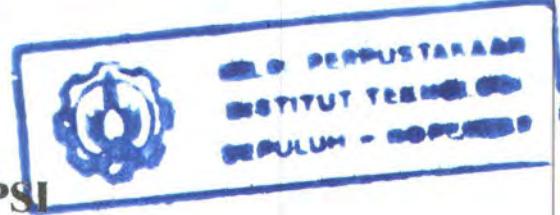


24578/H/06



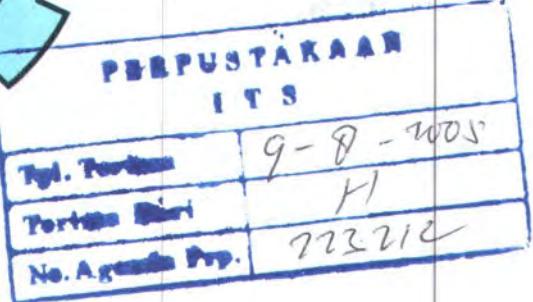
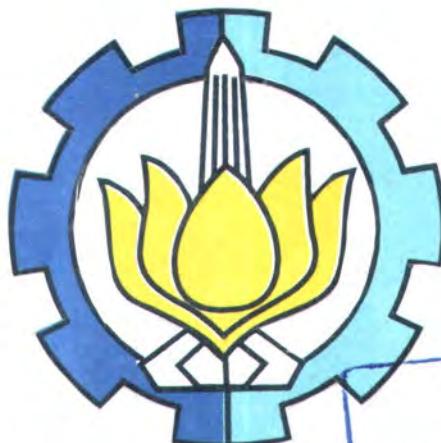
ANALISA KEMAMPUAN PROSES PRODUKSI KACA DENGAN METODE SIX SIGMA

(Studi Kasus : PT. Asahimas Flat Glass Tbk)

Oleh :

DIAN AGUSTININGRUM
NRP : 1201 100 001

R SMA
STG. 86
Agustus
9-1
2005



JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2005

*Tugas Akhir ini aku persembahkan untuk
Ibu, Bapak, Mbak, Mas, Keponakan
dan seluruh keluargaku tercinta
serta someone special yang telah memberi warna
dalam hidupku dan menjadi motivasiku*

ABSTRAK

Kemampuan proses merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses mampu menghasilkan produk sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan oleh manajemen berdasarkan kebutuhan dan keinginan konsumen. Kemampuan proses untuk data variabel dapat ditunjukkan dengan nilai C_p dan C_{pk} , sedangkan untuk data atribut ditunjukkan dengan kapabilitas sigma. Sebagai perusahaan produsen dan *supplier* kaca bagi perusahaan-perusahaan besar, PT. Asahimas Flat Glass Tbk mempunyai komitmen untuk menghasilkan kaca dengan kualitas tinggi untuk mencapai kepuasan pelanggan.

Masalah kualitas berkaitan erat dengan variasi proses dan *defect*. Kualitas kaca yang bagus adalah kaca dengan jumlah *defect* dan variasi proses yang kecil. Dalam penelitian ini dilakukan implementasi *six sigma* dengan siklus DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improvement and Control*) yang akan memberikan langkah perbaikan (*improvement action plan*) untuk mengurangi *defect* pada kaca.

Dari hasil penelitian untuk data variabel diperoleh kemampuan proses masing-masing karakteristik kualitas sudah diatas 1, artinya proses sudah mampu memenuhi spesifikasi yang ditentukan, dengan tingkat kapabilitas sigma 6, sedangkan untuk data atribut diperoleh *defect* terbesar adalah *buble* dengan tingkat kapabilitas sigma 3,6. Langkah perbaikan yang diusulkan adalah memperbaiki proses *cutting* dan *melting*. Dengan menerapkan *improvement* diharapkan *defect* dapat berkurang. Sehingga DPMO turun dan kapabilitas sigma meningkat.

Kata kunci : kemampuan proses, kapabilitas sigma, *defect*, *six sigma*, DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improvement and Control*).

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji hanya untuk Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Seuluh Nopember dengan judul :

“ ANALISA KEMAMPUAN PROSES PRODUKSI KACA

DENGAN METODE SIX SIGMA

(Studi Kasus : PT. Asahimas Flat Glass Tbk)”

Tersusunnya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, saran dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis sampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Ibu dan Bapak serta seluruh keluarga atas kasih sayang dan dukungan yang diberikan selama ini.
2. Bapak Drs. Lukman Hanafi, MSc selaku Ketua Jurusan Matematika ITS.
3. Ibu Dra. Nuri Wahyuningsih, Mkes dan Ibu Endah Rokhmati M.P., SSi, MT selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing dalam penyelesian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Drs. Sulistiyo, MT dan Ibu Dr. Erna Apriliani, MSi selaku dosen penguji atas kritik dan sarannya untuk perbaikan penulisan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Dra. Mardlijah, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Matematika ITS beserta seluruh karyawan.
7. Bapak Rudy, Bapak Samuel (HOT), Bapak Huda dan Bapak Yahya (QC) atas bimbingannya serta seluruh staff dan karyawan PT. Asahimas Flat Glass Tbk.

8. **Yanuar Puji P.** makasih buat semua bantuan, support, perhatian dan kasih sayangnya buat aku "*Apple Juice Amal*".
9. My best friends Nobi dan Icha atas pinjaman buku dan supportnya selama ini, cepetan nyusul ya...
10. Teman-teman seperjuangan, Ika, Hilda, Zaqi, Puput, Ulfa, Binti, Ratna, Yushi, Diecky, Suryo. Teman-teman satu angkatan, Ajeng buat pinjaman printernya, Ana, Elok, Martha buat do'a dan supportnya, dan teman-teman lainnya yang tidak bisa aku sebutkan satu persatu. Juga buat mba Endang untuk diskusinya.
11. Teman-teman di PLH SIKLUS ITS : Ochim, M'Aji, Simbud buat perhatiannya and thx 4 d ride Pektur, Sinchan dan Tembol ayo cepet selesaiin Tanya, Mbank, Joe, Hab2, Ho2, temen-temen D.IVX dan sikeluser lainnya.
12. Semua pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga amal kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan selama ini mendapat balasan dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga saran dan kritik dari para pembaca sekalian sangat diharapkan untuk perbaikan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca, khususnya bagi penulis.

Surabaya, 1 Agustus 2005

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Halaman Peruntukan.....	iii
Abstrak.....	iv
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Lampiran.....	x
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Lambang Dan Singkatan.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proses Produksi	5
2.2 Definisi <i>Defect</i>	9
2.3 Pengendalian Kualitas Statistik.....	11
2.3.1 Alat-alat Statistik	13

2.3.2 Tujuh Alat Statistik	14
2.4 Grafik Pengendali	16
2.4.1 Grafik Pengendali <i>c</i>	18
2.4.2 Grafik Pengendali \bar{X}	20
2.4.3 Grafik Pengendali <i>R</i>	25
2.5 Analisis Pola Grafik Pengendali	26
2.6 Analisa Kemampuan Proses	29
2.6.1 Kemampuan Proses Data Atribut	29
2.6.2 Kemampuan Proses Data Variabel	30
2.6.3 Indeks Kemampuan Proses	31
2.7 <i>Six Sigma</i>	34
2.7.1 Definisi <i>Six Sigma</i>	35
2.7.2 Istilah-istilah Dalam Konsep <i>Six Sigma</i>	37
2.7.3 Metodologi <i>Six Sigma</i>	35
2.8 <i>Failure Mode And Effect Analysis</i> (FMEA)	39
2.9 Pengujian Distribusi Data	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Tahap Persiapan	46
3.2 Tahap Pengumpulan Dan Pengolahan Data	47
3.3 Tahap Penarikan Kesimpulan	48
3.4 Penulisan Laporan Tugas Akhir	48
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	50
4.1 Tahap <i>Define</i>	50
4.1.1 Pemilihan Obyek Penelitian <i>Six Sigma</i>	50

4.1.2 Menentukan CTQ	51
4.1.3 Menetapkan Tujuan Penelitian	51
4.2 Tahap <i>Measure</i>	52
4.2.1 Pengumpulan Data	52
4.2.2 Grafik Pengendali <i>c</i>	52
4.2.3 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$	54
4.2.4 Pengujian Distribusi Data	63
4.2.5 Perhitungan Kemampuan Proses	65
4.2.6 Mengukur Kinerja Saat Ini	67
4.3 Tahap <i>Analyze</i>	70
4.3.1 Pendefinisian Variasi	71
4.3.2 Analisa Kestabilan Grafik Pengendali	71
4.3.3 Analisa Diagram Pareto	76
4.3.4 <i>Failure Mode And Effect Analysis</i> (FMEA)	78
4.3.5 Analisa Kemampuan Proses Dan Kapabilitas Sigma	78
4.4 Tahap <i>Improve</i>	80
4.5 Tahap <i>Control</i>	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	82
Daftar Pustaka	84
Lampiran	85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A1 Data *Defect*

Lampiran A2 Data Observasi Toleransi CR (Lebar)

Lampiran A3 Data Observasi Toleransi SP (Panjang)

Lampiran A4 Data Observasi Tebal Max1

Lampiran A5 Data Observasi Tebal Max2

Lampiran A6 Data Observasi Tebal Min1

Lampiran A7 Data Observasi Tebal Min2

Lampiran B1 Grafik Pengendali *c*

Lampiran B2 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi CR (Lebar)

Lampiran B3 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi SP (Panjang)

Lampiran B4 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal

Lampiran C Uji Normalitas Data Variabel

Lampiran D Analisa Kemampuan Proses Data Variabel

Lampiran E ANOVA Uji Pengaruh Operator Inspeksi

Lampiran F Perhitungan DPMO

Lampiran G Konversi Luasan Di Bawah Kurva Normal Ke Nilai Sigma

Lampiran H Faktor Untuk Membentuk Grafik Pengendali Variabel

Lampiran I Kuantil-kuantil Statistik Uji Kolmogorov-Smirnov

Lampiran J Konversi DPMO Ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola

Lampiran K *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA)

Lampiran L Wilayah Luas Di Bawah Kurva Normal

Lampiran M Nilai Kritik Sebaran *F*

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Konversi Sigma Dengan DPMO

Tabel 2.2 DMAIC Dan Alat Yang Digunakan

Tabel 2.3 Kriteria *Severity*

Tabel 2.4 Kriteria *Occurance*

Tabel 2.5 Kriteria *Detection*

Tabel 4.1 *Critical To Quality*

Tabel 4.2 Hasil Uji Normalitas Data Variabel

Tabel 4.3 Nilai C_p dan C_{pk} Data Variabel

Tabel 4.4 Tingkat Sigma Masing-masing Karakteristik Kualitas

Tabel 4.5 Pendefinisian Variasi Dari CTQ

Tabel 4.6 Persentase Data *Defect*

Tabel 4.7 Kemampuan Proses Dan Kapabilitas Sigma Data Variabel

Tabel 4.8 Kemampuan Proses Dan Kapabilitas Sigma Data Atribut

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Aliran Proses Produksi Flat Glass di PT. Asahimas Flat Glass Tbk
- Gambar 2.2 Sistem Proses Produksi
- Gambar 2.3 Teori Dasar Grafik Pengendali
- Gambar 2.4 Luasan Dibawah Kurva Normal
- Gambar 2.5 Kesalahan Tipe I untuk $\pm 3\sigma$
- Gambar 2.6 Proses Sangat Kapabel
- Gambar 2.7 Proses Kapabel
- Gambar 2.8 Proses Tidak Kapabel
- Gambar 2.9 Indeks Potensial Proses
- Gambar 2.10 Indeks Performa Atas
- Gambar 2.11 Indeks Performa Bawah
- Gambar 2.12 Konsep *Six Sigma* Motorola
- Gambar 2.13 Perbedaan 2σ , 3σ dan 6σ
- Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian
- Gambar 4.1 Grafik Pengendali *Defect*
- Gambar 4.2 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi CR (Lebar)
- Gambar 4.3 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi (Panjang)
- Gambar 4.4 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max1
- Gambar 4.5 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max2
- Gambar 4.6 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Min1
- Gambar 4.7 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Min2
- Gambar 4.8 Uji Normalitas Toleransi CR (Lebar)

Gambar 4.9 Analisa Kemampuan Proses Toleransi CR (Lebar)

Gambar 4.10 *Yield* Untuk Berbagai Batas Spesifikasi

Gambar 4.11 Diagram Sebab Akibat *Defect*

Gambar 4.12 Diagram Sebab Akibat Toleransi CR (Lebar)

Gambar 4.13 Diagram Sebab Akibat Toleransi SP (Panjang)

Gambar 4.14 Diagram Sebab Akibat Tebal

Gambar 4.15 Diagram Pareto Untuk *Defect*

Gambar 4.16 Diagram Sebab Akibat *Buble*

Gambar 4.17 Diagram Sebab Akibat *Chipping & Cullet*

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

- A_2 : konstanta yang ditabelkan berdasarkan ukuran sampel
- BPA : Batas Pengendali Atas
- BPB : Batas Pengendali Bawah
- BSA : Batas Spesifikasi Atas
- BSB : Batas Spesifikasi Bawah
- c : Bagian tidak sesuai
- C_p : indeks potensial proses
- C_{pk} : indeks performa proses
- C_{pl} : indeks performa bawah
- C_{pu} : indeks performa atas
- CTQ : *Critical To Quality*
- df_E : *degree of freedom error*
- df_P : *degree of freedom perlakuan*
- df_T : *degree of freedom total*
- DPMO: *Defect Per Million Opportunities*
- DPO : *Defect Per Opportunities*
- D_3 : Konstanta yang ditabelkan berdasarkan ukuran sampel
- D_4 : Konstanta yang ditabelkan berdasarkan ukuran sampel
- FK : Faktor Koreksi
- $F(x)$: fungsi distribusi kumulatif
- $F_0(x)$: fungsi distribusi kumulatif yang dihipotesakan
- m : jumlah sampel

MS_p : *Mean Square Perlakuan*

MS_e : *Mean Square Error*

n : ukuran sampel

R : rentang

\bar{R} : rata-rata rentang

r_i : ulangan ke-i

SS_p : *Sum Square Perlakuan*

SS_e : *Sum Square Error*

$S(x)$: fungsi distribusi sampel yang teramat (fungsi distribusi empirik)

t : banyaknya perlakuan (operator)

x_i : sampel pengamatan ke-i

\bar{X} : rata-rata sampel

$\bar{\bar{X}}$: rata-rata dari rata-rata sampel

α : kesalahan tipe I

σ : standar deviasi

μ : mean populasi



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kualitas merupakan salah satu jaminan yang diberikan dan harus dipenuhi oleh perusahaan kepada pelanggan, karena kualitas merupakan faktor dasar keputusan konsumen dalam banyak produk dan jasa. Selain dimata pelanggan, kualitas juga merupakan salah satu indikator penting bagi perusahaan untuk dapat eksis di tengah ketatnya persaingan dalam dunia industri. Kualitas yang baik adalah kualitas yang mendekati sempurna sesuai dengan yang diinginkan pelanggan. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan dan peningkatan kualitas secara terus menerus dari perusahaan sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan pelanggan [8].

Salah satu hal penting yang harus dilakukan untuk menjaga kualitas produk adalah dengan cara mengurangi cacat (*defect*) pada produk demi tercapainya kepuasan konsumen dan tujuan akhirnya adalah memperoleh profit yang besar oleh perusahaan. *Defect* mempunyai arti yang berbeda dengan *reject*. *Defect* adalah jenis cacat yang dialami oleh suatu produk, sedangkan *reject* adalah produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi atau dapat disebut produk cacat. Dengan demikian *reject* dipengaruhi oleh *defect*, tetapi tidak untuk sebaliknya.

PT. Asahimas Flat Glass Tbk merupakan perusahaan produsen dan *supplier* kaca bagi perusahaan-perusahaan besar. Dengan demikian kualitas menjadi salah satu prioritas yang harus menjadi perhatian perusahaan, karena perusahaan-

perusahaan yang menjadi pelanggan PT. Asahimas Flat Glass, Tbk mempunyai spesifikasi yang lebih ketat dibandingkan dengan pengguna akhir. Sesuai dengan visi perusahaan, yaitu “Menjadi produsen yang disegani dan pemasok global untuk kaca dan produk-produk kaitannya”, maka perusahaan berusaha untuk meminimalisasi *defect* pada kaca. Kaca yang berkualitas baik adalah kaca yang mempunyai variabilitas rendah.

Six sigma merupakan suatu metode atau teknik pengendalian dan peningkatan kualitas secara dramatis melalui proses perbaikan yang terus menerus untuk meminimumkan variabilitas proses, meningkatkan kemampuan proses, sampai pada akhirnya menuju tingkat kegagalan nol (*zero defect*), sehingga secara konsisten dapat memenuhi spesifikasi pelanggan [3]. Dalam konsep *six sigma*, selama perbaikan masih mungkin dilakukan, maka perbaikan harus terus dilakukan.

Penelitian ini akan mengimplementasikan *six sigma* dengan siklus DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan, yaitu pengurangan *defect* pada kaca.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tingkat kapabilitas produksi kaca di PT. Asahimas Flat Glass Tbk.
2. Bagaimana tingkat kapabilitas sigma produksi kaca di PT. Asahimas Flat Glass Tbk.
3. Mengetahui penyebab terjadinya *defect*.
4. Menentukan langkah perbaikan (*improvement*) untuk mengurangi jumlah *defect* pada kaca demi tercapainya kepuasan pelanggan.

1.3 Batasan Masalah

Hal yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan di PT. Asahimas Flat Glas Tbk Sidoarjo.
2. Pengamatan dilakukan untuk kaca jenis LNFL 2.0 standar AGC yang diambil pada *line A2* sesuai dengan prosedur perusahaan.
3. DMAIC dilakukan satu kali siklus dan sampai pada tahap perbaikan (*improvement*), sedangkan untuk tahap *control* sebatas rekomendasi (saran).

1.4 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah diatas, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengukur tingkat kemampuan proses produksi kaca.
2. Mengukur tingkat kapabilitas sigma produksi kaca.
3. Mengetahui penyebab terjadinya *defect*.
4. Menentukan langkah perbaikan (*improvement*) untuk mengurangi jumlah *defect* pada kaca demi tercapainya kepuasan pelanggan.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui kualitas produk kaca, tingkat kapabilitas proses, dan tingkat kapabilitas sigma.
2. Memberikan alternatif solusi untuk menyelesaikan masalah pengurangan *defect* pada kaca.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang akan disusun pada laporan penelitian adalah sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini berisi paparan tentang latar belakang dilaksanakannya penelitian, perumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah, tujuan yang ingin dicapai, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisannya.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini dijelaskan proses produksi kaca dan menyajikan teori-teori yang melandasi penelitian ini, teori-teori yang mendukung dari berbagai referensi.

BAB III : Metodologi Penelitian

Pada bab ini diuraikan tentang tahapan-tahapan pengerjaan yang akan dilakukan dalam penelitian secara terstruktur, mulai dari tahap persiapan sampai tahap penarikan kesimpulan.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Berisi data-data yang telah dikumpulkan dan diperlukan dalam penelitian untuk kemudian dilakukan identifikasi masalah dilanjutkan dengan pengukuran dan pengolahan data sesuai dengan yang telah dirumuskan pada metode penelitian. Serta diberikan penjelasan dan analisa tentang interpretasi dari hasil pengukuran dan pengolahan data, pencarian dan penentuan alternatif perbaikan sampai pada tahap pengontrolan.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan tahap akhir, berisi kesimpulan hasil penelitian serta saran-saran sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas proses produksi kaca dan teori-teori yang mendasari penelitian ini dengan tujuan untuk menyelesaikan permasalahan.

2.1 Proses Produksi

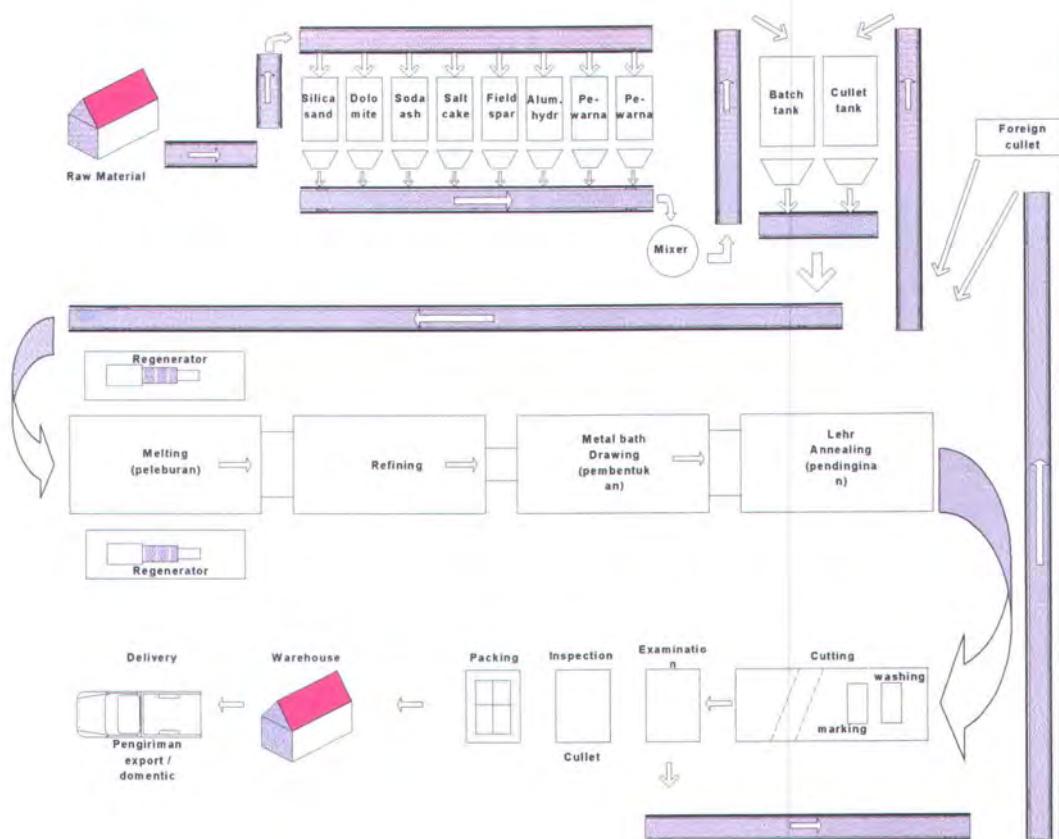
Proses yang digunakan untuk pembuatan kaca di unit produksi A2 pada PT. Asahimas Flat Glass, Tbk adalah dengan menggunakan metode *float*. Dalam proses ini cairan kaca dialirkan kepermukaan cairan timah, cairan kaca akan mengambang dan menutupi permukaan cairan timah. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan densitas dari kedua cairan. *Float proses* merupakan proses terbaru dan yang terbaik untuk saat ini. Sehingga proses inilah yang dipakai oleh PT Asahimas Flat Glass, Tbk. Secara garis besar proses produksi dapat dilihat dalam Gambar 2.1 dengan langkah sebagai berikut :

1. Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan kaca meliputi :

- a. Bahan baku alam (*pasir silika, feldspar, dolomite*).
- b. Bahan kimia (*soda ash, sodium sulfat, aluminium hidroksida, sodium nitrat*).
- c. Pewarna (*cobalt oxide, nickel oxide, blue dust, sodium selenite* dan lain-lain).
- d. Lain-lain (*carbon, calmite*).

Bahan baku yang diterima harus dikontrol dengan baik komposisi kimianya dan sifat fisiknya. Kontrol sifat fisik terutama analisa butir (ukuran partikel), pengotor, kadar air (*moisture*) dan warna. Kontrol bahan baku sangat penting karena bahan baku yang sudah diterima belum tentu seragam dan kadang-kadang spesifikasi yang dibutuhkan tidak terpenuhi. Setelah spesifikasi bahan dikontrol, kemudian bisa ditentukan pengolahan atau penanganan yang diperlukan sehingga bahan baku tersebut bisa dipakai.



Gambar 2.1 Aliran Proses Produksi Flat Glass Di PT Asahimas Flat Glass Tbk

2. Proses Pencampuran

Proses pencampuran bahan baku bertujuan untuk mendapatkan campuran antara *batch* dan *cullet* dengan tingkat homogen yang diinginkan karena akan berpengaruh pada proses peleburan dan kualitas produk yang dihasilkan.

3. Proses Peleburan (*Melting*)

Proses peleburan ialah proses yang mengubah bahan campuran *batch* dan *cullet* menjadi leburan kaca yang siap dibentuk. Dapur peleburan atau *furnace* yang dipakai adalah *port side furnace* yaitu *furnace* dengan pembakaran dari samping yang umum digunakan untuk kapasitas besar. Suhu dalam *furnace* dipertahankan untuk mendapatkan kondisi optimum dengan kualitas yang bagus.

4. Proses Pembentukan (*Drawing*)

Proses pembentukan bertujuan untuk mengubah leburan kaca ke bentuk kaca lembaran dengan ukuran tebal dan lebar yang diinginkan. Proses ini terjadi di dalam *metal bath* yang berupa bejana pengambangan berisi leburan timah yang berat jenisnya lebih besar dari berat jenis leburan kaca.

5. Proses Pendinginan (*Cooling*)

Kaca adalah bahan amorf yang pada suhu tertentu menjadi keras dan kaku tetapi bila terus dipanaskan akan menjadi *viscous* dan akhirnya menjadi cairan. Selama pendinginan terjadi proses sebaliknya, kaca berubah dari cairan ke kondisi padat yang kaku. Kaca yang telah terbentuk dari *metal bath* selanjutnya mengalami pendinginan. Pada proses pendinginan suhu kaca diturunkan secara perlahan dan seimbang.

6. Proses Pemotongan (*Cutting*)

Proses pemotongan bertujuan untuk mendapatkan produk kaca sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Dalam memotong kaca perlu diperhatikan angka kekerasan kaca sehingga alat pemotong kaca harus memiliki kekerasan yang lebih tinggi. Pemotongan ini dilakukan oleh *cutting section* yang tugasnya

meliputi pemotongan langsung (*cutting on line*) dan pemotongan tidak langsung (*cutting offline*).

a. Pemotongan Langsung

Pemotongan langsung adalah pemotongan kaca yang dilakukan pada saat kaca mengalir. Pada saat kondisi normal maka pemotongan kaca dilakukan berdasarkan pesanan, sedangkan pada kondisi tak normal, pemotongan kaca dilakukan karena ada sesuatu kasus misalnya ganti tebal, ganti warna, kaca pecah.

Pada kondisi normal pemotongan kaca di *on line* di lakukan dengan 2 alat potong, yaitu :

- *Cross cutter* : memotong kaca dengan arah melintang aliran kaca.
- *Length cutter wise* : memotong kaca searah dengan aliran kaca.

b. Pemotongan Tidak Langsung (*Off Line*)

Untuk kaca yang tidak memenuhi standar dimasukkan juga ke *pallet* kemudian dikirim ke bagian *One Man Machine* (OMM), untuk dipotong kembali dengan ukuran kecil.

7. Proses Pengepakan (*Packing*)

Proses pengepakan bertujuan untuk mengemas produk kaca didalam *box* atau *pallet* dan menjaga kualitas produk sampai ke tempat tujuan pengiriman. Kaca-kaca yang telah dipotong sesuai ukuran yang dikehendaki langsung dikemas.

2.2 Definisi *Defect*

Size dan tebal kaca dikatakan *defect* (cacat) apabila ukuran yang sebenarnya diluar batas toleransi, sedangkan *defect* untuk data atribut adalah banyaknya cacat yang ditemukan di setiap lembaran kaca yang diinspeksi. *Defect* adalah jenis cacat yang muncul pada kaca akibat proses primer maupun sekunder. *Defect* untuk data atribut dibagi menjadi dua macam, yaitu :

1. *Defect* Primer

Defect primer adalah cacat yang terjadi pada tahap proses *melting* (peleburan) dan proses *drawing* (pembentukan) yang tidak sempurna. Jenis cacat yang digolongkan dalam cacat primer adalah :

- a. *Bubble / seed*, adalah suatu kecacatan kaca yang berupa gelembung pada kaca yang terjadi pada saat proses peleburan di *melter* ataupun pembentukan kaca pada *metal bath*.
- b. *Inclusion / batu – batuan* adalah suatu kecacatan pada kaca karena terdapat jenis batuan kecil di dalam kaca akibat proses peleburan bahan baku yang kurang sempurna.
- c. *Ream* adalah tingkat homogenitas komposisi kaca yang tingkatan atau yang lainnya ditentukan berdasarkan *reference sample*.
- d. *Ream knot* adalah suatu kecacatan kaca yang transparan yang disebabkan oleh proses peleburan bahan baku yang kurang sempurna.
- e. *Roll imprint* adalah suatu kecacatan pada permukaan kaca dalam bentuk *roll marking* yang disebabkan oleh endapan pada *bottom roll*, *roll imprint* terbentuk pada kondisi kaca yang bertemperatur tinggi.

- f. *Dross* adalah suatu cacat oksida timah pada permukaan cairan timah dan melekat pada kaca.
- g. *Tin count* adalah kecacatan berupa butiran timah yang melekat pada kaca.
- h. *Bloom* adalah lapisan film timah yang melekat pada sisi bawah kaca.
- i. *Distortion* adalah gangguan pandang pada jarak & sudut tertentu.
- j. *Edge distortion* adalah cacat distorsi pada bagian pinggir dari lembaran kaca , terjadi pada saat proses pembentukan lembaran kaca.
- k. *Drop / drip / spot* adalah suatu benda / cairan asing yang menetes / menempel pada permukaan kaca.
- l. *Warpage* adalah gelombang atau lengkungan permukaan kaca. Dibagi menjadi 2 jenis yaitu *bowing* (pelengkungan atau gelombang yang searah aliran kaca) dan *buckling* (pelengkungan atau gelombang yang tidak beraturan).
- m. *Scar* adalah goresan yang diakibatkan oleh benda keras yang terjadi pada awal proses penarikan kaca pada temperatur tinggi.

2. *Defect* Sekunder

Defect ini terjadi pada tahap proses *cutting* dan pada proses *packing*. Yang termasuk dalam *defect* sekunder adalah sebagai berikut :

- a. *Angle* adalah kesikuan / kemiringan *cutter line*.
- b. *Crack* adalah cacat retakan pada bodi kaca , biasanya terjadi karena benturan benda keras atau kejutan panas pada kaca.
- c. *Bevel of cut* adalah kesikuan hasil potong kaca.
- d. *Chipping* adalah cacat gumpil pada sudut potong kaca.
- e. *Shell chips* adalah cacat gumpil pada sisi *cutter line*.
- f. *Flare* adalah cacat tonjolan pada sudut potong kaca.

- g. *Shark teeth* adalah cacat serpihan / gumpalan bergerigi pada posisi *cutter line*.
- h. *Huckle* adalah cacat hasil potongan tidak rata pada permukaan potong karena tegangan dalam kaca.
- i. *Scratch* adalah goresan pada permukaan kaca karena gesekan benda keras / tajam.
- j. *Water stain* adalah cacat karena sisa air pencucian housing machine yang mengering secara tidak merata pada permukaan kaca / suatu percikan / tetesan cairan yang menempel lalu mengering pada permukaan kaca.
- k. *Cullet* adalah cacat karena menempelnya potongan kaca yang diakibatkan karena cacat *chipping*.
- l. *Push mark*, diakibatkan karena cullet yang menempel pada kaca tertindih dengan kaca yang lainnya.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Desy Gunawan dan Satyawati Adhingsih (2004) di PT. Asahimas Flat, Glass Tbk, *defect* terbesar dari produk kaca ini disebabkan karena *scratch* dan *bubble* [4] dan berdasarkan penelitian Marsiana dan A. Rafika (2003) *defect* terbesar adalah *inclusion* [7], dalam penelitian ini jenis *defect* akan difokuskan pada cacat *buble*, *inclusion*, *fine drip*, *drip*, *inlet drip*, *chipping*, *scratch* dan *push mark* yang merupakan *defect* yang dihasilkan dari inspeksi. Sedangkan cacat yang lainnya dimasukkan dalam kategori lain-lain.

