau jasa yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan seperti halnya pada pengendalian produksi. Dengan demikian antara pengendalian produksi dan pengendalian kualitas berkaitan erat dalam pembuatan barang.

2.3 Six Sigma

2.3.1 Pengertian Six Sigma

Six Sigma menurut Peter S Pande (2000), merupakan sebuah sistem yang kompresif dan fleksibel untuk mencapai, mempertahankan, dan memaksimalkan sukses bisnis. Six Sigma secara unit dikendalikan oleh pemahaman yang kuat terhadap kebutuhan pelanggan, pemakaian yang disiplin terhadap fakta, data dan analisis *statistic* dan perhatian yang cermat untuk mengelola, memperbaiki dan

menanamkan kembali proses bisnis. Six Sigma adalah sebuah keinginan kuat untuk melayani pelanggan dan suatu dorongan atas ide-ide baru yang luar biasa, seperti hal *statistic* dan jumlah kepentingan, sehingga nilai *statistic* dapat diterapkan pada pemasaran jasa, sumber daya manusia, keuangan dan penjualan serta proses manufaktur dan engineering.

Menurut Gaspersz (2001), six sigma merupakan suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (*Defect Per Million Oppurtunity*) atau bisa disebut dengan (*DPMO*) untuk setiap transaksi (barang/jasa), dan merupakan suatu kegiatan menuju kesempurnaan.

Berikut adalah beberapa istilah yang biasa digunakan dan akan mempermudah dalam pemahaman six sigma antara lain : (Gaspersz,2001).

1. ***Critical To Quality (CTQ)***, merupakan atribut-atribut yang sangat penting untuk diperhatikan karena berkaitan langsung dengan kebutuhan dan kepuasan *customer*. CTQ merupakan elemen dari suatu produk, proses, atau praktek-praktek yang berdampak langsung terhadap kepuasan *customer*.
2. ***Defect***, merupakan kegagalan untuk memberikan apa yang diinginkan oleh *customer*.
3. ***Defect per unit (DPU)***, merupakan ukuran kemungkinan terjadinya cacat atau kegagalan per unit, dihitung dengan persamaan :

$$DPU = \frac{\text{Banyaknya Defect}}{\text{Banyaknya Unit}}$$

4. ***Defect per oppoturnity (DPO)***, merupakan ukuran kegagalan yang dihitung dalam program peningkatan kualitas six sigma yang menunjukkan banyaknya cacat atau kegagalan per satu kesempatan. DPO merupakan pengembangan dari konsep DPU ditambah dengan *variable oppoturnity* (kemungkinan). Dihitung dengan persamaan :

$$DPO = \frac{\text{Banyaknya Defect}}{\text{Banyaknya unit } \times \text{ oppoturnity}}$$

5. ***Defect per million oppoturnity (DPMO)***, merupakan kegagalan dalam program peningkatan kualitas six sigma, yang menunjukkan kegagalan per sejuta kesempatan. DPMO dapat dihitung dengan rumus :

$DPMO = DPO \times 1.000.000$ Pemahaman terhadap DPMO ini sangat penting dalam pengukuran keberhasilan aplikasi program peningkatan kualitas six sigma.

6. **Process capability**, merupakan kemampuan proses untuk memproduksi atau menyerahkan output sesuai dengan ekspektasi dan kebutuhan *customer*.
7. **Variation**, merupakan apa yang *customer* lihat dan rasakan dalam proses transaksi antara *supplier* dan *customer* itu. Semakin kecil variasi akan semakin disukai karena menunjukkan konsistensi dalam kualitas.
8. **Stable operation**, jaminan konsistensi proses yang dapat di perkirakan dan dikendalikan guna meningkatkan apa yang *customer* lihat dan rasakan serta meningkatkan ekspektasi dan kebutuhan *customer*.
9. **Design for six sigma**, merupakan suatu design untuk memenuhi kebutuhan *customer* dan kemampuan proses. DFSS merupakan suatu metodologi sistematis yang menggunakan peralatan pelatihan dan pengukuran untuk memungkinkan *supplier* mendesign produk dan proses yang memenuhi ekspektasi dan kebutuhan *customer* serta dapat di produksi atau dioperasikan pada tingkat kualitas six sigma.

Menurut Gaspersz (2001), Six Sigma Motorola merupakan suatu metode atau teknik pengendalian dan peningkatan kualitas dramatik yang merupakan terobosan baru dalam bidang manajemen kualitas. Banyak ahli manajemen kualitas menyatakan bahwa metode Six Sigma Motorola dikembangkan dan diterima secara luas oleh dunia industri, karena manajemen industri frustrasi terhadap sistem-sistem manajemen kualitas yang ada, yang tidak mampu melakukan peningkatan kualitas secara dramatik menuju tingkat kegagalan nol (*zero defect*). prinsip-prinsip pengendalian dan peningkatan kualitas Six Sigma Motorola mampu menjawab tantangan ini, dan terbukti perusahaan Motorola selama kurang lebih 10 tahun setelah implementasi konsep Six Sigma telah mampu mencapai tingkat kualitas 3,4 DPMO (*Defect Per Opportunity*-kegagalan per sejuta kesempatan).

Setelah Motorola memenangkan penghargaan MBNQA (*the Malcolm Baldrige National Quality Award*) pada tahun 1988, maka rahasia kesuksesan mereka menjadi pengetahuan publik, dan sejak saat itu program Six Sigma yang ditetapkan Motorola menjadi sangat terkenal di Amerika Serikat.

Beberapa keberhasilan Motorola yang patut dicatat dari aplikasi program Six Sigma, adalah sebagai berikut :

- Peningkatan produktivitas rata-rata : 12,3% per tahun.
- Penurunan COPQ (*cost of power quality*) lebih dari pada 84%.
- Eliminasi kegagalan proses sekitar 99,7%.
- Penghematan biaya manufaktur lebih dari \$ 11 Milyar.
- Peningkatan tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata : 17% dalam penerimaan keuntungan dan harga saham.

