

**PENGENDALIAN PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN
GRAFIK KENDALI T^2 HOTELLING DENGAN *RUN RULES*
(Studi Kasus pada Produksi Semen Jenis *Ordinary Portland Cement (OPC)*
di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.)**

SKRIPSI

oleh :

**TUKHFATUL MARDLIYAH
0510950059-95**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2009**

**PENGENDALIAN PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN
GRAFIK KENDALI T^2 HOTELLING DENGAN *RUN RULES*
(Studi Kasus pada Produksi Semen Jenis *Ordinary Portland Cement (OPC)*
di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika

oleh :

TUKHFATUL MARDLIYAH

0510950059-95



**PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2009**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGENDALIAN PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN
GRAFIK KENDALI T^2 HOTELLING DENGAN *RUN RULES*
(Studi Kasus pada Produksi Semen Jenis *Ordinary Portland Cement*
(OPC) di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.)**

oleh:

TUKHFATUL MARDLIYAH
0510950059-95

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 13 April 2009
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. Loekito Adi S, M.Agr. **Dra. Ani Budi Astuti, M.Si**
NIP. 130 518 961 **NIP. 131 993 385**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Brawijaya
Malang

Dr. Agus Suryanto, M.Sc
NIP. 132 126 049

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : TUKHFATUL MARDLIYAH
NIM : 0510950059-95
Jurusan : STATISTIKA
Penulis Skripsi berjudul :

**PENGENDALIAN PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN
GRAFIK KENDALI T² HOTELLING DENGAN *RUNRULES***
(Studi Kasus pada Produksi Semen Jenis *Ordinary Portland Cement*
(OPC) di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.)

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan segala kesadaran

Malang, 13 April 2009
Yang menyatakan,

TUKHFATUL MARDLIYAH
NIM. 0510950059-95

PENGENDALIAN PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN GRAFIK KENDALI T^2 HOTELLING DENGAN *RUN RULES* (Studi Kasus pada Produksi Semen Jenis *Ordinary Portland Cement* (OPC) di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.

ABSTRAK

PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. merupakan pabrik penghasil semen. Salah satu jenis semen yang dihasilkan adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC) yang memiliki enam variabel yang berhubungan yaitu *blaine*, *free lime*, SO_3 , CaO, *mesh*, dan *time* sehingga dikendalikan secara simultan menggunakan grafik kendali T^2 Hotelling. Grafik kendali T^2 Hotelling hanya menggunakan batas kendali atas (BPA). Suatu titik dikatakan tidak terkendali (*out-of-control*) jika titik-titik pengamatan keluar dari batas kendali dan memiliki pola yang tidak acak sehingga ditambahkan aturan run (*run rules*) sebagai salah satu cara untuk mendeteksi kondisi *out-of-control*. Jika titik-titik melewati BPA maka dilanjutkan dengan dekomposisi nilai T^2 menggunakan dekomposisi MYT (Mason Yuong Tracy). Pada penelitian ini, semen OPC belum terkendali. Hal ini ditandai dengan adanya 8 titik yang *out-of-control* yaitu 6 titik memenuhi *run rules* I dan 2 titik memenuhi *run rules* II. 6 titik yang memenuhi *run rules* I didekomposisi MYT untuk mengetahui variabel yang menyebabkan titik-titik tersebut tidak terkendali. Variabel tersebut adalah *blaine*, *free lime*, SO_3 dan *mesh*. Dengan diagram pareto diketahui bahwa 78.6% ketidaksesuaian OPC hanya disebabkan *blaine* dan *mesh*. Selanjutnya dengan diagram sebab akibat didapatkan 14 faktor (berdasarkan pendapat karyawan di bagian penggilingan akhir) sebagai penyebab masalah dan dengan *Nominal Group Technique* (NGT) didapatkan 8 faktor dominan yang menyebabkan OPC tidak terkendali.

Kata Kunci : Grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules* , Dekomposisi MYT, NGT.

**PRODUCTION PROCESS CONTROL USING T²
HOTELLING CONTROL CHART WITH RUN RULES**
(A Case Study on Production of Ordinary Portland Cement (OPC)
Type Cement at PT. Semen Gresik (Persero) Tbk.)

ABSTRACT

PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. is a cement manufacturing company. One of the types of cement produced by the factory is Ordinary Portland Cement (OPC) which has six related variables i.e. blaine, free lime, SO₃, CaO, mesh, and time, They are simultaneously controlled using T² Hotelling control chart. T² Hotelling control chart uses upper control limit only. A point is stated as out-of-control if observation points are beyond the limit and have non-random pattern, so that it is necessary to add run rules i.e beyond to detect an out-of-control condition. If the points pass over the control limit, then it is followed by decomposition of T² values using MYT (Mason Young Tracy) decomposition. In this research, OPC cement production was not controlled yet. This could be seen from the emergence of 8 out-of-control points which consisted of 6 points that fulfilled run rules I and 2 points that fulfilled run rules II. By using Pareto diagram it was clear that 78.6% of OPC inappropriateness was only caused by blaine and mesh; the cause-and-effect diagram showed that there were 14 factors (based on the opinion of finish-mill section worker) that caused problem and NGT resulted in 8 dominant factors which caused OPC being out-of-control.

Key Words: T² Hotelling control chart with run rules, out-of-control, decomposition of MYT.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Dalam penyusunan skripsi ini cukup banyak bantuan yang diberikan berbagai pihak, baik berupa bimbingan maupun saran. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Loekito Adi S, M.Agr. selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dra. Ani Budi Astuti, M.Si, selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan dan arahan yang telah diberikan
2. Ibu Ir. Soepraptini, MSc, Ibu Suci Astutik, S.Si., MSi dan Bapak Adji Achmad R. F., S.Si, MSc selaku dosen penguji atas saran dan masukan yang diberikan
3. Bapak Dr. Agus Suryanto, M.Sc selaku Ketua Jurusan Matematika
4. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Matematika Universitas Brawijaya
5. Ibu, Bapak, kakakku dan Masku di rumah yang senantiasa memberikan doa dan motivasi
6. Teman-teman Statistika-UB angkatan 2005 atas kerja sama dan kebersamaannya selama ini
7. kakak-kakak dan adik-adik tingkatku, terima kasih buat support dan dukungannya.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberikan dorongan selama penulisan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharap kritik dan saran dari pembaca. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Malang, 13 April 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Korelasi	5
2.2 Distribusi Normal Multivariat	6
2.3 Metode Statistika Pengendalian Kualitas	9
2.4 Bentuk Dasar Grafik Kendali	10
2.4.1 Grafik Kendali Multivariat	11
2.4.2 Grafik Kendali T^2 Hotelling	12
2.4.3 Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan <i>Run Rules</i>	15
2.4.4 Dekomposisi MYT (Mason Young Tracy)	16
2.5 Diagram Pareto	18
2.6 Diagram Sebab-Akibat	19
2.7 <i>Nominal Group Technique</i> (NGT)	20
2.8 Ukuran Sampel dan Subsampel	21
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Data	23
3.2 Metode Penelitian	23
3.2.1 Uji Nilai Korelasi	23