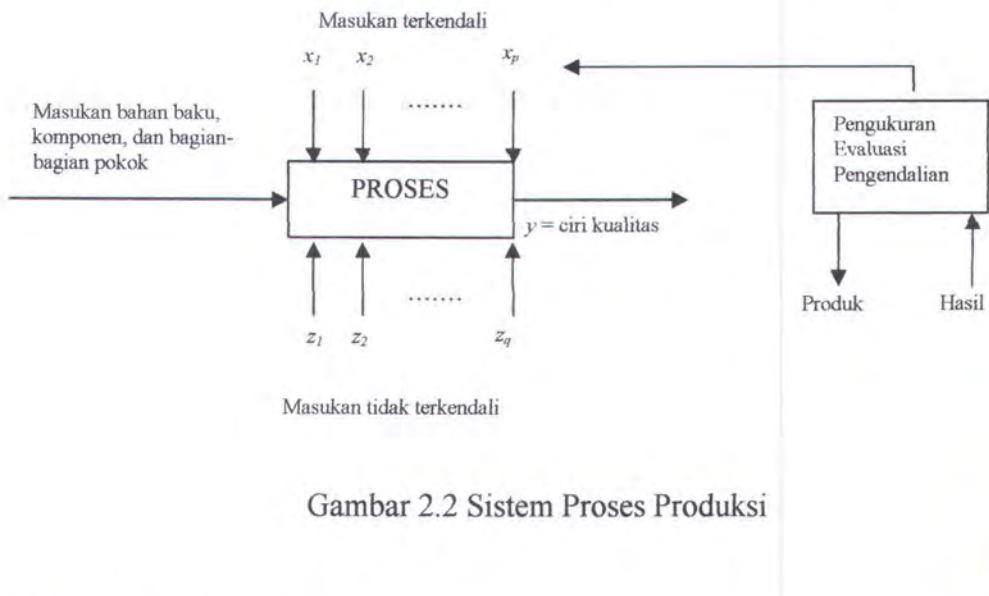
2.3 Pengendalian Kualitas Statistik

Jaminan kualitas produk adalah hal yang harus dipenuhi oleh pembuat produk, baik manufaktur maupun non manufaktur. Definisi tentang kualitas menurut Montgomery (1990) adalah kualitas yang berarti kecocokan penggunaannya [8]. Hal

yang menimbulkan masalah dalam kualitas adalah variasi, yaitu adanya ketidakseragaman pada produk yang dihasilkan. Sebuah produk dikatakan berkualitas tinggi apabila mempunyai variasi kecil, dihasilkan dari proses produksi yang terkendali dan mempunyai kriteria sesuai dengan yang diinginkan oleh konsumen. Terdapat 2 jenis kualitas, yaitu :

1. Kualitas rancangan, adalah variasi dalam tataran kualitas pada produk yang disengaja. Sebagai contoh pakaian jadi, semua mempunyai tujuan sebagai pelindung tubuh yang nyaman, tetapi masing-masing mempunyai ukuran dan model yang berbeda. Perbedaan ini merupakan hasil perbedaan rancangan pada pakaian.
2. Kualitas kecocokan, adalah variasi dalam tataran kualitas yang muncul sebab proses produksi, mengindikasikan seberapa mampu produk tersebut sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan oleh konsumen.

Gambar 2.2 menyajikan proses produksi sebagai satu sistem dengan sekumpulan masukan dan satu hasil. Masukan x_1, x_2, \dots, x_p adalah faktor-faktor yang terkendali, seperti temperatur, tekanan, tingkat masukan dan variabel proses yang lain. Masukan z_1, z_2, \dots, z_q adalah masukan tak terkendali, seperti faktor-faktor lingkungan dan kualitas bahan baku yang diserahkan oleh penjual. Proses produksi mengubah masukan-masukan ini menjadi suatu produk akhir yang mempunyai beberapa parameter yang menggambarkan kualitasnya atau kecocokan untuk digunakan. Variabel hasil y adalah ukuran kualitas proses [8].



2.3.1 Alat-alat Statistik

Ilmu statistik sangat membantu dalam pelaksanaan pengambilan keputusan mengenai permasalahan tertentu. Statistik dibagi dalam 2 bagian :

1. Statistik deskriptif

Menjelaskan tentang pengumpulan data, bagaimana data diringkas sampai pada penyajian data. Dari sini dapat diketahui bagaimana karakteristik data yang diamati, seperti berapa rata-rata, bagaimana sebaran data dan sejauh mana rentangan data.

2. Statistik inferensia

Berkaitan dengan aktifitas setelah pengumpulan data, menjelaskan bagaimana menganalisa data dan kemudian menginterpretasikan hasil analisis tersebut. Statistik inferensia mempunyai peranan yang jauh penting dibandingkan dengan statistik deskriptif, karena pada statistik inferensia dapat dilakukan pengambilan keputusan.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa statistik erat hubungannya dengan data, dari sudut pandang data statistik dapat dibagi :

1. Data kualitatif, adalah data yang tidak dinyatakan dalam bentuk angka, misalnya jenis kelamin (laki-laki dan perempuan), kepuasan seseorang (tidak puas, cukup puas dan puas). Data ini harus dikonversikan dalam bentuk kuantitatif agar dapat diolah dengan statistik.
2. Data kuantitatif, adalah data yang dinyatakan dalam bentuk angka, misalnya : berat badan, usia dan jumlah produk cacat.

2.3.2 Tujuh Alat Statistik

Tujuh alat yang dipakai untuk mendukung pelaksanaan pengendalian kualitas, masing-masing mempunyai kegunaan dan fungsi yang berbeda, yaitu :

1. Lembar Pengecekan (*Check Sheet*)

Alat yang berfungsi untuk memudahkan proses pengumpulan data. Berupa lembaran dalam bentuk tabel-tabel untuk pengisian atau pencatatan data dalam sebuah pengamatan.

2. Histogram

Sebuah grafik yang mempunyai bentuk seperti diagram batang yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik data meliputi rata-rata, harga maksimum dan minimum, *range*, besar penyimpangan atau dispersi terhadap rata-rata, dan bentuk distribusi data.

3. Diagram Pareto

Suatu grafik yang berbentuk hampir sama dengan histogram dan meranking klasifikasi data dari urutan terbesar ke terkecil dari kiri ke kanan. Berguna untuk menunjukkan persoalan utama yang dominan dan perlu segera diatasi. Konsep dasarnya adalah adanya kecenderungan bahwa sebagian besar frekuensi kerusakan terkonsentrasi pada salah satu aspek tertentu.

4. Diagram Sebab Akibat (*Cause and Effect Diagram*)

Diagram ini disebut juga dengan diagram tulang ikan karena bentuknya seperti ikan, atau disebut juga dengan diagram Ishikawa karena ditemukan oleh Prof. Ishikawa dari Jepang. Diagram ini digunakan untuk menganalisa dan menemukan faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap suatu kegagalan atau kerusakan, mencari penyebab-penyebab yang sesungguhnya dari suatu masalah. Ada faktor penyebab utama yang signifikan yang perlu diperhatikan yaitu: metode, manusia, mesin / peralatan lain, bahan baku dan lingkungan.

5. Diagram Pemusatan Cacat (*Defect Concentration Diagram*)

Salah satu alat pengendalian kualitas yang berfungsi untuk menunjukkan secara langsung letak *defect* pada sebuah produk dengan memberi tanda khusus pada produk dan memastikan lokasi *defect* sehingga dapat memberikan informasi tentang penyebab potensial *defect*.

6. Scatter Diagram

Diagram ini digunakan untuk menemukan korelasi dari suatu faktor penyebab terhadap faktor lain. Dari diagram ini juga dapat dianalisa hubungan faktor sebab akibat.

7. Grafik Pengendali

Grafik pengendali merupakan alat analisa yang dibuat dengan membuat plot data yang berkaitan dengan kualitas produk atau proses pada sebuah peta, dengan Batas Pengendali Atas (BPA) dan Batas Pengendali Bawah (BPB) yang dihitung dengan mengikuti perhitungan statistik.

2.4 Grafik Pengendali

Grafik pengendali adalah alat yang digunakan untuk mengendalikan proses secara statistik dan sebagai alat untuk mempertimbangkan apakah proses sudah terkendali secara statistik atau belum. Manfaat pembuatan grafik pengendali adalah :

1. Sebagai teknik pengendali proses, sehingga dapat menyidik dengan cepat terjadinya sebab-sebab terduga atau pergeseran proses sedemikian hingga tindakan pembetulan dapat dilakukan sebelum terlalu banyak cacat terjadi.
2. Menaksir parameter suatu proses produksi.
3. Menentukan kemampuan proses.
4. Menyingkirkan variabilitas proses.

Berdasarkan data yang digunakan grafik pengendali digolongkan menjadi 2, yaitu :

1. Grafik Pengendali Atribut

Merupakan grafik pengendali untuk karakteristik kualitas yang tidak diukur dengan skala kuantitatif. Dalam hal ini tiap unit produk dinilai sebagai sesuai atau tidak sesuai atas dasar apakah produk itu memiliki atau tidak memiliki sifat tertentu.

Ada tiga macam grafik pengendali atribut, yaitu :

- a. Grafik p (grafik pengendali untuk bagian tak sesuai)

Bagian tak sesuai didefinisikan sebagai perbandingan banyak unit tak sesuai dalam sampel D dengan ukuran sampel n dan unit pemeriksaan tiap sampel harus sama. Jika ukuran sampel n yang digunakan tidak sama maka digunakan grafik np .

- b. Grafik c (grafik pengendali ketidaksesuaian)

Benda yang tidak sesuai adalah benda yang tidak memenuhi satu atau beberapa spesifikasi. Benda yang tidak memenuhi satu atau beberapa spesifikasi tidak digolongkan benda cacat selama ketidaksesuaian itu masih bisa diterima.

- c. Grafik u (grafik pengendali ketidaksesuaian per unit)

Grafik u digunakan jika ukuran sampel yang digunakan berbeda-beda dalam suatu unit pemeriksaan.

2. Grafik Pengendali Variabel

Variabel adalah suatu karakteristik kualitas yang dapat diukur seperti dimensi, berat atau volume. Grafik pengendali \bar{X} digunakan sebagai pendekatan sebaran data dengan batas spesifikasi berdasarkan rataan tiap kelompok sampel untuk memantau tingkat kualitas rata-rata.

Yang termasuk dalam grafik pengendali variabel yaitu :

- a. Grafik pengendali \bar{X} (rata-rata sampel)
- b. Grafik pengendali R (range sampel)
- c. Grafik pengendali S (standar deviasi)
- d. Grafik pengendali S^2 (variasi sampel)

Dalam penelitian ini akan digunakan grafik pengendali atribut dan grafik pengendali variabel. Jenis grafik pengendali atribut yang digunakan adalah grafik pengendali c , sedangkan jenis grafik pengendali variabel adalah grafik pengendali $\bar{X} - R$.

2.4.1 Grafik Pengendali c

Banyak karakteristik kualitas yang tidak dapat dengan mudah dinyatakan secara numerik. Dalam hal seperti itu, biasanya tiap benda yang diperiksa diklasifikasikan sebagai sesuai dengan spesifikasi pada karakteristik kualitas itu atau tidak sesuai dengan spesifikasi. Istilah “cacat” dan “tidak cacat” kadang-kadang digunakan untuk mengidentifikasi kedua klasifikasi produk ini.

Benda yang tidak sesuai adalah unit produk yang tidak memenuhi satu atau beberapa spesifikasi unit produk. Setiap titik tertentu dimana spesifikasi tidak dipenuhi menghasilkan satu cacat atau tak sesuai. Akibatnya satu benda yang tidak sesuai akan memuat paling sedikit satu ketidaksesuaian. Grafik pengendali ini biasanya menganggap bahwa terjadinya ketidaksesuaian dalam sampel-sampel berukuran tetap dapat dimodelkan dengan distribusi Poisson. Unit pemeriksaan untuk tiap sampel harus sama.

Pandang kejadian ketidaksesuaian dalam suatu unit pemeriksaan produk. Dalam kebanyakan hal, unit pemeriksaan adalah satu unit produk, meskipun tidak perlu selalu demikian. Andaikan bahwa cacat atau taksesuai terjadi dalam unit pemeriksaan ini menurut distribusi Poisson, yakni :

$$p(x) = \frac{e^{-c} c^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

dengan x banyak ketidaksesuaian dan $c > 0$ adalah parameter distribusi Poisson itu. Telah diketahui bahwa mean dan varians distribusi Poisson adalah parameter c [1].

Jika w adalah suatu statistik yang mengukur karakteristik kualitas dan jika mean dan varians w adalah μ_w dan σ_w^2 , maka model umum grafik pengendali Shewart adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{BPA} &= \mu_w + k\sigma_w \\ \text{Garis Tengah} &= \mu_w \\ \text{BPB} &= \mu_w - k\sigma_w \end{aligned} \quad (2.2)$$

dengan k adalah jarak batas pengendali dari garis tengah dalam kelipatan deviasi standar w .

Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa jarak batas pengendali dari nilai tengah adalah $\pm 3\sigma$. Dengan demikian, grafik pengendali untuk ketidaksesuaian dengan batas 3-sigma diberikan oleh :

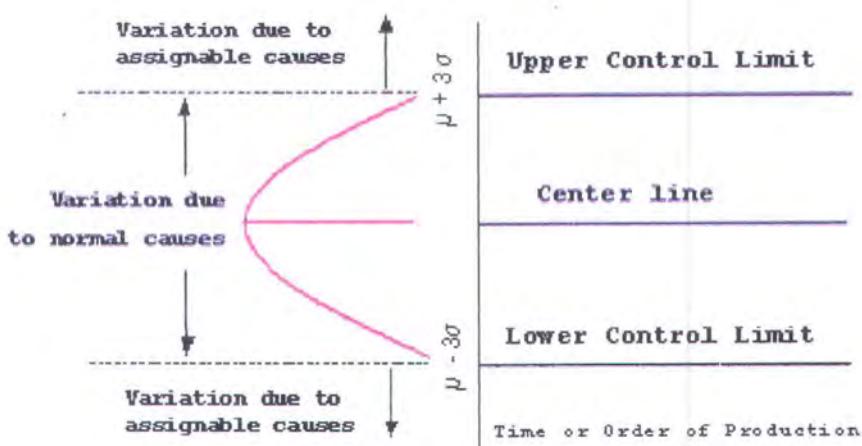
$$\begin{aligned} \text{BPA} &= c + 3\sqrt{c} \\ \text{Garis Tengah} &= c \\ \text{BPB} &= c - 3\sqrt{c} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dengan anggapan nilai standar untuk c tersedia. Jika hitungan ini menghasilkan nilai BPB yang negatif, maka ambil BPB = 0.

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,

$$\begin{aligned} \text{BPA} &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \\ \text{Garis Tengah} &= \bar{c} \\ \text{BPB} &= \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Theoretical Basis for a Control Chart



Gambar 2.3 Teori Dasar Grafik Pengendali
Sumber : <URL:<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc31.htm>>

2.4.2 Grafik Pengendali \bar{X}

Pengendalian rata-rata proses atau mean tingkat kualitas biasanya dengan grafik pengendali untuk mean, atau grafik \bar{X} . Variabilitas atau pemencaran proses dapat dikendalikan dengan grafik pengendali untuk deviasi standar yang dinamakan grafik S , atau grafik pengendali rentang yang dinamakan grafik R .

Misalkan karakteristik kualitas berdistribusi normal dengan mean μ dan deviasi standar σ , dengan μ dan σ keduanya diketahui. Jika x_1, x_2, \dots, x_n sampel

berukuran n , maka rata-rata sampel ini adalah

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2.5)$$

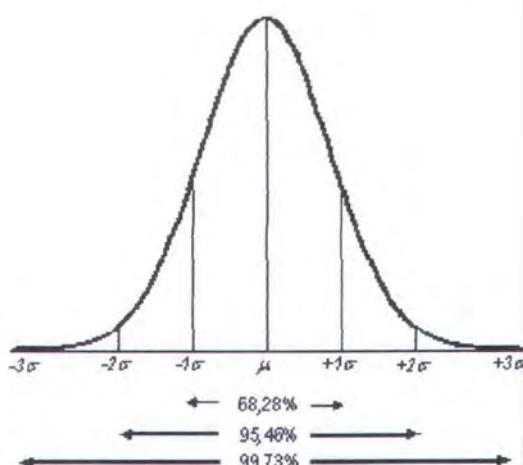
Jika x_1, x_2, \dots, x_n sampel acak yang independen dengan mean μ dan deviasi standar σ , maka \bar{x} berdistribusi mendekati normal dengan mean μ dan deviasi standar $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ [1].

Seperti yang telah dibicarakan dalam sub bab 2.4.1, bahwa bentuk umum grafik pengendali adalah sebagai berikut :

$$\text{BPA} = \mu_w + k\sigma_w$$

$$\text{Garis Tengah} = \mu_w$$

$$\text{BPB} = \mu_w - k\sigma_w$$



Gambar 2.4 Luasan Dibawah Kurva Normal

Pada umumnya, nilai k diganti dengan 3, sehingga batas pengendali atas dan bawah masing-masing adalah $+3\sigma$ dan -3σ dari nilai tengah. Jika diasumsikan data berdistribusi normal, maka 99.73% dari nilai-nilai populasi jatuh didalam batas pengendali tersebut. Jika batas pengendali dipasang $\pm 2\sigma$ atau $\pm 1\sigma$, maka nilai-nilai

populasi yang jatuh dalam batas pengendali tersebut adalah 95,46% dan 68,26%.

Mudah untuk menentukan batas probabilitas bagi grafik \bar{x} , karena \bar{x} berdistribusi mendekati normal, maka dapat diperoleh α yang diinginkan dengan memilih $k = Z_{\alpha/2}$, dengan $Z_{\alpha/2}$ adalah titik persentase $\alpha/2$ atas distribusi normal standar. Probabilitasnya adalah $1-\alpha$ bahwa setiap mean sampel akan di antara

$$\mu + Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

dan

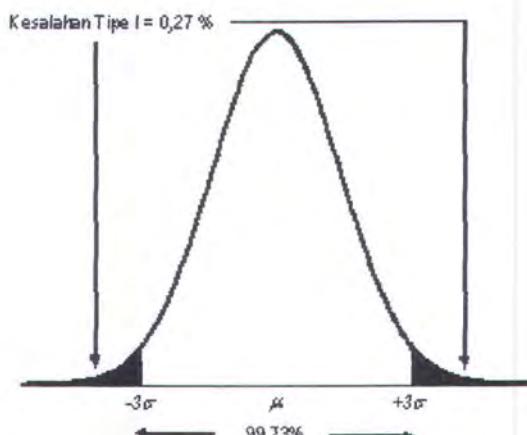
$$\mu - Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.7)$$

Dengan demikian, jika μ dan σ diketahui, persamaan (2.6) dan (2.7) dapat digunakan sebagai batas pengendali atas dan bawah pada grafik pengendali mean sampel.

Perhatikan bahwa dengan batas 3-sigma berarti probabilitas kesalahan tipe I adalah $\alpha = 0,0027$. Misalnya, dipilih $\alpha = 0,002$, maka $Z_{\alpha/2} = Z_{0,001} = 3,09$. Dengan demikian sangat kecil perbedaan antara batas pengendali tersebut dan batas pengendali 3-sigma. Dengan mengganti $Z_{\alpha/2}$ dengan 3 diperoleh batas untuk grafik pengendali \bar{x} adalah sebagai berikut :

$$\begin{array}{ll} \text{BPA} & = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ \text{Garis Tengah} & = \mu \\ \text{BPB} & = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{array} \quad (2.8)$$

Jika suatu mean sampel jatuh diluar batas ini, hal itu merupakan petunjuk bahwa mean proses tidak lagi sama dengan μ .



Gambar 2.5. Kesalahan Tipe I Untuk $\pm 3\sigma$

Apabila nilai μ dan σ tidak diketahui, maka nilai-nilai tersebut harus ditaksir dari sampel-sampel pendahuluan yang diambil ketika proses diduga terkendali. Biasanya taksiran itu harus didasarkan pada paling sedikit 20 sampai 25 sampel. Misalkan tersedia m sampel, masing-masing memuat n observasi pada karakteristik kualitas itu. Misalkan, $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ adalah rata-rata tiap sampel. Maka, penaksir terbaik untuk rata-rata proses μ adalah mean keseluruhan, yakni

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (2.9)$$

Jadi $\bar{\bar{x}}$ akan digunakan sebagai garis tengah grafik \bar{X} .

Untuk membuat batas pengendali, diperlukan penaksir untuk deviasi standar σ . Nilai σ dapat ditaksir dari deviasi standar atau rentang m sampel itu. Jika x_1, x_2, \dots, x_n sampel berukuran n , maka rentang sampel itu adalah selisih observasi terbesar dan terkecil, yakni

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (2.10)$$

Terdapat hubungan antara rentang suatu sampel dari distribusi normal dan deviasi standar distribusi itu. Variabel random $W = R/\sigma$ dinamakan *rentang relatif*.

Parameter distribusi W adalah fungsi ukuran sampel n . Mean W adalah d_2 . Sehingga, penaksir untuk σ adalah $\hat{\sigma} = R/d_2$. Nilai d_2 untuk berbagai ukuran sampel diberikan dalam Lampiran H.

Misalkan R_1, R_2, \dots, R_m adalah rentang m sampel itu. Rentang rata-ratanya adalah

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (2.11)$$

Maka taksiran untuk σ dihitung sebagai

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.12)$$

Jika \bar{x} digunakan sebagai penaksir μ dan \bar{R}/d_2 sebagai penaksir untuk σ , maka parameter grafik \bar{x} adalah :

$$\text{BPA} = \bar{x} + \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R}$$

$$\text{Garis Tengah} = \bar{x}$$

$$\text{BPB} = \bar{x} - \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} \quad (2.13)$$

jika dimisalkan

$$A_2 = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \quad (2.14)$$

A_2 adalah konstan yang hanya tergantung pada ukuran sampel, maka (2.13) dapat dituliskan kembali sebagai :

$$\text{BPA} = \bar{x} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Garis Tengah} = \bar{x}$$

$$\text{BPB} = \bar{x} - A_2 \bar{R} \quad (2.15)$$

Konstan A_2 ditabelkan untuk berbagai ukuran sampel dalam Lampiran H.

2.4.3 Grafik Pengendali R

Parameter grafik R dapat ditentukan dengan mudah. Garis tengahnya adalah \bar{R} . Untuk menentukan batas pengendalinya, diperlukan taksiran untuk σ_R . Dengan menganggap bahwa karakteristik kualitas berdistribusi normal, estimasi $\hat{\sigma}_R$ dapat diperoleh dari distribusi rentang relatif $W = R/\sigma$. Deviasi standar W , katakan d_3 , adalah fungsi n yang diketahui. Jadi, karena $R = W\sigma$ maka, deviasi standar R adalah

$$\sigma_R = d_3 \sigma$$

Karena σ tidak diketahui, σ_R ditaksir dengan

$$\hat{\sigma}_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.16)$$

Dengan demikian, parameter grafik R dengan batas pengendali 3-sigma adalah :

$$\text{BPA} = \bar{R} + 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Garis Tengah} = \bar{R}$$

$$\text{BPB} = \bar{R} - 3\hat{\sigma}_R = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.17)$$

Jika dimisalkan

$$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$$

dan

$$D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

parameter-parameter grafik R dapat dituliskan kembali sebagai :

$$\begin{aligned} \text{BPA} &= \bar{R} D_4 \\ \text{Garis Tengah} &= \bar{R} \\ \text{BPB} &= \bar{R} D_3 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Konstan D_3 dan D_4 ditabelkan untuk berbagai nilai n dalam Lampiran H.

2.5 Analisis Pola Grafik Pengendali

Suatu grafik pengendali dapat menunjukkan keadaan tak terkendali apabila satu atau beberapa titik jatuh di luar batas pengendali atau apabila titik-titik dalam grafik menunjukkan pola tingkah laku yang *random*.

Proses dikatakan tak terkendali apabila dipenuhi satu atau beberapa kriteria sebagai berikut [8]:

1. Satu atau beberapa titik jatuh di luar batas pengendali.
2. Suatu giliran dengan paling sedikit tujuh atau delapan titik, dengan macam giliran dapat berbentuk giliran naik atau turun, giliran di atas atau di bawah garis tengah, atau giliran di atas atau di bawah median.
3. Dua atau tiga titik yang berturutan di luar batas peringatan batas 2-sigma tetapi masih di dalam batas pengendali.
4. Empat atau lima titik yang berturutan di luar batas 1-sigma.
5. Pola tak biasa atau tak *random* dalam data.

6. Satu atau beberapa titik dekat satu batas peringatan atau pengendali.

Penggunaan grafik pengendali didasarkan atas prinsip bahwa variasi kualitas tidak dapat dipisahkan dalam setiap proses produksi. Variasi adalah ketidakseragaman dalam sistem industri sehingga menimbulkan perbedaan dalam kualitas pada produk (barang dan/atau jasa) yang dihasilkan. Pada dasarnya dikenal ada dua sumber atau penyebab timbulnya variasi yang diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Variasi Penyebab-Khusus (*Special-Causes Variation*)

Variasi penyebab-khusus adalah kejadian-kejadian diluar sistem industri yang mempengaruhi variasi dalam sistem industri tersebut. Penyebab-khusus dapat bersumber dari faktor-faktor manusia, peralatan, material, lingkungan, metode kerja, dll. Penyebab-khusus mengambil pola-pola non acak (*non random patterns*), sehingga dapat diidentifikasi/ditemukan, karena penyebab ini tidak selalu aktif dalam proses, tetapi memiliki pengaruh yang lebih kuat pada proses sehingga menimbulkan variasi.

2. Variasi Penyebab-Umum (*Common-Causes Variation*)

Variasi penyebab-umum adalah faktor-faktor didalam industri atau yang melekat pada proses industri yang menyebabkan timbulnya variasi dalam sistem industri serta hasil-hasilnya. Penyebab-umum ini sering disebut juga sebagai penyebab acak (*random causes*) atau penyebab sistem (*system causes*). Oleh karena itu, penyebab-umum ini selalu melekat pada sistem, maka untuk menghilangkannya harus menelusuri pada elemen-elemen dalam sistem itu dan hanya pihak manajemen industri yang dapat memperbaikinya, karena pihak manajemen industri yang mengendalikan sistem industri itu.

Suatu proses dimana hanya mempunyai variasi penyebab-umum yang mempengaruhi *output* atau *outcomes* merupakan proses yang stabil sepanjang waktu. Variasi penyebab-umum ini dapat diperkirakan dalam batas-batas pengendalian yang ditetapkan secara statistical. Sedangkan apabila variasi penyebab-khusus terjadi dalam proses, maka akan menyebabkan itu tidak stabil. Upaya-upaya menghilangkan variasi penyebab khusus akan membawa proses ke dalam pengendalian statistik.

Grafik pengendali dapat menunjukkan keadaan tidak terkendali meskipun tidak terdapat satu titik pun yang terletak diluar batas pengendali. Jika pola titik yang digambarkan menunjukkan tingkah laku tidak acak (*random*) atau sistematik. Adapun pola-pola tersebut adalah :

1. Pola Siklis

Pada grafik pengendali \bar{X} , pola ini disebabkan karena perubahan lingkungan secara sistematik dalam proses produksi. Pada grafik pengendali R sering memperlihatkan pola siklik karena jadwal pemeliharaan dan kelelahan operator.

2. Pola Campuran

Titik yang tergambar cenderung naik atau turun mendekati batas pengendali, hal ini menunjukkan adanya pengawasan yang berlebihan, dimana operator terlalu sering melakukan penyesuaian proses, bukan karena sebab-sebab sistematik melainkan variasi random dalam hasil produksi.

3. Pergeseran dalam proses

Pergeseran ini mungkin akibat dari pengenalan karyawan, metode, bahan baku atau mesin baru. Perubahan metode atau standar pemeriksaan atau perubahan dalam ketrampilan, perhatian atau motivasi operator.

4. Pola *Trend*

Trend adalah pola yang bergerak kontinu dalam satu arah turun terus atau naik terus, disebabkan ausnya alat-alat produksi, kelelahan operator dan temperatur.

5. Pola Stratifikasi

Pola yang titik-titiknya cenderung bergerombol disekitar garis tengah, menunjukkan kesalahan dalam memperhitungkan batas pengendalian, kesalahan proses pengumpulan sampel. Perbedaan distribusi antara sampel yang satu dengan lainnya.

2.6 Analisa Kemampuan Proses

Kemampuan proses merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses mampu menghasilkan produk sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan oleh manajemen berdasarkan kebutuhan dan keinginan konsumen.

2.6.1 Analisa Kemampuan Proses Data Atribut

Kemampuan proses data atribut dapat diukur dengan menggunakan parameter DPMO (*Defects Per Million Opportunities*). Untuk mendapatkan DPMO harus dicari terlebih dahulu DPO (*Defects Per Opportunity*)

$$DPO = \frac{\text{banyak_cacat_yang_ditemukan}}{\text{banyak_unit_yang_diperiksa} * CTQ} \quad (2.19)$$

apabila besaran DPO dikalikan dengan konstanta 1000000 akan menjadi DPMO

$$DPMO = DPO \times 1000000 \quad (2.20)$$

2.6.2 Analisa Kemmapuan Proses Data Variabel

Suatu proses dalam keadaan terkendali secara statistik belum tentu prosesnya kapabel. Proses dikatakan kapabel jika memenuhi batas-batas spesifikasi, selain itu juga mempunyai tingkat presisi dan akurasi tinggi. Proses dikatakan tidak kapabel apabila :

1. Proses tidak stabil
2. Proses terlalu dekat dengan batas spesifikasi.
3. Variasi proses terlalu besar.

Metode terbaik yang digunakan untuk mempertahankan sebuah proses kapabel adalah dengan melakukan tindakan koreksi atas tanda-tanda *out of control* pada peta kendali dan menghilangkan sebab khususnya. Sebuah proses dapat menghasilkan bagian-bagian diluar batas spesifikasi jika rata-rata terletak sangat dekat dengan salah satu batas spesifikasi.

Jika proses mengikuti distribusi normal, maka hasil pengukuran akan jatuh antara $\pm 3\sigma$ dari rata-rata proses. Karena batas proses terletak antara -3σ hingga $+3\sigma$, maka total penyebaran adalah 6σ . Apabila penyebaran proses yang diijinkan dibandingkan dengan penyebaran proses yang sebenarnya, maka akan ditemukan satu dari tiga kondisi berikut [9]:

1. $6\sigma < [\text{BSA}-\text{BSB}]$

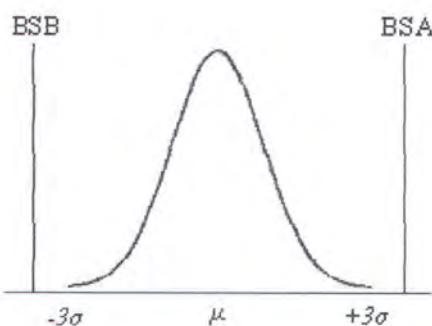
Penyebaran proses yang sebenarnya berada didalam proses penyebaran yang diijinkan (BSA-BSB). Kondisi seperti ini menggambarkan proses yang sangat kapabel.

2. $6\sigma = [\text{BSA}-\text{BSB}]$

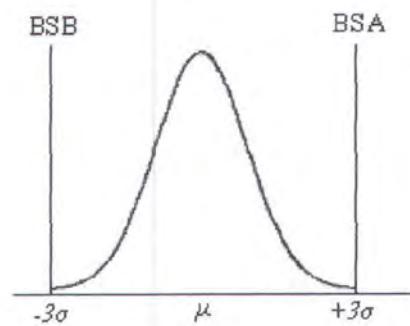
Penyebaran proses yang sebenarnya berimpit dengan proses penyebaran yang diijinkan, artinya proses kapabel.

3. $6\sigma > [\text{BSA}-\text{BSB}]$

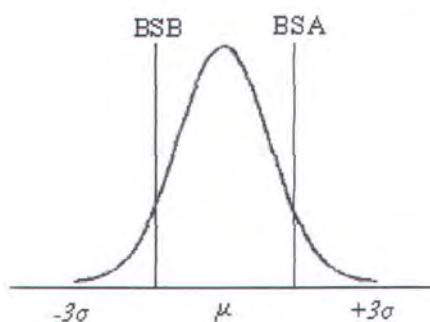
Penyebaran proses yang diijinkan berada di dalam penyebaran proses yang sebenarnya. Kondisi seperti ini memperlihatkan proses yang tidak kapabel.



Gambar 2.6 Proses Sangat Kapabel



Gambar 2.7 Proses Kapabel



Gambar 2.8 Proses Tidak Kapabel

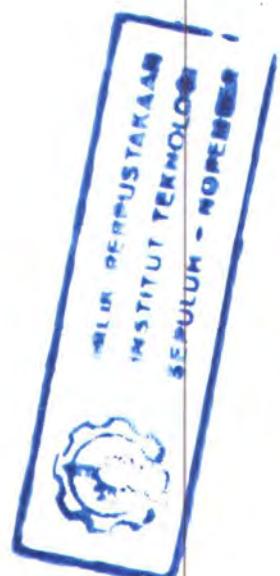
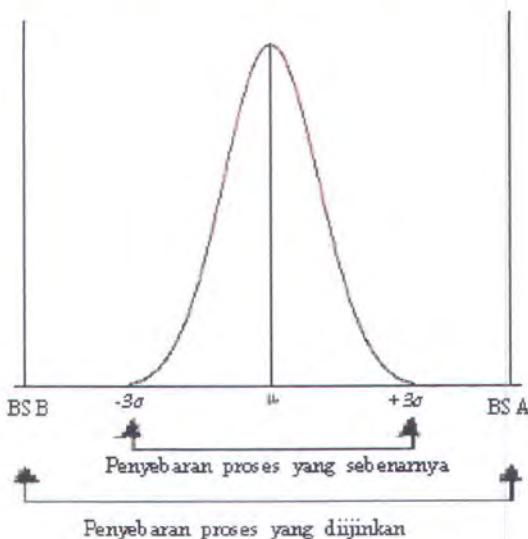
2.6.3 Indeks Kemampaun Proses

Indeks kemampuan proses adalah ukuran sederhana untuk menjelaskan dengan cepat hubungan antara variabilitas proses dan penyebaran dari batas spesifikasi.

