

**PENERAPAN *STATISTICAL PROCESS CONTROL*  
SEBAGAI UPAYA IMPLEMENTASI METODE *SIX SIGMA***  
(Studi Kasus: PT. INDONESIAN MARINE Divisi *Boiler*)

**Makalah Seminar Hasil  
KONSENTRASI TEKNIK INDUSTRI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:  
**SYAIFUL BACHRI**  
**NIM. 0110620127**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN MESIN  
MALANG  
2008**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENERAPAN *STATISTICAL PROCESS CONTROL*  
SEBAGAI UPAYA IMPLEMENTASI METODE *SIX SIGMA*  
(Studi Kasus: PT. INDONESIAN MARINE Divisi *Boiler*)**

**Makalah Seminar Hasil  
KONSENTRASI TEKNIK INDUSTRI**

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

**SYAIFUL BACHRI  
NIM. 0110620127-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Masduki, MM.  
NIP. 130 350 754**

**Ishardita Pambuditama, ST., MT.  
NIP. 132 232 481**

**PENERAPAN *STATISTICAL PROCESS CONTROL*  
SEBAGAI UPAYA IMPLEMENTASI METODE *SIX SIGMA*  
(STUDI KASUS: PT. INDONESIAN MARINE DIVISI *BOILER*)**

Disusun Oleh:

**Syaiful Bachri**

Dosen Pembimbing:

**Ir. Masduki, MM. dan Ishardita Pambudi Tama, ST., MT.**

Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2008

**Ringkasan**

Kualitas telah menjadi sesuatu yang mutlak dimiliki oleh suatu produk, baik yang berupa barang maupun jasa. Kualitas ditentukan oleh seberapa baik suatu karakteristik kualitas pengganti (spesifikasi produk) dalam memenuhi karakteristik kualitas riil (kebutuhan konsumen). Pengendalian kualitas produk dapat dilakukan dengan *Statistical Process Control*. Metode *Six Sigma* adalah salah satu cara mengendalikan kualitas yang di dalamnya memuat *Statistical Process Control*. Variabel yang diteliti adalah *ovality* pipa setelah mengalami proses *bending*. Hasil analisis data menyimpulkan bahwa proses *bending* pipa di PT. INDONESIAN MARINE mencapai tingkat kapabilitas sigma 3,38-Sigma, sedangkan kapabilitas proses *bending* tersebut masih kurang dari 1. Radius *bending* ternyata pengaruhnya lebih signifikan daripada diameter nominal pipa terhadap *ovality* pipa setelah mengalami proses *bending*.

Kata Kunci: Kualitas, *Statistical Process Control*, *Six Sigma*.

## **I. PENDAHULUAN**

Pemenuhan kebutuhan konsumen seringkali hanya berfokus pada segi kuantitas mengingat pangsa pasar yang semakin berkembang. Namun terdapat aspek yang tidak kalah pentingnya yaitu kualitas.

PT. Indonesian Marine (Indomarine) adalah perusahaan pembuat *boiler* terutama banyak menangani *boiler* untuk pabrik gula. Beberapa komponen utama *boiler* tersusun dari pipa-pipa sehingga proses pengerjaannya harus dilakukan dengan teliti agar tekanan uap yang dihasilkan sesuai dengan rancangan sebelumnya. Perusahaan selama ini belum pernah menerapkan metode *Six Sigma* untuk mengamati proses produksi yang berlangsung.

### **Batasan Masalah**

1. Produk yang diamati adalah pipa untuk *water tube boiler* yang mengalami proses *bending*.
2. Analisis hanya dilakukan pada tingkat produk.
3. Masalah biaya tidak dibahas dalam skripsi ini.

### **Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui nilai SQL dan DPMO,
2. Menganalisis stabilitas dan kapabilitas produk,
3. Mencari faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas dan kapabilitas.

### **Manfaat Penelitian**

1. Bagi perusahaan: sebagai bahan pertimbangan pengendalian kualitas produk.
2. Bagi penulis: menambah wawasan mengenai pengendalian kualitas.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Konsep Kualitas**

Ishikawa mendefinisikannya dengan melihat kualitas dari sudut pandang konsumen. Beliau menyatakan bahwa tingkat kualitas ditentukan oleh seberapa baik suatu karakteristik kualitas pengganti (spesifikasi produk) dalam memenuhi karakteristik kualitas riil (kebutuhan konsumen).

Misal: Sistem komputer

Karakteristik kualitas riil:

*Monitor* tidak membuat mata mudah lelah.

Karakteristik kualitas pengganti:

*Screen contrast level, dot pitch, refresh rate.*

Kualitas bukanlah tanggung jawab seseorang atau suatu divisi tertentu, melainkan merupakan tanggung jawab setiap orang.

### **2.2 Pengendalian Proses Statistikal**

Istilah pengendalian proses statistikal (*Statistical Process Control* – SPC) digunakan untuk menggambarkan model berbasis penarikan sampel yang diaplikasikan untuk mengamati aktifitas proses yang saling berkaitan. Meski SPC merupakan alat bantu yang sangat berguna dalam memastikan apakah proses tetap berada dalam batas-batas yang telah ditetapkan, namun umumnya metode ini tidak dapat menyediakan cara untuk membuat proses tetap dalam batas kendali. Oleh sebab itu, jelas dibutuhkan campur tangan dan pertimbangan manusia untuk menentukan cara yang efektif dan efisien dalam membuat proses tetap dalam kondisi mampu dan stabil. Pengendalian

proses statistik lebih menekankan pada pengendalian dan peningkatan proses berdasarkan data yang dianalisis menggunakan alat-alat statistika, bukan sekadar penerapan alat-alat statistika dalam proses industri.