2.3.2 Konsep Six Sigma Motorola

Menurut Gaspersz (2001), pada dasarnya *customer* akan puas apabila mereka menerima nilai yang sesuai harapan mereka. Apabila produk (barang atau jasa) diproses pada tingkatan kualitas Six Sigma, maka perusahaan boleh mengharapkan 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (*DPMO*) atau mengharapkan bahwa 99,99966 % dari apa yang diharapkan *customer* akan ada dalam produk itu. Dengan demikian Six Sigma dapat dijadikan ukuran target kinerja sistem industri, tentang bagaimana baiknya suatu proses transaksi produk antara *supplier* dan *customer*. Semakin tinggi target sigma yang dicapai , maka kinerja sistem industri akan semakin baik. Sehingga 6-sigma otomatis lebih baik daripada 4-sigma, lebih baik daripada 3-sigma. Six Sigma juga dapat dianggap sebagai strategi terobosan yang memungkinkan perusahaan melakukan peningkatan luar biasa (*dramatik*) di tingkat bawah. Six Sigma juga dapat dipandang sebagai pengendalian proses industri berfokus pada *customer*, memperhatikan kemampuan proses (*process capability*).

Terdapat enam aspek kunci yang perlu diperhatikan dalam aplikasi Six Sigma, yaitu :

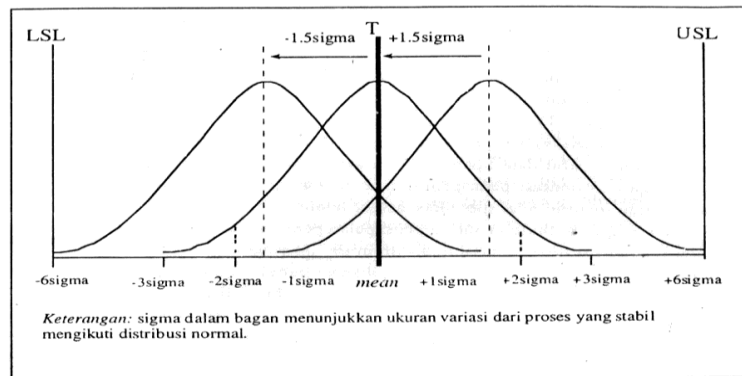
1. Identifikasi *Customer* Anda.
2. Identifikasi produk Anda.

3. Identifikasi kebutuhan anda dalam memproduksi produk untuk customer Anda.
4. Definisikan proses Anda.
5. Hindarkan kesalahan dalam proses anda dan hilangkan semua pemborosan yang ada.
6. Meningkatkan proses anda secara terus-menerus menuju target Six Sigma.

Apabila konsep Six Sigma akan diterapkan dalam bidang manufacturing, maka perhatikan enam aspek berikut :

1. Identifikasi karakteristik produk yang akan memuaskan *customer* anda (sesuai kebutuhan dan ekspektasi *customer*).
2. Mengklasifikasikan semua karakteristik kualitas itu sebagai CTQ (critical-to-quality) individual.
3. Menentukan apakah setiap CTQ itu dapat dikendalikan melalui pengendalian material, mesin, proses-proses kerja, dll.
4. Menentukan batas maksimum toleransi untuk setiap CTQ sesuai yang diinginkan *customer* (menentukan nilai USL dan LSL dari setiap CTQ).
5. Menentukan maksimum variasi proses untuk setiap CTQ (menentukan nilai maksimum standar deviasi untuk setiap CTQ).

Pendekatan pengendalian proses 6-sigma Motorola mengijinkan adanya pergeseran nilai target rata-rata (*mean*) setiap CTQ individual dari proses industri sebesar $\pm 1,5$ -sigma (baca : plus/minus 1,5-sigma, sehingga akan menghasilkan 3,4 DPMO (*Defect Per Million Opportunity-kegagalan per sejuta kesempatan*)). Proses 6-sigma dengan distribusi normal bergeser 1,5-sigma.



Gambar 2.1 Konsep Six Sigma Motorola dengan distribusi normal bergeser 1,5-sigma.

Sumber : Gaspersz (2002).

Tabel 2. 1 Nilai-nilai Kapabilitas Proses pada berbagai pencapaian tingkat Sigma untuk Data Variabel

Peningkatan Kualitas (Target Pencapaian Tingkat Sigma)	Kapabilitas(Cp)	Maksimum Variasi Proses (Maks Standar Deviasi, Maks S)
3,00-sigma	1,00	$0,1667 \times (USL-LSL)$
3,10-sigma	1,03	$0,1613 \times (USL-LSL)$
3,20-sigma	1,07	$0,1563 \times (USL-LSL)$
3,30-sigma	1,10	$0,1515 \times (USL-LSL)$
3,40-sigma	1,13	$0,1471 \times (USL-LSL)$
3,50-sigma	1,17	$0,1429 \times (USL-LSL)$
3,60-sigma	1,20	$0,1389 \times (USL-LSL)$
3,70-sigma	1,23	$0,1351 \times (USL-LSL)$
3,80-sigma	1,27	$0,1311 \times (USL-LSL)$
3,90-sigma	1,30	$0,1272 \times (USL-LSL)$
4,00-sigma	1,33	$0,1234 \times (USL-LSL)$
4,10-sigma	1,37	$0,1197 \times (USL-LSL)$
4,20-sigma	1,40	$0,1161 \times (USL-LSL)$
4,30-sigma	1,43	$0,1126 \times (USL-LSL)$
4,40-sigma	1,47	$0,1092 \times (USL-LSL)$
4,50-sigma	1,50	$0,1059 \times (USL-LSL)$
4,60-sigma	1,53	$0,1027 \times (USL-LSL)$
4,70-sigma	1,57	$0,0996 \times (USL-LSL)$
4,80-sigma	1,60	$0,0966 \times (USL-LSL)$
4,90-sigma	1,63	$0,0937 \times (USL-LSL)$
5,00-sigma	1,67	$0,0909 \times (USL-LSL)$

5,10-sigma	1,70	0,0980 × (USL-LSL)
5,20-sigma	1,73	0,0962 × (USL-LSL)
5,30-sigma	1,77	0,0943 × (USL-LSL)
5,40-sigma	1,80	0,0926 × (USL-LSL)
5,50-sigma	1,83	0,0909 × (USL-LSL)
5,60-sigma	1,87	0,0893 × (USL-LSL)
5,70-sigma	1,90	0,0877 × (USL-LSL)
5,80-sigma	1,93	0,0862 × (USL-LSL)
5,90-sigma	1,97	0,0847 × (USL-LSL)
6,00-sigma	2,00	0,0833 × (USL-LSL)