1. Indeks Potensial Proses

Indeks C_p sering disebut juga potensial proses. Indeks C_p didefinisikan sebagai perbandingan antara penyebaran proses yang diijinkan dan penyebaran proses yang sebenarnya.

$$C_p = \frac{\text{penyebaran proses yang diijinkan}}{\text{penyebaran proses yang sebenarnya}} = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} \quad (2.21)$$



Gambar 2.9. Indeks Potensial Proses

Indeks kemampuan proses mempunyai tiga kesimpulan, yaitu :

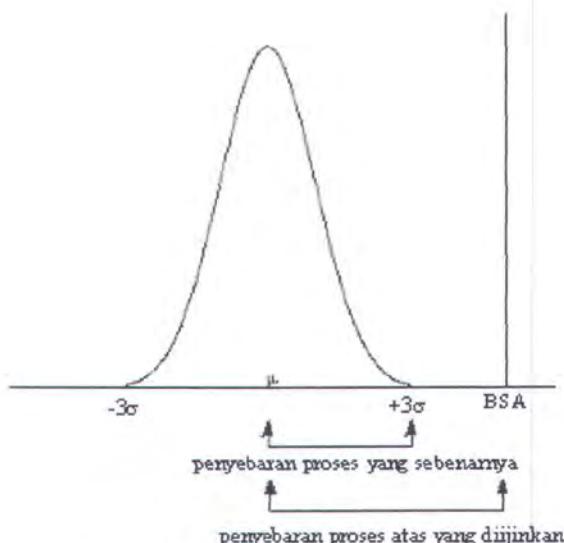
- $C_p > 1$, artinya penyebaran proses yang sebenarnya lebih kecil dari penyebaran proses yang diijinkan, sehingga dapat dikatakan bahwa unit-unit produk yang dihasilkan berada dalam batas pengendalian yang diinginkan. Hal ini menunjukkan bahwa proses sudah kapabel.
- $C_p = 1$, artinya penyebaran proses yang sebenarnya sama dengan penyebaran proses yang diijinkan. Nilai ini menunjukkan bahwa proses kapabel namun masih perlu ditingkatkan. Dalam distribusi normal, jika $C_p = 1$ artinya 99,73% dari produk yang dihasilkan akan jatuh diantara batas spesifikasi.

- c. $C_p < 1$, artinya penyebaran proses yang sebenarnya lebih besar dari penyebaran proses yang diijinkan, artinya proses tidak kapabel untuk memproduksi di dalam batas spesifikasi dan proses harus ditingkatkan.

2. Indeks Performa Proses

Indeks performa proses mengukur seberapa dekat batas spesifikasi dengan nilai tengah. Untuk proses dengan batas spesifikasi tunggal, indeks performa proses dapat dihitung dengan menghubungkan salah satu batas spesifikasi yang diketahui dengan nilai rata-rata proses. Proses dengan batas atas, penyebaran proses yang diijinkan merupakan jarak maksimal penyebaran proses atas dengan nilai rata-rata proses. Penyebaran-penyebaran ini dapat dihubungkan untuk membentuk indeks kemampuan atas (C_{pu}).

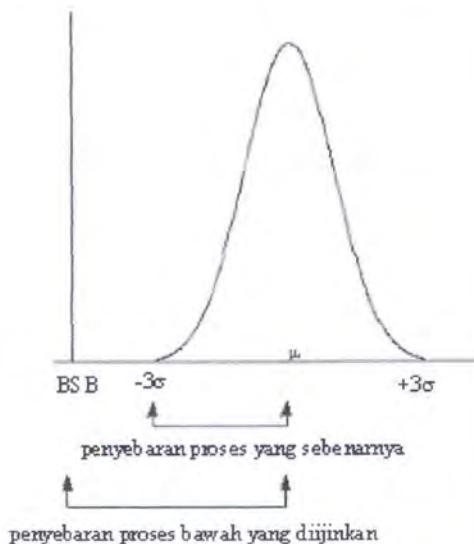
$$C_{pu} = \frac{\text{penyebaran proses atas yang diijinkan}}{\text{penyebaran proses yang sebenarnya}} = \frac{BSA - \bar{X}}{3\sigma} \quad (2.22)$$



Gambar 2.10. Indeks Performa Atas

Sedangkan untuk proses hanya dengan batas bawah (C_{pl}) dapat dihitung dengan cara yang sama.

$$C_{pl} = \frac{\text{penyebaran proses bawah yang diijinkan}}{\text{penyebaran proses yang sebenarnya}} = \frac{\bar{X} - BSB}{3\sigma} \quad (2.23)$$



Gambar 2.11 Indeks Performa Bawah

Baik untuk C_{pu} dan C_{pl} diasumsikan \bar{x} tidak diluar batas spesifikasi, sehingga petunjuk ini memberikan pengukuran yang tepat dari performa kerja proses saat hanya menggunakan satu batas spesifikasi. Untuk kasus dua sisi, indeks performa proses yang digunakan adalah indeks C_{pk} . Indeks C_{pk} dapat dihitung melalui indeks C_p dari kedua sisi distribusi normal dan diambil nilai minimumnya.

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (2.24)$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{BSA - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - BSB}{3\sigma}\right) \quad (2.25)$$

2.7 Six Sigma

Six sigma merupakan terobosan baru dalam bidang manajemen kualitas yang diterapkan pertama kali oleh Motorola sejak tahun 1986. *Six sigma* merupakan

sebuah metodologi terstruktur untuk memperbaiki proses yang difokuskan pada usaha mengurangi variasi proses (*process variances*) sekaligus mengurangi cacat (produk/jasa yang diluar spesifikasi) dengan menggunakan statistik dan *problem solving tools* secara intensif [6]. Motorola mendasarkan kualitasnya pada usaha yang disebut program “6-Sigma”. Tujuan dari program ini adalah untuk mengurangi variasi dalam setiap proses yang menyebar dalam 12σ (6σ pada setiap sisi dari nilai rata-rata proses) yang tepat berada didalam batas spesifikasi. Motorola memperbolehkan adanya pergeseran 1.5σ dari nilai rata-rata proses. Konsep six sigma Motorola untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.12.

Apabila suatu produk (barang/jasa) diproses pada kualitas *Six sigma*, perusahaan boleh mengharapkan 3,4 kegagalan per satu juta kesempatan (DPMO) atau mengharapkan bahwa 99,99966 persen dari apa yang diharapkan pelanggan akan ada dalam produk itu [3].

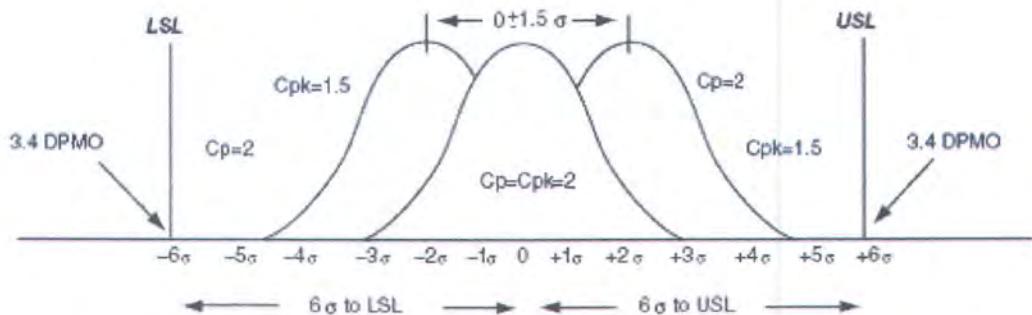
Six sigma berfokus pada peningkatan kualitas dengan cara membantu suatu organisasi memproduksi produk dan pelayanan yang lebih baik, murah, dan cepat. *Six sigma* juga berfokus pada pencegahan *defect*, penghematan biaya, pengurangan *cycle time* [10].

2.7.1 Definisi *Six Sigma*

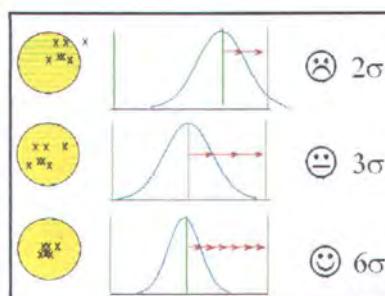
Six sigma merupakan cara untuk mengukur kualitas proses dimana jarak antara batas spesifikasi atas dan bawah setidaknya 6σ . Sigma yang disimbolkan dengan σ menyatakan deviasi standar yang digunakan untuk mengukur variabilitas proses [5]. Menurut manggala D. (2005), secara harfiah *six sigma* adalah suatu besaran yang dapat diterjemahkan secara mudah sebagai sebuah proses yang memiliki kemungkinan cacat sebanyak 3,4 buah dalam satu juta produk/jasa [6].

Namun tidak semua perusahaan harus mencapai level 6 sigma untuk dapat dikatakan berhasil, malah beberapa diantaranya hanya mencapai level 4 atau 5 sigma sudah mampu mencapai tujuannya.

Sigma berkaitan erat dengan kemampuan proses yang terjadi terhadap produk. Sumber dari *defect* atau cacat selalu berhubungan dengan variasi, misalnya variasi material, prosedur, atau perlakuan proses. Maka perhatian utama dari *six sigma* ini adalah variasi karena dengan adanya variasi tinggi maka produk dikatakan tidak memenuhi spesifikasi sehingga tidak bisa memenuhi kepuasan konsumen.



Gambar 2.12 Konsep Six Sigma Motorola
Sumber : *Applied Statistics for the Six Sigma Green Belt*, [5]



Gambar 2.13 Perbedaan 2σ , 3σ , dan 6σ

Sejak tahun 1988, pada saat Motorola menerima MBNQA, *six sigma* mulai banyak dipakai oleh perusahaan menuju peningkatan kualitas dengan prinsip *zero defect*. Banyak keberhasilan yang telah dicapai oleh Motorola yang juga menjadi tujuan perusahaan lain dalam mengaplikasikan *six sigma*, antara lain [3] :

1. Peningkatan produktifitas
2. Penurunan COPQ (*Cost of Poor Quality*), sebagai salah satu bentuk kerugian secara finansial
3. Eliminasi kegagalan dalam proses
4. Penghematan biaya manufakturing
5. Peningkatan tingkat pertumbuhan (penjualan, keuntungan, maupun harga saham)

Hal yang perlu diperhatikan apabila *six sigma* diterapkan dalam bidang manufaktur adalah :

1. Mengidentifikasi karakteristik produk sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi konsumen.
2. Mengklasifikasi semua karakteristik kualitas sebagai CTQ (*Critical To Quality*).
3. Menentukan apakah setiap CTQ dapat dikendalikan melalui pengendalian material, mesin, proses-proses kerja, dll.
4. Menentukan batas maksimum toleransi untuk setiap CTQ sesuai keinginan konsumen.
5. Mengubah desain produk dan atau proses sedemikian rupa agar mampu mencapai nilai target sigma.

2.7.2 Istilah-istilah Dalam Konsep Six Sigma

Dalam *six sigma* ada beberapa istilah yang harus dimengerti dan dipahami yaitu :

1. *Critical To Quality (CTQ)*

Atribut-atribut yang sangat penting untuk diperhatikan karena berkaitan dengan kebutuhan dan kepuasan pelanggan. Merupakan kriteria dari suatu

produk atau proses yang mempunyai dampak terhadap konsumen. Pada kasus penilaian produksi berdasarkan atribut, CTQ adalah jenis kegagalan dari permintaan konsumen. Misalnya dalam suatu produk boneka plastik, produk tidak diterima oleh konsumen karena permukaan tergores, retak, bentuk tidak serasi dan bagian-bagian boneka yang tidak lengkap. Maka jumlah CTQ pada produk boneka plastik sejumlah 4 buah.

2. *Defect*

Defect atau cacat adalah kegagalan dalam memberikan sesuai dengan yang diinginkan konsumen.

3. *Defects Per Milion Opportunities (DPMO)*

DPMO merupakan ukuran kegagalan dalam program peningkatan kualitas *six sigma*, yang menunjukkan kegagalan per sejuta kesempatan. Jika dalam perhitungan 6 sigma, menyatakan perhitungan DPMO sebanyak 3,4 maka dari produksi satu unit produk dalam prosesnya hanya memiliki 3,4 kali kesempatan untuk mengalami kegagalan dari suatu karakteristik CTQ (*Critical to Quality*).

Konversi sigma dengan DPMO dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Konversi Sigma Dengan DPMO

True 6 σ Process (Normal Distribution)			Motorola 6 σ Process (Normal Distribution Shifted 1,5 σ)		
Batas Spesifikasi	Presentase yang Memenuhi Spesifikasi	DPMO	Batas Spesifikasi	Presentase yang Memenuhi Spesifikasi	DPMO
$\pm 1 \sigma$	68,27%	317.300	$\pm 1 \sigma$	30,8538%	691.462
$\pm 2 \sigma$	95,45%	45.500	$\pm 2 \sigma$	69,1462%	308.538
$\pm 3 \sigma$	99,73%	2.700	$\pm 3 \sigma$	93,3193%	66.807
$\pm 4 \sigma$	99,9993%	63	$\pm 4 \sigma$	99,3790%	6.210
$\pm 5 \sigma$	99,999943%	0,57	$\pm 5 \sigma$	99,976%	233
$\pm 6 \sigma$	99,999998%	0,002	$\pm 6 \sigma$	99,99996%	3,4

Sumber : Pedoman Implementasi Program *SIX SIGMA* [3].

4. Process Capability

Kemampuan proses untuk memproduksi atau menyerahkan produk sesuai dengan keinginan dan kebutuhan konsumen yang merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses mampu menghasilkan produk sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan oleh manajemen berdasarkan kebutuhan dan keinginan konsumen.

5. Variasi

Variasi adalah perbedaan kriteria produk yang dirasakan oleh konsumen. Semakin kecil variasi akan semakin baik, karena menunjukkan kekonsistennan dalam kualitas. Variasi mengukur suatu perubahan dalam proses yang mungkin mempengaruhi hasil yang diharapkan.

2.7.3 Metodologi *Six Sigma*

Six sigma sebagai sebuah langkah perbaikan mempunyai sebuah pola yang terdiri dari 5 tahap pemecahan masalah, yaitu DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Proses *close-loop* ini (DMAIC) menghilangkan langkah-langkah proses yang tidak produktif, sering berfokus pada pengukuran-pengukuran baru dan penerapan teknologi untuk peningkatan kualitas menuju target *six sigma* [3].

DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, and Control*) merupakan proses untuk peningkatan terus menerus menuju target *six sigma*. DMAIC dilakukan secara sistematis, berdasarkan ilmu pengetahuan dan fakta (*systematic, scientific and fact based*). DMAIC masing-masing bagian memiliki keterangan dan alat tersendiri antara lain, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tabel DMAIC Dan Alat Yang Dipergunakan

Metode	Keterangan	Alat yang digunakan
<i>Define</i>	Pemilihan obyek penelitian <i>six sigma</i> Menentukan CTQ Menetapkan tujuan penelitian	<i>Voice of customer</i>
<i>Measure</i>	Mengembangkan rencana pengumpulan data Membuat grafik pengendali Uji distribusi data Mengukur kapabilitas proses Mengukur kinerja saat ini	Check Sheet Grafik pengendali <i>c</i> dan <i>Xbar/R</i>
<i>Analyze</i>	Pendefinisian variasi proses Analisa kestabilan grafik pengendali Analisa diagram pareto Analisa Kemampuan proses	ANOVA Grafik pengendali <i>c</i> dan Diagram pareto Cause and Effect diagram FMEA
<i>Improve</i>	Penetapan rencana tindakan	Brainstorming dengan perusahaan
<i>Control</i>	Pendokumentasian hasil	

2.8 Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)

Alat *six sigma* yang sering dipergunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas adalah FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). FMEA adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*), dengan demikian FMEA akan meningkatkan keandalan dari produk.

Penggunaan FMEA dapat diaplikasikan ke dalam 2 bidang yaitu desain (FMEA desain) dan proses (FMEA proses). FMEA desain akan membantu menghilangkan kegagalan-kegagalan yang terkait dengan desain, misalnya kegagalan

karena kekuatan yang tidak tepat, material yang tidak sesuai, dll. FMEA proses akan membantu menghilangkan kegagalan yang disebabkan oleh perubahan-perubahan dalam variabel proses, misalnya kondisi di luar batas-batas spesifikasi yang ditetapkan, seperti ukuran yang tidak tepat, tekstur dan warna yang tidak sesuai dan lain-lain [3].

Tahapan FMEA adalah sebagai berikut :

1. Menetapkan batasan proses yang akan dianalisa, didapatkan dari tahap *define* pada proses DMAIC.
2. Melakukan pengamatan terhadap proses yang akan dianalisa
3. Hasil pengamatan digunakan untuk menemukan kesalahan potensial (*potensial failure mode*) pada proses
4. Mengidentifikasikan akibat potensial (*potensial effect*) yang ditimbulkan oleh kesalahan potensial
5. Mengidentifikasikan penyebab potensial (*potential causes*) dari kesalahan yang terjadi
6. Menetapkan nilai-nilai (dengan jalan *brainstorming*) dalam *point*. Kriteria penilaian adalah sebagai berikut :
 - a. *Severity* : Penilaian keseriusan efek dari bentuk kegagalan potensial, menghitung seberapa besar kegagalan tersebut akan mempengaruhi *output* proses (akibat).
 - b. *Occurance* : Kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan.
 - c. *Detection* : Penilaian terhadap proses kontrol saat ini dalam kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi.

Tabel 2.3 Kriteria Severity

Ranking	Kriteria
1	<i>Negligible severity</i> (pengaruh buruk yang dapat diabaikan). Tidak perlu memikirkan bahwa akibat ini akan berdampak pada kinerja produk. Pengguna akhir mungkin tidak akan memperhatikan kecacatan atau kegagalan ini.
2	<i>Mild severity</i> (pengaruh buruk yang ringan / sedikit) . Akibat yang ditimbulkan hanya bersifat ringan. Pengguna akhir tidak akan merasakan perubahan kinerja. Perbaikan dapat dikerjakan pada saat pemeliharaan reguler (<i>reguler maintenance</i>)
3	<i>Moderate severity</i> (pengaruh buruk yang moderat). Pengguna akhir akan merasakan penurunan kinerja atau penampilan, namun masih berada dalam batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan tidak akan mahal, jika terjadi <i>downtime</i> hanya dalam waktu singkat
4	<i>High severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi). Pengguna akhir akan merasakan akibat buruk yang tidak dapat diterima, berada di luar batas toleransi. Akibat akan terjadi tanpa pemberitahuan atau peringatan terlebih dahulu. <i>Downtime</i> akan berakibat biaya yang sangat mahal. Penurunan kinerja dalam area yang berkaitan dengan peraturan pemerintah, namun tidak berkaitan dengan keamanan dan keselamatan.
5	
6	
7	
8	
9	<i>Potential safety problem</i> (masalah keselamatan / keamanan potensial). Akibat yang ditimbulkan sangat berbahaya yang dapat terjadi tanpa pengetahuan atau peringatan terlebih dahulu dan bertentangan dengan hukum
10	

Tabel 2.4 Kriteria Occurance

Ranking	Kriteria Verbal	Tingkat Kegagalan
1	Adalah tidak mungkin penyebab ini yang mengakibatkan mode kegagalan	1 dalam 1.000.000
2		1 dalam 20.000
3	Kegagalan akan jarang terjadi	1 dalam 4.000
4		1 dalam 1.000
5	Kegagalan agak mungkin terjadi	1 dalam 400
6		1 dalam 80
7	Kegagalan 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

Tabel 2.5 Kriteria Occurance

Ranking	Kriteria	Tingkat Kegagalan
1	Metode pencegahan atau deteksi sangat efektif. Tidak ada kesempatan bahwa penyebab mungkin masih muncul atau terjadi	1 dalam 1.000.000
2 3	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi adalah rendah (1 dalam 4000)	1 dalam 20.000 1 dalam 4.000
4 5 6	Kemungkinan penyabab terjadi bersifat moderat. Metode pencegahan atau deteksi masih memungkinkan kadang-kadang penyebab itu terjadi	1 dalam 1.000 1 dalam 400 1 dalam 80
7 8	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi masih tinggi. Metode pencegahan atau deteksi kurang efektif, karena penyebab masih berulang kembali	1 dalam 40 1 dalam 20
9 10	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi sangat tinggi. Metode pencegahan atau deteksi tidak efektif. Penyebab akan selalu terjadi kembali	1 dalam 8 1 dalam 2

Sumber : Pedoman implementasi program *six sigma* (Gaspersz,2002)

7. Memasukkan kriteria *point* sesuai dengan 3 kriteria yang telah dibuat sebelumnya.
8. Didapatkan nilai RPN (*Risk Potential Number*) dengan jalan mengalikan nilai SOD (*Severity, Occurance, Detection*).

$$RPN = S \times O \times D$$

9. Memusatkan perhatian pada nilai RPN yang tertinggi, dan segera melakukan perbaikan terhadap *potential causes*, alat kontrol dan efek yang diakibatkan.
10. Membuat tindakan perbaikan (*implementation action plan*) lalu menerapkan.

11. Mengukur perubahan yang terjadi dalam RPN dengan langkah-langkah yang sama di atas.
12. Apabila ada perubahan maka perhatian dipusatkan pada *potensial cause* yang lain. Tidak ada angka acuan RPN untuk melakukan perbaikan.

2.9 Pengujian Distribusi Data

Salah satu uji formal yang dapat digunakan untuk menguji apakah suatu data menyebar normal adalah uji keselarasan sampel-tunggal Kolmogorov-Smirnov. Apabila diterapkan uji keselarasan sampel-tunggal Kolmogorov-Smirnov, maka ada dua buah fungsi *distribusi kumulatif* yang harus diperhatikan, yaitu : distribusi kumulatif yang dihipotesakan dan distribusi kumulatif yang teramati. Distribusi kumulatif dinotasikan dengan $F(x)$.

Apabila sebuah sampel diambil secara acak (*random*) dari suatu distribusi $F(x)$ yang belum diketahui, maka akan dipastikan apakah $F(x)=F_0(x)$ untuk semua nilai x . $F_0(x)$ adalah fungsi distribusi yang dihipotesiskan (fungsi peluang kumulatif). Jika $S(x)=F_0(x)$ diharapkan terdapat kecocokan yang erat antara $F_0(x)$ dan $S(x)$, dimana $S(x)$ adalah fungsi distribusi sampel (teramati) atau fungsi distribusi empirik.

Uji sampel Kolmogorov-Smirnov dapat diringkas dalam langkah-langkah sebagai berikut :

1. Asumsi-asumsi

Data terdiri atas hasil-hasil pengamatan bebas x_1, x_2, \dots, x_n , yang merupakan sampel acak berukuran n dari suatu fungsi distribusi yang belum diketahui dan dinyatakan dengan $F(x)$.

2. Hipotesis

$$H_0 : F(x) = F_0(x)$$

$$H_1 : F(x) \neq F_0(x)$$

3. Statistik Uji

$$D = \sup_x |S(x) - F_0(x)| \quad (2.26)$$

Apabila kedua fungsi tersebut disajikan secara grafik, D adalah jarak vertikal terjauh antara $S(x)$ dan $F_0(x)$.

4. Kaidah Pengambilan Keputusan

Menolak H_0 pada taraf nyata α jika statistik uji D lebih besar dari $D_{1-\alpha}$ (kuantil $(1-\alpha)$ yang terdapat dalam Lampiran I.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian Tugas Akhir ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagaimana yang telah disajikan pada Gambar 3.1, yaitu :

3.1 Tahap Persiapan

Tahap ini mencakup identifikasi masalah dan pengumpulan informasi awal yang berguna bagi penelitian. Tahap persiapan ini terdiri dari:

1. Identifikasi dan perumusan masalah

Yaitu bagaimana mengurangi *defect* dalam rangka peningkatan kualitas dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan *six sigma*

2. Penentuan tujuan penelitian

Memberikan arah pada pelaksanaan penelitian, menerapkan langkah implementasi *six sigma* serta merancang perbaikan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas produk.

3. Studi pustaka

Merupakan tahap penelusuran referensi yang bersumber pada buku, jurnal atau penelitian-penelitian sebelumnya, yang berkaitan dengan pemecahan masalah yang dihadapi dalam penelitian.

4. Studi pendahuluan perusahaan

Melakukan pengamatan awal pada obyek penelitian untuk mengetahui karakteristik dan kondisi perusahaan.

3.2 Tahap Pengumpulan Dan Pengolahan Data

Tahap ini merupakan tahap dimana seluruh data yang diperlukan dikumpulkan dan diolah sesuai dengan metodologi yang telah ditetapkan. Tahap ini merupakan penerapan siklus DMAIC *Six Sigma* yang dalam penelitian ini hanya dilakukan satu kali.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder untuk kaca jenis LNFL 2.0 standar AGC yang diperoleh dari departemen *Quality Control* dimana pengambilan sampelnya adalah secara *random*. Data yang dikumpulkan berupa data variabel dan atribut. Data variabel yang diambil adalah *size*, yaitu panjang (SP) dan lebar (CR) dan tebal, sedangkan untuk data atribut adalah banyaknya *defect* pada setiap lembaran kaca. Adapun cara pengumpulan data yang berkaitan dengan kaca jenis LNFL 2.0 adalah sebagai berikut :

1. Mengambil data sekunder dari departemen *Quality Control* PT. Asahimas Flat Glass Tbk.
2. Observasi secara langsung ke lapangan untuk melihat secara langsung proses produksi dan inspeksi kaca.
3. Melakukan wawancara kepada pihak-pihak yang terkait guna mendapatkan informasi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas kaca.

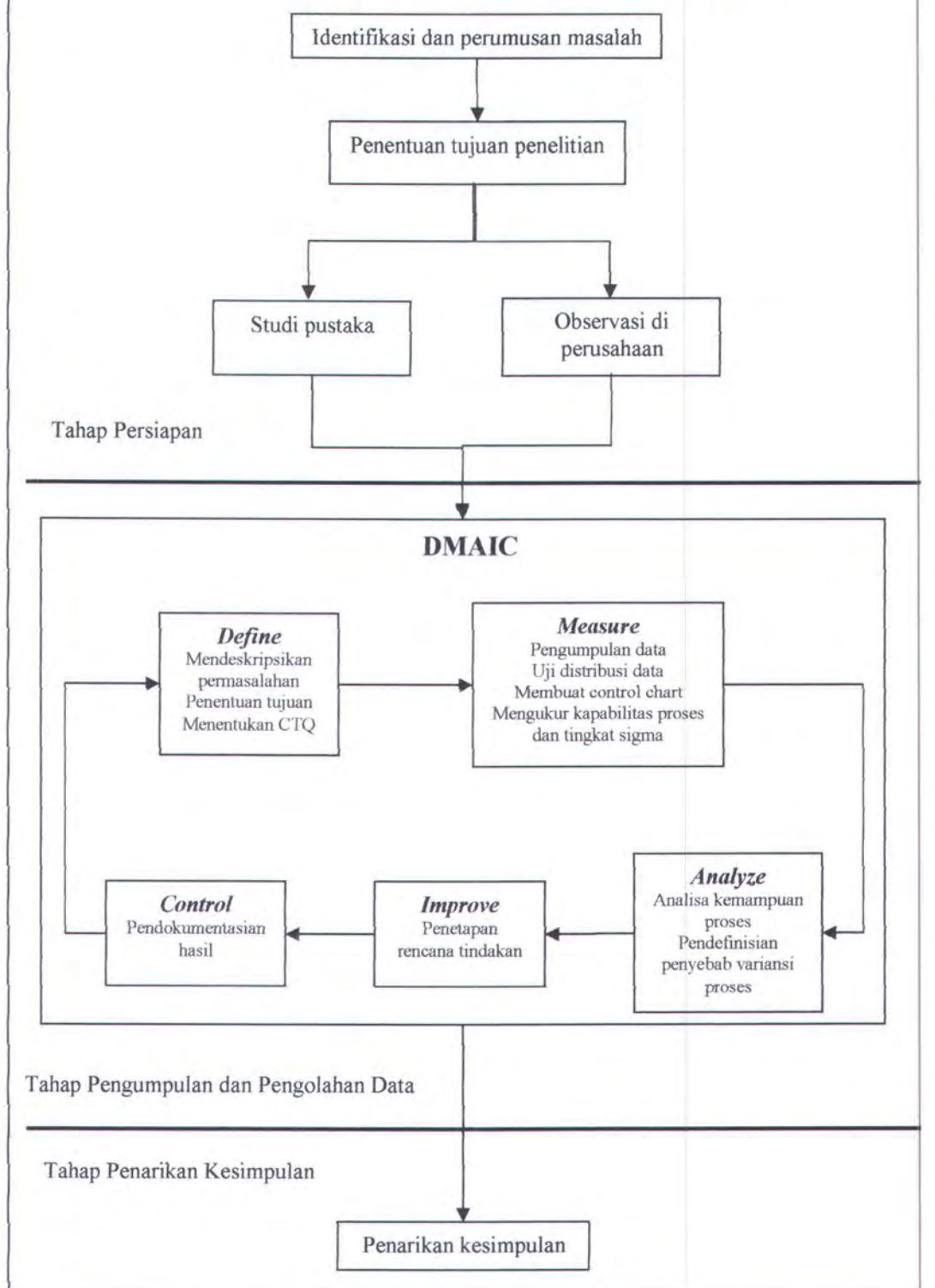
3.3 Tahap Penarikan Kesimpulan

Tahap penarikan kesimpulan ini merupakan tahap terakhir dari penelitian, yaitu tahap di mana seluruh tahap persiapan dan tahap pengumpulan dan pengolahan data telah diselesaikan, kemudian dilakukan penarikan kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.4 Tahap Penulisan Laporan Tugas Akhir

Membuat dokumentasi secara tertulis dari seluruh kegiatan yang telah dilakukan mulai dari awal hingga terselesaiannya penelitian ini yang direalisasikan dalam bentuk buku laporan Tugas Akhir.

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas analisa data *defect* dengan menggunakan *close loop* DMAIC yaitu *define, measure, analyze, improve* dan *control*.

4.1 Tahap *Define*

Define merupakan langkah operasional pertama dalam program peningkatan kualitas six sigma. Pada tahap ini dilakukan pemilihan obyek penelitian, menegaskan kembali tujuan penelitian dan penentuan CTQ.

4.1.1 Pemilihan Obyek Penelitian *Six Sigma*

Kualitas kaca selain tergantung pada *raw material* juga dipengaruhi oleh proses produksi. Apabila *raw material* yang digunakan tidak sesuai standar ditunjang dengan proses produksi yang tidak sempurna akan menimbulkan *defect*. Apabila hal ini berlangsung terus menerus akan banyak produk yang harus di *lot out*. Dengan demikian perusahaan akan rugi dari segi waktu dan biaya, karena harus diadakan reseleksi. Dalam penelitian ini akan diimplementasikan program peningkatan kualitas *six sigma* untuk menyelesaikan permasalahan yang dialami oleh perusahaan.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka objek penelitian program peningkatan kualitas *six sigma* adalah berapa banyaknya produk kaca yang mampu memenuhi spesifikasi.

4.1.2 Menentukan CTQ

Karakteristik kualitas untuk data variabel yang dijadikan sebagai CTQ adalah *size* dan *tebal*, sedangkan untuk data atribut adalah jenis *defect*, yaitu *bubble*, *inclusion*, *fine drip*, *drip*, *inlet drip*, *chipping*, *scratch*, dan *push mark*, dll. CTQ ini dikembangkan dari *voice of customer* yang diambil dari data keluhan pelanggan milik perusahaan.

Tabel 4.1 memperlihatkan karakteristik kualitas yang dijadikan CTQ.

Tabel 4.1 *Critical To Quality*

Item yang diinspeksi	Alat Pengukuran	Nominal (mm)	
		Target	Toleransi
Tebal	Roll meter	2,00	1,95 – 2,15
Panjang	Roll meter	0	± 2
Lebar	Roll meter	0	± 2
Defect	<i>Micrometer</i>		Max 2 cacat

4.1.3 Menetapkan Tujuan Penelitian

Sesuai dengan tujuan penelitian pada Bab I, maka dapat didefinisikan tujuan dari objek penelitian *six sigma* yang terpilih adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui penyebab dan jumlah *defect* terbesar, sehingga dapat dilakukan tindakan perbaikan untuk mengurangi jumlah *defect*.
2. Dengan adanya tindakan perbaikan diharapkan nilai DPMO menurun sehingga tingkat sigma dan kemampuan proses meningkat.

4.2 Tahap *Measure*

Measure adalah langkah operasional kedua dalam peningkatan kualitas *six sigma*. Hal-hal yang perlu dialakukan pada tahap ini adalah mengembangkan rencana pengumpulan data dan dilakukan pengukuran kinerja saat ini.