### Kestabilan dan Kemampuan Proses

Kestabilan proses (*process stability*) berarti ketepatan proses dalam mencapai target yang telah ditentukan. Hal ini merepresentasikan keadaan proses yang sedang berlangsung, seperti: bahan baku yang datang, mesin-mesin, dan *skill* operator. Sedangkan kemampuan proses (*process capability*) adalah suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan hubungan antara hasil proses dengan spesifikasi proses/produk.

Alat bantu yang paling umum digunakan dalam pengendalian proses statistik adalah peta kendali (*Control Chart*). Fungsi peta kendali secara umum adalah:

- Membantu mengurangi variabilitas produk.
- Memonitor kinerja proses produksi setiap saat.
- Memungkinkan proses koreksi untuk mencegah penolakan.
- Trend dan kondisi di luar kendali dapat diketahui secara cepat.

Peta kendali dibuat secara kontinu dalam suatu interval keyakinan tertentu, biasanya 3 standar deviasi ( $3\sigma$ ). Diagram ini memuat 3 macam garis batas, yaitu:

1. Batas kendali atas (*Upper Control Limit – UCL*)
2. Rata-rata kualitas sampel
3. Batas kendali bawah (*Lower Control Limit – LCL*)

Sampel yang berada dalam rentang UCL – LCL dikatakan berada dalam kendali (*in-control*), sedangkan yang berada di luar rentang tersebut dikatakan di luar kendali (*out-of-control*).

Pada mulanya, pengendalian proses statistik hanya dilakukan dengan menggunakan peta kendali. Namun demikian, dalam perkembangannya pengendalian proses statistik dilakukan dengan menerapkan tujuh metode utama yang umum digunakan (*Ishikawa's Basic Seven*), yaitu:

1. Diagram Sebab–Akibat (*Cause–Effect Diagram*)
2. Grafik
3. Histogram
4. Diagram Pareto
5. Lembar Periksa (*Check sheets*)
6. Diagram Sebaran (*Scatter Diagrams*)
7. Peta Kendali (*Control Charts*)

Selain metode-metode statistik di atas, terdapat pula beberapa alat bantu yang juga sesuai digunakan untuk melakukan pengendalian proses, diantaranya:

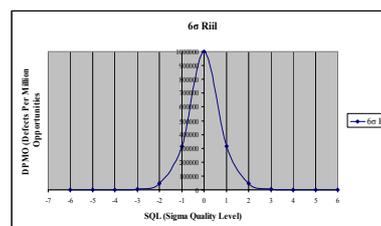
1. Analisis Kapabilitas
2. *Design of Experiment* (DOE)
3. *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA)
4. *Gantt Chart*
5. *Gauge Studies*

## 2.3. Six Sigma ( $6\sigma$ )

### Konsep Six Sigma Motorola

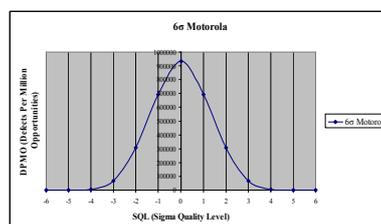
*Six Sigma* merupakan suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO – *Defects Per Million Opportunities*) untuk setiap transaksi produk (barang/jasa). Sebuah upaya giat menuju kesempurnaan (*zero defect* – kegagalan nol). Ide sentral di belakang *Six Sigma* adalah jika dapat mengukur berapa banyak cacat yang ada dalam suatu proses, maka secara sistematis dapat mengatasi bagaimana menekan dan menempatkan diri dekat dengan *zero-defect*.

Simbol *sigma* ( $\sigma$ ) dalam statistik dikenal sebagai standar deviasi, yaitu suatu nilai yang menyatakan simpangan terhadap nilai tengah. Suatu proses dikatakan baik apabila berjalan pada suatu rentang (*range*) yang telah ditetapkan. Rentang tersebut memiliki batas, yakni batas atas (USL – *Upper Specification Limit*) dan batas bawah (LSL – *Lower Specification Limit*). Proses yang terjadi di luar rentang tersebut maka dianggap cacat (*defect*). Proses  $6\sigma$  berarti proses yang hanya menghasilkan 3,4 DPMO (*Defects Per Million Opportunities*).



SQL	DPMO
1,00	317.311
2,00	45.500
3,00	2.700
4,00	63
5,00	0,57
6,00	0,002

(a)



SQL	DPMO
1,00	691.462
2,00	308.538
3,00	66.807
4,00	6.210
5,00	233
6,00	3,4

(b)

Gambar 2.1: Konsep Proses *Six Sigma*.(a) Proses  $6\sigma$  sesungguhnya.(b) Proses  $6\sigma$  dengan penggeseran  $\pm 1,5\sigma$

*Six Sigma* merupakan pendekatan menyeluruh untuk menyelesaikan masalah dengan berfokus kepada pengendalian produk/proses sehingga sepanjang waktu dapat memenuhi persyaratan dari produk/proses tersebut. Metode ini diterapkan melalui beberapa tahapan, yaitu: *define, measure, analyze, improve* serta *control* (DMAIC).

### Tahap Define

Tahap *define* adalah fase menentukan masalah dan menetapkan kebutuhan spesifik dari pelanggan yang dalam hal ini sering disebut dengan “suara pelanggan” (VOC – *Voice of Customer*). Setelah karakteristik kualitas yang terdefinisi dalam bahasa konsumen tersebut diketahui, maka langkah selanjutnya dalam tahap ini adalah menerjemahkannya ke dalam bahasa produsen yaitu dalam parameter teknis (VOC  $\Leftrightarrow$  CTQ).