Sumber : Gaspersz (2001)

Perlu dicatat dan dipahami bahwa konsep Six Sigma Motorola dengan pergeseran nilai target (nilai rata-rata) yang diijinkan sebesar 1,5-sigma (1,5-sigma (1,5 x maksimum standar deviasi) adalah berbeda dengan konsep Six Sigma dalam distribusi normal yang tidak mengijinkan pergeseran dalam nilai rata-rata. Perbedaan ini ditunjukkan dalam tabel berikut :

Tabel 2. 2 Perbedaan True 6-Sigma dengan Motorola's 6-Sigma

Motorola's 6-Sigma (Normal Distribution Centered)			Motorola' 6-Sigma (Normal Distribution Shifted 1,5-sigma)		
Batas spesifikasi (USL-LSL)	Persentase	DPMO	Batas Spesifikasi (USL-LSL)	Persentase	DPMO
± 1-Sigma	68,27%	317.300	± 1-Sigma	30,23%	697.700
± 2-Sigma	95,45%	45.500	± 2-Sigma	69,13%	308.700
± 3-Sigma	99,73%	2.700	± 3-Sigma	93,32%	66810
± 4-Sigma	99,9937%	63	± 4-Sigma	99,3790%	6210
± 5-Sigma	99,99943%	00.57	± 5-Sigma	99,97670%	233
± 6-Sigma	99,999998%	0.002	± 6-Sigma	99,99966%	3,4

Sumber : Gaspersz (2002)

2.3.3 Tahapan Peningkatan Kualitas Six Sigma

Menurut Pande (2003) dalam *Six Sigma Way*, menggunakan dan merujuk pada siklus lima-fase yang makin umum dalam organisasi-organisasi Six Sigma yaitu DMAIC singkatan dari *Define* (tentukan), *Measure* (ukur), *Analyze* (analisa), *Improve* (tingkatkan), dan *Control* (kendalikan). DMAIC diterapkan baik pada perbaikan proses maupun pada perancangan ulang proses.

Menurut Gaspersz (2002), DMAIC dilakukan secara sistematis berdasarkan ilmu pengetahuan dan fakta. Proses *Closed-loop* ini (DMAIC) menghilangkan langkah-langkah proses yang tidak produktif, sering berfokus pada pengukuran-pengukuran baru dan menerapkan teknologi untuk peningkatan kualitas menuju target Six Sigma.

1. Define

Define merupakan langkah operasional pertama dalam program peningkatan kualitas Six Sigma. Pada tahapan ini kita perlu mengidentifikasi beberapa hal yang terkait dengan kriteria pemilihan proyek Six Sigma, peran dan tanggung jawab dari orang-orang yang akan terlibat dalam proyek Six Sigma. Kebutuhan pelatihan untuk orang-orang yang terlibat dalam proyek Six Sigma, proses-proses kunci dalam proyek Six Sigma beserta Customernya, kebutuhan spesifik dari *customer* dan pernyataan tujuan proyek Six Sigma (Gaspersz, 2002).

Proses transformasi pengetahuan dan metodologi Six Sigma yang paling efektif adalah menciptakan sistem Six Sigma yang terstruktur dan sistematis yang diberikan kepada kelompok orang-orang yang terlibat dalam program Six Sigma. Meskipun setiap manajemen organisasi bebas menentukan kurikulum Six Sigma dalam pelatihan organisasi tentang Six Sigma, namun panduan berfikir dapat membantu manajemen untuk menyesuaikan dan memilih topik-topik Six Sigma yang relevan untuk diterapkan dalam sistem pelatihan organisasi (Gaspersz, 2002).

Tahapan setiap proyek Six Sigma yang terpilih, harus didefinisikan proses-proses kunci, proses beserta interaksinya, serta *customer* yang terlibat dalam setiap proses itu. *Customer* disini dapat menjadi *customer* internal maupun eksternal (Vincent Gaspersz, 2002).

2. *Measure*

Measure merupakan langkah operasional kedua dalam program-program peningkatan kualitas Six Sigma. Terdapat tiga hal pokok yang harus dilakukan dalam tahapan *measure* yaitu :

- a. Memilih atau menentukan karakteristik kualitas (CTQ) kunci yang berhubungan langsung dengan kebutuhan spesifik dari *customer*.
- b. Mengembangkan suatu rencana pengumpulan data melalui pengukuran yang dapat dilakukan pada tingkat proses, output, atau outcome.

Penetapan karakteristik kualitas (CTQ) yang berkaitan langsung dengan kebutuhan spesifik dari *customer* akan sangat tergantung pada situasi dan kondisi dari setiap organisasi bisnis. Bagaimanapun, kita dapat menjadikan penetapan atau pemilihan karakteristik kualitas dari beberapa perusahaan sebagai pedoman dalam menetapkan karakteristik kualitas (CTQ) yang sesuai dengan kebutuhan *customer* dari organisasi bisnis. Perhitungan DPO, DPMO, nilai kapabilitas Sigma dilakukan untuk melihat kemampuan proses produksi telah mencapai berapa Sigma dan nilai yield untuk mengetahui kemampuan proses untuk menghasilkan proses produksi yang bebas cacat.

Menurut Gaspersz (2002), mengatakan pengendali proporsi kesalahan (p-chart) dan banyaknya kesalahan (np-chart) digunakan untuk mengetahui apakah cacat produk masih dalam batas yang disyaratkan. Perbandingan antara banyaknya cacat dengan semua pengamatan, yaitu setiap produk yang diklasifikasikan sebagai “diterima” atau “ditolak” (yang diperhatikan banyaknya produk cacat).

- a. Variable Control Chart (Peta Kendali Variabel)

Variabel Control Chart atau Peta Kendali Variabel ini digunakan untuk mengendalikan proses dengan Data Variabel seperti Panjang Kaki Komponen, Suhu Solder, Tegangan Power Supply, Dimensi Komponen dan Data-data variabel lainnya. Control Chart jenis ini diantaranya adalah Xbar – R Chart, Xbar – s Chart dan I – MR Chart. Komponen penting yang terdapat dalam sebuah Control Chart adalah Batas-batas kendali (Control Limit) yang terdiri dari Upper Control Limit (UCL), Central Limit (CL), dan Lower Control Limit (LCL).