4.2.1 Pengumpulan Data

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab III, data yang digunakan dalam penelitian ini adalah *size*, tebal dan *defect*. Dalam penelitian ini *size* yang diamati terdiri dari berbagai macam ukuran, sehingga data yang diambil adalah toleransi dari ukuran tersebut. Yang dimaksud dengan toleransi disini adalah selisih antara ukuran yang sebenarnya dengan target yang diinginkan. Pada tebal terdapat dua pengukuran yaitu, tebal maksimum dan tebal minimum. Hal ini dikarenakan pada proses pembentukan yang tidak sempurna mengakibatkan tebal kaca tidak sama pada setiap titik. Sedangkan untuk *defect*, data yang diambil adalah banyaknya *defect* yang ditemukan pada setiap lembaran kaca.

Pengumpulan data dilakukan dengan membuat *check sheet* pencatatan dimana pengisiannya diserahkan ke operator yang melakukan inspeksi sebanyak 4 orang. Pengisian *check sheet* dilakukan per *shift*, dimana satu hari terdiri dari 3 *shift*.

4.2.2 Grafik Pengendali *c*

Batas pengendali untuk grafik pengendali *c* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.4. Dengan menggunakan data pada Lampiran A1 diperoleh batas-batas grafik pengendali *c* sebagai berikut :

$$\text{BPA} = (5.578571429) + 3 \sqrt{5.578571429} = 12.664271$$

$$\text{Garis tengah} = 5.578571429$$

$$\text{BPB} = (5.578571429) - 3\sqrt{5.578571429} = -1.507129$$

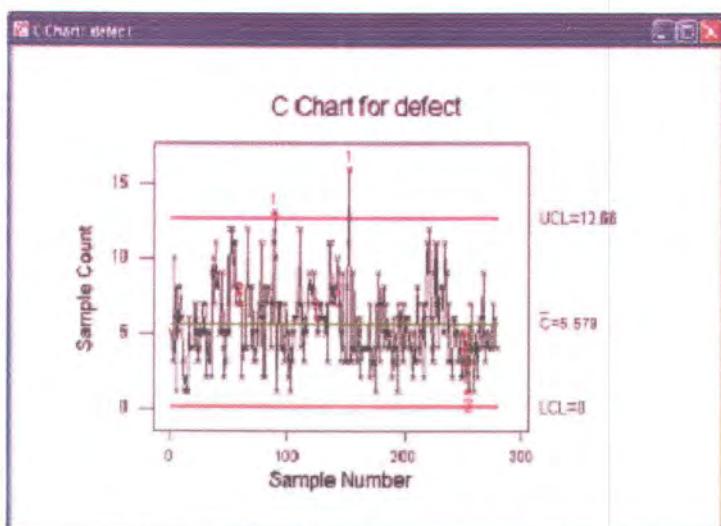
karena BPB bernilai negatif, maka diambil BPB = 0, sehingga batas pengendalinya menjadi :

$$\text{BPA} = 12.664271$$

$$\text{Garis tengah} = 5.578571429$$

$$\text{BPB} = 0$$

Sumbu x dan y dalam membuat grafik pengendali c menyatakan nomor sampel dan jumlah *defect*. Dengan menggunakan *software* MINITAB 13 grafik pengendali c untuk *defect* dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa grafik belum terkendali dengan adanya beberapa titik yang keluar dari batas pengendali yaitu sampel nomor 59, 60, 89, 125, 144, 153, 252, 253, 254 dan 255.



Gambar 4.1 Grafik Pengendali Defect

Dengan mengeluarkan titik-titik tersebut dan menghitung batas pengendali yang baru diperoleh grafik pengendali *defect* penyesuaian 1 yang juga belum terkendali. Terdapat dua titik yang keluar dari BPA, yaitu sampel nomor 87 dan 149. setelah kedua titik tersebut dikeluarkan diperoleh grafik pengendali *defect* yang sudah terkendali, dengan $BPA = 12,58$, $\bar{c} = 5,530$ dan $BPB = 0$. Grafik pengendali *defect* penyesuaian 1 dan grafik pengendali *defect* yang sudah terkendali dapat dilihat dalam Lampiran B1.

4.2.3 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$

Batas-batas grafik pengendali \bar{X} dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.15, sedangkan batas-batas pengendali R dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.18. Perlu diingat bahwa dalam membuat grafik pengendali $\bar{X} - R$, grafik pengendali R harus terkendali terlebih dahulu. Setelah grafik R terkendali barulah dapat dihitung batas-batas pengendali untuk grafik \bar{X} .

Dalam penelitian ini n (ukuran sampel) yang diambil adalah 5, sehingga nilai-nilai konstanta A_2 , D_3 , dan D_4 masing-masing adalah $A_2 = 0,577$, $D_3 = 0$ dan $D_4 = 2,114$. Nilai-nilai konstanta A_2 , D_3 , dan D_4 untuk berbagai ukuran sampel dapat dilihat dalam Lampiran H.

Berikut ini adalah perhitungan batas pengendali untuk masing-masing karakteristik kualitas yang diamati :

1. Batas grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi CR (Lebar)

Perhitungan untuk pengamatan toleransi CR selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran A2. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $\bar{\bar{X}} = 0,163214286$ dan $\bar{R} = 0,3875$, sehingga batas pengendali untuk \bar{X} menjadi :

$$\text{BPA} = 0,163214286 + (0,577)(0,3875) = 0,386801$$

$$\text{Garis Tengah} = 0,163214286$$

$$\text{BPB} = 0,163214286 - (0,577)(0,3875) = -0,060373$$

dan untuk grafik pengendali R :

$$\text{BPA} = (2,114)(0,3875) = 0,819175$$

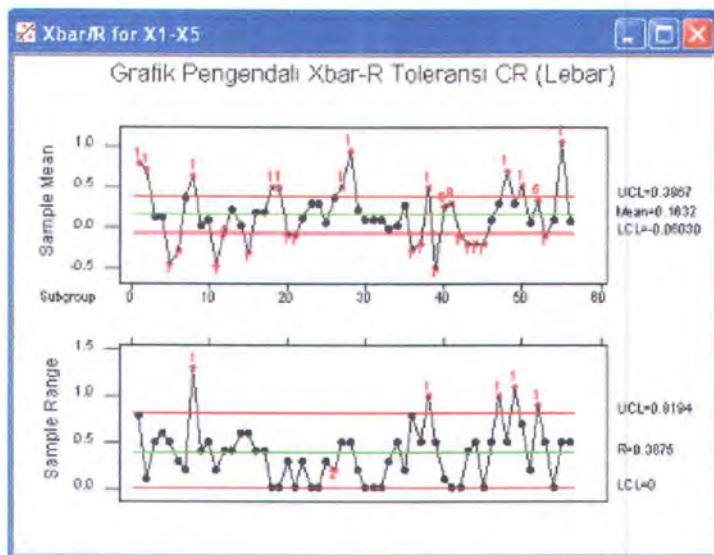
$$\text{Garis Tengah} = 0,3875$$

$$\text{BPB} = 0$$

Pada grafik pengendali \bar{X} sumbu x menyatakan nomor sampel dan sedangkan sumbu y menyatakan rata-rata dari sampel. Sedangkan sumbu x pada grafik pengendali R menyatakan nomor sampel dan sumbu y menyatakan range dari sampel. Dengan menggunakan *software* MINITAB 13 grafik pengendali $\bar{X} - R$ untuk toleransi CR dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa grafik pengendali R belum terkendali. Pada grafik pengendali R terdapat 6 titik yang keluar dari batas pengendali, yaitu sampel nomor 8, 26, 38, 47, 49, dan 52.

Setelah dilakukan dua kali penyesuaian diperoleh grafik R yang sudah terkendali, dengan mengeluarkan sampel nomor 1, 34 dan 35 pada grafik penyesuaian 1 dan sampel nomor 42 pada grafik penyesuaian 2. Grafik $\bar{X} - R$ toleransi CR yang terkendali diperoleh setelah sampel nomor 1, 4, 5, 6, 9, 10, 13, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24,

25, 26, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 43 dan 45 pada grafik \bar{X} dikeluarkan. Grafik pengendali penyesuaian $\bar{X} - R$ toleransi CR dan grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi CR yang terkendali dapat dilihat pada Lampiran B2.



Gambar 4.2 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi CR (Lebar)

2. Batas grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi SP (Panjang)

Perhitungan untuk pengamatan toleransi SP selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran A3 . Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $\bar{X} = 0,214285714$ dan $R = 0,330357143$ sehingga batas pengendali untuk \bar{X} menjadi :

$$\text{BPA} = 0,214285714 + (0,577)(0,330357143) = 0,404902$$

$$\text{Garis Tengah} = 0,214285714$$

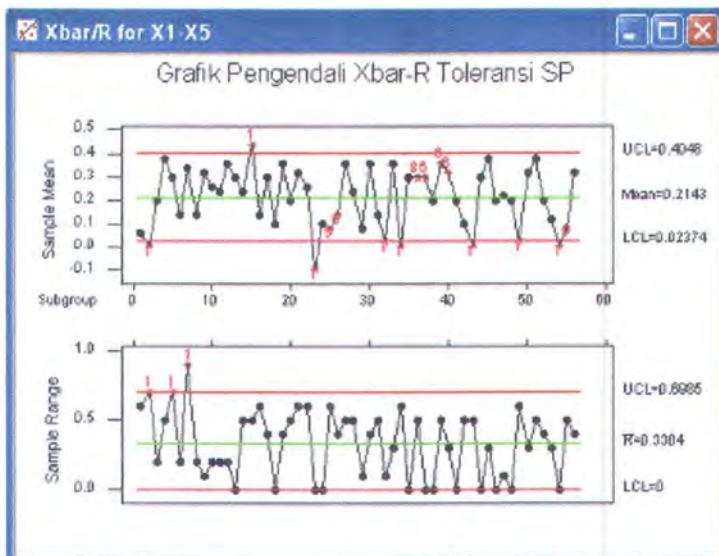
$$\text{BPB} = 0,214285714 - (0,577)(0,330357143) = 0,02367$$

dan untuk grafik pengendali R :

$$\text{BPA} = (2,114)(0,330357143) = 0,698375$$

$$\text{Garis Tengah} = 0,330357143$$

$$BPB = 0$$



Gambar 4.3 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi SP (Panjang)

Terdapat 3 titik yang keluar dari BPA pada grafik pengendali R pada Gambar 4.3, yaitu sampel nomor 2, 5 dan 7. Dapat dilihat pada grafik pengendali penyesuaian 1 toleransi SP grafik pengendali R sudah terkendali, tetapi sampel nomor 1, 2, 20, 22, 23, 29, 31, 34, 36, 37, 40, 46, 51 dan 52 keluar dari batas pengendali grafik \bar{X} , hal ini mengindikasikan bahwa grafik tersebut belum terkendali. Setelah titik-titik tersebut dikeluarkan grafik \bar{X} belum menunjukkan pola terkendali dengan keluarnya sampel nomor 1 dan 25. pengandalian pada grafik \bar{X} mengakibatkan sampel nomor 11, 16 dan 17 pada grafik R keluar batas pengendali. Grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi SP terkendali setelah sampel nomor 4, 12, 15, 18, 20 dan 24 pada grafik penyesuaian 4 dan sampel nomor 27 pada grafik penyesuaian 5 dikeluarkan. Grafik pengendali penyesuaian $\bar{X} - R$ toleransi SP dan grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi SP yang terkendali dapat dilihat pada Lampiran B3.

3. Batas grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal max1

Perhitungan untuk pengamatan tebal max1 selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran A4. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $\bar{\bar{X}} = 2,077285714$ dan $\bar{R} = 0,024821429$ sehingga batas pengendali untuk \bar{X} menjadi :

$$\text{BPA} = 2,077285714 + (0,577)(0,024821429) = 2,091608$$

$$\text{Garis Tengah} = 2,077285714$$

$$\text{BPB} = 2,077285714 - (0,577)(0,024821429) = 2,062964$$

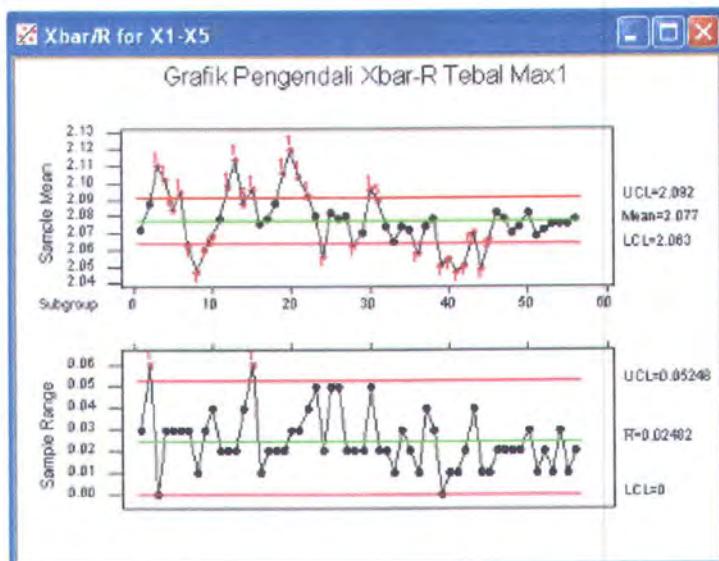
dan untuk grafik pengendali R :

$$\text{BPA} = (2,114)(0,024821429) = 0,052473$$

$$\text{Garis Tengah} = 0,024821429$$

$$\text{BPB} = 0$$

Diketahui dari Gambar 4.4 Grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal max1 belum terkendali. Sampel nomor 2 dan 15 keluar dari grafik R . Grafik R terkendali setelah sampel nomor 21, 23, 24, 28 dikeluarkan dari grafik penyesuaian 1. Terkendalinya grafik R belum tentu membuat grafik \bar{X} terkendali. Dapat dilihat pada grafik penyesuaian 2 dan penyesuaian 3 grafik \bar{X} belum terkendali, dengan mengeluarkan sampel nomor 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 30, 34, 35, 36, 37, 38, 39 dan 40 pada grafik penyesuaian 2 dan sampel nomor 6 pada grafik penyesuaian 3 diperoleh grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal max1 yang terkendali. Grafik pengendali $\bar{X} - R$ penyesuaian dan grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal max1 terkendali dapat dilihat pada pada Lampiran B4.



Gambar 4.4 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max1

4. Batas grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal max2

Perhitungan untuk pengamatan tebal max2 selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran A5. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $\bar{X} = 2,074571429$ dan $\bar{R} = 0,024285714$ sehingga batas pengendali untuk \bar{X} menjadi :

$$\text{BPA} = 2,074571429 + (0,577)(0,024285714) = 2,088584$$

$$\text{Garis Tengah} = 2,074571429$$

$$\text{BPB} = 2,074571429 - (0,024285714) = 2,060559$$

dan untuk grafik pengendali R :

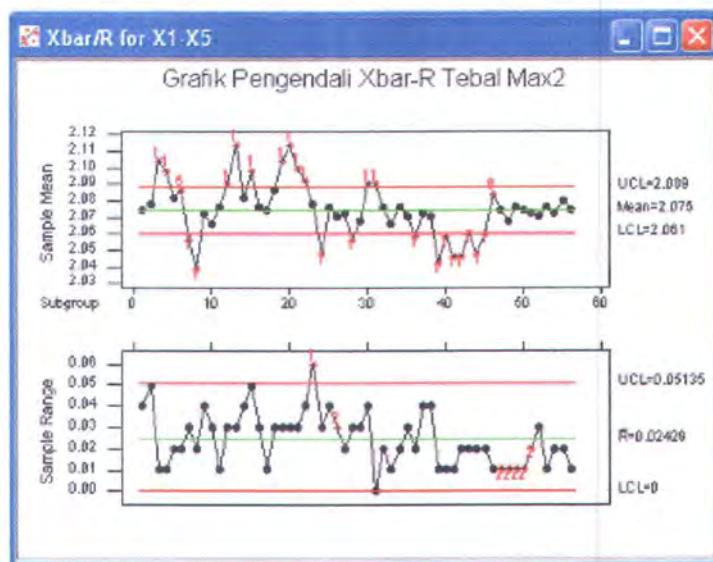
$$\text{BPA} = (2,114)(0,024285714) = 0,051340$$

$$\text{Garis Tengah} = 0,024285714$$

$$\text{BPB} = 0$$

Pada Gambar 4.5 terdapat beberapa titik yang keluar dari BPA grafik pengendali R , yaitu sampel nomor 23, 26, 47, 48, 49, 50 dan 51. Dapat dilihat pada

grafik pengendali penyesuaian 1 untuk tebal max2 grafik pengendali R sudah terkendali, tetapi sampel nomor 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 28, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 dan 45 keluar dari batas pengendali grafik \bar{X} , hal ini menunjukkan bahwa grafik tersebut belum terkendali. Untuk membuat grafik tersebut terkendali, maka titik-titik tersebut harus dikeluarkan. Grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal max1 terkendali setelah titik-titik tersebut dikeluarkan. Grafik pengendali penyesuaian $\bar{X} - R$ untuk tebal max2 dan grafik tebal $\bar{X} - R$ max2 yang terkendali dapat dilihat pada Lampiran B5.



Gambar 4.5 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max2

5. Batas grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal min1

Perhitungan untuk pengamatan tebal min1 selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran A6. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $\bar{\bar{X}} = 2,047942857$ dan $\bar{R} = 0,024714286$ sehingga batas pengendali untuk \bar{X} menjadi :

$$\text{BPA} = 2,047942857 + (0,577)(0,024714286) = 2,062203$$

$$\text{Garis Tengah} = 2,047942857$$

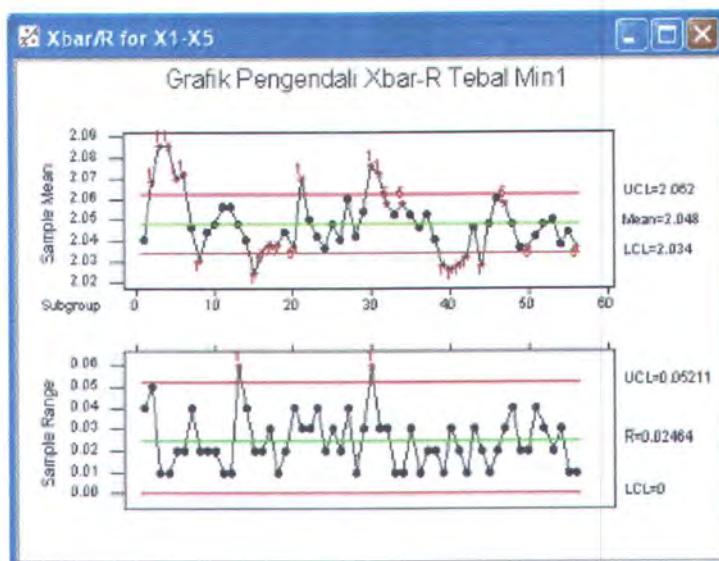
$$\text{BPB} = 2,047942857 - (0,577)(0,024714286) = 2,033683$$

dan untuk grafik pengendali R :

$$\text{BPA} = (2,144)(0,024714286) = 0,052246$$

$$\text{Garis Tengah} = 0,024714286$$

$$\text{BPB} = 0$$



Gambar 4.6 Grafik Pengendali \bar{X} – R Tebal Min1

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa sampel nomor 13 dan 30 keluar dari batas pengendali grafik R . Setelah titik-titik tersebut dikeluarkan, mengakibatkan sampel nomor 2 keluar dari grafik pengendali R . Dengan mengeluarkan sampel nomor 2 diperoleh grafik pengendali tebal min1 yang terkendali setelah sebelumnya mengeluarkan sampel nomor 2, 3, 4, 5, 7, 11, 13, 14, 15, 16, 18, 18, 19, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 38, 39, 41, 44, 47 dan 29 dari grafik \bar{X} pada grafik pengendali

penyesuaian 2. Grafik pengendali $\bar{X} - R$ penyesuaian tebal min1 dan grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal min1 yang terkendali dapat dilihat pada Lampiran B6.

6. Batas grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal min2

Perhitungan untuk pengamatan tebal min2 selengkapnya dapat dilihat dalam Lampiran A7. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $\bar{\bar{X}} = 2,046107143$ dan $\bar{R} = 0,025178571$ sehingga batas pengendali untuk \bar{X} menjadi :

$$\text{BPA} = 2,046107143 + (0,577)(0,025178571) = 2,060635$$

$$\text{Garis Tengah} = 2,046107143$$

$$\text{BPB} = 2,046107143 - (0,577)(0,025178571) = 2,031579$$

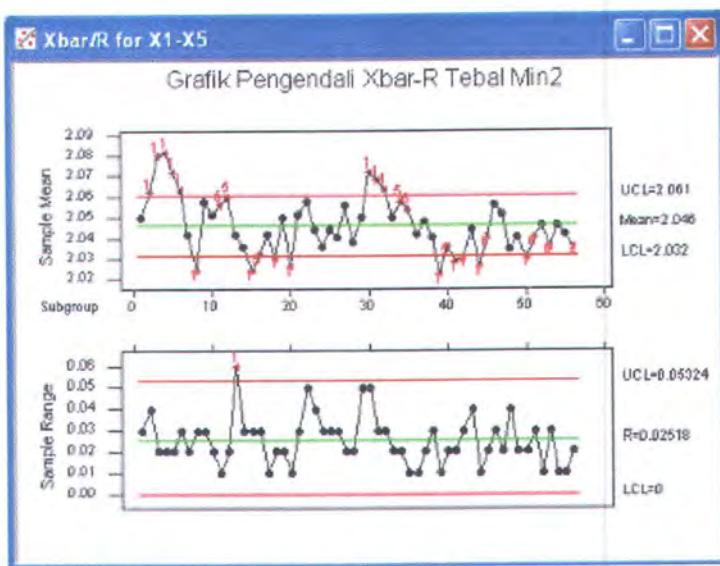
dan untuk grafik pengendali R :

$$\text{BPA} = (2,114)(0,025178571) = 0,053228$$

$$\text{Garis Tengah} = 0,025178571$$

$$\text{BPB} = 0$$

Grafik pengendali R pada Gambar 4.7 belum terkendali, sampel nomor 13 keluar dari BPA. Titik tersebut harus dikeluarkan agar dapat membuat grafik \bar{X} . Pada grafik pengendali penyesuaian 1 diketahui bahwa sampel nomor 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 30, 34, 35, 36, 37, 38, 39 dan 40 keluar dari batas pengendali. Titik-titik tersebut harus dikeluarkan untuk memperoleh grafik yang terkendali. Setelah dilakukan penyesuaian dengan mengeluarkan titik-titik tersebut diperoleh grafik pengendali tebal min2 yang sudah terkendali. Grafik pengendali penyesuaian $\bar{X} - R$ untuk tebal min1 dan grafik pengendali $\bar{X} - R$ tebal min1 yang terkendali dapat dilihat pada Lampiran B7.



Gambar 4.7 Grafik Pengendali \bar{X} – R Tebal Min2

4.2.4 Pengujian Distribusi Data

Untuk memenuhi keperluan analisis, maka akan dilakukan pengujian terhadap data apakah mengikuti distribusi normal atau tidak. Dalam uji normalitas ini akan digunakan uji sampel tunggal Kolmogorov-Smirnov. Berikut ini adalah uji normalitas toleransi CR (Lebar).

1. Hipotesa

$$H_0 : S(x) = F_0(x) \quad (\text{CR berdistribusi normal})$$

$$H_1 : S(x) \neq F_0(x) \quad (\text{CR tidak berdistribusi normal})$$

Dimana :

$S(x)$: fungsi distribusi kumulatif sampel (teramati)

$F_0(x)$: fungsi distribusi kumulatif yang dihipotesakan

2. Statistik uji :

$$D = \sup_x |S(x) - F_0(x)| = 0,045$$

Nilai $D_{I-\alpha}$ untuk uji dua sisi dengan $\alpha = 0.05$ dihitung dengan menggunakan pendekatan $D_{I-\alpha} = \frac{1,36}{\sqrt{n}}$, karena n toleransi CR sama dengan 100 sesuai dengan kuantil-kuantil statistik uji Kolmogorov-Smirnov untuk sampel tunggal pada Lanpiran I.

$$D_{I-\alpha} = D_{0,95} = \frac{1,36}{\sqrt{100}} = 0,136$$

3. Keputusan

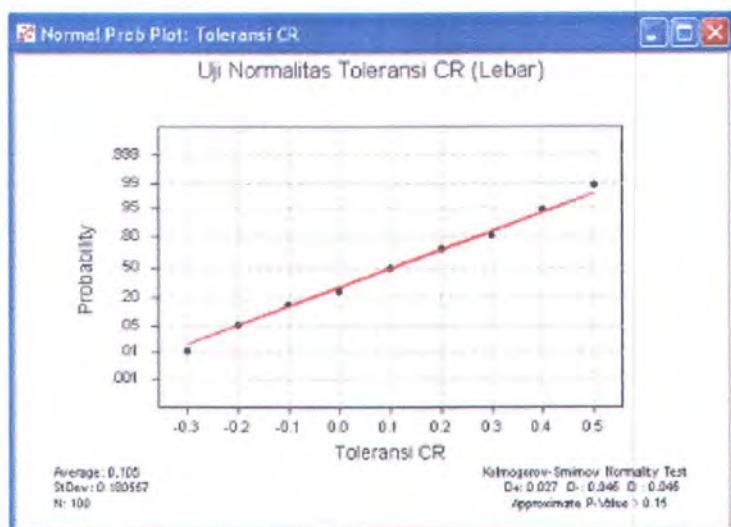
Karena $D < D_{I-\alpha}$ dengan demikian H_0 diterima, maka dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal.

Nilai D apabila disajikan dalam grafik merupakan jarak terjauh antara $S(x)$ dan $F_0(x)$ seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.8. Dari Gambar 4.8 secara visual dapat dilihat bahwa toleransi CR berdistribusi normal, karena plot data hampir membentuk garis lurus.

Keputusan untuk menerima H_0 atau menyatakan toleransi CR berdistribusi normal diperkuat dengan nilai $P\text{-value} > 0,15$. $P\text{-value}$ menyatakan probabilitas untuk mendapatkan nilai dari statistik uji jika H_0 benar. Nilai $P\text{-value}$ hanya dibandingkan dengan α , jika $P\text{-value} > \alpha$ maka H_0 diterima. Karena $P\text{-value} > 0,05$ maka toleransi CR berdistribusi normal.

Untuk karakteristik kualitas yang lainnya dapat dihitung menggunakan metode yang sama. Hasil uji normalitas karakteristik kualitas yang lainnya untuk selengkapnya

dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan tampilan gambar uji normalitas dapat dilihat pada Lampiran C.



Gambar 4.8 Uji Normalitas Toleransi CR (Lebar)

Tabel 4.2 Hasil Uji Normalitas

No	CTQ	D	$D_{1-\alpha}$	Keputusan
1	Toleransi SP	0,039	0,117	Toleransi SP berdistribusi normal
2	Tebal Max1	0,037	0,127	Tebal Max1 berdistribusi normal
3	Tebal Max2	0,020	0,127	Tebal Max2 berdistribusi normal
4	Tebal Min1	0,026	0,117	Tebal Min1 berdistribusi normal
5	Tebal Min2	0,017	0,113	Tebal Min2 berdistribusi normal

4.2.5 Perhitungan Kemampuan Proses

Setelah grafik pengendali terkendali secara statistik langkah selanjutnya adalah menghitung kemampuan proses.

1. Kemampuan Proses Data Atribut

Kemampuan proses untuk data atribut dapat ditunjukkan dengan nilai kapabilitas sigma. Untuk mendapatkan kemampuan proses dari data atribut, terlebih dahulu dihitung DPMO. Dengan menggunakan Persamaan 2.20 akan diperoleh nilai DPMO.

$$DPO = \frac{1562}{8960 * 10} = 0,017433035$$

$$DPMO = 0,17433035 * 1000000 = 174330,3571 \approx 174330$$

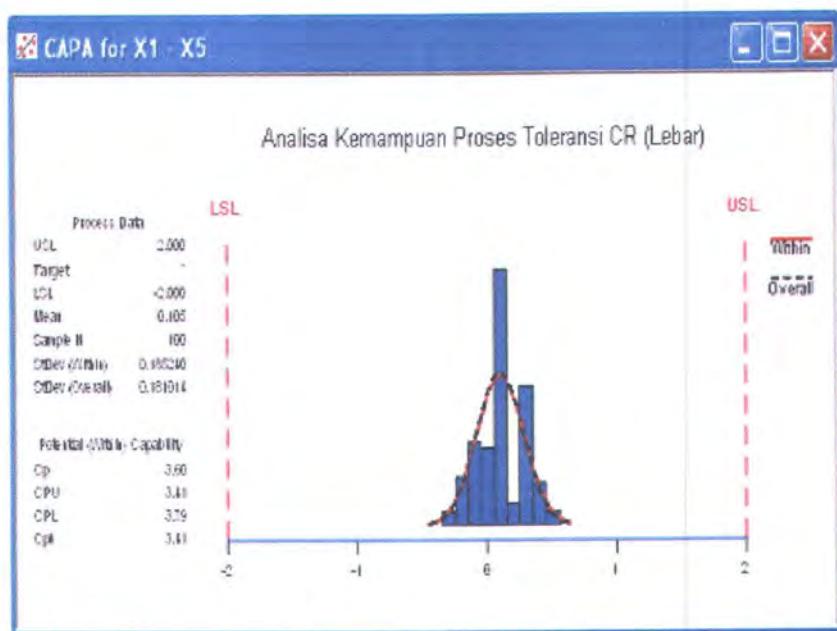
Nilai DPMO = 174330 apabila dikonversikan ke nilai sigma akan bernilai sama dengan $3,6\sigma$.

2. Kemampuan Proses Data Variabel

Kemampuan proses untuk data variabel dapat ditunjukkan oleh nilai C_p dan C_{pk} yang dihitung dengan menggunakan *software* MINITAB 13. Gambar 4.9 memperlihatkan kemampuan proses toleransi CR. Untuk tampilan karakteristik kualitas lainnya dapat dilihat pada Lampiran D. Tabel 4.3 memperlihatkan nilai C_p dan C_{pk} untuk masing-masing variabel.

Tabel 4.3 Nilai C_p dan C_{pk} untuk Masing-masing Variabel

No	Variabel	C_p	C_{pk}
1.	CR	3,60	3,41
2.	SP	4,93	4,26
3.	Tebal Max1	-	2,64
4.	Tebal Max2	-	2,09
5.	Tebal Min1	-	2,77
6.	Tebal Min2	-	2,76

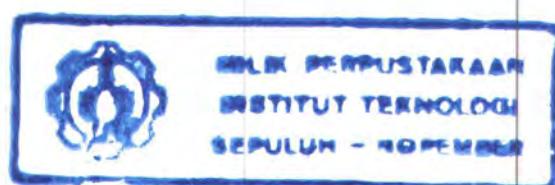


Gambar 4.9 Analisa Kemampuan Proses Toleransi CR (Lebar)

4.2.6 Mengukur Kinerja Saat Ini

Kinerja saat ini dapat digambarkan dengan tingkat sigma yang dicapai yang dihitung dengan menggunakan kalkulator sigma. Tingkat sigma untuk masing-masing karakteristik kualitas dapat dilihat pada Tabel 4.4.

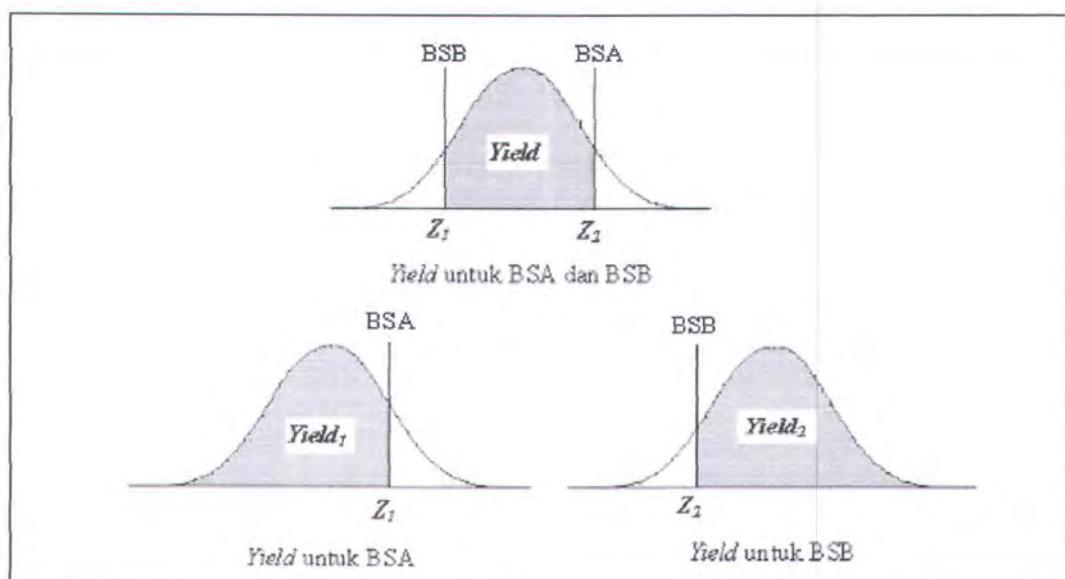
Dengan menggunakan kalkulator sigma diperoleh DPMO untuk *defect* adalah 174330 dengan tingkat sigma 3,6 dan untuk data variabel diperoleh DMPO=0 artinya tingkat sigma untuk data variabel sudah mencapai 6. Tapi untuk mencapai level 6 diperlukan penyesuaian beberapa kali, sehingga diperlukan pengawasan agar nilai sigma yang dicapai tidak turun. Cara lain untuk mendapatkan nilai sigma adalah dengan menggunakan tabel konversi pada Lampiran J. Untuk menghitung nilai sigma data variabel, dapat dihitung menggunakan luas wilayah dibawah kurva normal.