Setelah mendaftarkan semua variabel yang dipandang penting oleh pelanggan sebagai *Voice of Customer*, selanjutnya perlu diberikan nilai terukur. Variabel terukur tersebut dinamakan karakteristik kualitas pengganti atau *Critical-to-Quality* (CTQ). Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi proses-proses yang menyertai CTQ tersebut. Kepuasan pelanggan ditentukan oleh seberapa baik proses yang menyertai CTQ tersebut.

### Tahap Measure

Terdapat dua hal pokok yang harus dilakukan dalam tahap *Measure*, yaitu:

- (1) mengembangkan suatu rencana pengumpulan data melalui pengukuran yang dilakukan pada tingkat *output*,
- (2) mengukur kinerja saat ini (*current performance*) pada tingkat *output* untuk ditetapkan sebagai tolok ukur kinerja (*performance baseline*) pada awal proyek *Six Sigma*.

Pengukuran pada tingkat *output* merupakan pengukuran yang dilakukan terhadap kinerja karakteristik kualitas *output* (barang/jasa), disebut juga dengan pengukuran internal. Berkaitan dengan pengukuran ini, perlu membedakan jenis data yang akan diambil. Terdapat jenis data yang umum digunakan, yakni:

#### 1. Data Atribut

merupakan data kualitatif yang **dihitung** menggunakan daftar pencacahan (*tally*) untuk keperluan pencatatan dan analisis. Contoh: ketiadaan label pada kemasan produk, banyaknya jenis cacat pada produk, banyaknya produk kayu lapis yang cacat karena *corelap*, dll.

#### 2. Data Variabel

merupakan data kuantitatif yang **diukur** menggunakan alat pengukuran tertentu untuk keperluan pencatatan dan analisis. Contoh: diameter pipa, ketebalan produk kayu lapis, berat semen dalam kantong, konsentrasi elektrolit dalam persen, dll.

Hasil pengukuran pada tingkat *output* dapat berupa data variabel maupun data atribut, yang akan ditentukan kinerjanya menggunakan satuan pengukuran DPMO (*Defects Per Million Opportunities*) dan SQL (kapabilitas sigma).

Rumus yang digunakan adalah:

- Rata-rata sampel dalam subgrup ( $\bar{X}$ )

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (\text{Pyzdek, 2003: 394})$$

- Rata-rata sampel keseluruhan ( $\bar{\bar{X}}$ )

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{N} \quad (\text{Pyzdek, 2003: 395})$$

- Rentang (R – *Range*)

$$R = X_{\text{maks}} - X_{\text{min}} \quad (\text{Pyzdek, 2003: 394})$$

- Standar deviasi (s)

$$s = \frac{R}{d_2} \quad (\text{Gaspersz, 2002: 128})$$

( $d_2$  dilihat dalam Tabel Lampiran 1)

- Probabilitas cacat dalam DPMO untuk 1 batas spesifikasi (Gaspersz, 2002: 131):

$$P\left\{z \geq \frac{\text{absolut}(USL - \bar{X})}{s}\right\} \times 1.000.000$$

atau;

$$P\left\{z \leq \frac{\text{absolut}(LSL - \bar{X})}{s}\right\} \times 1.000.000$$

- Probabilitas cacat dalam DPMO untuk 2 batas spesifikasi (Gaspersz, 2002: 124):

$$P\left\{z \geq \frac{(USL - \bar{X})}{s}\right\} \times 1.000.000$$

dan;

$$P\left\{z \leq \frac{(LSL - \bar{X})}{s}\right\} \times 1.000.000$$

- Kapabilitas Sigma – SQL  
(Tabel Lampiran 5)

### Tahap Analyze

Tahap *Analyze* merupakan fase mencari dan menentukan akar permasalahan. Pada tahap ini perlu dilakukan beberapa hal berikut:

- (1) menganalisis stabilitas dan kapabilitas proses, serta
- (2) mengidentifikasi sumber-sumber penyebab kecacatan atau kegagalan.

Perhitungan Stabilitas Proses

- a. Satu Batas Spesifikasi (USL atau LSL)

- $S_{\text{maks}} = \left\{ \begin{array}{l} UCL \\ LCL \end{array} \right\}$  (Tabel Lampiran 6)

- $LCL \left\} = T \pm 1,5 (S_{\text{maks}}) \quad (\text{Gaspersz, 2002: 214})$

- Uji Hipotesis:
- H<sub>0</sub>: Variasi proses berada dalam batas toleransi maksimum standar deviasi yang diharuskan pada tingkat sigma proses.
- H<sub>1</sub>: Variasi proses lebih besar daripada batas toleransi maksimum standar deviasi yang diharuskan pada tingkat sigma proses.

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{maks})^2} \right\} \leq \chi^2(\alpha; N-1) \quad (H_0 \text{ Diterima})$$

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{maks})^2} \right\} > \chi^2(\alpha; N-1) \quad (H_0 \text{ Ditolak})$$

Uji Hipotesis Chi-Kuadrat di atas digunakan untuk mengetahui apakah variasi proses telah mampu memenuhi batas toleransi standar deviasi maksimum ( $S_{maks}$ ) pada tingkat kualitas (SQL) tertentu.

- b. Dua Batas Spesifikasi (USL dan LSL)
- $S_{maks}$  = (Tabel Lampiran 7)
- $\left. \begin{matrix} UCL \\ LCL \end{matrix} \right\} = T \pm (1,5 \times S_{maks})$  (Gaspersz, 2002: 206)
- Uji Hipotesis:

$$H_0 : \sigma^2 \geq (S_{maks})^2$$

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{maks})^2} \right\} \geq \chi^2(\alpha; n-1) \quad (H_0 \text{ diterima})$$

$$H_1 : \sigma^2 < (S_{maks})^2$$

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{maks})^2} \right\} < \chi^2(\alpha; n-1) \quad (H_0 \text{ ditolak})$$

Uji Hipotesis Chi-Kuadrat di atas digunakan untuk mengetahui apakah variasi proses telah mampu memenuhi batas toleransi standar deviasi maksimum ( $S_{maks}$ ) pada tingkat kualitas (SQL) tertentu.