3.2.2 Uji Kenormalan	24
3.2.3 Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan <i>Run Rules</i>	24
3.2.4 Dekomposisi MYT (Mason Young Tracy)	25
3.2.5 Diagram Pareto.....	25
3.2.6 Diagram Sebab-Akibat.....	25
3.2.7 <i>Nominal Group Technique</i> (NGT)	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Korelasi Data	29
4.2 Uji Kenormalan Data	29
4.3 Pengendalian Tahap Pertama	31
4.3.1 Pengendalian Tahap Kedua (<i>Run Rules</i>)	33
4.4 Diagram Pareto.....	36
4.5 Diagram Sebab-Akibat	37
4.6 <i>Nominal Group Technique</i> (NGT).....	37

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39

DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Grafik kendali Univariat 11
Gambar 2.2	Grafik kendali Multivariat 12
Gambar 2.3	Grafik Kendali T^2 Hotelling 14
Gambar 2.4	Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan <i>Run Rules</i> .. 15
Gambar 2.5	Diagram Pareto..... 19
Gambar 2.6	Diagram Sebab-Akibat 20
Gambar 3.1	Langkah-langkah Analisis Proses Produksi Semen jenis OPC 27
Gambar 4.1	Q-Q Plot Data Semen OPC 30
Gambar 4.2	Grafik Kendali T^2 Hotelling Tahap I (Kendali I) 31
Gambar 4.3	Grafik Kendali T^2 Hotelling Tahap I (Kendali II) 32
Gambar 4.4	Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan <i>Run Rules</i> .. 33
Gambar 4.5	Diagram Pareto Variabel OPC 35
Gambar 4.6	Diagram sebab-Akibat Kehalusan Semen 36

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Nilai Korelasi Antar Variabel OPC	28
Tabel 4.2 Dekomposisi Titik-titik yang Tidak Terkendali Pada Grafik Kendali T^2 Hotelling Tahap I	31
Tabel 4.3 Dekomposisi Titik-titik yang Tidak Terkendali Pada Grafik Kendali T^2 dengan <i>Run Rules</i>	34



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data OPC Tanggal 5 April sampai 26 Juni 2008 (Data Masa Lalu).....	43
Lampiran 2. Data OPC Tanggal 2 Juli sampai 18 Oktober 2008 (Data Masa Sekarang)	53
Lampiran 3. <i>Macro</i> Q-Q Plot dengan <i>Software</i> MINITAB 14	62
Lampiran 4. <i>Macro</i> Grafik Kendali Hotalling dengan <i>Run Rules</i> dengan <i>Software</i> Matlab 7.1	63
Lampiran 5. Nilai Korelasi Antar Variabel	68
Lampiran 6. Nilai T^2 Data OPC Masa Lalu	69
Lampiran 7. Nilai T^2 Data OPC Masa Sekarang.....	71
Lampiran 8. Tabel Pendapat Karyawan di Bagian Penggilingan Akhir (<i>finish mill</i>)	73



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Makin pesatnya perkembangan perindustrian maka makin banyak pula pesaing yang memproduksi barang yang sama sehingga produsen berusaha menjadi yang terbaik untuk menarik konsumen sebanyak-banyaknya. Dalam rangka menarik minat konsumen itulah, produsen harus mempunyai suatu keunggulan dibanding pesaingnya. Beberapa keunggulan yang perlu diutamakan adalah kualitas barang dan jasa yang dihasilkan. Keinginan konsumen adalah mendapatkan barang atau jasa dengan kualitas yang terbaik.

PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. merupakan pabrik penghasil semen. Salah satu jenis semen yang dihasilkan adalah *Ordinary Portland Cement* (OPC) (Anonymous, 2004). Dalam memproduksi OPC, diperlukan kontrol untuk mendapatkan kualitas sesuai dengan harapan produsen.

Metode yang digunakan untuk mengontrol proses produksi adalah *Statistical Process Control* (SPC). SPC yang paling sering digunakan adalah grafik kendali. Grafik kendali berfungsi untuk mengetahui keadaan yang terkendali secara statistik, memonitor proses dan sinyal ketika proses tidak terkendali (Evans dan Lindsay, 2002).

Berdasarkan karakteristik kualitas yang diamati, grafik kendali terdiri dari grafik kendali atribut dan grafik kendali variabel. Grafik kendali variabel bisa terdiri dari univariat (satu variabel) dan multivariat (lebih dari satu variabel). Proses multivariat diperlukan pada dua atau lebih karakteristik kualitas yang saling berhubungan dan memerlukan kendali secara simultan (Montgomery, 1996).

Grafik kendali multivariat yang sering digunakan adalah grafik kendali T^2 Hotelling yang digunakan untuk mengetahui pergeseran rata-rata. Munikah (2002) telah melakukan penelitian untuk mengkaji grafik kendali T^2 Hotelling. Dalam penelitian tersebut aturan yang digunakan hanya menggunakan batas kendali atas. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah semua titik berada dalam batas kendali. Penggunaan grafik kendali T^2 Hotelling juga telah digunakan dalam laporan praktek kerja lapang Mardiyah (2008) di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. yang melaporkan bahwa terdapat titik-titik pengamatan yang tidak terkendali. Selanjutnya

dilakukan dekomposisi untuk mengetahui variabel yang menyebabkan paling banyak titik-titik pengamatan tidak terkendali.

Lebih lanjut, suatu titik dikatakan tidak terkendali jika titik-titik pengamatan tersebut keluar dari batas kendali dan memiliki pola yang tidak acak. Pada grafik kendali T^2 Hotelling terdapat aturan yang lebih spesifik untuk mengidentifikasi suatu titik dikatakan terkendali atau tidak terkendali. Grafik tersebut dikenal dengan grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules* (Aparisi *et al.*, 2004).

Pada penelitian ini grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules* akan diterapkan pada data OPC. Jika titik-titik melewati batas kendali maka dilanjutkan dengan proses dekomposisi nilai T^2 . Dekomposisi ini diperkenalkan oleh Mason, Young, dan Tracy yang selanjutnya dinamakan dekomposisi MYT (Mason *et al.*, 1995). Melalui dekomposisi ini dapat ditentukan variabel yang menyebabkan titik tidak terkendali. Selanjutnya pada variabel tersebut akan dicari penyebab utama timbulnya masalah menggunakan diagram sebab akibat.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menerapkan grafik kendali multivariat T^2 Hotelling dengan *run rules* pada data semen jenis OPC.
2. Bagaimana menentukan variabel yang menyebabkan proses tidak terkendali dengan Dekomposisi MYT.
3. Bagaimana menentukan penyebab timbulnya masalah (titik yang tidak terkendali) menggunakan diagram sebab akibat.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Metode yang digunakan adalah grafik kendali multivariat T^2 Hotelling dengan *run rules*, dekomposisi MYT dan diagram tulang ikan.
2. Data dibatasi hanya pada salah satu hasil produksi PT. Semen Gresik (Persero) Tbk., pada bagian pengendalian proses di *Finish Mill* yang berupa semen jenis *Ordinary Portland Cement* (OPC) dengan enam variabel yaitu *blaine*, *free lime*, SO_3 , CaO, *mesh* dan *time*.