Tabel 4.4 Tingkat Sigma masing-masing Karakteristik Kualitas

Karakteristik Kualitas	Kapabilitas Sigma	DPMO
Defect	3,6	174330
CR	6	0
SP	6	0
Tebal Max1	6	0
Tebal Max2	6	0
Tebal Min1	6	0
Tebal Min2	6	0

Berikut ini akan diberikan contoh untuk menghitung nilai sigma toleransi CR dan tebal max1 dan tebal min1. Lebih jelasnya luasan dibawah kurva normal untuk memperoleh *yield* diilustrasikan pada Gambar 4.10. Konversi luasan di bawah kurva normal ke nilai sigma dapat dilihat pada Lampiran G.



Gambar 4.10 *Yield* Untuk Berbagai Batas Spesifikasi

1. Nilai sigma toleransi CR

Setelah grafik pengendali terkendali secara statistik diperoleh $\bar{X} = 0.105$, $S = 0.180557498$ dengan BSA = 2 dan BSB = -2.

$$Z_1 = \frac{BSA - \bar{X}}{S} = \frac{2 - 0.105}{0.180557498} = 10.49527171$$

$$P(Z_1 < 10.49527171) = 1$$

$$Yield_1 = 1$$

$$Z_2 = \frac{BSB - \bar{X}}{S} = \frac{-2 - 0.105}{0.180557498} = -11.658336612$$

$$P(Z_2 < -11.658336612) = 0$$

$$Yield_2 = 0$$

$$Yield_{\text{total}} = Yield_1 - Yield_2 = (1 - 0) \times 100 \% = 100 \%$$

$Yield = 100 \%$ artinya semua data berada dalam luasan normal yang berarti tidak ada produk yang keluar dari batas spesifikasi sehingga DPMO toleransi CR=0.

Untuk toleransi SP dapat dihitung dengan cara yang sama.

2. Nilai sigma tebal max1

Setelah grafik pengendali terkendali secara statistik diperoleh $\bar{X} = 2,07495622$, $S = 0.009585617$ dengan BSA = 2,15.

$$Z_1 = \frac{BSA - \bar{X}}{S} = \frac{2,15 - 2,07495622}{0.009585617} = 7,828789738$$

$$P(Z_1 < 7,828789738) = 1$$

$$Yield = 1 \times 100 \% = 100\%$$

Karena tebal max1 hanya memiliki BSA saja maka luasan (*yield*) yang dicari hanya Z_1 . $Yield = 100\%$ artinya semua data berada dalam luasan normal yang berarti tidak ada produk yang keluar dari batas spesifikasi sehingga DPMO tebal max1 = 0. Untuk tebal max2 dapat dihitung dengan cara yang sama.

3. Nilai sigma tebal min1

Setelah grafik pengendali terkendali secara statistik diperoleh $\bar{X} = 2,045777778$, $S = 0,012122919$ dengan BSB = 1,95.

$$Z_2 = \frac{BSB - \bar{X}}{S} = \frac{1,95 - 2,045777778}{0,012122919} = -7,900554149$$

$$P(Z_2 > -7,900554149) = P(Z_2 < -7,900554149) = 1 - 0 = 1$$

$$Yield = 1 \times 100\% = 100\%$$

Karena tebal min1 hanya memiliki BSB saja maka luasan (*yield*) yang dicari hanya Z_2 . $Yield = 100\%$ artinya semua data berada dalam luasan normal yang berarti tidak ada produk yang keluar dari batas spesifikasi sehingga DPMO tebal min1 = 0. Untuk tebal min2 dapat dihitung dengan cara yang sama.

4.3 Tahap *Analyze*

Pada tahap ketiga ini dilakukan analisa kemampuan proses dan pendefinisian penyebab-penyebab variasi proses. Untuk pendefinisian penyebab-penyebab cacat digunakan diagram sebab akibat (*cause and effect diagram*).

4.3.1 Pendefinisian Variasi

Berdasarkan CTQ yang telah ditentukan pada sub bab 4.1.3 dapat didefinisikan kemungkinan penyebab yang menyebabkan adanya variasi dari setiap CTQ. Pada Tabel 4.5 didefinisikan variasi-variasi yang mungkin dari CTQ.

Tabel 4.5 Pendefisian Variasi Dari CTQ

CTQ		Semua penyebab yang mungkin
Dimensi Produk	CR (Lebar)	Operator <i>Cross cutter</i> Metode
	SP (Panjang)	Operator <i>Length wise cutter</i> Metode
	Tebal	Operator Temperatur Mesin Metode
<i>Buble</i> <i>Inclusion</i> <i>Drip</i> <i>Inlet Drip</i> <i>Chipping</i> <i>Scratch</i> <i>Cullet</i> <i>Push Mark</i> Dll	Jumlah <i>Buble</i> Jumlah <i>Inclusion</i> Jumlah <i>Drip</i> Jumlah <i>Inlet Drip</i> Jumlah <i>Chipping</i> Jumlah <i>Cullet</i> Jumlah <i>Push Mark</i> Jumlah <i>Scratch</i> Jumlah <i>defect</i> yang lain	Operator Material Metode Alat pengukuran <i>Cutter</i>

4.3.2 Analisa Kestabilan grafik Pengendali

Kestabilan grafik pengendali dibutuhkan untuk menganalisa kemampuan proses.

1. Grafik Pengendali c

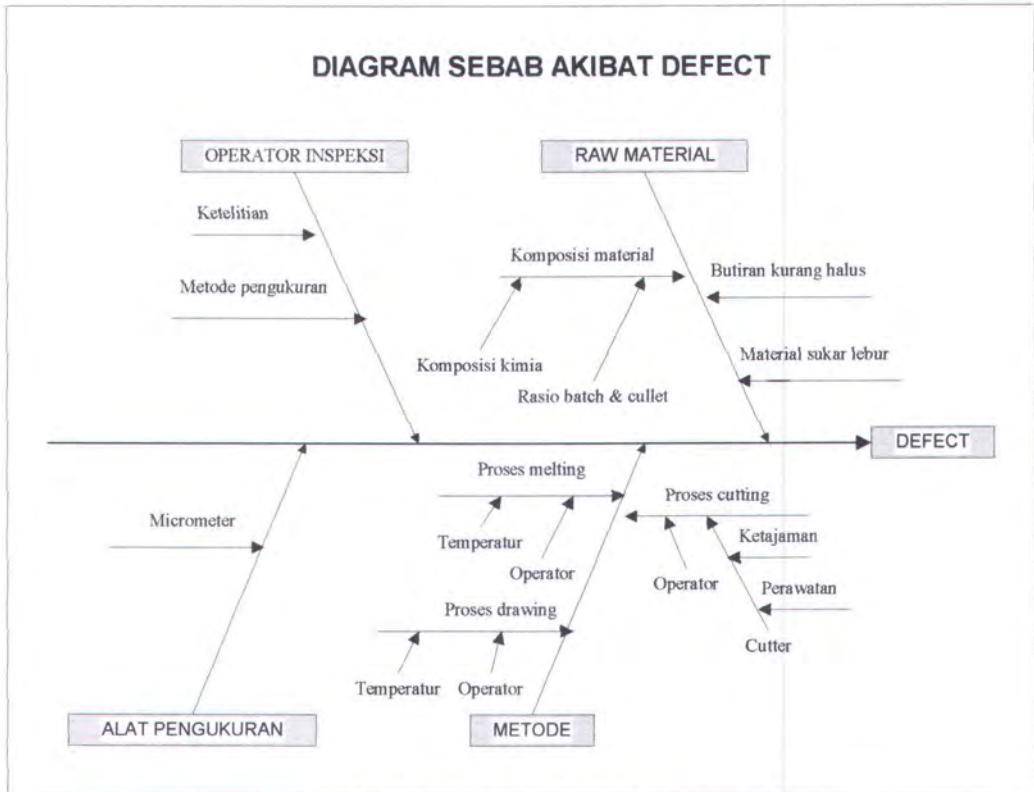
Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa grafik pengendali *c* belum terkendali secara statistik, terbukti dengan adanya titik-titik yang keluar dari batas pengendali. Dengan mengeluarkan titik-titik yang keluar dari batas pengendali akan didapatkan

grafik pengendali yang terkendali. Untuk dapat mengeluarkan titik-titik tersebut harus diketahui penyebabnya terlebih dahulu. Berdasarkan variasi-variasi yang sudah didefinisikan sebelumnya dapat dibuat diagram tulang ikan yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.

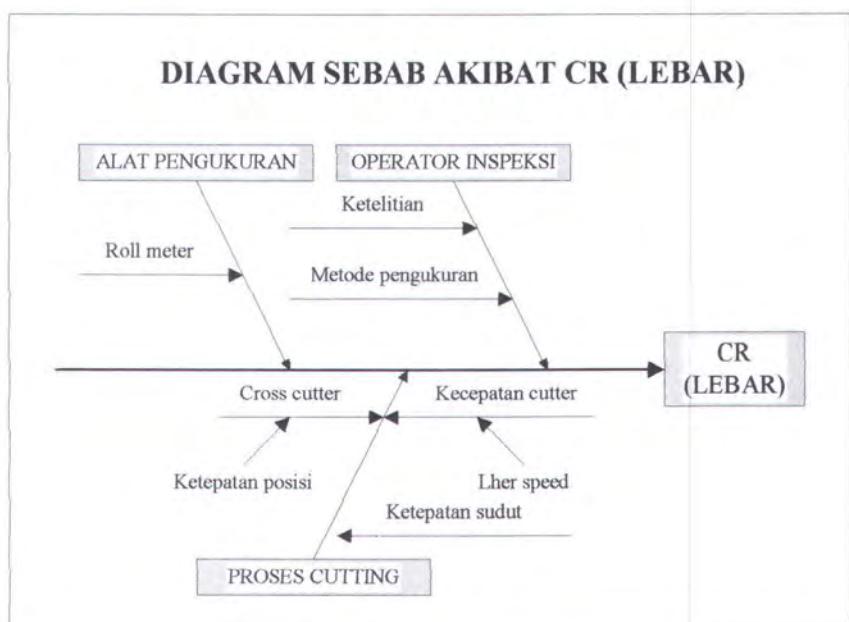
Dari hasil ANOVA pada Lampiran E diperoleh bahwa operator berpengaruh terhadap banyaknya *defect* yang dihasilkan. Untuk menginspeksi *defect* diperlukan ketelitian yang tinggi, ketelitian dapat dipengaruhi oleh kondisi fisik. Alat ukur yang digunakan untuk inspeksi, yaitu *micrometer* dalam keadaan standar, demikian pula kondisi material yang digunakan. Terjadinya *defect* sangat dipengaruhi oleh metode yaitu, proses *melting*, *drawing* dan *cutting*. Dengan demikian cukup beralasan untuk mengeluarkan nomor-nomor sampel tersebut. Jadi, penyebab utama terjadinya *defect* dipengaruhi oleh metode dan operator.

2. Grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi CR (Lebar)

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi CR belum terkendali. Dari ANOVA diketahui bahwa hasil toleransi CR tidak dipengaruhi operator. Hasil toleransi CR sangat dipengaruhi oleh proses *cutting*. Berdasarkan keterangan yang diperoleh dari operator yang bertugas, sudut sudah disetting sesuai dengan ketentuan, alat ukur yang digunakan juga dalam kondisi yang baik. Variasi dari toleransi CR dihasilkan karena setting ukuran atau setting *couter* yang tidak sesuai target. Jadi, penyebab utama adanya variasi dari toleransi CR adalah *cross cutter* pada proses *cutting*. Diagram sebab akibat untuk toleransi CR dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Diagram Sebab Akibat *Defect*



Gambar 4.12 Diagram Sebab Akibat Toleransi CR

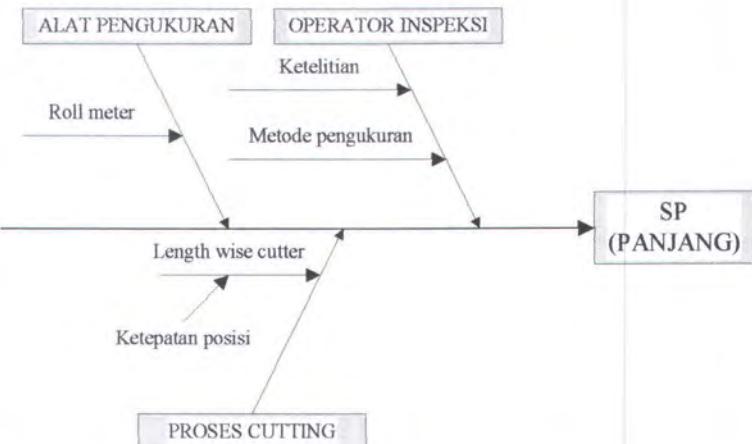
3. Grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi SP (Panjang)

Grafik pengendali $\bar{X} - R$ toleransi SP belum terkendali seperti yang dapat dilihat dalam Gambar 4.3. Berdasarkan ANOVA operator berpengaruh terhadap toleransi SP. Operator dapat berpengaruh dalam ketelitian dalam mengukur toleransi SP (panjang), selain itu kondisi fisik juga dapat mempengaruhi kinerja operator. Alat ukur yang digunakan dalam keadaan standar. Penyebab adanya variasi dari toleransi SP adalah setting *cutter* yang tidak sesuai target. Penyebab vital untuk toleransi SP adalah *length wise cutter*. Diagram sebab akibat untuk toleransi SP dapat dilihat pada Gambar 4.13.

4. Grafik pengendali $\bar{X} - R$ untuk Tebal

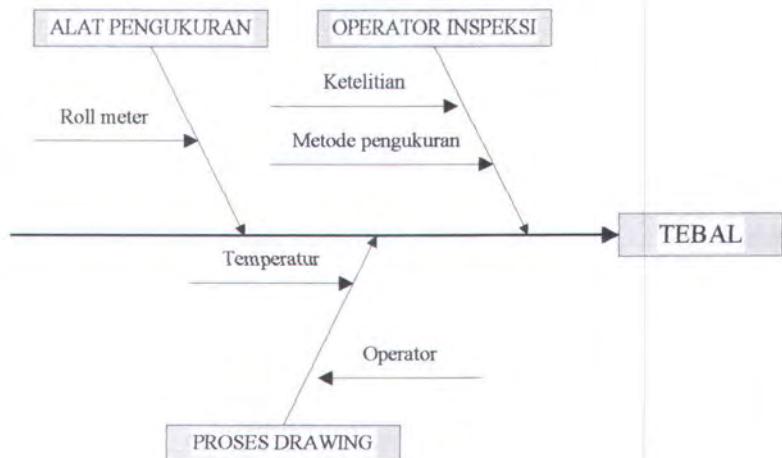
Grafik pengendali $\bar{X} - R$, baik untuk tebal max1, tebal max2, tebal min1 dan tebal min2 pada sub bab 4.2.3 belum terkendali. Proses pembentukan tebal terjadi pada tahap pembentukan (*drawing*). Pada proses *drawing* temperatur dan tekanan yang digunakan harus sesuai, tidak boleh terlalu tinggi dan terlalu rendah, karena akan mengakibatkan proses pembentukan tidak sempurna. Dari hasil ANOVA, operator hanya berpengaruh terhadap tebal min1, sedangkan untuk yang lain tidak. Alat ukur yang digunakan dalam kondisi baik. Jadi, penyebab utama terjadinya variasi dalam tebal adalah pada saat proses *drawing*. Diagram sebab akibat untuk tebal dapat dilihat pada Gambar 4.14.

DIAGRAM SEBAB AKIBAT SP (PANJANG)



Gambar 4.13 Diagram Sebab Akibat Toleransi SP

DIAGRAM SEBAB AKIBAT TEBAL



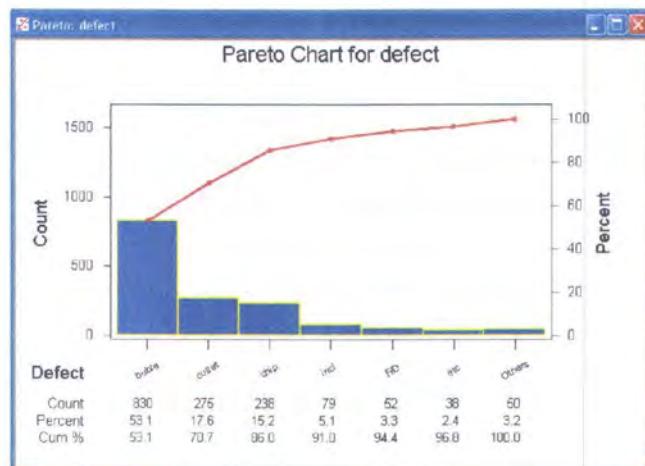
Gambar 4.14 Diagram Sebab Akibat Tebal

4.3.3 Analisa Diagram Pareto

Setelah didapatkan jumlah *defect* untuk masing-masing CTQ, langkah selanjutnya adalah membuat diagram pareto untuk mengetahui jenis *defect* terbesar. Jumlah *defect* masing - masing CTQ beserta persentasenya dapat dilihat pada Tabel 4.6. hasil diagram pareto untuk defect ditunjukkan dalam Gambar 4.14.

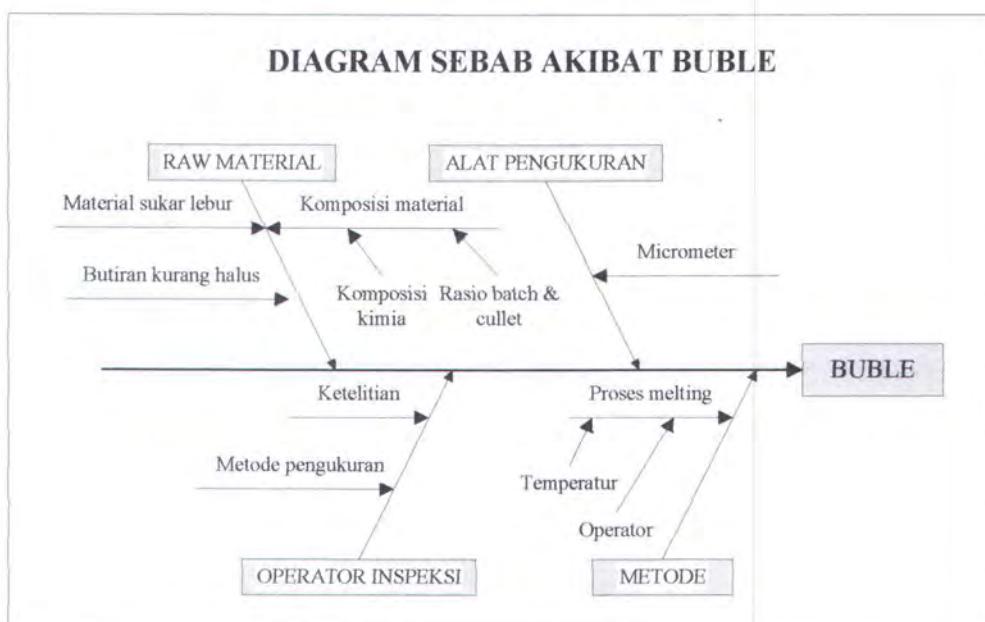
Tabel 4.6 Persentase Data Defect

No	Defect	Jumlah	Persentase	Persentase Kumulatif
1	Buble	830	53.137	53.137
2	Inclusion	79	5.058	58.195
3	Fine Drip	52	3.329	61.524
4	Drip	0	0.000	61.524
5	Inlet Drip	3	0.192	61.716
6	Chipping	238	15.237	76.953
7	Scratch	33	2.113	79.065
8	Cullet	275	17.606	96.671
9	Push Mark	14	0.896	97.567
10	Dll	38	2.433	100.000



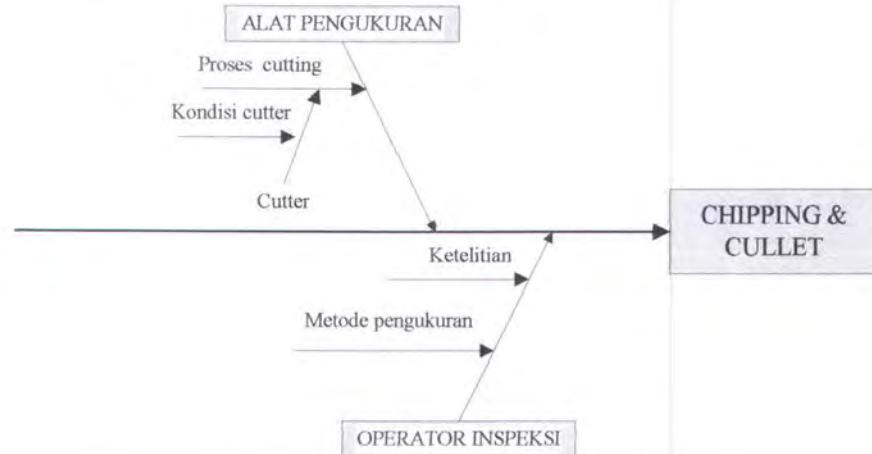
Gambar 4.15 Diagram Pareto Untuk Defect

Diagram batang pada Gambar 4.14 menunjukkan banyaknya *defect* dari masing-masing CTQ, sedangkan grafik (garis berwarna merah) adalah persentase kumulatif dari *defect*. Dari Gambar 4.14 diketahui jenis *defect* terbesar pertama adalah *buble*, kedua *cullet* dan yang ketiga adalah *chipping*. Dari hasil analisa diatas telah diketahui bahwa penyebab utama terjadinya *defect* adalah metode. *Defect bubble* terjadi pada saat proses *melting*. *Buble* terjadi karena adanya reaksi kimia yang melepaskan gas, tetapi gas tersebut tidak semuanya bisa keluar, sehingga gas yang terperangkap itu menyebabkan *defect bubble*. *Defect* ini tidak dapat dihilangkan sama sekali, karena berhubungan dengan proses kimia, namun bisa diminimalkan. Sedangkan *chipping* & *cullet* terjadi pada proses *cutting*, dikarenakan kondisi *cutter* yang tidak bagus. Diagram sebab akibat untuk *buble* dan *chipping* & *cullet* selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17.



Gambar 4.16 Diagram Sebab Akibat *Buble*

DIAGRAM SEBAB AKIBAT CHIPPING & CULLET



Gambar 4.17 Diagram Sebab Akibat *Chipping & Cullet*

4.3.4 Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)

Dalam penelitian ini digunakan FMEA Proses (FMEAP). Dengan menggunakan FMEAP pada Lampiran K, didapatkan nilai RPN tertinggi pada proses *cutting*, yaitu *chipping* dan *cullet* yang dikarenakan *cutter* kurang tajam. Dengan demikian rencana perbaikan akan dititikberatkan pada proses *cutting*.

4.3.5 Analisa Kemampuan Proses Dan Kapabilitas Sigma

Untuk data variabel kemampuan proses dari masing-masing CTQ sudah diatas 1 dengan tingkat kapabilitas sigma 6, artinya proses sudah kababel. Tetapi, perlu diingat bahwa untuk mencapai level 6σ grafik pengendali variabel harus melalui tahap penyesuaian beberapa kali. Ini artinya bahwa meskipun proses sudah kapabel proses berpotensi untuk menghasilkan produk yang cacat. Dengan demikian masih diperlukan perbaikan pada proses *cutting*. Tabel 4.7 menyajikan nilai kemampuan proses dan

kapabilitas sigma dari masing-masing CTQ. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa proses sudah kapabel.

Sedangkan untuk data atribut, hanya ada satu CTQ yang sudah mencapai tingkat sigma 6 yaitu *drip*, sedangkan tingkat sigma untuk CTQ lainnya bervariasi antara 3σ sampai 5σ . Lebih jelasnya tingkat sigma masing-masing CTQ dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Kemampuan Proses dan Kapabilitas Sigma Data Variabel

No	Dimensi	Cp	Cpk	Kapabilitas sigma
1	CR (Lebar)	3,60	3,41	6
2	SP (Panjang)	4,93	4,26	6
3	Tebal Max1	-	2,64	6
4	Tebal Max2	-	2,09	6
5	Tebal Min1	-	2,77	6
6	Tebal Min2	-	2,76	6

Tabel 4.8 Kemampuan Proses dan Kapabilitas Sigma Data Atribut

No	Jenis defect	Jumlah defect	DPMO	Kapabilitas sigma
1	<i>Buble</i>	830	9263	3,9
2	<i>Inclusion</i>	79	88	4,6
3	<i>Fine Drip</i>	52	580	4,7
4	<i>Drip</i>	0	0	6
5	<i>Inlet Drip</i>	3	33	5,5
6	<i>Chipping</i>	238	2556	4,3
7	<i>Scratch</i>	33	368	4,9
8	<i>Cullet</i>	275	3069	4,2
9	<i>Push Mark</i>	14	156	5,1
10	Dll	38	424	4,8
Jumlah		1562	17433	3,6

Pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa *buble* menempati peringkat pertama dalam perolehan *defect* terbesar dengan tingkat sigma terendah. Ini berarti diperlukan tindakan usaha perbaikan yang keras untuk mencapai level 6σ . Hal ini berlaku juga untuk CTQ yang belum mencapai level 6σ .

Berdasarkan hasil analisa diatas, maka yang akan dijadikan proyek *six sigma* adalah proses *cutting*, karena *defect* pada CR dan SP serta *chipping & cullet* terjadi pada proses ini. dan *melting*. Berdasarkan diagram pareto didapatkan *defect* terbesar adalah *buble*. *Buble* terjadi pada proses *melting*, dengan demikian proses *melting* juga akan dijadikan proyek *six sigma*.

4.4 Tahap *Improve*

Berdasarkan hasil analisa diatas, maka perbaikan dilakukan pada metode dan operator. Langkah-langkah perbaikan yang harus dilakukan untuk target *six sigma* adalah sebagai berikut :

1. Pada proses *cutting* diketahui bahwa penyebab utama untuk CR, SP, *chipping* dan *cullet* adalah *cutter*. Langkah perbaikan yang diusulkan untuk program peningkatan kualitas *six sigma* adalah dilakukan pengecekan berkala terhadap *cutter* dan dilakukan tindakan perbaikan secara langsung dan kontinu apabila ditemukan *defect* supaya produk tidak di *lout out*, lebih teliti dalam setting ukuran dan setting *cutter*, memberikan *training* atau pelatihan kepada operator yang melakukan inspeksi agar lebih terampil dan teliti.
2. Proses *melting* sangat berpotensi untuk menghasilkan *buble*. Langkah perbaikan yang diusulkan untuk proses ini adalah agar lebih memperhatikan ukuran dan

komposisi kimia dari bahan-bahan yang akan digunakan dan memperbaiki metode yang digunakan untuk proses *melting*.

4.5 Tahap Control

Saran yang bisa diberikan sebagai *control* kepada perusahaan adalah sebagai berikut yaitu :

1. Membuat dokumentasi mengenai proses-proses perbaikan yang telah dilakukan.
2. Menggunakan *check sheet* pemeriksaan bagi semua operator untuk mengontrol pelaksanaan tindakan yang rutin, seperti penyesuaian sudut, *ther speed*, dll..
3. Melakukan *control* yang rutin terhadap peralatan yang digunakan.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk data variabel kemampuan proses masing-masing karakteristik kualitas sudah diatas 1 artinya proses sangat kapabel, artinya proses sudah mampu memenuhi spesifikasi. Sedangkan untuk data atribut diperoleh DPMO = 174330 nilai ini masih cukup tinggi, artinya *defect* yang dihasilkan masih tinggi.
2. Kapabilitas sigma untuk data variabel untuk masing-masing karakteristik kualitas sudah mencapai tingkat 6σ . Sedangkan untuk data atribut, hanya ada satu CTQ yang sudah mencapai tingkat sigma 6 yaitu *drip*, sedangkan tingkat sigma untuk CTQ lainnya bervariasi antara 3σ sampai 5σ .
3. Jumlah *defect* terbanyak adalah *buble*, *chipping* dan *cullet*
 - a. *Buble* sebanyak 830. *Bubble* terjadi karena pada saat proses *melting* terjadi reaksi kimia yang melepaskan gas, tetapi gas tersebut tidak semuanya bisa keluar, sehingga gas yang terperangkap itu menyebabkan *defect bubble*.
 - b. *Cullet* sebanyak 275. *Defect cullet* ini disebabkan karena *chipping*. Potongan atau gumpilan kaca akibat *chipping* akan menempel dan lekat pada permukaan.
 - c. *Chipping* sebanyak 238. *Chiping* terjadi karena *cutter* yang digunakan kurang tajam, sehingga menghasilkan potongan yang tidak halus atau gumpil pada kaca.

4. Langkah perbaikan untuk mengurangi *defect* adalah memperbaiki proses *melting* dan *cutting*. Pada proses *melting* agar lebih memperhatikan ukuran dan komposisi kimia dari bahan yang digunakan dan memperbaiki metode yang selama ini digunakan. Sedangkan pada proses *cutting* dilakukan pengecekan berkala terhadap *cutter* dan dilakukan tindakan perbaikan secara langsung dan kontinu apabila ditemukan *defect* supaya produk tidak di *lot out* (produk tidak bisa diserahkan ke gudang, tetapi harus direseleksi), lebih teliti dalam setting ukuran dan setting *cutter*, memberikan *training* atau pelatihan kepada operator yang melakukan inspeksi agar lebih terampil dan teliti.

Untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini, saran yang dapat diberikan adalah :

1. Waktu penelitian sebaiknya lebih lama lagi agar siklus DMAIC tidak hanya dilakukan satu kali siklus dan agar *improvement* dapat dilakukan secara keseluruhan dan berkesinambungan (*continues improvement*).
2. Tahap *control* sangat penting untuk dilakukan dan bukan sekedar rekomendasi kepada perusahaan, dengan demikian siklus DMAIC dalam implementasi *six sigma* dapat dilakukan secara sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Bain, Lee J., Engelhardt, Max, (1992), *Introduction to Probability and Mathematical Statistics*, Second Edition, Duxbury Press, California.
2. Daniel, Wayne W., (1989), *Statistika Non Paremetrik Terapan*, PT. Gramedia, Jakarta.
3. Gaspersz, Vincent, (2002), *Pedoman Implementasi Program SIX SIGMA Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
4. Gunawan, Desy dan Adhiningsih, Satyawati, (2004), Laporan Kerja Praktek PT. Asahimas Flat Glass Tbk, Laporan Kerja Praktek, UK PETRA Surabaya.
5. Gupta, Bhisham C., Walker, H. Fred, (2005), *Applied Statistics for the Six Sigma Green Belt*, <URL: <http://qualitypress.asq.org/chapters/H1236.pdf>>
6. Manggala, D, (2005) *Mengenal Six Sigma Secara Sederhana*, <URL : <http://www.beranda.net>>
7. Marsiana dan Rafika, A., (2003), Aplikasi Pengendalian Kualitas Statistik dan Analisa Implementasi 5S, Laporan Kerja Praktek, ITS Surabaya.
8. Montgomery, Douglas C., (1990), *Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
9. Process Capability Analysis, <URL: <http://www.systsma.com/tqmtools/proccapanal.html>>
10. Pyzdek, Thomas, (2002), The Six Sigma Revolution, <URL: http://www.pyzdek.com/six_sigma_revolution.htm>

LAMPIRAN

Lampiran A1 Data Defect

No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukrn smpl	Banyak tdksesuai
1	32	5	57	32	8	113	32	5	169	32	4	225	32	3
2	32	3	58	32	8	114	32	3	170	32	7	226	32	9
3	32	10	59	32	7	115	32	6	171	32	2	227	32	11
4	32	6	60	32	7	116	32	5	172	32	3	228	32	4
5	32	1	61	32	2	117	32	7	173	32	4	229	32	7
6	32	8	62	32	4	118	32	9	174	32	3	230	32	8
7	32	5	63	32	4	119	32	8	175	32	1	231	32	8
8	32	6	64	32	4	120	32	8	176	32	7	232	32	8
9	32	8	65	32	4	121	32	8	177	32	4	233	32	5
10	32	6	66	32	12	122	32	7	178	32	9	234	32	11
11	32	3	67	32	8	123	32	9	179	32	7	235	32	9
12	32	1	68	32	8	124	32	7	180	32	3	236	32	9
13	32	2	69	32	4	125	32	6	181	32	7	237	32	3
14	32	2	70	32	8	126	32	5	182	32	8	238	32	7
15	32	1	71	32	5	127	32	6	183	32	4	239	32	8
16	32	1	72	32	3	128	32	7	184	32	5	240	32	7
17	32	6	73	32	4	129	32	7	185	32	7	241	32	8
18	32	4	74	32	3	130	32	6	186	32	5	242	32	10
19	32	4	75	32	5	131	32	6	187	32	4	243	32	9
20	32	4	76	32	7	132	32	6	188	32	4	244	32	7
21	32	4	77	32	6	133	32	5	189	32	5	245	32	3
22	32	7	78	32	11	134	32	7	190	32	2	246	32	5
23	32	5	79	32	6	135	32	3	191	32	3	247	32	9
24	32	3	80	32	2	136	32	11	192	32	6	248	32	4
25	32	4	81	32	8	137	32	11	193	32	4	249	32	3
26	32	5	82	32	7	138	32	7	194	32	4	250	32	3

Data Defect (lanjutan)

No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukrn smpl	Banyak tdksesuai
27	32	7	83	32	8	139	32	8	195	32	1	251	32	8
28	32	5	84	32	8	140	32	7	196	32	7	252	32	11
29	32	5	85	32	7	141	32	8	197	32	6	253	32	16
30	32	7	86	32	4	142	32	10	198	32	3	254	32	3
31	32	2	87	32	7	143	32	9	199	32	7	255	32	3
32	32	5	88	32	11	144	32	7	200	32	4	256	32	4
33	32	3	89	32	13	145	32	3	201	32	6	257	32	9
34	32	5	90	32	10	146	32	5	202	32	6	258	32	4
35	32	2	91	32	1	147	32	9	203	32	6	259	32	3
36	32	9	92	32	7	148	32	4	204	32	4	260	32	6
37	32	10	93	32	7	149	32	3	205	32	5	261	32	3
38	32	7	94	32	4	150	32	3	206	32	4	262	32	5
39	32	11	95	32	7	151	32	8	207	32	2	263	32	6
40	32	8	96	32	4	152	32	11	208	32	5	264	32	2
41	32	8	97	32	4	153	32	16	209	32	3	265	32	4
42	32	9	98	32	3	154	32	3	210	32	3	266	32	4
43	32	5	99	32	7	155	32	3	211	32	8	267	32	4
44	32	5	100	32	5	156	32	4	212	32	7	268	32	4
45	32	9	101	32	2	157	32	9	213	32	4	269	32	4
46	32	4	102	32	5	158	32	4	214	32	3	270	32	7
47	32	2	103	32	1	159	32	3	215	32	5	271	32	2
48	32	3	104	32	4	160	32	6	216	32	7	272	32	3
49	32	5	105	32	3	161	32	3	217	32	2	273	32	4
50	32	5	106	32	5	162	32	5	218	32	6	274	32	4
51	32	12	107	32	6	163	32	6	219	32	7	275	32	4
52	32	12	108	32	6	164	32	2	220	32	11	276	32	7

Data Defect (lanjutan)

No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukuran sampel	Banyak ketidaksesuaian	No	Ukrm smpl	Banyak tdksesuai
53	32	8	109	32	7	165	32	4	221	32	9	277	32	4
54	32	11	110	32	12	166	32	4	222	32	12	278	32	6
55	32	11	111	32	4	167	32	4	223	32	6	279	32	4
56	32	7	112	32	7	168	32	4	224	32	4	280	32	4

Lampiran A2 Data Observasi Toleransi CR (Lebar)

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	1.3	0.7	0.7	0.5	0.8	0.80	0.8
2	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.72	0.1
3	0.3	0.3	0.0	0.3	-0.2	0.14	0.5
4	-0.2	0.4	-0.1	0.3	0.3	0.14	0.6
5	-0.8	-0.5	-0.3	-0.3	-0.3	-0.44	0.5
6	-0.3	-0.5	-0.2	-0.2	-0.2	-0.28	0.3
7	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.38	0.2
8	0.7	0.4	0.8	1.3	0.0	0.64	1.3
9	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	0.02	0.4
10	0.4	0.4	-0.1	-0.1	-0.1	0.10	0.5
11	-0.3	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.46	0.2
12	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	-0.02	0.4
13	-0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.22	0.4
14	-0.3	-0.3	0.1	0.3	0.3	0.02	0.6
15	-0.5	-0.5	-0.5	0.1	-0.1	-0.30	0.6
16	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.18	0.4
17	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.18	0.4
18	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50	0.0
19	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.50	0.0
20	0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.08	0.3
21	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.10	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.12	0.3
23	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.0
24	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.06	0.3
26	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.38	0.2
27	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	0.50	0.5
28	1.1	1.1	1.1	0.9	0.6	0.96	0.5
29	0.3	0.3	0.1	0.3	0.1	0.22	0.2
30	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.0
31	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.0
32	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.0
33	0.1	-0.2	0.0	0.0	0.0	-0.02	0.3
34	0.3	-0.2	-0.2	0.1	0.1	0.02	0.5
35	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.28	0.2
36	0.2	-0.3	-0.3	-0.6	-0.3	-0.26	0.8
37	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.6	-0.20	0.5
38	0.9	0.9	0.4	0.4	-0.1	0.50	1.0
39	-0.8	-0.3	-0.3	-0.8	-0.3	-0.50	0.5
40	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.26	0.1
41	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.0
42	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.10	0.0
43	-0.1	-0.1	-0.5	-0.2	-0.1	-0.20	0.4

Data Observasi Toleransi CR (Lebar) (lanjutan)

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
44	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.6	-0.2	0.5
45	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0
46	0.3	0.3	0.3	-0.2	-0.2	0.1	0.5
47	-0.2	0.8	-0.2	0.8	0.3	0.3	1
48	0.8	0.8	0.3	0.8	0.8	0.7	0.5
49	-0.2	-0.2	0.1	0.9	0.9	0.3	1.1
50	0.9	0.2	0.5	0.5	0.5	0.52	0.7
51	0.1	0.1	0.1	0.1	-0.1	0.06	0.2
52	0.1	0.1	1	0.4	0.1	0.34	0.9
53	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.1	-0.1	0.5
54	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
55	0.9	1	1.3	0.8	1.3	1.06	0.5
56	0.4	0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.08	0.5
Jumlah						9.14	21.7
Rata-rata						0.163214286	0.3875

Lampiran A3 Data Observasi Toleransi SP (Panjang)

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	-0.3	0.1	0.1	0.3	0.1	0.06	0.6
2	-0.2	0.5	-0.1	-0.1	-0.1	0.00	0.7
3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.20	0.2
4	0.2	0.3	0.5	0.2	0.7	0.38	0.5
5	0.1	0.8	0.2	0.2	0.2	0.30	0.7
6	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.14	0.2
7	0.4	1.0	0.1	0.1	0.1	0.34	0.9
8	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.14	0.2
9	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.32	0.1
10	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.26	0.2
11	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.24	0.2
12	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3	0.36	0.2
13	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.0
14	0.0	0.3	0.3	0.5	0.1	0.24	0.5
15	0.7	0.5	0.3	0.2	0.5	0.44	0.5
16	-0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.14	0.6
17	0.2	0.1	0.3	0.5	0.4	0.30	0.4
18	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.0
19	0.4	0.2	0.6	0.3	0.3	0.36	0.4
20	-0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.20	0.5
21	0.7	0.1	0.2	0.3	0.3	0.32	0.6
22	0.3	0.7	0.1	0.1	0.1	0.26	0.6
23	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.10	0.0
24	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.10	0.0
25	0.2	-0.1	0.5	-0.1	-0.1	0.08	0.6
26	-0.1	-0.1	0.3	0.3	0.3	0.14	0.4
27	0.3	0.3	0.3	0.2	0.7	0.36	0.5
28	0.0	0.5	0.0	0.4	0.3	0.24	0.5
29	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.08	0.1
30	0.1	0.4	0.3	0.5	0.5	0.36	0.4
31	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.14	0.5
32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.02	0.1
33	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.36	0.3
34	-0.1	0.4	-0.2	-0.2	0.1	0.00	0.6
35	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.0
36	0.4	-0.1	0.4	0.4	0.4	0.30	0.5
37	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.0
38	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.20	0.0
39	0.5	0.3	0	0.5	0.5	0.36	0.5
40	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.32	0.3
41	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.20	0.0
42	0.3	-0.2	-0.2	0.3	0.3	0.10	0.5
43	-0.2	-0.2	0.3	-0.2	0.3	0.00	0.5
44	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.0
45	0.5	0.5	0.3	0.2	0.4	0.38	0.3
46	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.20	0.0

Data Observasi Toleransi SP (Panjang) (lanjutan)

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
47	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.22	0.1
48	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.20	0.0
49	-0.3	-0.3	0.3	0.2	0.2	0.02	0.6
50	0.2	0.5	0.3	0.3	0.3	0.32	0.3
51	0	0.4	0.5	0.5	0.5	0.38	0.5
52	0	0	0.4	0.3	0.3	0.20	0.4
53	0.3	0.1	0.2	0	0	0.12	0.3
54	0	0	0	0	0	0.00	0.0
55	-0.2	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.08	0.5
56	0.1	0.3	0.2	0.5	0.5	0.32	0.4
Jumlah					12.00	18.50	
Rata-rata					0.214285714	0.330357143	



Lampiran A4 Data Observasi Tebal Max1

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	2.08	2.09	2.06	2.06	2.07	2.072	0.03
2	2.07	2.07	2.07	2.13	2.10	2.088	0.06
3	2.11	2.11	2.11	2.11	2.11	2.110	0.00
4	2.12	2.10	2.10	2.09	2.10	2.102	0.03
5	2.10	2.09	2.07	2.08	2.08	2.084	0.03
6	2.08	2.10	2.08	2.10	2.11	2.094	0.03
7	2.08	2.07	2.06	2.05	2.05	2.062	0.03
8	2.05	2.05	2.05	2.04	2.04	2.046	0.01
9	2.04	2.07	2.06	2.06	2.07	2.060	0.03
10	2.07	2.05	2.06	2.09	2.07	2.068	0.04
11	2.09	2.07	2.07	2.08	2.08	2.078	0.02
12	2.09	2.09	2.10	2.10	2.11	2.098	0.02
13	2.12	2.12	2.11	2.12	2.10	2.114	0.02
14	2.09	2.08	2.09	2.07	2.11	2.088	0.04
15	2.12	2.11	2.12	2.06	2.07	2.096	0.06
16	2.08	2.07	2.08	2.08	2.07	2.076	0.01
17	2.07	2.07	2.08	2.08	2.09	2.078	0.02
18	2.10	2.09	2.09	2.08	2.08	2.088	0.02
19	2.09	2.11	2.11	2.11	2.11	2.106	0.02
20	2.12	2.12	2.13	2.13	2.10	2.120	0.03
21	2.12	2.09	2.09	2.10	2.12	2.104	0.03
22	2.11	2.10	2.07	2.09	2.09	2.092	0.04
23	2.10	2.09	2.08	2.08	2.05	2.080	0.05
24	2.05	2.05	2.05	2.06	2.07	2.056	0.02
25	2.09	2.05	2.08	2.10	2.09	2.082	0.05
26	2.08	2.05	2.08	2.10	2.08	2.078	0.05
27	2.08	2.07	2.09	2.08	2.08	2.080	0.02
28	2.07	2.05	2.05	2.07	2.07	2.062	0.02
29	2.08	2.07	2.06	2.07	2.07	2.070	0.02
30	2.09	2.13	2.09	2.08	2.09	2.096	0.05
31	2.08	2.09	2.09	2.10	2.09	2.090	0.02
32	2.09	2.07	2.07	2.07	2.07	2.074	0.02
33	2.07	2.07	2.06	2.06	2.06	2.064	0.01
34	2.06	2.08	2.07	2.07	2.09	2.074	0.03
35	2.07	2.07	2.08	2.06	2.08	2.072	0.02
36	2.06	2.06	2.06	2.05	2.06	2.058	0.01
37	2.07	2.06	2.07	2.07	2.10	2.074	0.04
38	2.09	2.09	2.08	2.07	2.06	2.078	0.03
39	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.050	0.00
40	2.05	2.06	2.05	2.05	2.06	2.054	0.01
41	2.05	2.05	2.05	2.04	2.04	2.046	0.01
42	2.05	2.04	2.05	2.05	2.06	2.050	0.02
43	2.06	2.06	2.06	2.10	2.07	2.070	0.04
44	2.04	2.05	2.05	2.05	2.05	2.048	0.01
45	2.06	2.06	2.07	2.07	2.07	2.066	0.01

Data Observasi Tebal Max1 (lanjutan)

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
46	2.08	2.09	2.09	2.07	2.08	2.082	0.02
47	2.07	2.09	2.07	2.08	2.08	2.078	0.02
48	2.08	2.07	2.08	2.06	2.06	2.070	0.02
49	2.06	2.07	2.08	2.08	2.08	2.074	0.02
50	2.10	2.08	2.08	2.07	2.08	2.082	0.03
51	2.07	2.07	2.07	2.07	2.06	2.068	0.01
52	2.06	2.07	2.08	2.08	2.07	2.072	0.02
53	2.08	2.08	2.08	2.07	2.07	2.076	0.01
54	2.07	2.06	2.08	2.09	2.08	2.076	0.03
55	2.07	2.08	2.07	2.08	2.08	2.076	0.01
56	2.07	2.07	2.07	2.09	2.09	2.078	0.02
Jumlah						116.328	1.390
Rata-rata						2.077285714	0.024821429

Lampiran A5 Data Observasi Tebal Max2

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	2.08	2.10	2.06	2.06	2.07	2.074	0.04
2	2.07	2.06	2.06	2.11	2.09	2.078	0.05
3	2.10	2.10	2.10	2.11	2.11	2.104	0.01
4	2.10	2.10	2.10	2.09	2.10	2.098	0.01
5	2.09	2.09	2.07	2.08	2.08	2.082	0.02
6	2.08	2.08	2.08	2.10	2.09	2.086	0.02
7	2.07	2.07	2.06	2.04	2.04	2.056	0.03
8	2.05	2.04	2.04	2.03	2.03	2.038	0.02
9	2.08	2.06	2.08	2.05	2.09	2.072	0.04
10	2.07	2.06	2.05	2.08	2.07	2.066	0.03
11	2.07	2.07	2.08	2.08	2.08	2.076	0.01
12	2.08	2.08	2.08	2.10	2.11	2.090	0.03
13	2.12	2.12	2.12	2.12	2.09	2.114	0.03
14	2.09	2.08	2.08	2.06	2.10	2.082	0.04
15	2.10	2.11	2.12	2.09	2.07	2.098	0.05
16	2.08	2.06	2.08	2.07	2.09	2.076	0.03
17	2.07	2.07	2.07	2.08	2.08	2.074	0.01
18	2.10	2.09	2.09	2.08	2.07	2.086	0.03
19	2.09	2.12	2.10	2.11	2.10	2.104	0.03
20	2.12	2.11	2.13	2.11	2.10	2.114	0.03
21	2.10	2.08	2.10	2.11	2.11	2.100	0.03
22	2.11	2.10	2.07	2.09	2.09	2.092	0.04
23	2.10	2.09	2.08	2.08	2.04	2.078	0.06
24	2.03	2.05	2.06	2.05	2.05	2.048	0.03
25	2.09	2.05	2.08	2.08	2.08	2.076	0.04
26	2.05	2.07	2.07	2.08	2.08	2.070	0.03
27	2.07	2.07	2.08	2.08	2.06	2.072	0.02
28	2.06	2.05	2.04	2.06	2.07	2.056	0.03
29	2.07	2.05	2.07	2.08	2.07	2.068	0.03
30	2.08	2.11	2.09	2.07	2.10	2.090	0.04
31	2.09	2.09	2.09	2.09	2.09	2.090	0.00
32	2.09	2.07	2.07	2.08	2.07	2.076	0.02
33	2.07	2.07	2.07	2.06	2.06	2.066	0.01
34	2.06	2.08	2.08	2.08	2.08	2.076	0.02
35	2.06	2.06	2.09	2.06	2.08	2.070	0.03
36	2.06	2.06	2.05	2.05	2.07	2.058	0.02
37	2.07	2.06	2.06	2.07	2.1	2.072	0.04
38	2.09	2.07	2.08	2.06	2.05	2.070	0.04
39	2.04	2.05	2.04	2.04	2.04	2.042	0.01
40	2.05	2.06	2.06	2.06	2.06	2.058	0.01
41	2.04	2.05	2.05	2.05	2.04	2.046	0.01
42	2.04	2.04	2.04	2.05	2.06	2.046	0.02
43	2.05	2.07	2.06	2.05	2.07	2.060	0.02
44	2.04	2.06	2.05	2.04	2.05	2.048	0.02
45	2.05	2.05	2.07	2.07	2.06	2.060	0.02

Data Observasi Tebal Max2 (lanjutan)

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
46	2.08	2.09	2.09	2.08	2.08	2.084	0.01
47	2.08	2.07	2.07	2.08	2.07	2.074	0.01
48	2.07	2.06	2.07	2.07	2.07	2.068	0.01
49	2.07	2.07	2.08	2.08	2.08	2.076	0.01
50	2.08	2.07	2.07	2.07	2.08	2.074	0.01
51	2.08	2.06	2.07	2.08	2.07	2.072	0.02
52	2.05	2.07	2.08	2.08	2.07	2.070	0.03
53	2.08	2.08	2.08	2.07	2.07	2.076	0.01
54	2.07	2.06	2.08	2.08	2.07	2.072	0.02
55	2.09	2.08	2.09	2.07	2.07	2.080	0.02
56	2.07	2.07	2.07	2.08	2.08	2.074	0.01
Jumlah					116.18	1.36	
Rata-rata					2.074571429	0.024285714	

Lampiran A6 Data Observasi Tebal Min1

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	2.03	2.06	2.02	2.04	2.05	2.040	0.04
2	2.06	2.06	2.05	2.10	2.07	2.068	0.05
3	2.08	2.08	2.09	2.09	2.09	2.086	0.01
4	2.09	2.08	2.09	2.08	2.09	2.086	0.01
5	2.08	2.08	2.06	2.07	2.06	2.070	0.02
6	2.07	2.08	2.07	2.08	2.06	2.072	0.02
7	2.07	2.05	2.05	2.03	2.03	2.046	0.04
8	2.04	2.03	2.03	2.03	2.02	2.030	0.02
9	2.03	2.04	2.05	2.05	2.05	2.044	0.02
10	2.05	2.04	2.04	2.06	2.05	2.048	0.02
11	2.05	2.05	2.06	2.06	2.06	2.056	0.01
12	2.06	2.06	2.05	2.05	2.06	2.056	0.01
13	2.04	2.06	2.06	2.07	2.01	2.048	0.06
14	2.03	2.02	2.06	2.03	2.06	2.040	0.04
15	2.02	2.02	2.04	2.02	2.02	2.024	0.02
16	2.03	2.03	2.03	2.05	2.03	2.034	0.02
17	2.04	2.04	2.05	2.04	2.02	2.038	0.03
18	2.04	2.04	2.04	2.04	2.03	2.038	0.01
19	2.05	2.05	2.05	2.03	2.04	2.044	0.02
20	2.04	2.04	2.06	2.02	2.02	2.036	0.04
21	2.08	2.05	2.07	2.07	2.08	2.070	0.03
22	2.05	2.05	2.03	2.06	2.06	2.050	0.03
23	2.06	2.05	2.04	2.04	2.02	2.042	0.04
24	2.02	2.04	2.04	2.04	2.04	2.036	0.02
25	2.06	2.03	2.05	2.05	2.05	2.048	0.03
26	2.03	2.03	2.05	2.04	2.05	2.040	0.02
27	2.04	2.05	2.08	2.06	2.07	2.060	0.04
28	2.05	2.04	2.04	2.04	2.04	2.042	0.01
29	2.07	2.05	2.04	2.06	2.05	2.055	0.03
30	2.07	2.11	2.08	2.05	2.07	2.076	0.06
31	2.06	2.06	2.08	2.09	2.07	2.072	0.03
32	2.08	2.05	2.06	2.05	2.05	2.058	0.03
33	2.05	2.06	2.05	2.05	2.05	2.052	0.01
34	2.05	2.06	2.06	2.06	2.06	2.058	0.01
35	2.05	2.05	2.05	2.04	2.07	2.052	0.03
36	2.05	2.05	2.04	2.04	2.05	2.046	0.01
37	2.05	2.05	2.06	2.04	2.06	2.052	0.02
38	2.05	2.05	2.04	2.03	2.03	2.040	0.02
39	2.03	2.03	2.03	2.02	2.03	2.028	0.01
40	2.03	2.04	2.02	2.01	2.03	2.026	0.03
41	2.02	2.04	2.03	2.03	2.02	2.028	0.02
42	2.03	2.03	2.03	2.03	2.04	2.032	0.01
43	2.03	2.05	2.04	2.06	2.05	2.046	0.03
44	2.03	2.04	2.03	2.02	2.02	2.028	0.02
45	2.05	2.04	2.05	2.05	2.05	2.048	0.01

Data Observasi Tebal Min1 (lanjutan)

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
46	2.05	2.07	2.07	2.06	2.05	2.060	0.02
47	2.04	2.07	2.06	2.07	2.05	2.058	0.03
48	2.07	2.06	2.04	2.03	2.04	2.048	0.04
49	2.03	2.04	2.05	2.03	2.03	2.036	0.02
50	2.02	2.04	2.04	2.04	2.04	2.036	0.02
51	2.04	2.06	2.04	2.05	2.02	2.042	0.04
52	2.05	2.06	2.06	2.04	2.03	2.048	0.03
53	2.05	2.04	2.06	2.05	2.05	2.050	0.02
54	2.03	2.02	2.04	2.05	2.05	2.038	0.03
55	2.05	2.04	2.05	2.04	2.04	2.044	0.01
56	2.04	2.04	2.03	2.04	2.03	2.036	0.01
Jumlah						114.6848	1.3840
Rata-rata						2.047942857	0.024714286

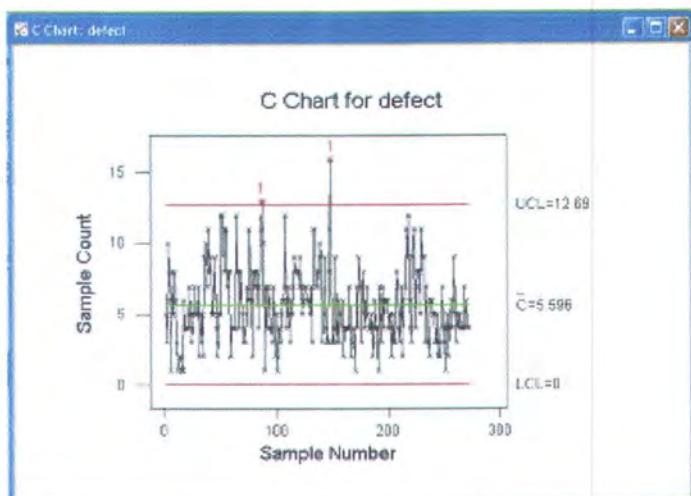
Lampiran A7 Data Observasi Tebal Min2

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
1	2.03	2.06	2.05	2.05	2.06	2.050	0.03
2	2.05	2.05	2.05	2.09	2.07	2.062	0.04
3	2.09	2.07	2.08	2.08	2.08	2.080	0.02
4	2.08	2.09	2.08	2.07	2.09	2.082	0.02
5	2.08	2.08	2.06	2.07	2.07	2.072	0.02
6	2.06	2.07	2.06	2.05	2.08	2.064	0.03
7	2.05	2.05	2.05	2.03	2.03	2.042	0.02
8	2.04	2.03	2.03	2.01	2.01	2.024	0.03
9	2.07	2.05	2.06	2.04	2.07	2.058	0.03
10	2.06	2.05	2.04	2.05	2.06	2.052	0.02
11	2.05	2.05	2.06	2.06	2.06	2.056	0.01
12	2.06	2.07	2.05	2.06	2.06	2.060	0.02
13	2.05	2.05	2.05	2.06	2.00	2.042	0.06
14	2.03	2.03	2.03	2.03	2.06	2.036	0.03
15	2.02	2.02	2.04	2.01	2.03	2.024	0.03
16	2.03	2.02	2.03	2.03	2.05	2.032	0.03
17	2.04	2.05	2.04	2.04	2.04	2.042	0.01
18	2.04	2.03	2.03	2.03	2.02	2.030	0.02
19	2.05	2.06	2.05	2.04	2.05	2.050	0.02
20	2.03	2.02	2.03	2.03	2.02	2.026	0.01
21	2.04	2.04	2.06	2.07	2.05	2.052	0.03
22	2.05	2.05	2.03	2.08	2.08	2.058	0.05
23	2.06	2.05	2.05	2.04	2.02	2.044	0.04
24	2.02	2.04	2.05	2.04	2.03	2.036	0.03
25	2.06	2.04	2.05	2.03	2.04	2.044	0.03
26	2.03	2.06	2.04	2.03	2.04	2.040	0.03
27	2.05	2.05	2.07	2.06	2.05	2.056	0.02
28	2.05	2.03	2.03	2.03	2.05	2.038	0.02
29	2.06	2.02	2.05	2.07	2.05	2.050	0.05
30	2.05	2.10	2.08	2.05	2.08	2.072	0.05
31	2.06	2.05	2.08	2.08	2.07	2.068	0.03
32	2.08	2.06	2.06	2.07	2.05	2.064	0.03
33	2.05	2.06	2.05	2.04	2.05	2.050	0.02
34	2.05	2.06	2.07	2.06	2.05	2.058	0.02
35	2.05	2.05	2.06	2.05	2.06	2.054	0.01
36	2.04	2.04	2.04	2.04	2.05	2.042	0.01
37	2.05	2.04	2.04	2.05	2.06	2.048	0.02
38	2.05	2.05	2.03	2.05	2.02	2.040	0.03
39	2.02	2.03	2.02	2.02	2.02	2.022	0.01
40	2.03	2.04	2.05	2.03	2.03	2.036	0.02
41	2.02	2.04	2.03	2.03	2.02	2.028	0.02
42	2.03	2.02	2.02	2.03	2.05	2.030	0.03
43	2.04	2.05	2.05	2.02	2.06	2.044	0.04
44	2.02	2.03	2.03	2.03	2.02	2.026	0.01
45	2.04	2.03	2.05	2.04	2.04	2.040	0.02

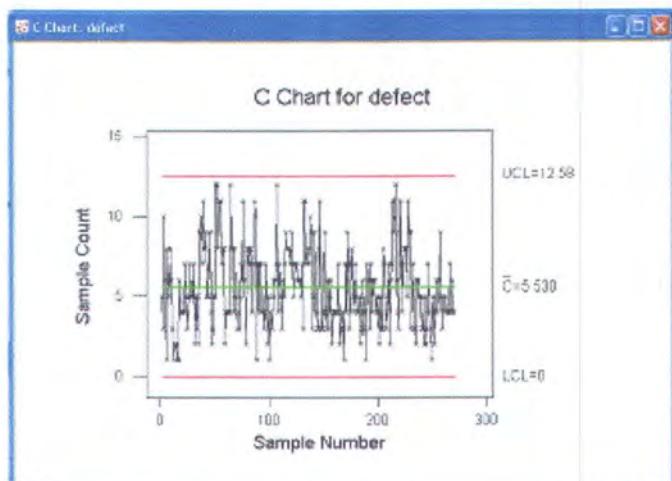
Data Observasi Tebal Min2 (lanjutan)

No	OBSERVASI					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
46	2.05	2.07	2.07	2.04	2.05	2.056	0.03
47	2.04	2.05	2.05	2.06	2.06	2.052	0.02
48	2.05	2.01	2.04	2.04	2.03	2.034	0.04
49	2.03	2.05	2.04	2.04	2.04	2.040	0.02
50	2.03	2.02	2.03	2.03	2.04	2.030	0.02
51	2.04	2.02	2.04	2.05	2.05	2.040	0.03
52	2.04	2.05	2.05	2.05	2.04	2.046	0.01
53	2.04	2.05	2.05	2.02	2.02	2.036	0.03
54	2.04	2.05	2.05	2.04	2.05	2.046	0.01
55	2.04	2.04	2.05	2.04	2.04	2.042	0.01
56	2.04	2.03	2.03	2.03	2.05	2.036	0.02
Jumlah						114.582	1.410
Rata-rata						2.046107143	0.025178571

Lampiran B1 Grafik Pengendali *Defect*

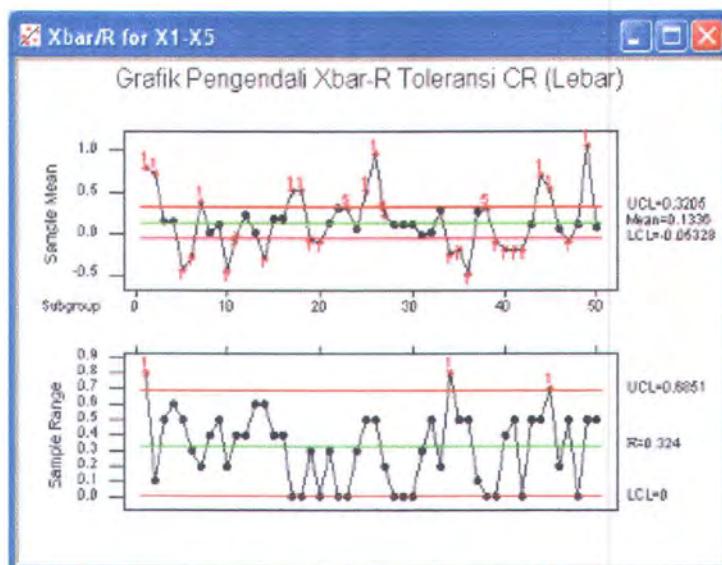


Grafik Pengendali *c* untuk *Defect* Penyesuaian 1

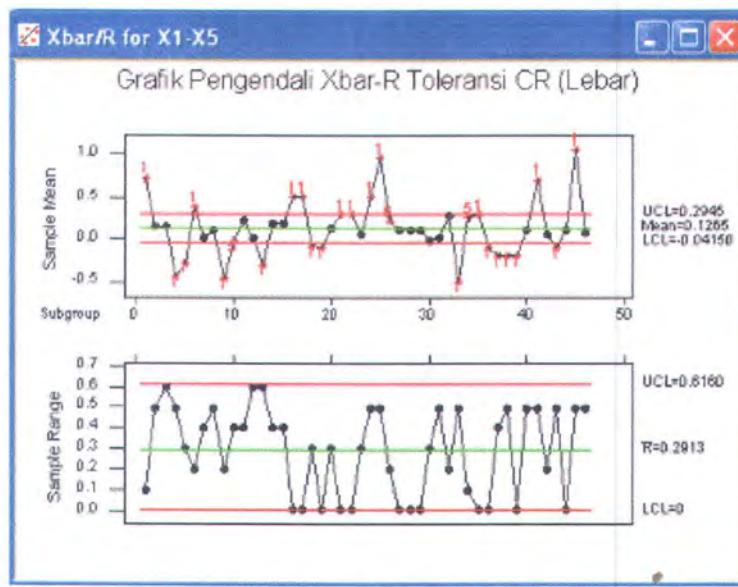


Grafik Pengendali *c* untuk *Defect* Terkendali

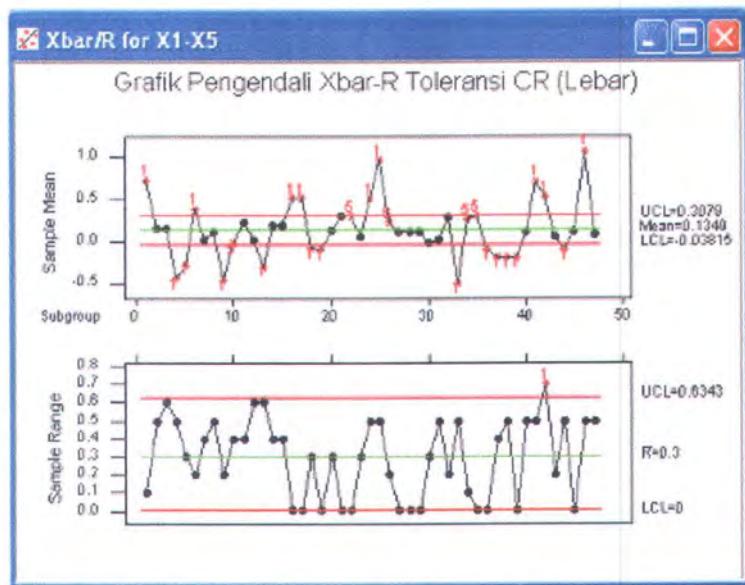
Lampiran B2 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi CR (Lebar)