#### Perhitungan Kapabilitas Proses

- a. Satu Batas Spesifikasi (USL atau LSL)

- $C_{pk} = \text{Absolut} \left[ \frac{SL - \bar{X}}{3S} \right]$  (Gaspersz, 2002: 220)
- $C_{pm} = \frac{\text{Absolut}(SL - T)}{3\sqrt{S^2 + (\bar{X} - T)^2}}$  (Gaspersz, 2002: 218)

- b. Dua Batas Spesifikasi (USL dan LSL)

- $C_{pk} = \text{minimum} \left\{ \frac{\bar{X} - LSL}{3S} \text{ atau } \frac{USL - \bar{X}}{3S} \right\}$  (Gaspersz, 2002: 212)
- $C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{S^2 + (\bar{X} - T)^2}}$  (Gaspersz, 2002: 210)

- Uji Hipotesis:

$$H_0 : \mu = T \pm 1,5 S_{maks} \quad (H_0 \text{ diterima})$$

$$\left\{ \bar{X} - t_{(\alpha/2; n-1)} \left( \frac{S}{\sqrt{n}} \right) \right\} < \mu < \left\{ \bar{X} + t_{(\alpha/2; n-1)} \left( \frac{S}{\sqrt{n}} \right) \right\}$$

$$H_1 : \mu \neq T \pm 1,5 S_{maks} \quad (H_0 \text{ ditolak})$$

$$\mu \leq \left\{ \bar{X} - t_{(\alpha/2; n-1)} \left( \frac{S}{\sqrt{n}} \right) \right\} \text{ atau}$$

$$\mu \geq \left\{ \bar{X} + t_{(\alpha/2; n-1)} \left( \frac{S}{\sqrt{n}} \right) \right\}$$

dimana;

- SL = Batas Spesifikasi CTQ yang diinginkan pelanggan
- USL = Batas Atas Spesifikasi CTQ yang diinginkan pelanggan
- LSL = Batas Bawah Spesifikasi CTQ yang diinginkan pelanggan
- UCL = *Upper Control Limit* (Batas Kendali Atas)
- LCL = *Lower Control Limit* (Batas Kendali Bawah)
- T = Target spesifikasi CTQ yang diinginkan pelanggan
- S = Standar deviasi proses
- $S_{maks}$  = Nilai batas toleransi maksimum standar deviasi
- $\bar{X}$  = Nilai rata-rata contoh (*sample mean*) proses
- n = Ukuran sampel
- N = Ukuran sampel keseluruhan
- $\mu$  = Nilai rata-rata proses yang sesungguhnya
- $\alpha$  = Tingkat signifikansi
- $\chi^2$  = Distribusi Chi-Kuadrat
- t = Distribusi t-Student

Terdapat berbagai indeks kapabilitas proses, namun dalam skripsi ini akan digunakan 2 macam indeks, yakni:

- $C_{pk}$  (Indeks Kapabilitas Proses Aktual)  
Kelemahan utama indeks  $C_p$  adalah pada kenyataannya sangat sedikit proses yang tetap berpusat pada rata-rata proses. Untuk memperoleh pengukuran akan kinerja proses yang lebih baik, maka harus dipertimbangkan di mana rata-rata proses berlokasi relatif terhadap batas spesifikasi.  $C_{pk}$  mencari jarak terdekat lokasi pusat proses dengan USL atau LSL kemudian dibagi dengan rentang proses.

Kapabilitas proses potensial pada proses dengan tingkat kualitas *Six Sigma*:

$$C_{pk} = \text{minimum} \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \text{ atau } \frac{USL - \mu}{3\sigma} \right\}$$

$$C_{pk} = \text{minimum} \left\{ \frac{6\sigma}{3\sigma} \text{ atau } \frac{6\sigma}{3\sigma} \right\}$$

$$C_{pk} = 2,0$$

dimana:

- USL = batas spesifikasi atas (*Upper Specification Limit*)
- LSL = batas spesifikasi bawah (*Lower Specification Limit*)
- $\mu$  = rata-rata proses
- $\sigma$  = simpangan/standar deviasi

- $C_{pm}$  (Indeks Kapabilitas Proses Taguchi)  
Indeks kapabilitas proses  $C_{pm}$  (disebut juga *Taguchi Capability Index*) digunakan untuk mengukur pada tingkat mana *output* suatu proses berada pada

nilai spesifikasi target kualitas ( $T$ ) yang diinginkan oleh pelanggan. Semakin tinggi nilai  $C_{pm}$  menunjukkan bahwa *output* proses itu semakin mendekati nilai spesifikasi target kualitas ( $T$ ) yang diinginkan pelanggan.

Beberapa keuntungan penggunaan indeks  $C_{pm}$  adalah:

- ⇒ Indeks  $C_{pm}$  dapat diterapkan pada suatu interval spesifikasi yang tidak simetris, dimana nilai spesifikasi target kualitas tidak berada tepat di tengah nilai USL dan LSL.
- ⇒ Indeks  $C_{pm}$  dapat dihitung untuk tipe distribusi apa saja, tidak mensyaratkan data harus berdistribusi normal. Hal ini berarti perhitungan  $C_{pm}$  adalah bebas dari persyaratan distribusi data serta tidak memerlukan uji normalitas lagi untuk mengetahui apakah data yang dikumpulkan dari proses itu berdistribusi normal atau tidak.

Dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*, biasanya dipergunakan kriteria sebagai berikut:

- ⇒  $C_{pm} \geq 2,00$   
Proses dianggap mampu dan kompetitif (perusahaan berkelas dunia).
- ⇒  $1,00 \leq C_{pm} < 1,99$   
Proses dianggap cukup mampu, namun perlu upaya-upaya giat untuk peningkatan kualitas menuju target perusahaan berkelas dunia yang memiliki tingkat kegagalan sangat kecil menuju nol (*zero defect oriented*). Perusahaan yang memiliki nilai  $C_{pm}$  yang berada di kisaran ini memiliki kesempatan terbaik dalam melakukan program peningkatan kualitas *Six Sigma*.
- ⇒  $C_{pm} < 1,00$   
Proses dianggap tidak mampu dan tidak kompetitif untuk bersaing di pasar global.

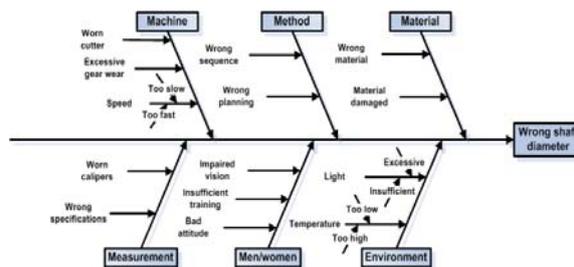
Mengidentifikasi Sumber-Sumber Penyebab Kecacatan atau Kegagalan

Menemukan akar penyebab dari suatu masalah dapat dilakukan dengan menerapkan prinsip “5 *Why's*”, yaitu dengan bertanya “mengapa” sebanyak lima kali tentang terjadinya suatu akibat maka akan dapat ditemukan dan dipahami sebab-sebab yang melatarbelakanginya.

Selanjutnya akar-akar penyebab dari masalah yang ditemukan melalui bertanya “*Why*” beberapa kali itu dapat dimasukkan ke dalam Diagram Sebab – Akibat.

Diagram Sebab – Akibat

Pembuatan diagram sebab-akibat dalam industri manufaktur dapat menggunakan konsep “5M-1E”, yaitu: *machines, methods, materials, measurement, men/women, dan environment*. Sedangkan dalam bidang pelayanan dapat memakai pendekatan “3P-1E” yang terdiri dari: *procedures, policies, people, serta equipment*.



Gambar 2.2: Diagram Sebab – Akibat  
Sumber: Grant, 1999: 330

### Tahap *Improve*

Tahap *Improve* adalah fase meningkatkan proses dan menghilangkan sebab-sebab timbulnya cacat. Setelah sumber-sumber penyebab masalah kualitas dapat diidentifikasi, maka dapat dilakukan penetapan rencana tindakan (*action plan*) untuk melaksanakan peningkatan kualitas *Six Sigma*.

*Design of Experiment* (DOE) merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk meningkatkan dan melakukan perbaikan kualitas. *Design of Experiment* dapat didefinisikan sebagai suatu uji atau rentetan uji dengan mengubah-ubah variabel input (faktor) suatu proses sehingga bisa diketahui penyebab perubahan output (respon). Terdapat beberapa jenis *Design of Experiment*, yaitu: DOE Satu Faktor, Desain Faktorial, dan Desain Taguchi.

### Tahap *Control*

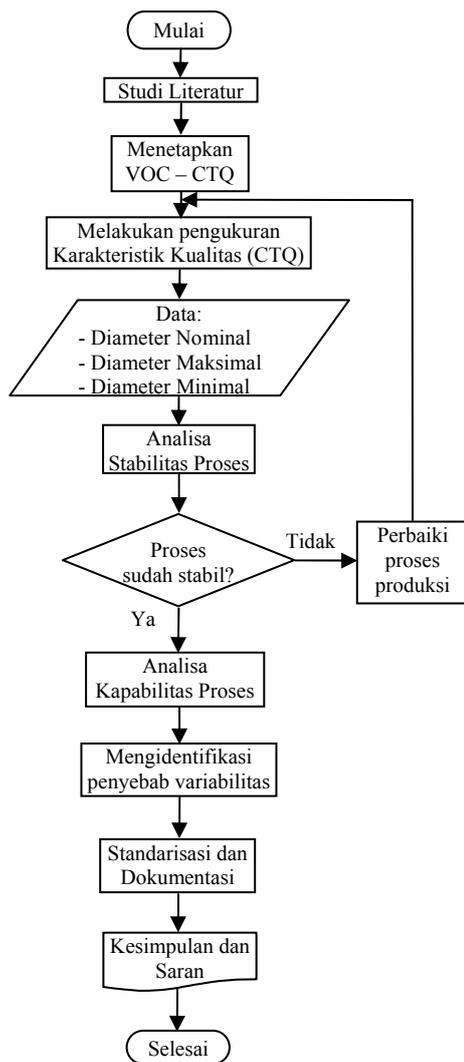
Pada tahap ini hasil-hasil peningkatan kualitas didokumentasikan dan disebarluaskan. Hasil-hasil yang memuaskan dari proyek peningkatan kualitas *Six Sigma* harus distandarisasikan, dan selanjutnya dilakukan peningkatan terus-menerus pada jenis masalah yang lain mengikuti konsep DMAIC. Standarisasi dimaksudkan untuk mencegah masalah yang sama atau praktek-praktek lama terulang kembali.

## III. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan adalah deskriptif, sebuah studi untuk mengadakan perbaikan terhadap suatu keadaan terdahulu. Teknik yang digunakan dalam metode penelitian *field research* ini adalah:

1. Pengamatan
2. Wawancara
3. Dokumentasi

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengamatan di lapangan (*field research*) untuk memperoleh data variabel yaitu diameter pipa *water tube boiler* di PT. Indomarine Divisi Boiler.



Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian

#### IV. PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

##### Tahap Define

Beberapa variabel yang merupakan karakteristik kualitas dan dapat dinyatakan dalam ukuran diantaranya adalah:

- Diameter luar maksimal ( $D_{\max}$ ) [mm]
- Diameter luar minimal ( $D_{\min}$ ) [mm]
- Ketidakbulatan (*Ovality*) [%]

##### Tahap Measure

- Pipa I
 

Diameter nominal ( $D_n$ )	: 38,10	mm
Radius <i>bending</i> (R)	: 80	mm
Toleransi <i>ovality</i>	: 8	%
- Pipa II
 

Diameter nominal	: 38,10	mm
Radius <i>bending</i>	: 160	mm
Toleransi <i>ovality</i>	: 5,95	%
- Pipa III
 

Diameter nominal	: 50,80	mm
------------------	---------	----

- |                          |        |    |
|--------------------------|--------|----|
| Radius <i>bending</i>    | : 300  | mm |
| Toleransi <i>ovality</i> | : 2,12 | %  |
- Pipa IV
 

Diameter nominal	: 63,50	mm
Radius <i>bending</i>	: 300	mm
Toleransi <i>ovality</i>	: 2,65	%
  - Pipa V
 

Diameter nominal	: 76,20	mm
Radius <i>bending</i>	: 500	mm
Toleransi <i>ovality</i>	: 1,91	%

Contoh perhitungan:

- Toleransi *ovality* untuk *short radius* ( $R \leq 250$  mm):

$$= \frac{D_n}{4R} \times 100\% \quad (\text{Nayyar, 2000: A.269})$$

$$= \frac{38,10}{4 \times 80} \times 100\%$$

$$= 11,9\%$$

Batas toleransi *ovality* pipa bending untuk *internal pressure* adalah 8 % dan *external pressure* maksimal 3 % (Nayyar, 2000: A.269). Karena pipa di atas didesain untuk *water tube boiler*, maka batas toleransi yang dipakai adalah 8 % (bukan 11 % seperti dalam perhitungan).

- Toleransi *ovality* untuk *long radius* ( $R > 250$  mm):

$$= \frac{D_n}{8R} \times 100\% \quad (\text{Nayyar, 2000: A.269})$$

$$= \frac{50,80}{8 \times 300} \times 100\%$$

$$= 2,12\%$$

- Ketidakbulatan (*ovality*):

$$= \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_n} \times 100\% \quad (\text{Nayyar, 2000: A.269})$$

$$= \frac{39,24 - 37,13}{38,10} \times 100\%$$

$$= 5,54\%$$

Tes Kecukupan Data

Dalam perhitungan ini diasumsikan tingkat kepercayaan adalah 95 % (dari Tabel Lampiran 2, jika  $1-\alpha = 0,95$  maka  $Z_{\frac{1-\alpha}{2}} = 1,96$ ).

Tes kecukupan data variabel *ovality* untuk Pipa I:

$$N = 21$$

$$\sum_{i=1}^n X_i^2 = 594,9463$$

$$\left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2 = 11967,56$$

$$N' = \left[ \frac{Z_{1-\alpha/2}}{\alpha} \sqrt{N \left( \sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \right]^2$$

$$\begin{aligned}
&= \left[ \frac{1,96 \sqrt{21(594,9463) - (11967,56)}}{0,05 \cdot 594,9463} \right]^2 \\
&= \left[ \frac{39,2 \sqrt{12493,8723 - 11967,56}}{594,9463} \right]^2 \\
&= \left[ \frac{39,2 \sqrt{526,3123}}{594,9463} \right]^2 \\
&= (1,51)^2 \\
&= 2,28
\end{aligned}$$

Karena  $N > N'$  ( $21 > 2,28$ ) maka data yang diambil dapat dianggap cukup untuk keperluan pengolahan data.

Contoh perhitungan untuk Pipa I (Dn = 38,10; R = 80 mm):

- Rata-rata sampel:

$$\begin{aligned}
\bar{X} &= \frac{\sum X}{n} \\
&= \frac{18,82}{3} \\
&= 6,27
\end{aligned}$$

- Rentang:

$$\begin{aligned}
R &= X_{\text{maks}} - X_{\text{min}} \\
&= 6,90 - 5,54 \\
&= 1,36
\end{aligned}$$

- Standar deviasi:

$$\begin{aligned}
s &= \frac{R}{d_2} \\
&= \frac{1,36}{1,693} \quad (\text{dari Tabel Lampiran 1 untuk } n = 3) \\
&\quad \text{maka nilai } d_2 = 1,693 \\
&= 0,80616
\end{aligned}$$

- DPMO:

Diketahui:

$$USL = 8 \% \text{ (batas toleransi } ovality)$$

$$LSL = -$$

$$\bar{X} = 6,27 \%$$

$$s = 0,80616 \%$$

$$DPMO = P \left\{ z \geq \frac{\text{absolut}(USL - \bar{X})}{s} \right\} \times 1.000.000$$

$$= P \left\{ z \geq \frac{\text{absolut}(8 - 6,27)}{0,80616} \right\} \times 1.000.000$$

$$= P \{ z \geq 2,1450 \} \times 1.000.000$$

$$= \{ 1 - P(z \leq 2,1450) \} \times 1.000.000$$

$$= \{ 1 - (0,5 + 0,4842) \} \times 1.000.000$$

$$= 0,016085 \times 1.000.000$$

$$= 16.085$$

- SQL = 3,64 (Lampiran 5)