1. Xbar – R Chart

Xbar – R Chart adalah Peta Kendali untuk mengendalikan proses berdasarkan Rata-rata (Xbar) dan Range (R). Xbar – R Chart digunakan apabila ukuran sampel yang dikumpulkan berjumlah lebih dari 2 dan kurang dari atau sama dengan 5 ($2 < n \leq 5$) pada setiap set dari sampel data, jumlah set sampel yang ideal adalah 20 – 25 set sampel.

2. Xbar – s Chart

Xbar – s Chart adalah Peta Kendali untuk mengendalikan proses berdasarkan Rata-rata (X-bar) dan Standar Deviasi (s). Xbar –s Chart digunakan apabila ukuran sampel yang dikumpulkan berjumlah lebih dari 5 ($n > 5$) pada setiap set sampel data, jumlah set sampel yang ideal adalah 20-25 set sampel.

3. I – MR Chart (Individual Moving Range Chart)

I – MR Chart digunakan apabila data sampel yang dikumpulkan hanya berjumlah 1 unit. Chart jenis ini sering digunakan jika sampel yang diperiksa tersebut harus dimusnahkan (tidak dapat dipakai kedua kalinya) atau pada produk yang berharga tinggi.

- b. Peta Kendali – p

Peta Kendali – p , termasuk Peta Kendali yang menggunakan data bersifat atribut. Penggunaan data atribut relatif lebih menguntungkan dibandingkan data variabel. Untuk menganalisa lebih lanjut, pengukuran perlu dilakukan untuk mendapatkan data variabel dan ini jelas akan berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan untuk proses pengamatan. Untuk data atribut, biasanya telah tersedia tanpa perlu dilakukan pengukuran ulang, yang perlu dilakukan untuk menganalisa adalah melaksanakan pengumpulan data terhadap jumlah ketidaksesuaian yang ada. Peta Kendali – p, merupakan peta kendali yang paling banyak digunakan karena sifatnya yang serbaguna untuk mengamati tingkat kecacatan. Peta Kendali – p, adalah bagan yang digunakan untuk mengamati bagian yang ditolak karena tidak memenuhi spesifikasi (disebut bagian yang cacat). Bagian yang ditolak dapat didefinisikan sebagai rasio dari banyaknya barang yang tak sesuai yang ditemukan

dalam pemeriksaan atau sederetan pemeriksaan terhadap total barang yang benar-benar diperiksa. Adapun nilai batas kendali untuk peta kendali – p, dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dimana :

p = proporsi kesalahan dalam sampel

x = banyaknya produk yang salah dalam setiap sampel

n = banyaknya sampel yang diambil dalam inspeksi

hitung nilai rata-rata dari p dapat dihitung dengan rumus :

$$\bar{p} = \frac{\text{total produk cacat}}{\text{total produk dinspeksi}}$$

Garis tengen = \bar{p}

$$\text{Batas kendali atas} = \text{UCL} = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$\text{Batas kendali bawah} = \text{LCL} = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

Dimana :

\bar{p} = Proporsi Cacat

n = Jumlah produk yang diperiksa

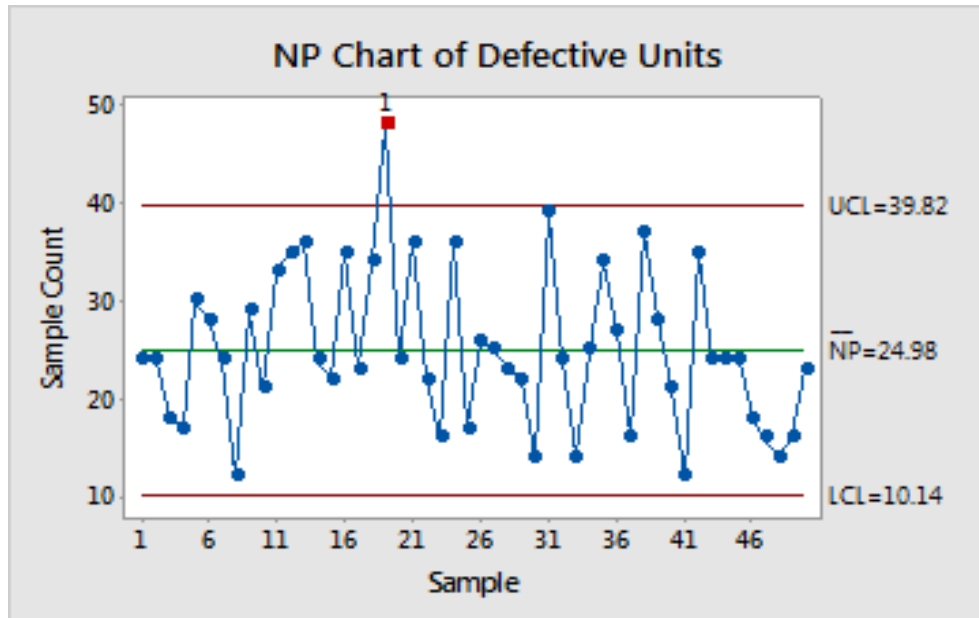
np = Jumlah produk yang cacat

c. Peta Kendali – np

Bagan – np ini digunakan untuk mengevaluasi bilangan kerusakan yang terjadi dalam suatu proses produksi. Bagan np akan lebih tepat digunakan apabila jumlah sampel pengamatan bersifat konstan. Bagan yang ditolak p diperoleh dengan membagi jumlah aktual yang ditolak karena dapat digambarkan oleh np, jumlah yang jika dibagi dengan n akan menghasilkan p. Adapun untuk menentukan nilai batas-batas kendali pada peta kendali np dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Batas kendali atas} = \text{UCL} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

$$\text{Batas kendali bawah} = \text{LCL} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$



Gambar 2. 2 contoh Np Chart

Sumber : <https://support.minitab.com>

Kapabilitas Proses Berdasarkan Data Atribut (P)

Untuk mendapatkan nilai kapabilitas proses untuk data atribut adalah dengan rumus sebagai berikut (binus,2007) :

$$C_p = 1 - \bar{p}$$

Dimana : C_p = Indeks kapabilitas proses

\bar{p} = rata-rata proporsi cacat

Critical to Quality (CTQ)

Menurut Gasperz (2002), *Critical to Quality* merupakan atribut-atribut yang sangat penting untuk diperhatikan karena berkaitan langsung dengan kebutuhan dan kepuasan *customer*. Merupakan elemen dari suatu produk, proses, atau praktek-praktek yang berdampak langsung pada kepuasan *customer*.