1.4. Tujuan

Tujuan pada penelitian ini adalah :

1. Menerapkan grafik kendali multivariat T^2 Hotelling dengan *run rules* pada data semen OPC.
2. Menentukan variabel yang menyebabkan proses tidak terkendali dengan dekomposisi MYT.
3. Menentukan penyebab umum timbulnya masalah (titik yang tidak terkendali) menggunakan diagram sebab akibat.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah Grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules*, dekomposisi MYT dan diagram sebab-akibat dapat dijadikan sebagai metode untuk mengendalikan proses produksi OPC PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. pada pengendalian proses semen OPC selanjutnya.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korelasi

Korelasi menunjukkan tingkat/ukuran keeratan hubungan linier antara variabel X dan Y . Koefisien korelasi populasi yang dilambangkan dengan ρ didefinisikan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}} \quad (2.1)$$

di mana:

$\text{Cov}(X, Y)$ = ragam-peragam variabel X dan Y

$\text{Var}(X)$ = ragam variabel X

$\text{Var}(Y)$ = ragam variabel Y

(Walpole, 2002)

Skala untuk mengetahui keeratan hubungan di antara kedua variabel adalah $-1 \leq \rho \leq 1$. Jika $\rho = 0$ maka antar variabel tersebut tidak saling berkorelasi atau disebut saling bebas dan sebaliknya jika $\rho \neq 0$ maka terdapat korelasi antar kedua variabel.

Ukuran hubungan linier antara variabel X dan Y diduga dengan koefisien korelasi sampel yang dilambangkan dengan r , yaitu:

$$r_{xy} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2.2)$$

(Walpole, 2002)

Untuk mengetahui adanya korelasi antar dua variabel, hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0 : \rho = 0$ (tidak terdapat korelasi)

lawan

$H_1 : \rho \neq 0$ (terdapat korelasi)

Statistik uji yang digunakan untuk pengujian hipotesis tersebut adalah:

$$t_{hit} = \frac{r\sqrt{m-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2.3)$$

di mana:

r = koefisien korelasi sampel

m = ukuran sampel

Dengan kriteria keputusan jika nilai $|t_{hi}| < t_{\alpha/2(m-2)}$ atau p -value $\geq \alpha$ maka H_0 diterima pada taraf nyata α dan dapat disimpulkan bahwa kedua variabel saling bebas (tidak terdapat korelasi), sebaliknya jika $|t_{hi}| \geq t_{\alpha/2(m-2)}$ atau p -value $< \alpha$ maka H_0 ditolak pada taraf nyata α dan dapat disimpulkan bahwa kedua variabel tidak saling bebas (terdapat korelasi).

Setelah nilai korelasi antar variabel diketahui, selanjutnya dilakukan uji kenormalan data.

2.2 Distribusi Normal Multivariat

Variabel acak X yang berdistribusi normal univariat dengan rata-rata μ dan ragam σ^2 atau $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, memiliki fungsi kepekatan peluang sebagai berikut:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2\right]; -\infty < X < \infty \quad (2.4)$$

Bila terdapat variabel X_1, X_2, \dots, X_p yang berdistribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ maka fungsi kepekatan peluang multivariat untuk vektor X adalah:

$$f(X_1, X_2, \dots, X_p) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} \exp\left[-\frac{1}{2}(X-\mu)' \Sigma^{-1} (X-\mu)\right] \quad (2.5)$$

dengan μ sebagai vektor rata-rata berukuran $p \times 1$ dan Σ adalah matriks ragam-peragam berukuran $p \times p$. Vektor acak X yang berdistribusi normal p variabel dapat ditulis dengan $X \sim N_p(\mu, \Sigma)$ (Johnson dan Wichern, 2002).

Pada penelitian ini, m menyatakan ukuran sampel, n menyatakan ukuran subsampel, dan p menyatakan ukuran karakteristik kualitas (variabel).

Maka rata-rata untuk tiap sampel adalah :

$$\bar{X}_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{ijk}, \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.6)$$

Sedangkan rata-rata untuk tiap variabelnya adalah :

$$\bar{\bar{X}}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_{ij}, \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (2.7)$$

Peragam yang belum diketahui dapat dihitung dari data sampel yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S_{ijh} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_{ijk} - \bar{X}_{ij}) (X_{ihk} - \bar{X}_{ih}), \quad \begin{cases} k = 1, 2, \dots, n \\ j \neq h \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\bar{S}_{jh} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_{ijh} \quad (2.9)$$

$$\bar{S}_{ij}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2 (X_{ihk} - \bar{X}_{ih})^2, \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.10)$$

$$\bar{S}_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_{ij}^2, \quad j = 1, 2, \dots, h, \dots, p \quad (2.11)$$

di mana :

S_{ijh} = peragam sampel ke-i antara variabel ke-j dan variabel ke-h

\bar{S}_{jh} = rata-rata peragam variabel ke-j dan variabel ke-h

S_{ij}^2 = ragam sampel ke-i variabel ke-j

\bar{S}_j^2 = rata-rata ragam variabel ke-j

Matriks ragam-peragam sampel adalah :

$$S = \begin{bmatrix} \bar{S}_1^2 & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{22} & \dots & \bar{S}_{1p} \\ & \bar{S}_2^2 & \bar{S}_{23} & \dots & \bar{S}_{2p} \\ & & \bar{S}_3^2 & \dots & \vdots \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & \bar{S}_p^2 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Untuk memeriksa apakah suatu himpunan data mempunyai distribusi normal multivariat adalah dengan menggunakan Q-Q plot yang didasarkan pada jarak kuadrat atau jarak Mahalanobis. Jarak kuadrat dari vektor rata-rata populasi berdistribusi khi-kuadrat dengan derajat bebas p . Langkah-langkah untuk membuat Q-Q plot adalah sebagai berikut (Johnson dan Wichern, 2002) :

1. Hitung nilai d_i^2 sebagai berikut:

$$d_i^2 = (\bar{X}_i - \bar{X})^t S^{-1} (\bar{X}_i - \bar{X}) \quad (2.13)$$

2. Urutkan dari terkecil sampai terbesar sebagai berikut:

$$d_{(1)}^2 \leq d_{(2)}^2 \leq \dots \leq d_{(m)}^2$$

3. Untuk tiap d_i^2 dihitung nilai $\frac{(i-\frac{1}{2})}{m}$, di mana i adalah peringkat.

4. Hitung nilai q_i yaitu nilai khi-kuadrat dari $\frac{(i-\frac{1}{2})}{m}$ dengan derajat bebas p (banyaknya variabel) sebagai berikut:

$$q_i = \chi_p^2, \left(\frac{i-\frac{1}{2}}{m} \right) \quad (2.14)$$

bersesuaian dengan setiap $d_i^2, i=1,2,\dots,m$

5. Plot d_i^2 versus q_i untuk $i=1,2,\dots,m$ dan periksa kelinieran plot. Jika titik-titik tidak membentuk garis lurus, maka kuantil terobservasi tidak mengikuti distribusi khi-kuadrat, sehingga disimpulkan data tidak berdistribusi normal multivariat.