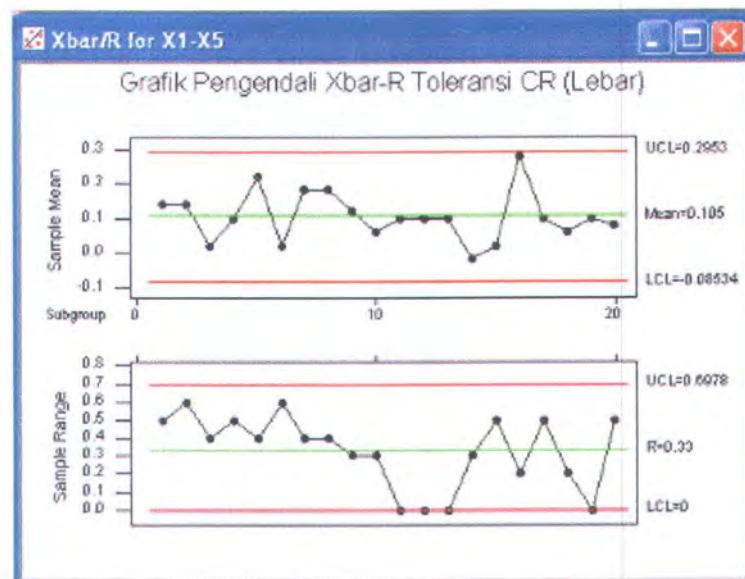
Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi CR Penyesuaian 1



Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi CR Penyesuaian 2

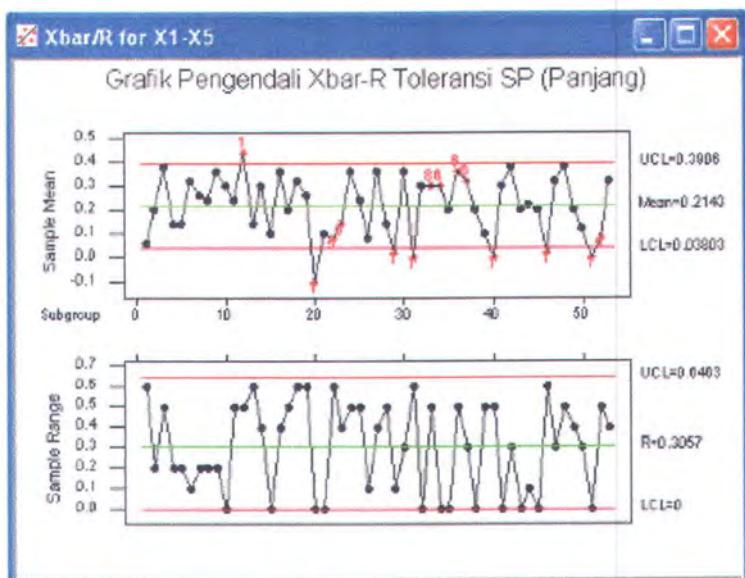


Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi CR Penyesuaian 3

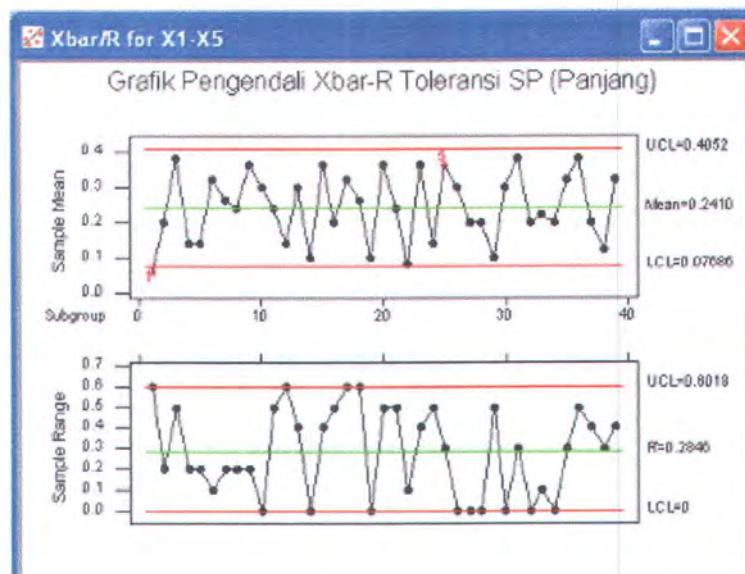


Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Terkendali Toleransi CR

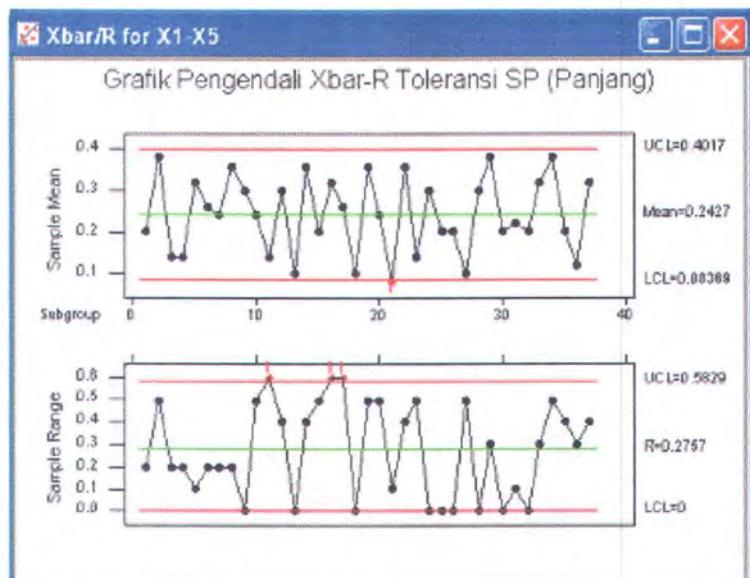
Lampiran B3 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi SP (Panjang)



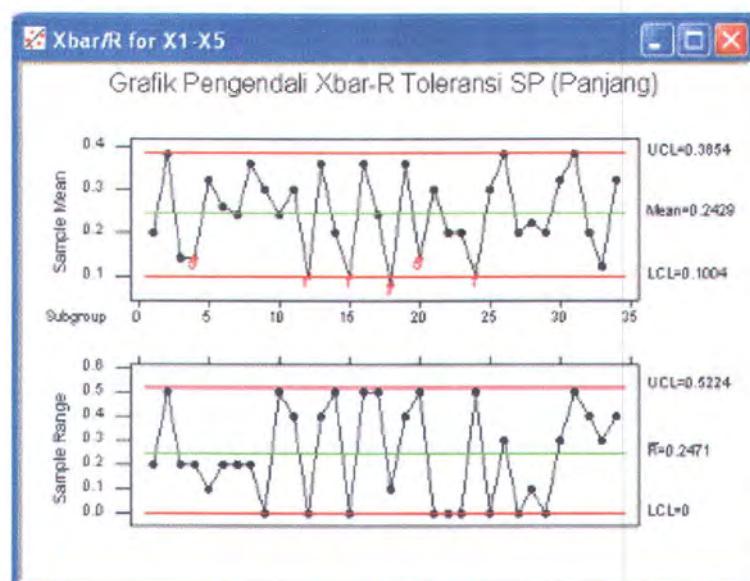
Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi SP Penyesuaian 1



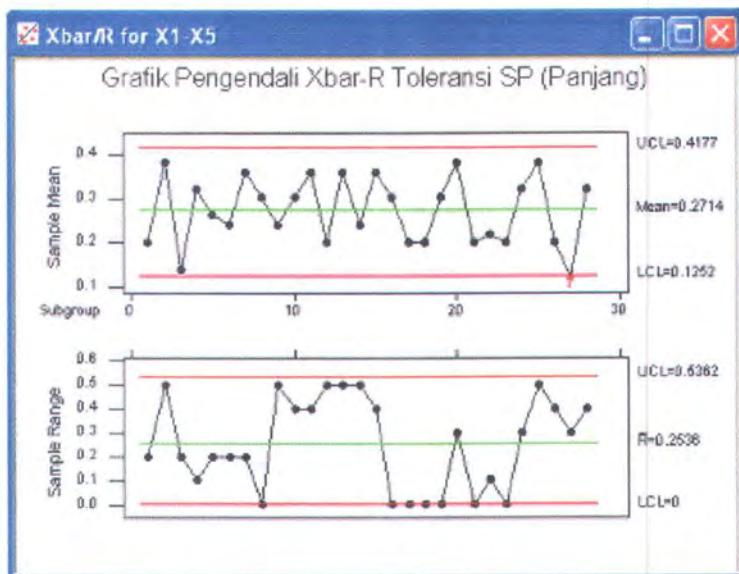
Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi SP Penyesuaian 2



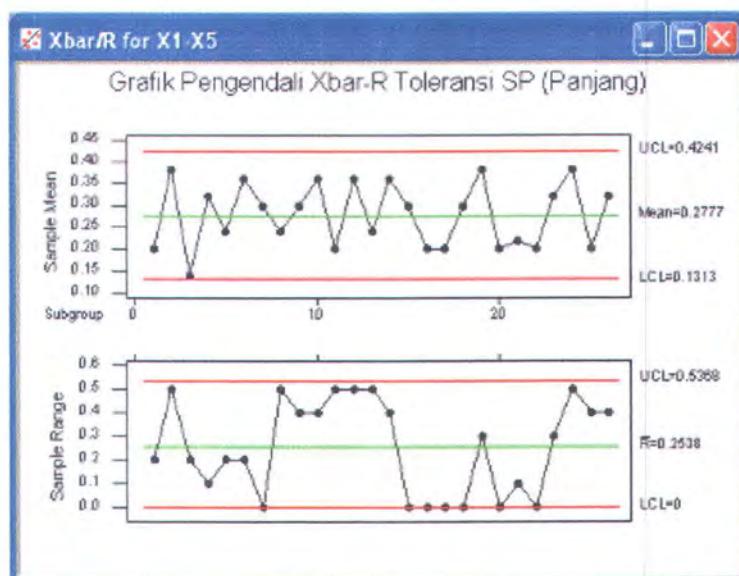
Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi SP Penyesuaian 3



Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi SP Penyesuaian 4

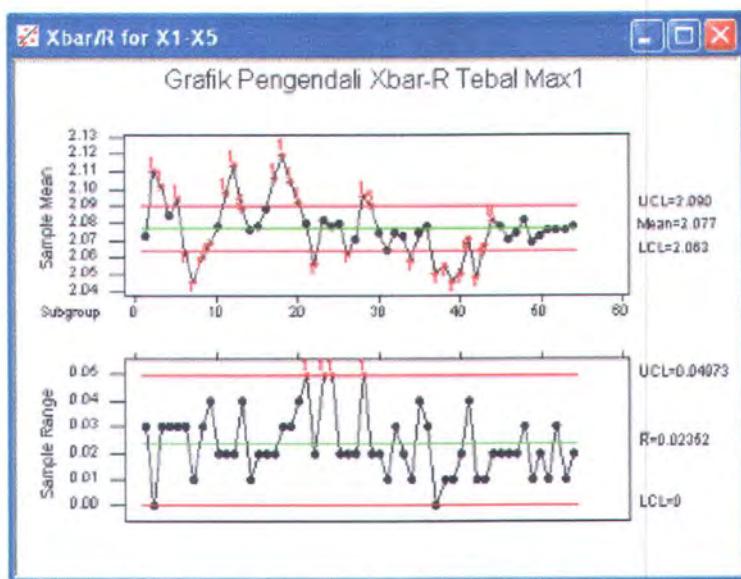


Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Toleransi SP Penyesuaian 5

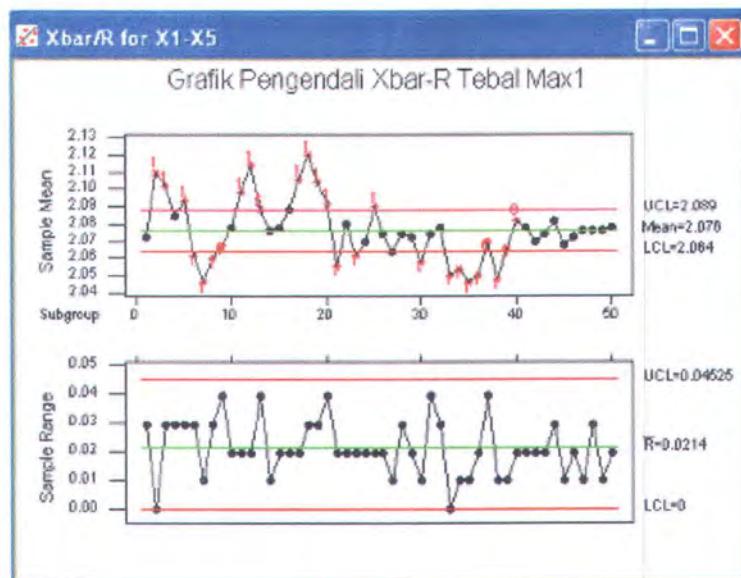


Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Terkendali Toleransi SP

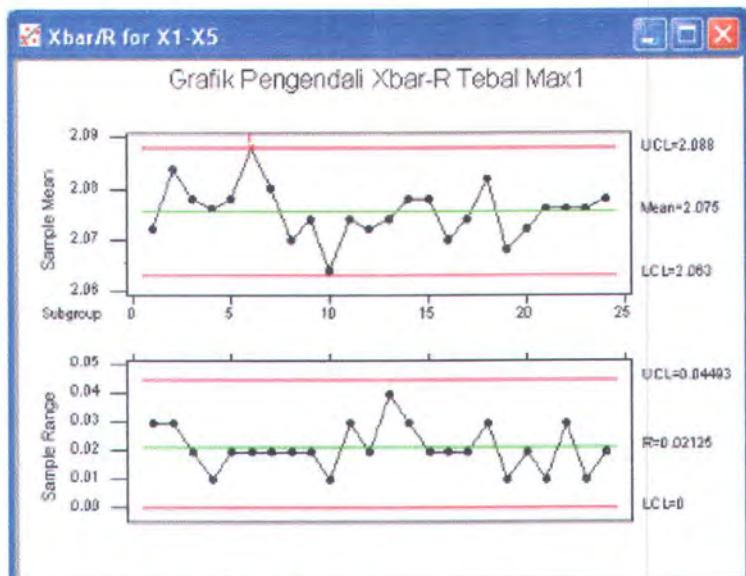
Lampiran B4 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max1



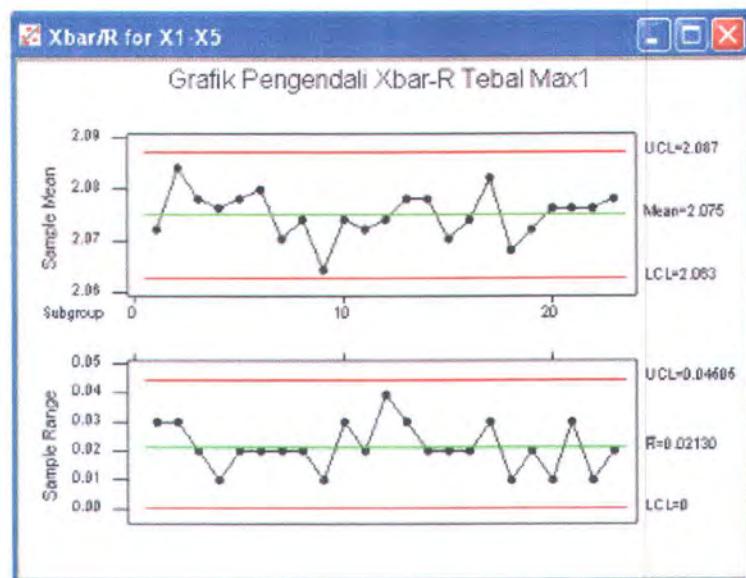
Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max1 Penyesuaian 1



Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max1 Penyesuaian 2

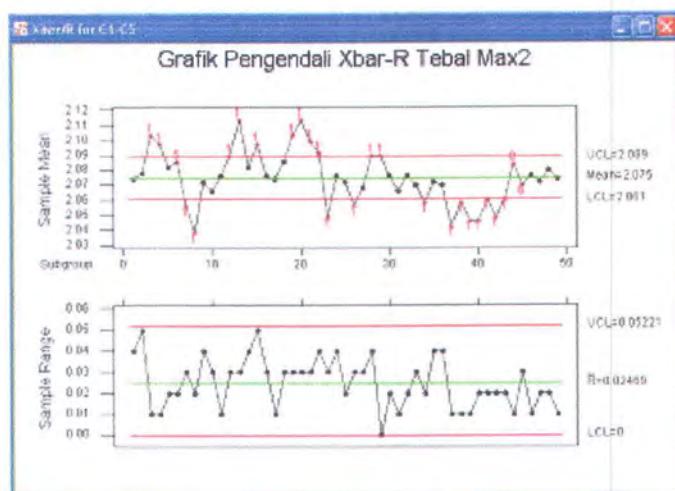


Grafik Pengendali \bar{X} -R Tebal Max1 Penyesuaian 3

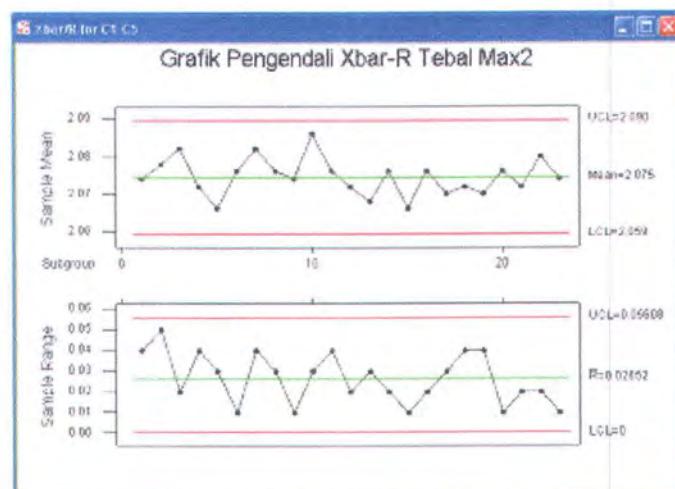


Grafik Pengendali \bar{X} -R Tebal Max1 Terkendali

Lampiran B5 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max2

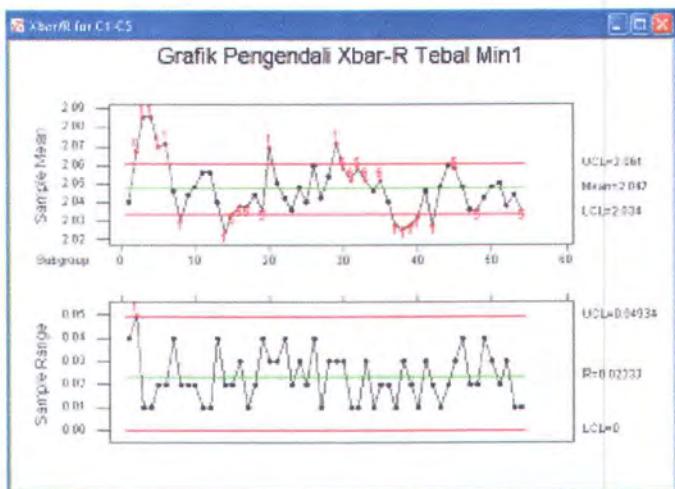


Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max2 Penyesuaian 1

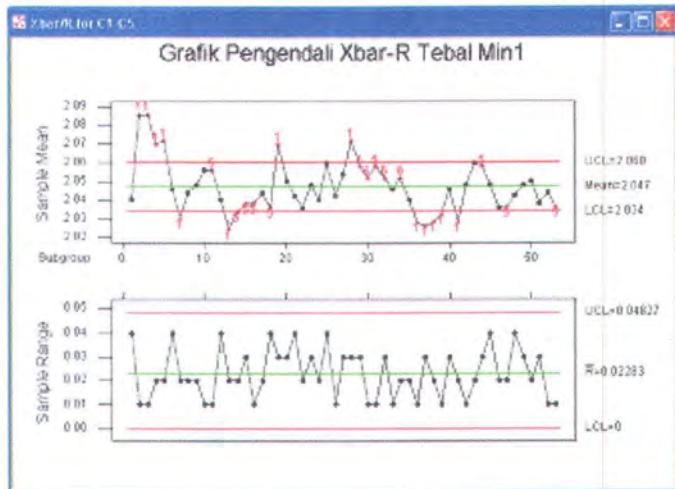


Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Max2 Terkendali

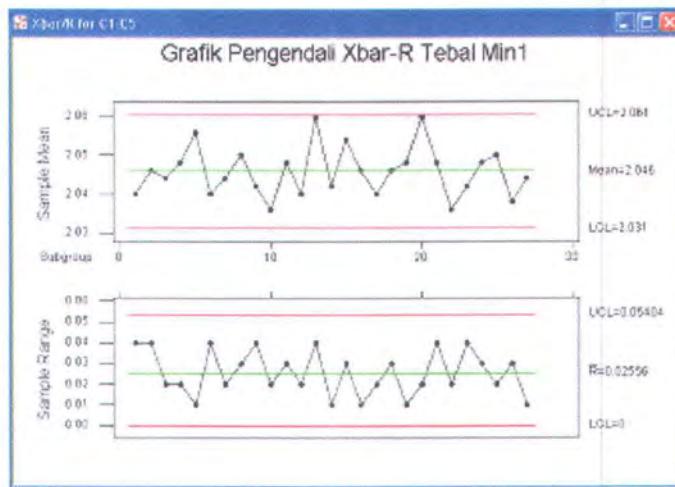
Lampiran B6 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Min1



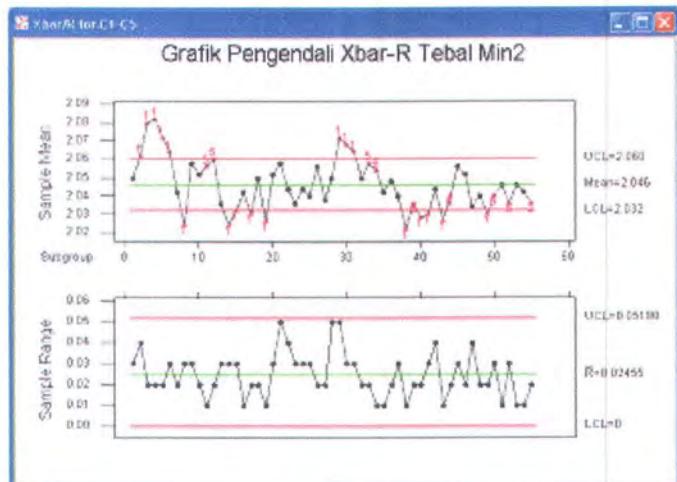
Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Min1 Penyesuaian 1



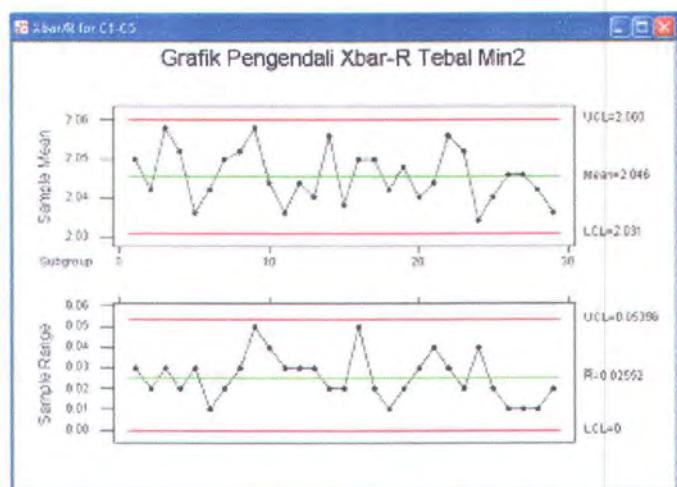
Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Min1 Penyesuaian 2



Lampiran B7 Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Min2

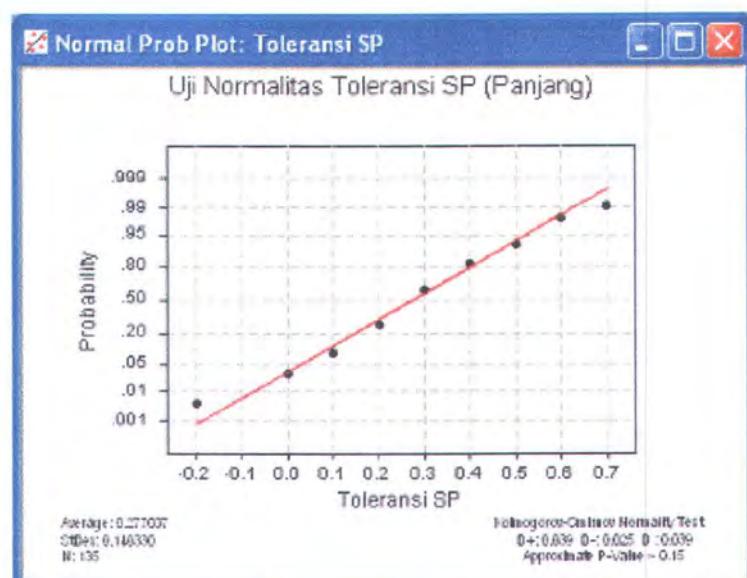


Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Min2 Penyesuaian 1

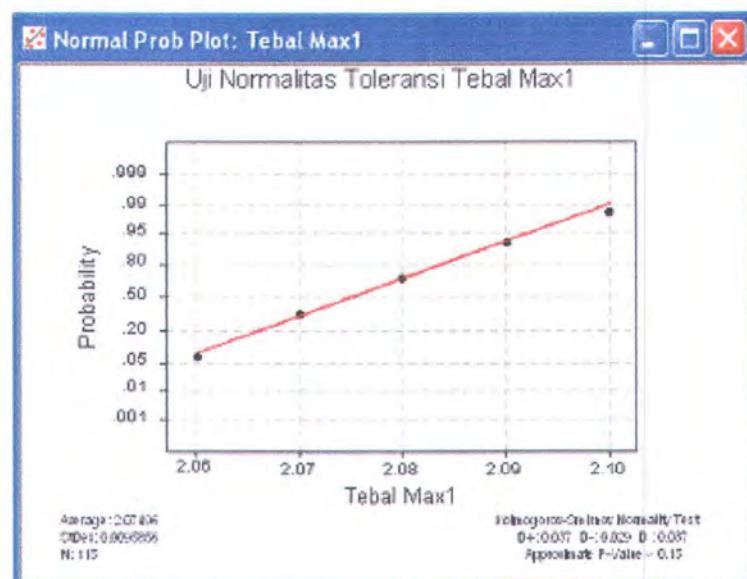


Grafik Pengendali $\bar{X} - R$ Tebal Min2 Terkendali

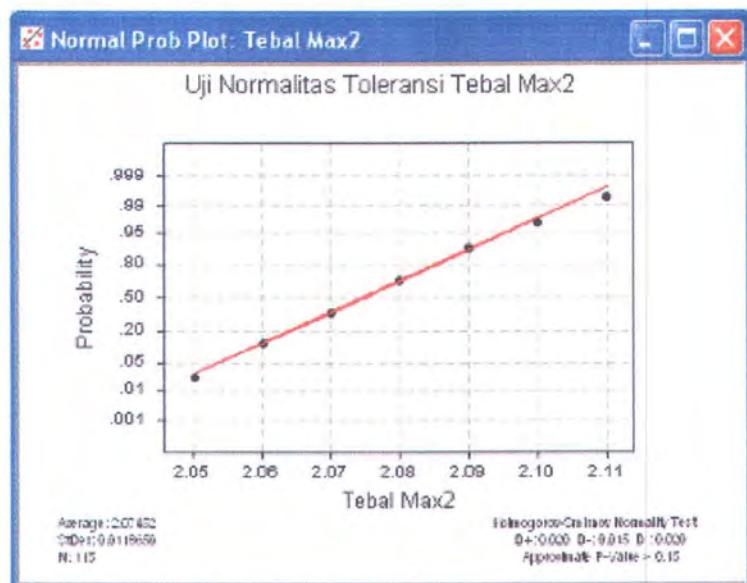
Lampiran C Uji Normalitas



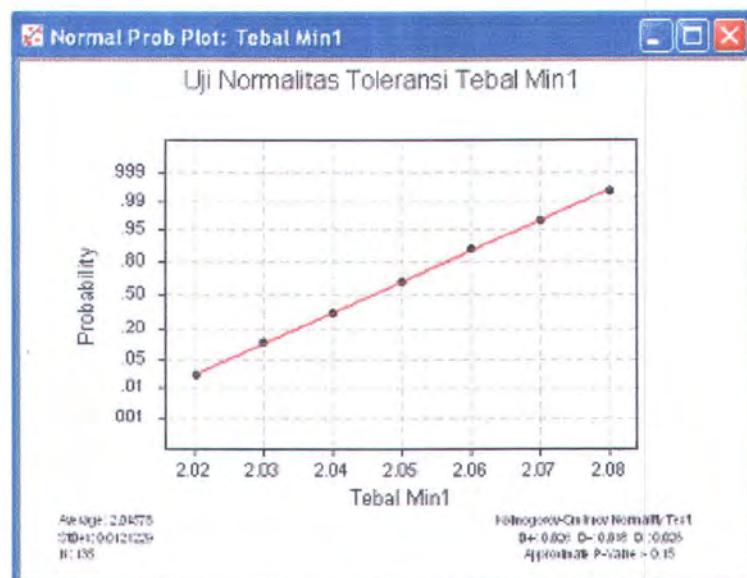
Uji Normalitas Toleransi SP



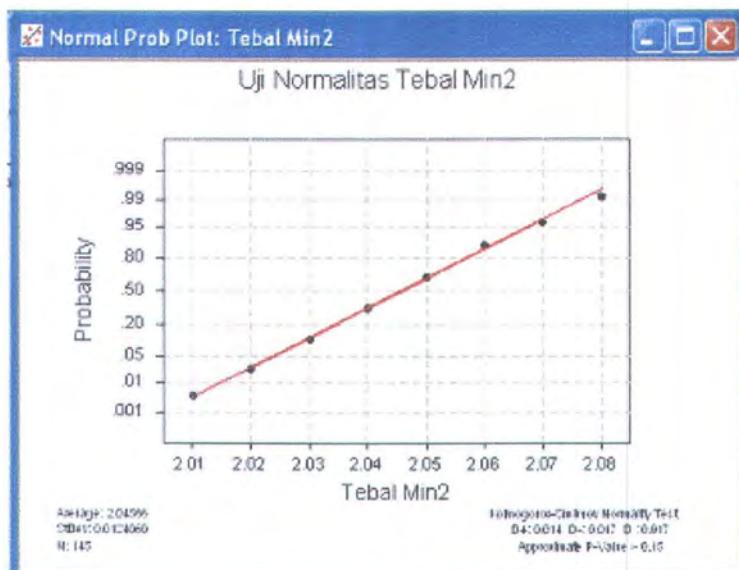
Uji Normalitas Tebal Max1



Uji Normalitas Tebal Max2

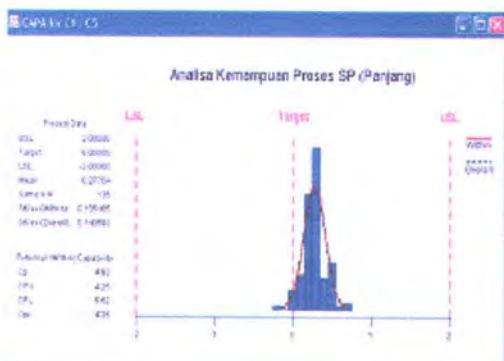


Uji Normalitas Tebal Min1

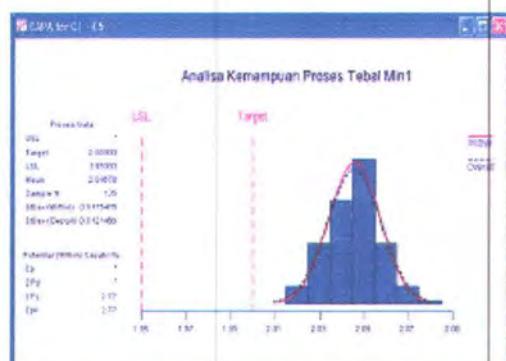


Uji Normalitas Tebal Min2

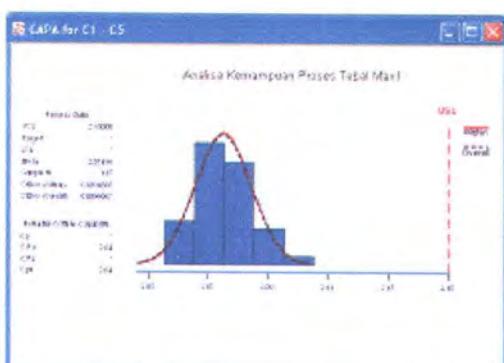
Lampiran D Analisa Kemampuan Proses



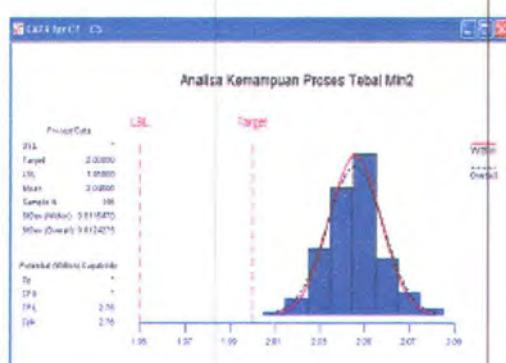
Analisa Kemampuan Proses
Toleransi SP (Panjang)