Defect per Million Opportunities (DPMO)

Menurut Gaspersz (2002), ukuran kegagalan dalam Six Sigma, yang menunjukkan kegagalan per sejuta kesempatan. Target dari Six Sigma adalah 3,4 *DPMO*, harusnya tidak diinterpretasikan sebagai 3,4 unit output yang cacat dari sejuta unit output yang diproduksi, tetapi diinterpretasikan sebagai dalam satu unit produk tunggal terdapat rata-rata kesempatan untuk gagal dari suatu karakteristik CTQ (*critical-to-quality*) adalah hanya 3,4 kegagalan per satu juta kesempatan (*DPMO*). Besarnya kegagalan per satu juta kesempatan (*DPMO*) dihitung berdasarkan persamaan yaitu :

$$DPMO = \frac{\text{Number of Defect}}{\text{Number of Unit} \times \text{Number of Opportunities}} \times 1.000.000$$

Dimana CTQ = Jumlah jenis kecacatan

Besarnya tingkat sigma dihitung menggunakan bantuan software Microsoft Excel berdasar formula yaitu :

$$\text{Nilai Sigma} = \text{NORMSINV}((1000000 - \text{CELL}) / 1000000) + 1,5$$

3. Analyze

Analyze (analisa) merupakan langkah ketiga dalam program peningkatan kualitas Six Sigma, pada tahapan ini dilakukan beberapa hal :

- Menentukan stabilitas dan kemampuan dari proses.

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6 \text{ standar deviasi}}$$

- Menentukan target-target kinerja dari karakteristik kualitas kunci (CTQ) yang akan ditingkatkan dalam proyek Six Sigma.
- Mengidentifikasi sumber-sumber akan penyebab kecacatan dan kegagalan.

Sumber penyebab masalah kualitas yang ditemukan berdasarkan prinsip 7 M, yaitu :

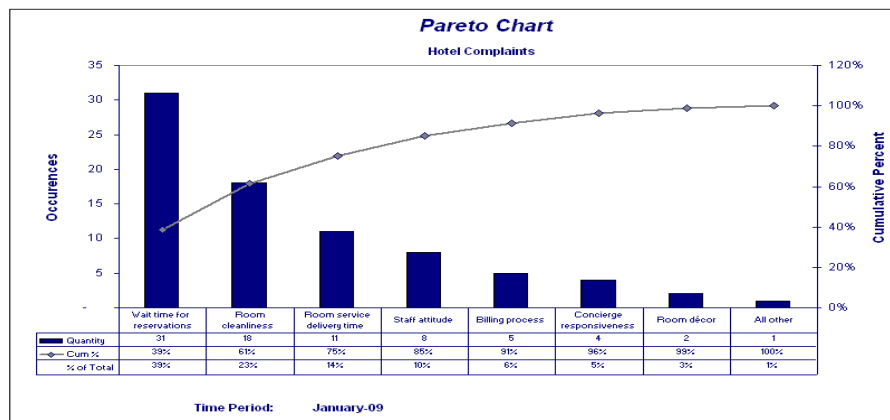
- a. *Manpower* (tenaga kerja), berkaitan dengan kekurangan dalam pengetahuan, kekurangan dalam ketrampilan dasar akibat yang berkaitan dengan mental dan fisik, kelelahan, stres, ketidakpedulian.
- b. *Machiness* (mesin) dan peralatan, berkaitan dengan tidak ada sistem perawatan preventif terhadap mesin produksi, termasuk fasilitas dan peralatan lain tidak sesuai dengan spesifikasi tugas, tidak dikalibrasi, terlalu complicated, terlalu panas.
- c. *Methods* (metode kerja), berkaitan dengan tidak adanya prosedur dan metode kerja yang benar, tidak jelas, tidak diketahui, tidak terstandarisasi, tidak cocok.
- d. *Materials* (bahan baku dan bahan penolong), berkaitan dengan ketiadaan spesifikasi kualitas dari bahan baku dan bahan penolong yang ditetapkan, ketiadaan penanganan yang efektif terhadap bahan baku dan bahan penolong itu.
- e. *Media*, berkaitan dengan tempat dan waktu kerja yang tidak memerhatikan aspek-aspek kebersihan, kesehatan dan keselamatan kerja, dan lingkungan kerja yang kondusif, kekurangan dalam lampu penerangan, ventilasi yang buruk, kebisingan yang berlebihan.
- f. *Motivation* (motivasi), berkaitan dengan ketiadaan sikap kerja yang benar dan professional, yang dalam hal ini disebabkan oleh sistem balas jasa dan penghargaan yang tidak adil kepada tenaga kerja.
- g. *Money* (keuangan), berkaitan dengan ketiadaan dukungan *financial* (keuangan) yang bagus guna memperlancar proyek peningkatan kualitas Six Sigma yang akan ditetapkan.

Alat yang digunakan dalam tahapan Analisa (*Analyze*) :

1. Diagram Pareto ini merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah. Hal ini dapat membantu menemukan permasalahan yang terpenting untuk segera diselesaikan (ranking tertinggi) sampai dengan yang tidak harus segera diselesaikan (ranking terendah). Selain itu, Diagram Pareto juga dapat digunakan untuk membandingkan kondisi proses, misalnya ketidaksesuaian proses, sebelum dan setelah diambil tindakan perbaikan terhadap proses.