Data dikatakan berdistribusi normal multivariat jika plot cenderung membentuk garis lurus (linier) atau paling tidak 50% nilai d_i^2 lebih kecil dari $\chi_{p,0.05}^2$ ($d_i^2 \leq \chi_{p,0.05}^2$) (Anderson, 1984).

Jika data yang diperoleh tidak memenuhi asumsi normal multivariat maka dilakukan transformasi. Box dan Cox (1964) dalam Johnson dan Wichern (2002) mengusulkan suatu bentuk transformasi:

$$X^\lambda = \begin{cases} \frac{X^\lambda - 1}{\lambda} & , \lambda \neq 0 \\ \ln X & , \lambda = 0 \end{cases} \quad , \lambda \text{ kontinyu untuk } x > 0 \quad (2.15)$$

di mana : X = nilai amatan

X^λ = nilai duga amatan

Transformasi ini mempergunakan λ sebagai parameternya. λ yang digunakan adalah λ yang optimal yaitu λ menghasilkan jumlah kuadrat galat (*Mean Square Error* (MSE)) terkecil dengan persamaan berikut :

$$MSE = \frac{\sum (X^\lambda - X)^2}{m}$$

Untuk data multivariat, transformasi dilakukan pada setiap variabel secara terpisah. Jika data sudah ditransformasi tetapi belum normal multivariat maka grafik kendali T^2 Hotelling tidak bisa diterapkan pada data tersebut.

2.3. Metode Statistika Pengendalian Kualitas

Menurut Montgomery (1996), kualitas adalah sesuatu yang diputuskan oleh pelanggan. Lebih jauh dikatakan pula bahwa kualitas produk dan jasa didefinisikan sebagai keseluruhan gabungan karakteristik produk dan jasa dari pemasaran, pembuatan dan pemeliharaan yang membuat produk atau jasa memenuhi harapan pelanggan.

Pengendalian kualitas secara statistika merupakan suatu metode untuk memeriksa dan memelihara tingkat kualitas yang diinginkan suatu produk atau proses yang telah ditentukan dan kemudian dapat digunakan sebagai standar perbandingan apakah kualitas yang dihasilkan dalam suatu proses tersebut sudah memenuhi standar yang telah ditetapkan sehingga dapat diambil suatu tindakan apabila terjadi penyimpangan dalam proses (Montgomery, 1996).

Menurut Montgomery (1996), keragaman adalah faktor penyebab ketidaksamaan produk-produk yang dihasilkan. Dalam Statistika Pengendalian Kualitas, faktor-faktor penyebab timbulnya keragaman produk adalah peralatan, bahan, metode kerja dan lingkungan.

Terdapat bermacam-macam penyebab keragaman. Menurut (Montgomery, 1996) dapat dikelompokkan dalam dua tipe, yaitu :

1. Keragaman yang terjadi secara alami atau kebetulan (*Chance Cause*)

Keragaman oleh penyebab kebetulan tidak dapat dicegah dan dihindari untuk terjadi dalam suatu proses, walaupun operasi telah dijalankan dengan menggunakan bahan baku dan metode yang distandarkan. Keragaman disebabkan karena pengaruh kumulatif dari banyak sebab kecil yang tidak terkendali dan merupakan keragaman dasar atau gangguan dasar.

2. Keragaman yang terjadi karena sebab terduga (*Assignnable Cause*)

Keragaman terjadi karena sebab terduga, berarti bahwa terdapat faktor yang bisa diselidiki. Hal tersebut dapat dicegah dan diawasi, seperti kasus yang disebabkan oleh pengabaian standar tertentu atau penerapan standar yang tidak tepat. Faktor-faktor yang menyebabkan adalah mesin, operator, bahan baku dan metode kerja.

Suatu proses dikatakan tidak terkendali jika terdapat keragaman dari sebab-sebab terduga. Untuk meminimumkan keragaman diterapkan grafik kendali pada data tersebut sehingga dapat diketahui dan diminimumkan sebab-sebab proses tidak terkendali.

2.4. Bentuk Dasar Grafik Kendali

Grafik kendali pertama kali dikembangkan oleh Dr. Walter A Shewart pada tahun 1924 sebagai salah satu prosedur pengendalian kualitas yang digunakan untuk mengontrol suatu proses produksi yang berulang dan mengevaluasi proses produksi dengan cara mendeteksi. Grafik ini terdiri atas BPA (Batas Pengendali Atas) dan BPB (Batas Pengendali bawah) serta garis tengah yang merupakan rata-rata contoh (Montgomery, 1996).

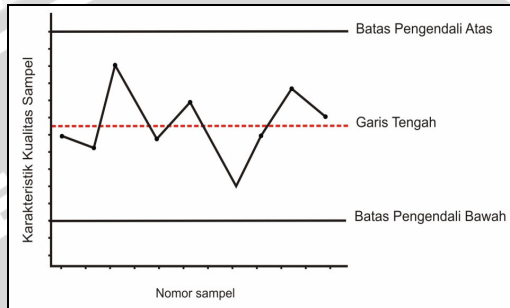
Jika titik-titik pengamatan berada dalam BPA dan BPB menyebar secara acak, maka ini merupakan indikasi bahwa proses yang diamati masih dalam keadaan terkendali. Sebaliknya, jika titik-titik tersebut berada di luar batas pengendali, maka proses dinyatakan tidak terkendali, sehingga diperlukan suatu tindakan penyidikan dan perbaikan untuk mengungkapkan sebab-sebab khusus. Meskipun semua titik terletak dalam batas pengendali, namun beberapa titik-titik tersebut berpola sistematis atau tidak acak, maka proses dikatakan tidak terkendali. Secara umum batas pengendali didefinisikan sebagai :

$$\text{BPA} = \text{nilai tengah} + Z_{\alpha/2} \sigma$$

$$\text{BPB} = \text{nilai tengah} - Z_{\alpha/2} \sigma$$

(Montgomery, 1996)

Bentuk umum grafik kendali adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Grafik Kendali Univariat

(Montgomery, 1996)

Sumbu horizontal menjelaskan nomor sampel dan Sumbu vertikal menjelaskan nilai dari karakteristik kualitas. Nilai batas pengendali atas pada grafik kendali atau biasa disebut BPA, garis tengah merupakan rata-rata contoh atau nilai tengah dan Nilai batas pengendali bawah pada grafik kendali atau disebut BPB (Montgomery, 1996).