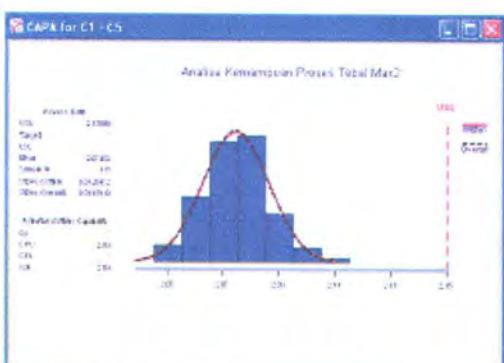
Analisa Kemampuan Proses
Tebal Min1



Analisa Kemampuan Proses
Tebal Max1



Analisa Kemampuan Proses
Tebal Min2



Analisa Kemampuan Proses
Tebal Max2

Lampiran E ANOVA Uji Pengaruh Operator Inspeksi

Data pengamatan *defect* untuk masing-masing operator

Ulangan	Operator			Y.j
	A	B	C	
1	3	10	1	14
2	1	6	6	13
3	2	1	4	7
4	2	8	4	14
5	1	5	4	10
6	5	6	2	13
7	3	8	5	16
8	4	6	3	13
9	7	5	5	17
10	5	7	2	14
11	3	5	4	12
12	4	5	2	11
13	9	7	3	19
14	10	8	5	23
15	7	9	5	21
16	11	5	4	20
17	8	5	4	17
18	12	9	4	25
19	12	7	12	31
20	8	8	8	24
21	11	8	7	26
22	11	7	6	24
23	8	7	11	26
24	7	2	6	15
25	8	4	2	14
26	8	8	1	17
27	7	4	7	18
28	4	8	7	19
29	4	5	4	13
30	3	3	7	13
31	7	4	2	13
32	5	3	5	13
33	5	5	1	11
34	6	4	4	14
35	6	7	3	16
36	7	11	6	24
37	12	13	6	31
38	5	10	5	20
39	7	4	7	18
40	9	7	3	19
41	8	5	5	18
42	8	3	9	20
43	5	6	4	15
44	6	8	3	17

Data pengamatan *defect* untuk masing-masing operator (lanjutan)

Ulangan	Operator			Y.j
	A	B	C	
45	7	7	3	17
46	7	9	8	24
47	6	7	11	24
48	8	6	16	30
49	10	11	3	24
50	9	11	3	23
51	7	7	4	18
52	3	8	9	20
53	3	7	4	14
54	5	4	3	12
55	6	4	6	16
56	2	4	2	8
57	4	4	3	11
58	7	7	4	18
59	4	7	3	14
60	9	8	1	18
61	7	4	5	16
62	3	5	4	12
63	3	7	4	14
64	6	7	5	18
65	4	6	2	12
66	4	3	4	11
67	1	7	5	13
68	9	4	4	17
69	11	6	2	19
70	4	6	5	15
71	7	6	3	16
72	8	8	3	19
73	8	7	9	24
74	10	4	12	26
75	9	3	6	18
76	7	5	4	16
77	3	7	3	13
78	4	2	9	15
79	9	6	3	18
80	4	7	7	18
81	3	11	8	22
82	6	8	7	21
83	2	8	8	18
84	3	5	11	19
85	4	11	16	31
86	4	9	3	16
87	4	5	3	12
88	3	9	7	19

Data pengamatan *defect* untuk masing-masing operator (lanjutan)

Ulangan	Operator			Y.j
	A	B	C	
89	5	4	4	13
90	6	3	6	15
91		3	4	7
92		2	4	6
93		4		4
94		4		4
95		4		4
96		4		4
97		4		4
98		7		7
Yi.	542	602	471	1615

Perhitungan :

$$df_p = t - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$df_E = \sum_{i=1}^3 (r_i - 1) = (90 - 1) + (92 - 1) + (98 - 1) = 277$$

$$df_T = \sum_{i=1}^3 r_i - 1 = (90 + 98 + 92) - 1 = 279$$

$$FK = \frac{Y..^2}{\sum_{i=1}^3 r_i} = \frac{(1615)^2}{280} = \frac{2608225}{280} = 9315,089286$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{98} Y_{ij}^2 - FK$$

$$= (9 + 100 + 1 + 1 + 1 + 36 + 36 + \dots + 16) - 9315,089286$$

$$= 11411 - 9315,089286 = 2095,910714$$

$$SS_P = \sum_{i=1}^3 \frac{Y_{i..}^2}{r_i} - FK = \left(\frac{542^2}{90} + \frac{602^2}{98} + \frac{471^2}{92} \right) - 9315,089286$$

$$= 3264,044444 + 3698 + 2411,315217 - 9315,089286 = 58,27037539$$

$$SS_E = SS_T - SS_P = 2095,910714 - 58,27037539 = 2037,640339$$

$$MS_p = \frac{SS_p}{df_p} = \frac{58,27037539}{2} = 29,1351877$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{df_E} = \frac{2037,640339}{277} = 7,356102307$$

Hipotesa :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0$$

$$H_1 : \text{paling sedikit ada sepasang perlakuan dimana } \mu_i \neq \mu_j$$

Dimana μ_i = operator ke i

$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ artinya tidak ada perbedaan pengukuran antara ketiga operator

Statistik Uji :

$$F = \frac{MS_p}{MS_E} = \frac{29,1351877}{7,356102307} = 3,96068$$

$$F_{tabel} = F_{\alpha, df_p, df_E} = F_{0,05 ; 2 ; 277} = 3,00$$

Kaidah pengambilan keputusan :

Jika $F > F_{tabel}$ H_0 ditolak, artinya operator berpengaruh. Karena $F > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak. Dengan demikian dengan operator yang berbeda dihasilkan jumlah defect yang berbeda.

Untuk CTQ yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama.

Uji pengaruh operator inspeksi terhadap Defect

Analysis of Variance for defect					
Source	DF	SS	MS	F	P
operator	2	58,27	29,14	3,96	0,020
Error	277	2037,64	7,36		
Total	279	2095,91			

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean			
				Based on Pooled StDev			
1	90	6,022	2,772	(-----*	-----)		
2	98	6,143	2,364	(-----*	-----)		
3	92	5,120	2,987	(-----*	-----)		
Pooled StDev = 2,712				4,80	5,40	6,00	6,60

Uji pengaruh operator inspeksi terhadap toleransi CR

Analysis of Variance for cr

Source	DF	SS	MS	F	P
operator	2	0,046	0,023	0,11	0,894
Error	277	56,744	0,205		
Total	279	56,790			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+
1	90	0,1800	0,6216	(-----*-----)
2	98	0,1735	0,3963	(-----*-----)
3	92	0,2033	0,2799	(-----*-----)
Pooled StDev =				0,120 0,180 0,240

Uji pengaruh operator inspeksi toleransi SP

Analysis of Variance for sp

Source	DF	SS	MS	F	P
operator	2	0,4026	0,2013	5,09	0,007
Error	277	10,9618	0,0396		
Total	279	11,3644			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+
1	90	0,2044	0,1919	(-----*-----)
2	98	0,1786	0,2042	(-----*-----)
3	92	0,2685	0,2000	(-----*-----)
Pooled StDev =				0,150 0,200 0,250 0,300

Uji pengaruh operator inspeksi terhadap Tebal Max1

Analysis of Variance for max1

Source	DF	SS	MS	F	P
operator	2	0,000531	0,000266	0,67	0,513
Error	277	0,110006	0,000397		
Total	279	0,110537			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+
1	90	2,0761	0,0200	(-----*-----)
2	98	2,0765	0,0201	(-----*-----)
3	92	2,0792	0,0196	(-----*-----)
Pooled StDev =				2,0720 2,0755 2,0790 2,0825

Uji pengaruh operator inspeksi terhadap Tebal Max2

Analysis of Variance for max2

Source	DF	SS	MS	F	P
operator	2	0,000412	0,000206	0,54	0,585
Error	277	0,106137	0,000383		
Total	279	0,106549			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+
1	90	2,0737	0,0208	(-----*-----)
2	98	2,0738	0,0184	(-----*-----)
3	92	2,0763	0,0196	(-----*-----)
Pooled StDev =				2,0700 2,0730 2,0760 2,0790

Uji pengaruh operator inspeksi terhadap Tebal Min1

Analysis of Variance for min1

Source	DF	SS	MS	F	P
operator	2	0,002156	0,001078	3,55	0,030
Error	277	0,084043	0,000303		
Total	279	0,086199			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev				
1	90	2,0477	0,0166	(-----*	-----)		
2	98	2,0448	0,0163	(-----*	-----)		
3	92	2,0515	0,0193	(-----*	-----)		
				-----+	-----+	-----+	-----
Pooled StDev =		0,0174		2,0440	2,0480	2,0520	

Uji pengaruh operator inspeksi terhadap Tebal Min2

Analysis of Variance for min2

Source	DF	SS	MS	F	P
operator	2	0,001053	0,000526	1,72	0,182
Error	277	0,084958	0,000307		
Total	279	0,086011			

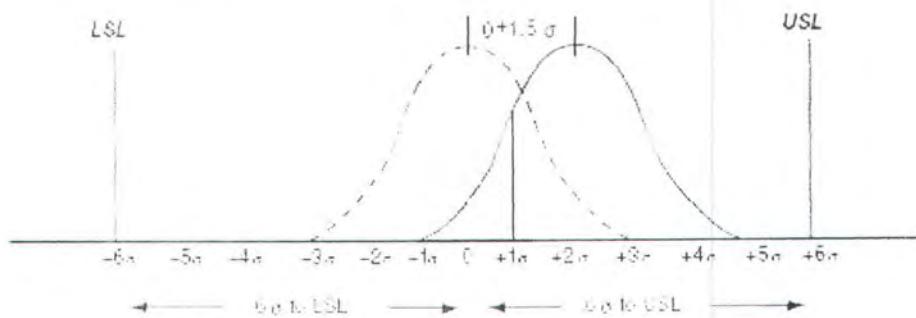
Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev				
1	90	2,0462	0,0181	(-----*	-----)		
2	98	2,0439	0,0158	(-----*	-----)		
3	92	2,0486	0,0187	(-----*	-----)		
				-----+	-----+	-----+	-----
Pooled StDev =		0,0175		2,0405	2,0440	2,0475	2,0510

Lampiran F Perhitungan DPMO

1. Perhitungan DPMO Six Sigma Motorola

a. Pergeseran $+1\sigma$



Batas $\pm 1\sigma$

$$x = \mu - 0.5\sigma$$

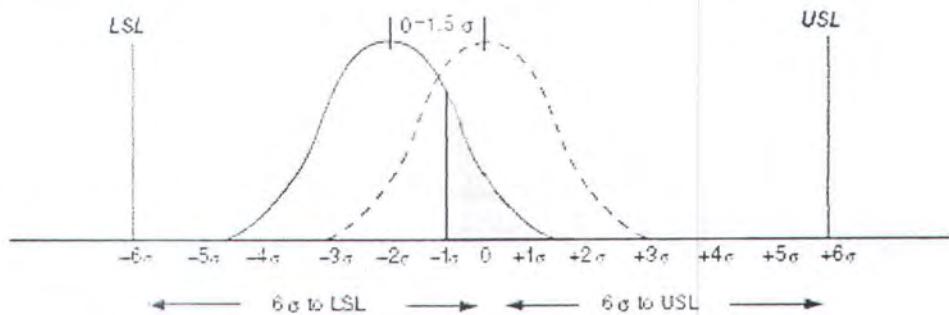
$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{(\mu - 0.5\sigma) - \mu}{\sigma} = -0.5$$

$$P(X < x) = P(Z < z) = P(Z < -0.5) = 0.308537 \approx 0.308538 = 30.8538\%$$

$$DPMO = (1 - 0.308538) \times 1000000 = 691462$$

Untuk batas spesifikasi yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama.

b. Pergeseran -1σ



Batas -1σ

$$x = \mu + 0.5\sigma$$

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{(\mu + 0.5\sigma) - \mu}{\sigma} = 0.5$$

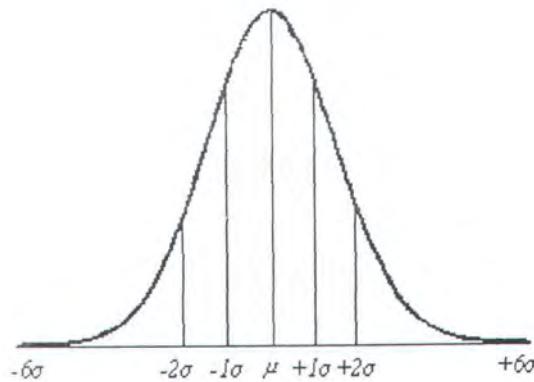
$$P(X > x) = P(Z > z) = P(Z > 0.5) = 1 - P(Z < 0.5)$$

$$= 1 - 0.69146246 = 0.3085375 \approx 0.3308538 = 30.8538 \%$$

$$\text{DPMO} = (1 - 0.308538) \times 1000000 = 691462$$

Untuk batas spesifikasi yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama.

2. Perhitungan DPMO *True Six Sigma*



Batas $\pm 1\sigma$

$$x_1 = \mu - 1\sigma$$

$$x_2 = \mu + 1\sigma$$

$$z_1 = \frac{x_1 - \mu}{\sigma} = \frac{(\mu - 1\sigma) - \mu}{\sigma} = -1$$

$$z_2 = \frac{x_2 - \mu}{\sigma} = \frac{(\mu + 1\sigma) - \mu}{\sigma} = 1$$

$$P(x_1 < X < x_2) = P(z_1 < Z < z_2) = P(Z < 1) - P(Z < -1)$$

$$= 0.84134474 - 0.15865526 = 0.6826895 \approx 0.6827$$

$$= 68.27 \%$$

$$\text{DPMO} = (1 - 0.6827) \times 1000000 = 317300$$

Untuk batas spesifikasi yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama.

Lampiran G Konversi Luasan Dibawah Kurva Normal Ke Nilai Sigma

Sigma	DPMO	Yield
6	3.4	99.99966 %
5.9	5.4	99.99946 %
5.8	8.5	99.99915 %
5.7	13	99.99866 %
5.6	21	99.9979 %
5.5	32	99.9968 %
5.4	48	99.9952 %
5.3	72	99.9928 %
5.2	1.8	99.9892 %
5.1	159	99.984 %
5	233	99.977 %
4.9	337	99.966 %
4.8	483	99.952 %
4.7	687	99.931 %
4.6	968	99.90 %
4.5	1350	99.87 %
4.4	1866	99.81 %
4.3	2555	99.74 %
4.2	3467	99.65 %
4.1	4661	99.53 %
4	6210	99.38 %
3.9	8198	99.18 %
3.8	10724	98.9 %
3.7	13903	98.6 %
3.6	17864	98.2 %
3.5	22750	97.7 %
3.4	28716	97.1 %
3.3	35930	96.4 %
3.2	44565	95.5 %
3.1	54799	94.5 %

Sigma	DPMO	Yield
3	66807	93.3 %
2.9	80757	91.9 %
2.8	96801	90.3 %
2.7	115070	88.5 %
2.6	135666	86.4 %
2.5	158655	84.1 %
2.4	184060	81.6 %
2.3	211855	78.8 %
2.2	241964	75.8 %
2.1	274253	72.6 %
2	308538	69.1 %
1.9	344578	65.5 %
1.8	382089	61.8 %
1.7	420740	57.9 %
1.6	460172	54.0 %
1.5	500000	50.0 %
1.4	539828	46.0 %
1.3	579260	38.2 %
1.2	617911	34.5 %
1	691462	30.9 %
0.9	725747	27.4 %
0.8	758036	24.2 %
0.7	788145	21.2 %
0.6	815940	18.4 %
0.5	841345	15.9 %
0.4	864334	13.6 %
0.3	884930	11.5 %
0.2	903199	9.7 %
0.1	919243	8.1 %

Lampiran H Faktor Untuk Membentuk Grafik Pengendali Variabel

Observasi dalam Sampel n_i	Grafik Rata-rata			Grafik deviasi standar						Grafik Rentang						
	Faktor untuk Batas pengendali		Garis tengah	Faktor untuk Batas pengendali			Faktor untuk Garis tengah		Faktor untuk Batas pengendali							
	A	A_2		c_4	I/c_4	B_2	B_4	B_5	d_2	I/d_2	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4	
2	2.121	1.880	2.359	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.129	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.601	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9227	0.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.496	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.82	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.64	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2617	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.72	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.450	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	4.541

Untuk $n > 25$

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}}, A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}, c_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3},$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}, B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}},$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}, B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

Lampiran I Kuantil-kuantil Statistik Uji Kolmogorov-Smirnov

Uji satu sisi	$p = 0.90$	0.95	0.975	0.99	0.995
Uji dua sisi	$p = 0.80$	0.90	0.95	0.98	0.99
$n = 1$.900	.950	.975	.990	.995
2	.684	.776	.842	.900	.929
3	.565	.636	.708	.785	.829
4	.493	.565	.624	.689	.734
5	.447	.509	.563	.627	.669
6	.410	.468	.519	.577	.617
7	.381	.436	.483	.538	.576
8	.358	.410	.454	.507	.542
9	.339	.387	.430	.480	.513
10	.323	.369	.409	.457	.489
11	.308	.352	.391	.437	.468
12	.296	.338	.375	.419	.449
13	.285	.325	.361	.404	.432
14	.275	.314	.349	.390	.418
15	.266	.304	.338	.377	.404
16	.258	.295	.327	.366	.392
17	.250	.286	.318	.355	.381
18	.244	.279	.309	.346	.371
19	.237	.271	.301	.337	.361
20	.232	.265	.294	.329	.352
21	.226	.259	.287	.321	.344
22	.221	.253	.281	.314	.337
23	.216	.247	.275	.307	.330
24	.212	.242	.269	.301	.323
25	.208	.238	.264	.295	.317
26	.204	.233	.259	.290	.311
27	.200	.229	.254	.284	.305
28	.197	.225	.250	.279	.300
29	.193	.221	.246	.275	.295
30	.190	.218	.242	.270	.290
31	.187	.214	.238	.266	.285
32	.184	.211	.234	.262	.281
33	.182	.208	.231	.258	.277
34	.179	.205	.227	.254	.273
35	.177	.202	.224	.251	.269
36	.174	.199	.221	.247	.265
37	.172	.196	.218	.244	.262
38	.170	.194	.215	.241	.258
39	.168	.191	.213	.238	.255
40	.165	.189	.210	.235	.252

Aproksimasi

Untuk $n > 40$

$$\frac{1.07}{\sqrt{n}} \quad \frac{1.22}{\sqrt{n}} \quad \frac{1.36}{\sqrt{n}} \quad \frac{1.52}{\sqrt{n}} \quad \frac{1.63}{\sqrt{n}}$$

Lampiran J Konversi DPMO Ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola

Nilai Sigma	DPMO						
0,00	933.193	0,51	838.913	1,02	684.386	1,53	488.033
0,01	931.888	0,52	836.457	1,03	680.822	1,54	484.047
0,02	930.563	0,53	833.977	1,04	677.242	1,55	480.061
0,03	929.219	0,54	831.472	1,05	673.645	1,56	476.078
0,04	927.855	0,55	828.944	1,06	670.031	1,57	472.097
0,05	926.471	0,56	826.391	1,07	666.402	1,58	468.119
0,06	925.066	0,57	823.814	1,08	662.757	1,59	464.144
0,07	923.641	0,58	821.214	1,09	659.097	1,60	460.172
0,08	922.196	0,59	818.589	1,10	655.422	1,61	456.205
0,09	920.730	0,60	815.940	1,11	651.732	1,62	452.242
0,10	919.243	0,61	813.267	1,12	648.027	1,63	448.283
0,11	917.736	0,62	810.570	1,13	644.309	1,64	444.330
0,12	916.207	0,63	807.850	1,14	640.576	1,65	440.382
0,13	914.656	0,64	805.106	1,15	636.831	1,66	436.441
0,14	913.085	0,65	802.338	1,16	633.072	1,67	432.505
0,15	911.492	0,66	799.546	1,17	629.300	1,68	428.576
0,16	909.877	0,67	796.731	1,18	625.516	1,69	424.655
0,17	908.241	0,68	793.892	1,19	621.719	1,70	420.740
0,18	906.582	0,69	791.030	1,20	617.911	1,71	416.834
0,19	904.902	0,70	788.145	1,21	614.092	1,72	412.936
0,20	903.199	0,71	785.236	1,22	610.261	1,73	409.046
0,21	901.475	0,72	782.305	1,23	606.420	1,74	405.165
0,22	899.727	0,73	779.350	1,24	602.568	1,75	401.294
0,23	897.958	0,74	776.373	1,25	598.706	1,76	397.432
0,24	896.165	0,75	773.373	1,26	594.835	1,77	393.580
0,25	894.350	0,76	770.350	1,27	590.954	1,78	389.739
0,26	892.512	0,77	767.305	1,28	587.064	1,79	385.908
0,27	890.651	0,78	764.238	1,29	583.166	1,80	382.089
0,28	888.767	0,79	761.148	1,30	579.260	1,81	378.281
0,29	886.860	0,80	758.036	1,31	575.345	1,82	374.484
0,30	884.930	0,81	754.903	1,32	571.424	1,83	370.700
0,31	882.977	0,82	751.748	1,33	567.495	1,84	366.928
0,32	881.000	0,83	748.571	1,34	563.559	1,85	363.169
0,33	878.999	0,84	745.373	1,35	559.618	1,86	359.424
0,34	876.976	0,85	742.154	1,36	555.670	1,87	355.691
0,35	874.928	0,86	738.914	1,37	551.717	1,88	351.973
0,36	872.857	0,87	735.653	1,38	547.758	1,89	348.268
0,37	870.762	0,88	732.371	1,39	543.795	1,90	344.578
0,38	868.643	0,89	729.069	1,40	539.828	1,91	340.903
0,39	866.500	0,90	725.747	1,41	535.856	1,92	337.243
0,40	864.334	0,91	722.405	1,42	531.881	1,93	333.598
0,41	862.143	0,92	719.043	1,43	527.903	1,94	329.969
0,42	859.929	0,93	715.661	1,44	523.922	1,95	326.355
0,43	857.690	0,94	712.260	1,45	519.939	1,96	322.758
0,44	855.428	0,95	708.840	1,46	515.953	1,97	319.178
0,45	853.141	0,96	705.402	1,47	511.967	1,98	315.614
0,46	850.830	0,97	701.944	1,48	507.978	1,99	312.067
0,47	848.495	0,98	698.468	1,49	503.989	2,00	308.538
0,48	846.136	0,99	694.974	1,50	500.000	2,01	305.026
0,49	843.752	1,00	691.462	1,51	496.011	2,02	301.532
0,50	841.345	1,01	687.933	1,52	492.022	2,03	298.056

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola (lanjutan)

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
2,04	294.598	2,55	146.859	3,06	59.380	3,57	19.226
2,05	291.160	2,56	144.572	3,07	58.208	3,58	18.763
2,06	287.740	2,57	142.310	3,08	57.053	3,59	18.309
2,07	284.339	2,58	140.071	3,09	55.917	3,60	17.864
2,08	280.957	2,59	137.857	3,10	54.799	3,61	17.429
2,09	277.595	2,60	135.666	3,11	53.699	3,62	17.003
2,10	274.253	2,61	133.500	3,12	52.616	3,63	16.586
2,11	270.931	2,62	131.357	3,13	51.551	3,64	16.177
2,12	267.629	2,63	129.238	3,14	50.503	3,65	15.778
2,13	264.347	2,64	127.143	3,15	49.471	3,66	15.386
2,14	261.086	2,65	125.072	3,16	48.457	3,67	15.003
2,15	257.846	2,66	123.024	3,17	47.460	3,68	14.629
2,16	254.627	2,67	121.001	3,18	46.479	3,69	14.262
2,17	251.429	2,68	119.000	3,19	45.514	3,70	13.903
2,18	248.252	2,69	117.023	3,20	44.565	3,71	13.553
2,19	245.097	2,70	115.070	3,21	43.633	3,72	13.209
2,20	241.964	2,71	113.140	3,22	42.716	3,73	12.874
2,21	238.852	2,72	111.233	3,23	41.815	3,74	12.545
2,22	235.762	2,73	109.349	3,24	40.929	3,75	12.224
2,23	232.695	2,74	107.488	3,25	40.059	3,76	11.911
2,24	229.650	2,75	105.650	3,26	39.204	3,77	11.604
2,25	226.627	2,76	103.835	3,27	38.364	3,78	11.304
2,26	223.627	2,77	102.042	3,28	37.538	3,79	11.011
2,27	220.650	2,78	100.273	3,29	36.727	3,80	10.724
2,28	217.695	2,79	98.525	3,30	35.930	3,81	10.444
2,29	214.764	2,80	96.801	3,31	35.148	3,82	10.170
2,30	211.855	2,81	95.098	3,32	34.379	3,83	9.903
2,31	208.970	2,82	93.418	3,33	33.625	3,84	9.642
2,32	206.108	2,83	91.759	3,34	32.884	3,85	9.387
2,33	203.269	2,84	90.123	3,35	32.157	3,86	9.137
2,34	200.454	2,85	88.508	3,36	31.443	3,87	8.894
2,35	197.662	2,86	86.915	3,37	30.742	3,88	8.656
2,36	194.894	2,87	85.344	3,38	30.054	3,89	8.424
2,37	192.150	2,88	83.793	3,39	29.379	3,90	8.198
2,38	189.430	2,89	82.264	3,40	28.716	3,91	7.976
2,39	186.733	2,90	80.757	3,41	28.067	3,92	7.760
2,40	184.060	2,91	79.270	3,42	27.429	3,93	7.549
2,41	181.411	2,92	77.804	3,43	26.803	3,94	7.344
2,42	178.786	2,93	76.359	3,44	26.190	3,95	7.143
2,43	176.186	2,94	74.934	3,45	25.588	3,96	6.947
2,44	173.609	2,95	73.529	3,46	24.998	3,97	6.756
2,45	171.056	2,96	72.145	3,47	24.419	3,98	6.569
2,46	168.528	2,97	70.781	3,48	23.852	3,99	6.387
2,47	166.023	2,98	69.437	3,49	23.295	4,00	6.210
2,48	163.543	2,99	68.112	3,50	22.750	4,01	6.037
2,49	161.087	3,00	66.807	3,51	22.216	4,02	5.868
2,50	158.655	3,01	65.522	3,52	21.692	4,03	5.703
2,51	156.248	3,02	64.256	3,53	21.178	4,04	5.543
2,52	153.864	3,03	63.008	3,54	20.675	4,05	5.386
2,53	151.505	3,04	61.780	3,55	20.182	4,06	5.234
2,54	149.170	3,05	60.571	3,56	19.699	4,07	5.085

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola (lanjutan)

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
4,08	4.940	4,59	1.901	5,10	159	5,61	20
4,09	4.799	4,60	968	5,11	153	5,62	19
4,10	4.661	4,61	936	5,12	147	5,63	18
4,11	4.527	4,62	904	5,13	142	5,64	17
4,12	4.397	4,63	874	5,14	136	5,65	17
4,13	4.269	4,64	845	5,15	131	5,66	16
4,14	4.145	4,65	816	5,16	126	5,67	15
4,15	4.025	4,66	789	5,17	121	5,68	15
4,16	3.907	4,67	762	5,18	117	5,69	14
4,17	3.793	4,68	736	5,19	112	5,70	13
4,18	3.681	4,69	711	5,20	108	5,71	13
4,19	3.573	4,70	687	5,21	104	5,72	12
4,20	3.467	4,71	664	5,22	100	5,73	12
4,21	3.364	4,72	641	5,23	96	5,74	11
4,22	3.264	4,73	619	5,24	92	5,75	11
4,23	3.167	4,74	598	5,25	88	5,76	10
4,24	3.072	4,75	577	5,26	85	5,77	10
4,25	2.980	4,76	557	5,27	82	5,78	9
4,26	2.890	4,77	538	5,28	78	5,79	9
4,27	2.803	4,78	519	5,29	75	5,80	9
4,28	2.718	4,79	501	5,30	72	5,81	8
4,29	2.635	4,80	483	5,31	70	5,82	8
4,30	2.555	4,81	467	5,32	67	5,83	7
4,31	2.477	4,82	450	5,33	64	5,84	7
4,32	2.401	4,83	434	5,34	62	5,85	7
4,33	2.327	4,84	419	5,35	59	5,86	7
4,34	2.256	4,85	404	5,36	57	5,87	6
4,35	2.186	4,86	390	5,37	54	5,88	6
4,36	2.118	4,87	376	5,38	52	5,89	6
4,37	2.052	4,88	362	5,39	50	5,90	5
4,38	1.988	4,89	350	5,40	48	5,91	5
4,39	1.926	4,90	337	5,41	46	5,92	5
4,40	1.866	4,91	325	5,42	44	5,93	5
4,41	1.807	4,92	313	5,43	42	5,94	5
4,42	1.750	4,93	302	5,44	41	5,95	4
4,43	1.695	4,94	291	5,45	39	5,96	4
4,44	1.641	4,95	280	5,46	37	5,97	4
4,45	1.589	4,96	270	5,47	36	5,98	4
4,46	1.538	4,97	260	5,48	34	5,99	4
4,47	1.489	4,98	251	5,49	33	6,00	3
4,48	1.441	4,99	242	5,50	32		
4,49	1.395	5,00	233	5,51	30		
4,50	1.350	5,01	224	5,52	29		
4,51	1.306	5,02	216	5,53	28		
4,52	1.264	5,03	208	5,54	27		
4,53	1.223	5,04	200	5,55	26		
4,54	1.183	5,05	193	5,56	25		
4,55	1.144	5,06	185	5,57	24		
4,56	1.107	5,07	179	5,58	23		
4,57	1.070	5,08	172	5,59	22		
4,58	1.035	5,09	165	5,60	21		

Catatan: Tabel konversi ini mencakup pergeseran 1,5-sigma untuk semua nilai Z.

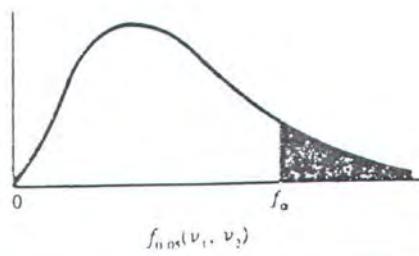
Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Lampiran K Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)

Process Step	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	Severity	Potential Causes	Occurance	Current Control	Detection	RPN
Proses Melting	Munculnya buble	Loss karena defect tinggi	5	Material sukar lebur	2	Rasio material diatur dan direncanakan sehingga beban melting kecil	1	10
				Temperatur tidak setimbang	7	Mengacu pada control chart dan catatan sejarah	1	35
		Produktivitas turun	5	Material sukar lebur	2	Rasio material diatur dan direncanakan sehingga beban melting kecil	1	10
				Temperatur tidak setimbang	7	Mengacu pada control chart dan catatan sejarah	1	35
		Loss karena defect tinggi	6	hidrogen rendah	7	Hidrogen disetting 10%, flow min 100 nm ² /jam	2	84
				Tekanan metal bath terlalu tinggi	7	Penggunaan venting out yang optimum dan control exit drape	1	42
				banyak kebocoran	7	Seal metal bath dikontrol selalu	1	42
Proses Drawing	Munculnya fine drip	Reseleksi	7	hidrogen rendah	7	Hidrogen disetting 10%, flow min 100 nm ² /jam	2	98
				Tekanan metal bath terlalu tinggi	7	Penggunaan venting out yang optimum dan control exit drape	1	49
				banyak kebocoran	7	Seal metal bath dikontrol selalu	1	49
				Kaca dibuang	9	Pull kontrol harus pas	1	54
	Tebal tidak sesuai standar		6	Pull kurang atau lebih		Cek tebal	1	54

Process Step	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	Severity	Potential Causes	Occurance	Current Control	Detection	RPN
Proses Cutting	Muncul Chipping dan Cullet	Reseleksi	5	Cutter kurang tajam	7	Cek hasil potongan	6	210
				Proses cooling tidak sempurna	6	Cek temperatur pada proses cooling	6	150
		Kaca dibuang	6	Cutter kurang tajam	7	Cek hasil potongan	6	252
				Proses cooling tidak sempurna	6	Cek temperatur pada proses cooling	6	216
	Size tidak sesuai standar	Reseleksi	5	Setting ukuran tidak pas	3	Cek size	1	15
				Setting cutter tidak pas	6	Kontrol posisi cutter	1	30
		Kaca dibuang	6	Setting ukuran tidak pas	3	Cek size	1	15
				Setting cutter tidak pas	6	Kontrol posisi cutter	1	30

Lampiran L Nilai Kritis Sebaran F



v ₂	v ₁								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

Lampiran M Wilayah Luas Di Bawah Kurva Normal

<i>z</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0149	0.0116	0.0112	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0352	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0722	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1758	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.2	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.3	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.4	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.5	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.6	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.7	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.8	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.9	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9278	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982-	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998