Kegunaan diagram pareto :

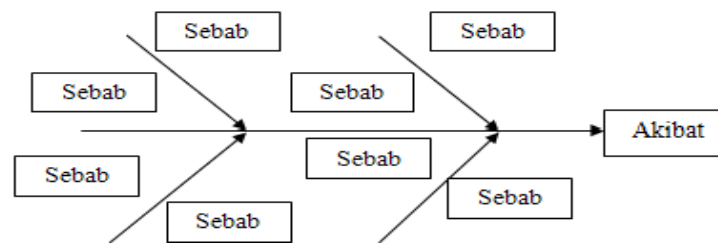
1. Menunjukkan prioritas sebab akibat kejadian atau persoalan yang perlu ditangani.
2. Membantu memusatkan perhatian pada persoalan utama yang harus ditangani dalam upaya perbaikan.
3. Menunjukkan hasil upaya perbaikan.
4. Menyusun data menjadi informasi yang berguna, data yang besar dapat menjadi informasi yang signifikan.



Gambar 2. 3 contoh Diagram Pareto
Sumber : Gaspersz (2002)

2. Diagram Sebab Akibat (*Cause and effect diagram*), digunakan untuk menganalisa persoalan dan faktor-faktor yang menimbulkan persoalan. *Cause and effect diagram* juga disebut *Ishikawa* diagram karena dikembangkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa. Selain itu, diagram ini disebut juga *fishbone* diagram (diagram tulang ikan) karena bentuknya mirip kerangka tulang ikan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas antara

lain : manusia, mesin atau peralatan, metode atau prosedur, dan material (Gaspersz, 2002).



Gambar 2. 4 Contoh Diagram Ishikawa

Sumber : Gaspersz (2002)

Cara menyusun Diagram Fishbone dalam rangka mengidentifikasi penyebab suatu keadaan yang tidak diharap adalah sebagai berikut :

1. Mulai dengan pernyataan masalah-masalah utama paling penting dan mendesak untuk diselesaikan.
2. Tuliskan pernyataan masalah itu pada kepala ikan, yang merupakan akibat (*effect*). Tulislah pada sisi sebelah kanan dari kertas (kepala ikan), kemudian gambarkan tulang belakang dari kiri ke kanan dan tempatkan pernyataan masalah itu dalam kotak.
3. Tuliskan faktor-faktor penyebab utama (sebab-sebab) yang mempengaruhi masalah kualitas sebagai tulang besar, juga ditempatkan dalam kotak. Faktor-faktor penyebab atau kategori utama dapat dikembangkan melalui Stratifikasi ke dalam pengelompokan dari faktor-faktor manusia, mesin, peralatan, material, metode kerja, lingkungan kerja, pengukuran, dll. Atau stratifikasi melalui langkah-langkah aktual dalam proses. Faktor-faktor penyebab atau kategori-kategori dapat dikembangkan melalui brainstorming.

4. *Improve*

Pada dasarnya rencana-rencana tindakan (action plans) akan mendeskripsikan tentang alokasi sumber-sumber daya serta prioritas dan alternatif yang dilakukan dalam implementasi dari rencana itu. Bentuk-bentuk pengawasan dan usaha-usaha untuk mempelajari melalui pengumpulan data dan analisis ketika implementasi dari suatu rencana, juga harus direncanakan pada tahapan ini.

Pengembangan rencana tindakan merupakan salah satu aktivitas yang penting dalam program pentingnya kualitas Six Sigma, yang berarti bahwa dalam tahapan ini tim peningkatan kualitas Six Sigma harus memutuskan apa yang harus dicapai (berkaitan dengan target yang ditetapkan), alasan kegunaan rencana tindakan itu harus dilakukan, dimana rencana tindakan itu akan diterapkan atau dilakukan, bilamana rencana tindakan itu akan dilakukan, bagaimana melaksanakan rencana tindakan itu, dan berapa besar biaya untuk melaksanakan rencana tindakan itu serta manfaat positif yang diterima dari implementasi rencana tindakan.

5. Control

Control merupakan tahapan terakhir dalam proyek peningkatan kualitas Six Sigma. Tim Six Sigma kepada pemilik atau penanggung jawab proses, yang berarti proyek Six Sigma berakhir pada tahapan ini. Selanjutnya, proyek-proyek Six Sigma pada area lain dalam proses atau organisasi bisnis ditetapkan sebagai proyek-proyek baru yang harus mengikuti siklus DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Coontrol*) (Gaspersz, (2002).

2.4 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

FMEA atau analisis mode kegagalan dan efek adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan. Suatu metode kegagalan adalah apa saja yang termasuk dalam kecacatan/kegagalan dalam desain, kondisi diluar batas spesifikasi yang ditetapkan, atau perubahan-perubahan dalam produk yang menyebabkan terganggunya fungsi dari produk itu. Dengan menghilangkan mode kegagalan maka FMEA akan meningkatkan kepuasan *Customer* yang menggunakan produk itu. Langkah-langkah dalam membuat FMEA adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi proses atau produk/jasa
2. Mendaftarkan masalah-masalah potensial yang dapat muncul, efek dari masalah-masalah potensial tersebut dan penyebabnya.
3. Menilai masalah untuk keparahan (*severity*), probabilitas kejadian (*occurance*) dan detektabilitas (*detection*).

4. Menghitung *Risk Priority Number* atau RPN yang rumusnya adalah dengan mengalikan ketiga variabel dalam poin 3 diatas dan menentukan rencana solusi-solusi prioritas yang harus dilakukan. $RPN = S \times O \times D$.

Untuk menentukan prioritas dari suatu bentuk kegagalan maka tim FMEA harus mendefinisikan terlebih dahulu tentang *Severity*, *Occurance*, *Detection*, serta hasil akhirnya yang berupa *Risk Priority Number* (RPN).

1. *Severity*

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisa resiko yaitu menghitung seberapa besar dampak/intensitas kejadian mempengaruhi output proses. Dampak tersebut diranking mulai skala 1 sampai 10, dimana 10 merupakan dampak terburuk.