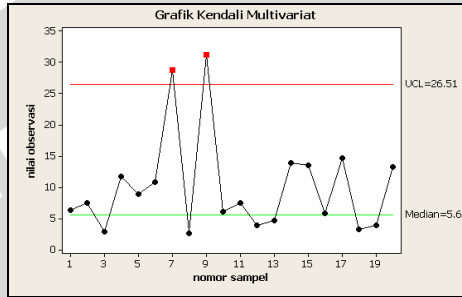
2.4.1. Grafik Kendali Multivariat

Produk yang dihasilkan oleh suatu perusahaan tidak hanya dipengaruhi oleh satu variabel saja. Banyak hasil produksi yang dipengaruhi oleh p variabel yang diukur secara serentak. Jika antar variabel saling bebas, maka masing-masing variabel dapat digambarkan dalam suatu grafik secara individu (jika digunakan grafik kendali multivariat pada p -variabel yang tidak berkorelasi maka hasil pada grafik kendali multivariat dan univariat sama) tetapi jika antar variabel saling berkorelasi, maka grafik kendali multivariat dapat digunakan untuk mengetahui apakah proses masih terkendali atau tidak (Montgomery, 1996).

Aparisi *et al.* (2004) menyatakan bahwa grafik kendali multivariat pertama kali diperkenalkan oleh Harold Hotelling pada tahun 1947. Grafik kendali multivariat adalah grafik kendali untuk

beberapa variabel dan pada umumnya digunakan bila variabel-variabel yang berpengaruh dalam proses produksi saling berkorelasi, baik berkorelasi secara parsial atau secara simultan.

Bentuk umum grafik kendali multivariat adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Grafik Kendali Multivariat

(Aparisi *et al.*, 2004)

Sumbu horizontal menjelaskan nomor sampel dan sumbu vertikal menjelaskan nilai observasi. Median merupakan nilai tengah pada grafik kendali multivariat dengan $P(\text{nilai observasi} > \text{median}) = 0,5$. Tidak ada batas kendali bawah seperti pada grafik kendali univariat.

2.4.2. Grafik Kendali Multivariat T^2 Hotelling

Statistik T^2 Hotelling adalah suatu nilai yang dihitung dari matriks ragam-peragam sebaran normal multivariat dan merupakan bagian dari statistik *t-student*. Nilai statistik T^2 Hotelling didapat dari perhitungan persamaan kuadrat yang memuat dua hal, yaitu (Johnson dan Wichern, 2002) :

1. Vektor simpangan antara pengamatan (X) dan vektor harapan (c), dilambangkan dengan $(X - c)$ dan bentuk *transpose* adalah $(X - c)^t$
2. Invers matriks ragam peragam, dilambangkan dengan S^{-1} .
Rumus untuk menghitung T^2 :

$$T^2 = (\mathbf{X} - \mathbf{c})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X} - \mathbf{c})$$

Grafik kendali T^2 Hotelling merupakan grafik kendali yang sering digunakan dalam pengawasan dan proses pengendalian multivariat. Pengendalian pada grafik kendali T^2 Hotelling dibagi menjadi dua tahap yaitu pengendalian tahap I (data awal) dan pengendalian tahap II (data sekarang). Pengendalian tahap I digunakan untuk stabilitas proses sedangkan pengendalian tahap II untuk pengendalian masa sekarang. Pada pengendalian tahap I, data yang sudah stabil dihitung rata-rata dan matriks ragam-peragam sebagai acuan pengendalian pada tahap II (Aparisi *et al.*, 2004).

Pada pengendalian tahap I ini, rata-rata dan matriks ragam-peragam dihitung dari data awal sehingga nilai T^2 didapat dari persamaan berikut :

$$T_i^2 = n \left(\bar{X}_{jk} - \bar{\bar{X}}_j \right)' \mathbf{S}^{-1} \left(\bar{X}_{jk} - \bar{\bar{X}}_j \right), i = 1, 2, \dots, m \quad (2.16)$$

Nilai batas atas untuk grafik kendali T^2 Hotelling pada tahap I yaitu $T_{p, mn-m-p+1}^\alpha$ (Anderson, 1984), di mana :

$$\frac{T_{p, mn-m-p+1}^\alpha (mn - m - p + 1)}{p(m-1)(n-1)} \sim F_{p, mn-m-p+1}^\alpha \quad (2.17)$$

$$T_{p, mn-m-p+1}^\alpha \sim \frac{p(m-1)(n-1)}{(mn - m - p + 1)} F_{p, mn-m-p+1}^\alpha \quad (2.18)$$

Sehingga nilai batas atas grafik kendali T^2 Hotelling :

$$\text{BPA} = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{p, mn-m-p+1}^\alpha \quad (2.19)$$

di mana:

m = ukuran sampel

n = ukuran subsampel

p = ukuran variabel

Pada pengendalian tahap I, amatan yang tidak terkendali dihilangkan sampai didapat kondisi yang terkendali. Selanjutnya dari proses yang sudah terkendali tersebut dihitung rata-rata dan matriks ragam-peragam. Kemudian dilakukan pengendalian tahap II dengan menggunakan rata-rata dan matriks ragam-peragam pengendalian I yang sudah terkendali.

Pengendalian grafik kendali T^2 Hotelling tahap II dilakukan pada data masa sekarang. Pada tahap II ini, rata-rata dan matriks ragam-peragam sudah diketahui sehingga nilai T^2 didapat dari persamaan berikut :

$$T_i^2 = n \left(\bar{X}_{jk} - \bar{\bar{X}}_j \right)' S^{-1} \left(\bar{X}_{jk} - \bar{\bar{X}}_j \right), i = 1, 2, \dots, m \quad (2.20)$$

Karena rata-rata dan matriks ragam-peragam sudah diketahui, maka batas kendali pada tahap II adalah

$$BPA = \frac{p(m-1)(n+1)}{mn-m-p+1} F_{p, mn-m-p+1}^\alpha \quad (2.21)$$

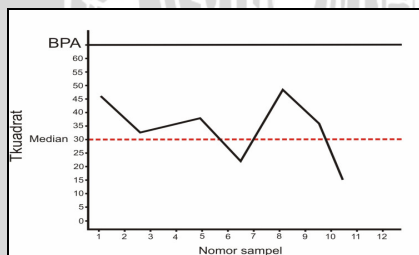
di mana $F_{p, mn-m-p+1}^\alpha$ adalah titik kritis sebaran F dengan derajat bebas p dan $mn-m-p+1$ (Aparisi *et al.*, 2004). Dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : Semua karakteristik kualitas terkendali
lawan

H_1 : Paling tidak terdapat satu karakteristik kualitas yang tidak terkendali

Jika $T^2 > T_{p, mn-m-p+1}^\alpha$ maka paling sedikit satu dari karakteristik kualitas (variabel) tidak terkendali. Jika suatu titik pada grafik kendali T^2 Hotelling tidak terkendali maka akan dilanjutkan dengan proses dekomposisi T^2 untuk menentukan variabel yang menyebabkan titik tidak terkendali. Selanjutnya pada variabel tersebut akan dicari penyebab utama timbulnya masalah (Montgomery, 1996).