### Tahap Analyze

- Pipa I (Dn = 38,10 mm; R = 80 mm)

$$\bar{X} = 5,21 \%$$

$$T = 5,21 \%$$

(Karena target spesifikasi tidak ditentukan pelanggan—hanya diminta di bawah 8 %—maka

$$T = \bar{X})$$

$$USL = 8 \%$$

$$SQL = 3,90$$

Perhitungan Stabilitas Proses:

$$S_{\text{maks}} = 0,256410 \times \text{Absolut}(SL - T)$$

(Lampiran 6)

$$= 0,716375$$

$$UCL = T + 1,5 (S_{\text{maks}})$$

$$= 5,21 + (1,5 \times 0,716375)$$

$$= 6,28$$

Uji Hipotesis:

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{\text{maks}})^2} \right\} \leq \chi^2(\alpha; N-1) \quad (H_0 \text{ Diterima})$$

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{\text{maks}})^2} \right\} > \chi^2(\alpha; N-1) \quad (H_0 \text{ Ditolak})$$

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{\text{maks}})^2} \right\} = \left\{ \frac{(21-1) \times (1,16495)^2}{(0,716375)^2} \right\}$$

$$= \left\{ \frac{(20) \times (1,3571)}{(0,51319)} \right\}$$

$$= 52,8885$$

$$\chi^2(\alpha; N-1) = \chi^2(0,05; 20) \quad (\text{Lampiran 3})$$

$$= 31,4104$$

Karena  $\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{\text{maks}})^2} \right\} > \chi^2(\alpha; N-1)$  maka  $H_0$  ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada tingkat kepercayaan 95 %, variabilitas *ovality* pada Pipa I di atas lebih besar daripada batas toleransi maksimum yang diharuskan pada tingkat 3,90-Sigma.

Perhitungan Kapabilitas Proses:

$$C_{pk} = \text{Absolut} \left[ \frac{SL - \bar{X}}{3S} \right]$$

$$= \text{Absolut} \left[ \frac{8 - 5,21}{3 \times 1,16495} \right]$$

$$= 0,799$$

$$C_{pm} = \frac{\text{Absolut}(SL - T)}{3 \sqrt{S^2 + (\bar{X} - T)^2}}$$

$$= \frac{\text{Absolut}(8 - 5,21)}{3 \sqrt{(1,16495)^2 + (5,21 - 5,21)^2}}$$

$$= \frac{2,79}{3,49485}$$

$$= 0,799$$

- Pipa II (Dn = 38,10 mm; R = 160 mm)

$$\bar{X} = 3,96 \%$$

$$T = 3,96 \%$$

$$USL = 5,95 \%$$

$$SQL = 3,88$$

Perhitungan Stabilitas Proses:

$$S_{maks} = 0,512428$$

$$UCL = 4,73$$

Uji hipotesis:

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{maks})^2} \right\} = 108,8529$$

$$\chi^2(0,05; 41) = 56,9424$$

Pada tingkat kepercayaan 95 %, variabilitas *ovality* pada Pipa II di atas lebih besar daripada batas toleransi maksimum yang diharuskan pada tingkat 3,88-Sigma.

Perhitungan Kapabilitas Proses:

$$C_{pk} = 0,794$$

$$C_{pm} = 0,794$$

c. Pipa III (Dn = 50,80 mm; R = 300 mm)

$$\bar{X} = 1,76 \%$$

$$T = 1,76 \%$$

$$USL = 2,12 \%$$

$$SQL = 3,69$$

Perhitungan Stabilitas Proses:

$$S_{maks} = 0,09559$$

$$UCL = 1,91$$

Uji hipotesis:

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{maks})^2} \right\} = 56,8249$$

$$\chi^2(0,05; 41) = 31,4104$$

Kesimpulan:

Pada tingkat kepercayaan 95 %, variabilitas *ovality* pada Pipa III di atas lebih besar daripada batas toleransi maksimum yang diharuskan pada tingkat 3,69-Sigma.

Perhitungan Kapabilitas Proses:

$$C_{pk} = 0,729$$

$$C_{pm} = 0,729$$

d. Pipa IV (Dn = 63,5 mm; R = 300 mm)

$$\bar{X} = 2,19 \%$$

$$T = 2,19 \%$$

$$USL = 2,65 \%$$

$$SQL = 2,72$$

Perhitungan Stabilitas Proses:

$$S_{maks} = 0,16825$$

$$UCL = 2,44$$

Uji hipotesis:

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{maks})^2} \right\} = 143,9519$$

$$\chi^2(0,05; 41) = 42,557$$

Pada tingkat kepercayaan 95 %, variabilitas *ovality* pada Pipa IV di atas lebih besar daripada

batas toleransi maksimum yang diharuskan pada tingkat 2,72-Sigma.

Perhitungan Kapabilitas Proses:

$$C_{pk} = 0,407$$

$$C_{pm} = 0,407$$

e. Pipa V (Dn = 76,20 mm; R = 500 mm)

$$\bar{X} = 1,73 \%$$

$$T = 1,73 \%$$

$$USL = 1,91 \%$$

$$SQL = 2,69$$

Perhitungan Stabilitas Proses:

$$S_{maks} = 0,06531$$

$$UCL = 1,83$$

Uji hipotesis:

$$\left\{ \frac{(N-1)S^2}{(S_{maks})^2} \right\} = 55,95$$

$$\chi^2(0,05; 41) = 19,6751$$

Pada tingkat kepercayaan 95 %, variabilitas *ovality* pada Pipa V di atas lebih besar daripada batas toleransi maksimum yang diharuskan pada tingkat 2,69-Sigma.