Tabel 2. 3 *Severity*

Rating	<i>Criteria of Severity Effect</i>
10 9	Potential <i>safety</i> problem (masalah keamanan potensial). Akibat yang ditimbulkan sangat berbahaya dan berpengaruh terhadap keselamatan pengguna. Bertentangan dengan hukum.
8 7	<i>High Severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi). Pengguna akhir akan merasakan akibat buruk yang tidak akan diterima, berada diluar batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan sangat mahal.
6 5 4	<i>Moderate Severity</i> (pengaruh buruk yang moderet). Pengguna akhir akan merasakan penurunan kinerja, namun masih dalam batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan tidak mahal dan dapat selesai dalam waktu singkat.
3 2	<i>Mild Severity</i> (pengaruh buruk yang ringan). Akibat yang ditimbulkan hanya bersifat ringan. Pengguna akhir tidak akan merasakan perubahan kinerja. Perbaikan dapat dikerjakan pada saat pemeliharaan reguler.

1	<i>Negligible Severity</i> (pengaruh buruk yang diabaikan). Kita tidak perlu memikirkan bahwa akibat ini akan berdampak pada kinerja produk. Pengguna akhir mungkin tidak akan memperhatikan kecacatan ini.
---	---

(Sumber : Gaspersz, 2002)

2. Occurance

adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk. Dengan memperkirakan kemungkinan occurrence pada skala 1 sampai 10

Tabel 2. 4 Occurrence

Rating	Kriteria	Tingkat Kegagalan/cacat
1	Adalah tidak mungkin bahwa penyebab ini yang mengakibatkan kegagalan.	1 dalam 1000000
2	Kegagalan akan jarang terjadi	1 dalam 20000
3		1 dalam 4000
4	Kegagalan agak mungkin terjadi	1 dalam 1000
5		1 dalam 400
6		1 dalam 80
7	Kegagalan adalah sangat mungkin terjadi	1 dalam 40
8		1 dalam 20
9	Hampir dapat dipastikan bahwa kegagalan akan terjadi	1 dalam 8
10		1 dalam 2

Sumber : (Gaspersz, 2002)

3. Nilai *Detection* diasosiasikan dengan pengendalian saat ini. *Detection* adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan/mengontrol kegagalan yang dapat terjadi.

Tabel 2. 5 Detection

Rating	Kriteria	Tingkat Kegagalan/cacat
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab mungkin akan terjadi	1 dalam 1000000
2	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi adalah rendah	1 dalam 20000
3		1 dalam 4000
4	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat moderat. Deteksi masih memungkinkan kadang-kadang penyebab itu terjadi	1 dalam 1000
5		1 dalam 400
6		1 dalam 80
7	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi masih tinggi	1 dalam 40
8		1 dalam 20
9	Kemungkinan penyebab terjadi sangat tinggi	1 dalam 8
10		1 dalam 2

(Sumber : Gaspersz, 2002)

2.5 Cost of Poor Quality (COPQ)

Menurut Gaspersz (2002), biaya kegagalan kualitas (COPQ) merupakan pemborosan dalam organisasi Six Sigma, sehingga banyak perusahaan kelas dunia yang menerapkan program Six Sigma menggunakan indikator pengukuran biaya.

Kualitas sebagai pengukuran kinerja efektivitas keberhasilan dari program Six Sigma yang diterapkan.

Tabel 2. 6 Manfaat dari pencapaian beberapa tingkat sigma

COPQ (Cost Of Poor Quality)		
Tingkatan Pencapaian Sigma	DPMO	COPQ
1-Sigma	691.462 (sangat tidak kompetitif)	Tidak dapat dihitung
2-Sigma	308.538 (rata-rata industri indonesia)	Tidak dapat dihitung
3-Sigma	66.807	25-40% dari penjualan
4-Sigma	6.210 (rata-rata industri USA)	15-25% dari penjualan
5-Sigma	233	5-15% dari penjualan
6-Sigma	3.4 (industri Kelas Dunia)	< 1% dari penjualan
setiap peningkatan atau penggeseran 1-Sigma akan memberikan peningkatan keuntungan sekitar 10% dari penjualan		

Sumber : Gaspersz (2002).

Pada dasarnya biaya kualitas dapat dikategorikan ke dalam 4 jenis, sebagai berikut :

1. Biaya kegagalan internal (*Internal Failure Cost*), merupakan biaya-biaya yang berhubungan dengan kesalahan dan nonkonfirmasi (*error and non conformace*) yang ditemukan sebelum menyerahkan produk itu ke *Customer*, sebagai berikut :
 - Serap : biaya yang dikeluarkan untuk tenaga kerja, material dan *overhead* pada produk cacat yang secara ekonomis tidak dapat diperbaiki kembali.
 - Pekerjaan ulang (*Rework*), biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki kesalahan (mengerjakan ulang) produk agar memenuhi spesifikasi produk yang ditentukan.

- Analisa kegagalan (*Failure Analysis*), biaya yang dikeluarkan untuk menganalisis kegagalan produk guna menentukan penyebab-penyebab kegagalan itu.
 - Inspeksi ulang dan pengujian ulang (*Reinspection and Retesting*), biaya yang dikeluarkan untuk inspeksi ulang dan pengujian ulang produk yang telah mengalami pengerjaan ulang.
 - *Downgrading* : selisih diantara harga jual normal dan harga yang dikurangi karena alasan kualitas.
 - *Avoidable Process Losses* : biaya-biaya kehilangan yang terjadi, meskipun produk itu tidak cacat seperti kelebihan bobot.
2. Biaya kegagalan Eksternal (*Eksternal Failure Cost*), merupakan biaya-biaya yang berhubungan dengan kesalahan dan non konfirmasi (*errors and non conformance*) yang ditemukan setelah produk itu diserahkan ke *Customer*, sebagai berikut :
- Jaminan (*Warranty*) : Biaya yang dikeluarkan untuk penggantian atau perbaikan kembali produk yang masih berada dalam masa jaminan.
 - Penyelesaian keluhan (*Complain Adjusment*) : Biaya-biaya yang dikeluarkan untuk penyelidikan dan penyelesaian keluhan yang berkaitan dengan produk cacat.
 - Produk kembalikan (*Return Product*) : Biaya-biaya yang berkaitan dengan penerimaan dan penempatan produk cacat yang dikembalikan oleh *customer*.
 - *Allowance* : Biaya-biaya yang berkaitan dengan konsesi pada *customer* karena produk yang berada dibawah standar kualitas yang sedang diterima oleh *customer*.
3. Biaya penelitian (*Apprial cost*), merupakan biaya-biaya yang berhubungan dengan penentuan derajat konformasi terhadap persyaratan kualitas (spesifikasi yang ditetapkan), sebagai berikut :
- Inspeksi dan pengujian kedatangan material : Biaya-biaya yang berkaitan dengan penentuan kualitas dari material yang dibeli, apakah melalui inspeksi saat penerimaan, pemasok atau pihak ketiga.