Dengan T^2 dan batas kendali sesuai persamaan 2.20 dan 2.21, dapat digambarkan grafik kendali T^2 Hotelling seperti Gambar 2.3:



Grafik 2.3 Grafik Kendali T^2 Hotelling

(Aparisi *et al.*, 2004)

Sumbu horizontal menjelaskan nomor sampel dan sumbu vertikal menjelaskan nilai T^2 . Median merupakan nilai tengah pada grafik kendali multivariat $P(T^2 > \text{median}) = 0,5$. Selanjutnya akan ditambahkan *run rules* pada grafik kendali T^2 Hotelling.

2.4.3. Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan *Run Rules*

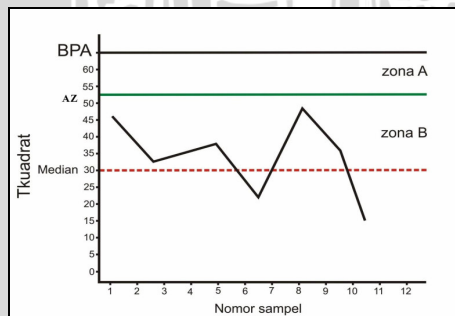
Pendeteksian kondisi yang tidak terkendali dari suatu grafik kendali tidak hanya dilihat dari titik yang melewati batas kendali tetapi juga dilihat dari pola pengeplotan yang terbentuk. Pola yang tidak acak merupakan salah satu indikasi kondisi yang tidak terkendali (Mitra, 1998).

Pengidentifikasi pola pada grafik kendali T^2 Hotelling memerlukan pengetahuan tentang proses, perlengkapan dan pengoperasian proses produksi (Montgomery, 1996). Selanjutnya *run rules* ditambahkan pada grafik kendali T^2 Hotelling yang rata-rata dan matriks ragam-peragam diketahui. Oleh karena itu, penambahan aturan ini diterapkan pada pengendalian tahap II.

Pengendalian grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules* tahap II dilakukan pada data masa sekarang. Pada tahap II ini, rata-rata dan matriks ragam-peragam sudah diketahui sehingga nilai pengamatan T^2 -nya sesuai dengan persamaan berikut :

$$T_i^2 = n (\bar{X}_{jk} - \mu)^t S^{-1} (\bar{X}_{jk} - \mu) , i = 1, 2, \dots, m$$

Pada grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules*, grafik kendali menjadi beberapa wilayah seperti pada Gambar 2.4:



Gambar 2.4 Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan *Run Rules*

(Aparisi *et al*, 2004)

Sumbu horizontal menjelaskan nomor sampel dan Sumbu vertikal menjelaskan nilai T^2 . *Attention Zone* (zona A) dibatasi oleh garis AZ dan BPA dengan $P(T^2 > AZ) = 0,03$ dan zona B dibatasi oleh garis AZ dan median dengan $P(T^2 > \text{median}) = 0,5$. Tidak ada batas kendali bawah seperti pada grafik kendali univariat (Aparisi *et al.*, 2004).

Pendeteksian titik yang tidak terkendali pada grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules* berbeda dengan grafik kendali T^2 Hotelling. Pada grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules*, titik yang tidak terkendali dideteksi dengan *run rules* sebagai berikut :

Run rules I : titik yang berada di atas BPA

Run rules II : dua dari tiga titik berturut-turut berada pada zona A

Run rules III : 8 titik berturut-turut melebihi median yaitu pada zona B

Run rules IV : tujuh deret titik membentuk trend

Run rules merupakan aturan yang memanfaatkan informasi pada masa lampau. Hal ini dikarenakan aturan ini menggunakan titik-titik yang berturut-turut sehingga dengan menggunakan *run rules* dapat segera diperoleh informasi dengan segera bahwa ada titik yang berpotensi menyebabkan tidak terkendali. Pergeseran kecil dapat segera diketahui. Dengan demikian dapat dilakukan tindakan pembetulan yang dapat menghemat waktu dan biaya (Khoo dan Quah, 2003).

2.4.4. Dekomposisi MYT (Mason Young Tracy)

Mason, Young dan Tracy (1995) melakukan dekomposisi yang selanjutnya dinamakan dekomposisi MYT. Dekomposisi MYT yaitu dekomposisi dengan membagi nilai statistik T^2 ke beberapa komponen yang saling bebas, yang mana masing-masing komponen merefleksikan kontribusi sebuah variabel tunggal. Hal ini dilakukan dengan cara mengisolasi variabel ke- p dan mengelompokkan $p-1$ variabel yang lain, sehingga $X_i = (X_i^{(p-1)}, X_i^p)$ di mana $X_i^{(p-1)}$ merupakan sebuah vektor pengukuran berdimensi $p-1$ dengan cara mengeluarkan variabel ke- p , dengan demikian T^2 hotelling dapat dipartisi menjadi :

$$T^2 = T_{p-1}^2 + T_{p,1,2,\dots,p-1}^2 \quad (2.22)$$

Nilai T_{p-1}^2 merupakan statistik T^2 Hotelling yang menggunakan $p-1$ variabel pertama dan memiliki bentuk sebagai berikut:

$$T_{p-1}^2 = (X_i^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)})' S_{XX}^{-1} (X_i^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)})$$

Di mana $\bar{X}^{(p-1)}$ merupakan vektor nilai tengah n pengamatan multivariat dengan $p-1$ variabel pertama sedangkan S_{XX} adalah sub matriks dari S yang berukuran $(p-1) \times (p-1)$.

Statistik $T_{p,1,2,\dots,p-1}$ merupakan komponen ke- p dari matriks X_i yang dapat ditentukan dari nilai duga rata-rata dan standar deviasi sebaran bersyarat X_p jika diketahui X_1, X_2, \dots, X_{p-1} yaitu :

$$T_{p,1,2,\dots,p-1} = \frac{X_{ip} - \bar{X}_{p,1,2,\dots,p-1}}{S_{p,1,2,\dots,p-1}} \quad (2.23)$$

di mana :

$$\bar{X}_{p,1,2,\dots,p-1} = \bar{X}_p + b_p (X_i^{(p-1)} - \bar{X}^{(p-1)})$$

\bar{X}_p adalah nilai tengah contoh n pengamatan dengan menggunakan variabel ke- p sedangkan $b_p = S_{XX}^{-1} s_{xX}$ merupakan sebuah vektor berdimensi $p-1$ yang dapat menduga koefisien variabel ke- p terhadap $p-1$ variabel pertama.