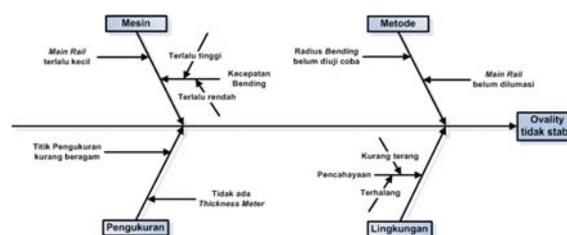
Perhitungan Kapabilitas Proses:

$$C_{pk} = 0,398$$

$$C_{pm} = 0,398$$

Identifikasi Sumber-Sumber Penyebab Variabilitas

Pemetaan terhadap sebab-sebab yang berpotensi menyebabkan variabilitas *ovality* ditunjukkan dalam Diagram Sebab-Akibat berikut:



Gambar 4.1: Diagram Sebab-Akibat *Ovality*

**Tahap Improve**

Desain Eksperimen yang digunakan dalam skripsi ini adalah DOE Satu Faktor, yaitu ANOVA (*Analysis of Variance*) dan Perbandingan Berpasangan. Variabel *input* (faktor) yang digunakan adalah *Radius Bending* dan *Diameter Nominal*, sedang variabel *output* (respon) adalah *Ovality*.

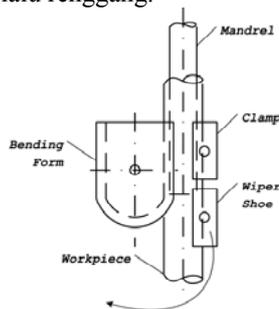
Hasil analisis adalah sebagai berikut:

- ⇒ *Radius bending* ternyata cukup berpengaruh terhadap *ovality* pipa.
- ⇒ *Diameter nominal* ternyata pengaruhnya sangat kecil terhadap *ovality* pipa.

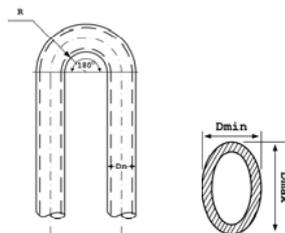
### Tahap Control

Prosedur-prosedur yang dapat didokumentasikan dan dijadikan pedoman kerja standar sesuai analisa-analisa yang telah dilakukan sebelumnya yaitu:

1. Lakukan uji coba terlebih dahulu terhadap spesimen yang sejenis, terutama dengan radius *bending* yang sama.
2. Pelumasan harus dilakukan pada *mandrel* dan *bending form* dalam setiap melakukan *bending*.
3. *Mandrel* harus sering diperiksa keausannya supaya celah dengan pipa yang akan di-*bending* tidak terlalu renggang.



Gambar 4.2: Mesin *Bending*  
Sumber: Nayyar, 2000: A.268



Gambar 4.3: Pipa Hasil Proses *Bending*

Proses Pengerjaan:

1. Beri tanda pada pipa untuk menentukan peletakkan ujung *mandrel*.
2. Letakkan pipa sesuai dengan posisi *wiper shoe*.
3. Lakukan *setting* mesin untuk melakukan *bending* dengan sudut yang lebih besar dari desain untuk mengkompensasi *spring-back* yang terjadi.
3. Lakukan proses *bending* sesuai dengan kecepatan yang telah ditentukan sebelumnya.
4. Untuk sudut *bending* lebih besar dari  $90^\circ$ , lakukan proses secara bertahap dan dimulai dari sudut *bending*  $90^\circ$ .

## V. PENUTUP

### Kesimpulan

1. Perusahaan berada pada tingkat kualitas sigma rata-rata sebesar 3,38-Sigma dengan DPMO sebesar 30.054. Hal ini menunjukkan bahwa perusahaan sudah berada pada tingkat kualitas sigma yang cukup baik meski masih memungkinkan untuk diperbaiki supaya produk yang dihasilkan dapat lebih kompetitif.

2. Proses sudah cukup stabil karena dari semua sampel yang diamati tidak ada yang melampaui *control limit* yang diharuskan. Namun demikian, kapabilitas proses perlu ditingkatkan karena hasil analisis menunjukkan tidak ada indeks kapabilitas—baik Cpk maupun Cpm—yang nilainya lebih dari 1.
3. Faktor Radius *Bending* pengaruhnya cukup signifikan terhadap variabilitas *ovality* pipa yang mengalami proses *bending*.

### Saran

1. Selain variabel *ovality*, perlu dilakukan penelitian terhadap variabel *thinning* dan *buckling* karena ketiga variabel inilah yang menentukan kriteria kualitas pipa yang mengalami proses *bending*.
2. Beberapa variabel seperti jenis material pipa dan kecepatan *bending* juga perlu diteliti pengaruhnya terhadap variabilitas *ovality*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Besterfield, D.H., Quality Control, 4th edition, New Jersey: Prentice-Hall, 1994.
- Bluman, A.G., Elementary Statistics: A Step by Step Approach, 3rd edition, New York: WCB/McGraw-Hill, 1997.
- Gaspersz, V., Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi Dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2002.
- Grant, E.L., dan Leavenworth, R.S., Statistical Quality Control, 7th edition, New York: McGraw-Hill, 1999.
- Iriawan, N., dan Astuti, S.P., Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14, Yogyakarta: Andi Offset, 2006.
- Kolarik, W.J., Creating Quality: Process Design For Results, New York: McGraw-Hill, 1999.
- Nayyar, M.L., Piping Handbook, New York: McGraw-Hill, 2000.
- Pyzdek, T., The Six Sigma Handbook, New York: McGraw-Hill, 2003.
- Spiegel, M.R., Theory and Problems of Statistics, 2nd edition, Singapore: McGraw-Hill, 1992.
- Trihendradi, C., Statistik Six Sigma Dengan Minitab: Panduan Cerdas Inisiatif Kualitas, Yogyakarta: Andi Offset, 2006.