- Inspeksi dan pengujian produk dalam proses : Biaya-biaya yang berkaitan dengan evaluasi tentang konformasi produk dalam proses terhadap persyaratan kualitas (spesifikasi) yang ditetapkan.
 - Inspeksi dan pengujian produk akhir : Biaya-biaya yang berkaitan dengan evaluasi tentang konformasi produk akhir terhadap persyaratan kualitas yang ditetapkan.
 - Audit kualitas produk : Biaya-biaya untuk melakukan audit kualitas pada produk dalam proses atau produk akhir.
 - Pemeliharaan akurasi peralatan pengujian : Biaya-biaya dalam melakukan kalibrasi untuk mempertahankan akurasi instrumen pengukuran dan peralatan.
 - Evaluasi stok : Biaya-biaya yang berkaitan dengan pengujian produk dalam penyimpanan untuk menilai degradasi kualitas.
4. Biaya pencegahan (*Prevention cost*), merupakan biaya-biaya yang berhubungan dengan upaya pencegahan terjadi kegagalan internal maupun eksternal, sehingga meminimumkan biaya kegagalan internal maupun eksternal, sebagai berikut :
- Perencanaan Kualitas : Biaya-biaya yang berkaitan dengan aktivitas perencanaan kualitas secara keseluruhan.
 - Peninjauan ulang produk baru : Biaya-biaya yang berkaitan dengan rekayasa keandalan (*reability engineering*) dan aktivitas lain terkait dengan kualitas yang berhubungan dengan pemberitahuan desain baru.
 - Pengendalian proses : Biaya-biaya inspeksi dan pengujian dalam proses untuk menentukan status dari proses (kapabilitas proses), bukan status dari produk.
 - Audit kualitas : Biaya-biaya yang berkaitan dengan evaluasi atas pelaksanaan aktivitas dalam rencana kualitas secara keseluruhan.
 - Evaluasi kualitas pemasok : Biaya-biaya yang berkaitan dengan evaluasi terhadap pemasok sebelum pemilihan pemasok.
 - Pelatihan : Biaya-biaya yang berkaitan dengan penyiapan dan pelaksanaan program pelatihan yang berkaitan dengan program peningkatan kualitas Six Sigma.

2.6 Penelitian Terdahulu

Banyak Skripsi dan jurnal penelitian yang menggunakan metode Six Sigma dalam upaya pengendalian kualitas produk cacat. Diantaranya adalah :

1. Wardhana, W, Harsono, A, Liansari, GP. (2015) dalam jurnalnya yang berjudul "Implementasi Perbaikan Kualitas Menggunakan Metode Six Sigma Untuk Mengurangi Jumlah Cacat Produk Sajadah Pada Perusahaan PT. Pondok Tekstil Kreasindo" dalam penelitiannya yaitu,, jenis cacat yang paling kritis dan harus dilakukan adalah cacat bolong. Penyebab jenis cacat bolong berdasarkan faktor operator, metode, dan peralatan. Faktor yang paling menyebabkan cacat bolong adalah faktor metode. Faktor metode disebabkan karena SOP perusahaan yang belum baik sehingga tebal gulungan benang menjadi tidak sama satu sama lain tidak mengetahui jika benang akan habis. Usulan tindakan perbaikan yang diberikan kepada PT. Pondok Tekstil Kreasindo adalah dengan memisahkan pemakaian gulungan benang dan menghitung jumlah produk yang sudah dihasilkan dari gulungan benang, sehingga dapat diperkirakan kapan gulungan benang akan habis. Nilai DPMO mengalami penurunan sebesar 32645,74 dan nilai sigma mengalami peningkatan sebesar $0,327\sigma$. Dengan menurunnya nilai DPMO dan naiknya nilai sigma dari $2,983\sigma$ menjadi $3,31\sigma$, menandakan bahwa implementasi yang dilakukan cukup berhasil karena mampu mengurangi jumlah cacat pada perusahaan.
2. Kusumawati, Aulia dan Lailatul Fitriyeni (2017) dalam jurnalnya yang berjudul "Pengendalian Kualitas Proses Pengemasan Gula Dengan Metode Six Sigma" tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai sigma dan factor penyebab kerusakan pada proses produksi bagian bagging bagi perusahaan. Dengan melakukan pengendalian kualitas diterapkan dapat meraih tujuan perusahaan dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah Six Sigma dengan tahapan *define, measure, analyze, improve*. Hasil Six Sigma berupa pengukuran baseline kinerja perusahaan pada tahap pengukuran yaitu perusahaan pada kondisi 5,1 sigma dengan DPMO sebesar 162.4532. factor-faktor penyebab kecacatan pengemasan gula adalah kurang teliti dan ketrampilan operator. Ketidakstabilan kecepatan conveyor dan mesin jet,

kondisi kebersihan mesin, kurang akurat mesin timbang dan metode perawatan dan pengontrolan yang belum efektif.

3. Supriyadi, Gina Ramayanti, Alex Chandra Roberto (2017) dalam jurnalnya yang berjudul “Analisis Kualitas Produk dengan Pendekatan Six Sigma”. Tujuan dari penelitian ini adalah memperbaiki sistem produksi pada mesin Flexo. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa kapabilitas dan nilai sigma kinerja perusahaan dalam peningkatan kualitas produk sebesar 7.560 DPMO dengan nilai sigma 3,93. Berdasarkan diagram sebab akibat dan FMEA diketahui penyebab cacat produk adalah *gap unit printing* dan *slotter* kurang tepat, *setting pull roll* kurang tepat, kurang kontrol, putaran *roll transfer sheet* goyang, kurang *training, sheet* melengkung, *pull gear* goyang, *ass worm gear* bengkok, *pneumatik anilox* tidak naik dan pompa tinta flexo sering mati. Nilai Sigma mengalami peningkatan setelah dilakukan perbaikan yaitu sebesar 4,05.