$$s_{p,1,2,\dots,p}^2 = s_x^2 - s_{xX}' S_{XX}^{-1} s_{xX} \quad (2.24)$$

dan

$$S = \begin{bmatrix} S_{XX} & s_{xX} \\ s_{xX}' & s_x^2 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Suku pertama dari persamaan 2.22 merupakan statistik T^2 Hotelling pada $p-1$ variabel dan dapat juga dipartisi menjadi dua bagian, yaitu :

$$T_{p-1}^2 = T_{p-2}^2 + T_{p-1,1,2,\dots,p-2}^2$$

Di mana nilai T_{p-2}^2 merupakan statistik T^2 Hotelling dengan $p-2$ variabel. Apabila proses iterasi dan dekomposisi ini terus dilakukan maka akan membentuk Dekomposisi MYT untuk p variabel. Secara umum sebagai berikut :

$$T^2 = T_1^2 + T_{2,1}^2 + T_{3,1,2}^2 + \dots + T_{p,1,2,\dots,p-1}^2$$

$$= T_1^2 + \sum_{j=1}^{p-1} T_{j+1.1.2, \dots, j}^2 \quad (2.26)$$

T_1^2 merupakan statistik Hotelling untuk variabel pertama yang juga dapat dihitung dengan rumus :

$$T_1^2 = \frac{(X_{i1} - \bar{X}_1)^2}{s_1^2} \quad (2.27)$$

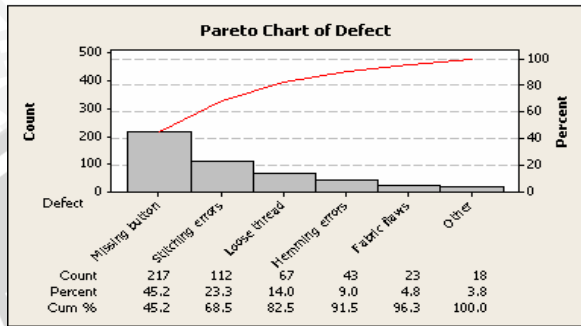
Masing-masing suku dari persamaan dekomposisi tersebut mengikuti sebaran $F_{1, mn-m-p+1}^\alpha$ (Mason *et al*, 1995). Kriteria keputusan jika nilai $T^2 < F_{1, mn-m-p+1}^\alpha$ atau $p\text{-value} \geq \alpha$ maka terima H_0 pada taraf nyata α dan dapat disimpulkan bahwa titik tersebut terkendali, sebaliknya jika $T^2 \geq F_{1, mn-m-p+1}^\alpha$ atau $p\text{-value} < \alpha$ maka tolak H_0 pada taraf nyata α dan dapat disimpulkan bahwa titik tersebut terkendali

Kemudian titik-titik yang tidak terkendali dianalisis dengan diagram Pareto untuk mengetahui variabel yang paling banyak menyebabkan proses tidak terkendali.

2.5. Diagram Pareto

Diagram Pareto diperkenalkan oleh seorang ahli yaitu Alfredo Pareto dari Italia. Diagram Pareto ini merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah. Hal ini dapat membantu menemukan permasalahan yang terpenting untuk segera diselesaikan (ranking tertinggi) sampai dengan yang tidak harus segera diselesaikan (ranking terendah). Selain itu, Diagram Pareto juga dapat digunakan untuk membandingkan kondisi proses, misalnya ketidaksesuaian proses, sebelum dan setelah diambil tindakan perbaikan terhadap proses (Gaspersz, 1998).

Berikut ini adalah contoh diagram Pareto :



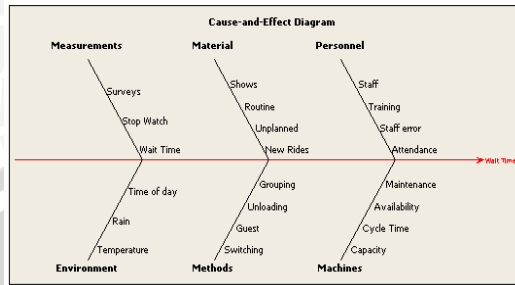
Gambar 2.5 Diagram Pareto

(Montgomery, 1996)

Setelah diketahui variabel yang paling banyak menyebabkan proses tidak terkendali, dilanjutkan dengan mengidentifikasi sebab dan akibat mengapa pada variabel tersebut banyak titik yang tidak terkendali, pengidentifikasiannya ini dapat dilakukan menggunakan diagram sebab akibat.

2.6. Diagram Sebab-Akibat (Diagram Tulang Ikan)

Menurut Gaspersz (1998), diagram sebab akibat adalah suatu diagram yang menunjukkan hubungan antara sebab akibat dari proses produksi yang tidak terkendali. Berkaitan dengan pengendalian proses statistika, diagram sebab akibat dipergunakan untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab dan akibat dalam suatu proses. Diagram sebab akibat ini disebut juga diagram tulang ikan (*fishbone diagram*) karena bentuknya seperti kerangka tulang ikan dan diperkenalkan pertama kali oleh Prof. Kaoru Ishikawa dari Universitas Tokyo tahun 1953 sehingga disebut juga diagram Ishikawa. Seperti yang disajikan (Montgomery, 1996) pada gambar 2.6:



Gambar 2.6 Diagram Sebab-Akibat

(Montgomery, 1996)

Pada gambar 2.6 faktor-faktor penyebab utama yang mempengaruhi masalah kualitas ditulis sebagai tulang besar. Kategori-kategori penyebab utama dapat dikembangkan melalui stratifikasi ke dalam pengelompokan dari faktor-faktor, seperti manusia, mesin, peralatan, material, metode kerja, lingkungan dan lain-lain serta menuliskan sebab-sebab yang mempengaruhi penyebab utama.

Setelah diketahui sebab dan akibat dari suatu proses produksi yang tidak terkendali, selanjutnya dilakukan pengumpulan pandangan dari pihak terkait dengan *Nominal Group Technique* (NGT) untuk menentukan sebab yang paling dominan sehingga variabel tersebut tidak terkendali.

2.7. *Nominal Group Technique* (NGT)

Nominal Group Technique merupakan metode pengambilan keputusan yang digunakan oleh berbagai macam ukuran kelompok, yang ingin mengambil keputusan dengan cepat, seperti dengan *vote*, tapi ingin melibatkan/mempertimbangkan seluruh opini anggota (berbeda dengan cara *voting* yang lama, di mana hanya kelompok terbesar saja yang dipertimbangkan). Perbedaannya ada pada metode penjumlahan, pertama tiap anggota kelompok memberikan pandangan untuk solusi, dengan penjelasan singkat. Kemudian, duplikasi solusi dihilangkan dari daftar seluruh solusi dan anggota kelompok melanjutkan merangking solusi tersebut. Jumlah masing-masing solusi yang diterima kemudian ditotal dan solusi dengan rangking terendah (*most favored*/paling disukai) dipilih sebagai

keputusan akhir (Mulyana, 2008). Rumus yang digunakan untuk menghitung prioritas adalah :

$$NGT = \frac{1}{2} N + 1 \quad (2.28)$$

di mana

N = nilai akhir

NGT = *nominal group technique*

Salah satu keunggulan NGT adalah teknik ini menghindari terjadinya dua masalah yang disebabkan oleh interaksi kelompok. Pertama, beberapa anggota tidak ingin memberikan ide karena mereka khawatir dikritik. Kedua, beberapa anggota tidak ingin menciptakan konflik dalam kelompok (banyak orang ingin tepat mempertahankan iklim yang kondusif). NGT dapat mengatasi masalah ini. NGT memiliki keunggulan yang jelas dalam meminimalkan perbedaan dan memastikan partisipasi yang seimbang. Teknik ini, dalam berbagai macam kasus menjadi teknik yang hemat waktu.

2.8. Ukuran Sampel dan Subsampel

Sampel dalam pengendalian kualitas diartikan sebagai kumpulan dari unit-unit produk yang digunakan dalam penyidikan yang diambil berdasarkan selang waktu tertentu. Unit-unit tersebut dinamakan subsampel, yang dihasilkan pada waktu yang sama atau sedekat mungkin bersama (Montgomery, 1996). Dalam merancang grafik kendali, ukuran sampel (m) yang digunakan dan frekuensi pengambilan sampel (n) harus ditentukan. Umumnya makin besar ukuran sampel, makin mudah mengetahui pergeseran kecil dalam proses. Apabila ingin mengetahui pergeseran proses yang relatif besar maka ukuran sampel boleh kecil, sebaliknya apabila ingin mengetahui pergeseran proses relatif kecil maka ukuran sampel harus besar.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penentuan ukuran sampel dan subsampel adalah sebagai berikut:

- a. Biaya pengambilan sampel.
- b. Kerugian yang berkaitan dengan membiarkan proses bekerja tak terkendali.
- c. Tingkat dan resiko produksi yang berhubungan dengan produksi yang dilakukan berskala besar (hasilnya) atau kecil,

atau cukup aman atau tidak untuk melakukan pengambilan sampel berukuran besar.

Umumnya pangambilan ukuran sampel (m) antara 20 sampai 25. Sedangkan untuk subsampel (n) biasa digunakan 4, 5, atau 6. Menurut Grant dan Leavenworth (1999), ukuran sampel yang digunakan dalam pengawasan produksi paling tidak 25 sampel.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yaitu data pengukuran semen jenis OPC mulai bulan April sampai Oktober 2008 sedangkan karakteristik kualitas yang digunakan sebagai variabel penelitian ini adalah :

1. *blaine* : kehalusan semen diukur dengan *blaine* (cm^2/gr)
2. *free lime* : kadar kapur yang bebas (%)
3. SO_3 : kadar sulfat (%)
4. CaO : kalsium oksida (%)
5. *mesh* : kehalusan semen diukur dengan ayakan ($m\mu$)
6. *setting time* : lama waktu semen mengering (menit)

Enam variabel tersebut merupakan karakteristik kualitas yang saling berhubungan sehingga membutuhkan pengendalian secara simultan (multivariat).

Dalam satu hari terdapat dua shift produksi dan setiap satu shift diambil 1 sampel dengan 4 subsampel, sehingga data semen OPC setiap hari mempunyai 2 sampel dengan setiap sampel terdiri dari 4 subsampel. Selanjutnya, data untuk penelitian ini dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu :

1. Data bulan April sampai bulan Juli 2008 sebagai data masa lalu.
2. Data bulan Agustus sampai bulan Oktober 2008 sebagai data masa sekarang.

Data masa lalu digunakan untuk pengendalian tahap pertama yang selanjutnya digunakan sebagai data stabilitas proses. Data masa sekarang untuk pengendalian tahap kedua. Data tahap kedua ini digunakan sebagai pengendalian masa sekarang. Pada tahap kedua, digunakan metode pengendalian Grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules* (data dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2).

3.2. Metode Penelitian

3.2.1. Uji Nilai Koefisien Korelasi

Enam variabel karakteristik semen jenis OPC tersebut yaitu *blaine*, *free lime*, SO_3 , CaO , *mesh* dan *setting time* diuji nilai korelasi antar variabel menggunakan persamaan (2.2).

3.2.2. Uji Kenormalan

Data masalalu dan data masa sekarang diuji asumsi kenormalan. Langkah-langkah untuk menguji kenormalan data multivariat adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai d_i^2 menggunakan persamaan (2.13)
2. Mengurutkan nilai d_i^2 dari yang terkecil sampai terbesar
3. Menghitung nilai q_i menggunakan persamaan (2.14) yang bersesuaian untuk tiap nilai d_i^2
4. Membuat plot d_i^2 versus q_i dan periksa kelinierannya dalam plot
5. Menghitung nilai korelasi antara d_i^2 dan q_i

3.2.3. Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan *run rules*

Langkah-langkah untuk membuat grafik kendali T^2 Hotelling adalah sebagai berikut:

a. Tahap pertama (data masa lalu) :

1. Menghitung rata-rata dan matriks ragam-peragam data masa lalu (2.7 dan 2.12)
2. Menghitung nilai T^2 untuk setiap pengamatan sampel (2.16)
3. Menghitung nilai batas pengendali atas (2.19)
4. Nilai T^2 untuk setiap pengamatan dan nilai batas kendali digambarkan dalam satu grafik
5. Membuang titik–titik yang keluar dari batas kendali atas
6. Mengulangi langkah 1 sampai dengan langkah 5 sampai semua titik terkendali
7. Mendapatkan rata-rata dan matriks ragam-peragam dari grafik yang semua titik yang berada dalam batas kendali.

b. Tahap kedua (data masa sekarang) :

1. Menghitung nilai T^2 untuk setiap pengamatan sampel pada data masa sekarang dengan rata-rata dan matriks ragam-peragams dari tahap pertama (2.20)
2. Menghitung nilai batas kendali atas (2.21)
3. Nilai T^2 untuk setiap pengamatan dan nilai batas kendali digambarkan dalam satu grafik

4. Menghitung banyaknya titik–titik yang keluar dari batas pengendali atas dan memenuhi aturan *run* (*run rules* I, II, III dan IV).

3.2.4. Dekomposisi MYT

Langkah-langkah untuk dekomposisi MYT adalah sebagai berikut:

1. Menentukan titik yang keluar dari batas kendali.
2. Menguraikan nilai T^2 Hotelling tersebut (2.26)
3. Menghitung nilai batas pengendali
4. Membandingkan nilai T^2 masing-masing variabel dengan nilai batas pengendali

3.2.5. Diagram Pareto

Langkah-langkah untuk membuat Diagram Pareto adalah sebagai berikut:

1. Menghitung frekuensi masing-masing variabel
2. Menghitung frekuensi kumulatif atau persentase kumulatif dari variabel
3. Menggambar diagram batang, menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing masalah.

3.2.6. Diagram Sebab-akibat

Langkah-langkah pembuatan diagram sebab-akibat adalah sebagai berikut:

1. Memulai dengan pernyataan masalah-masalah utama yang penting untuk diselesaikan.
2. Menuliskan pernyataan masalah itu pada kepala ikan yang merupakan akibat (*effect*) kemudian menggambarkan tulang belakang sebagai sebab.
3. Bertanya kepada karyawan bagian penggilingan akhir untuk mengetahui faktor-faktor penyebab masalah.
4. Menuliskan faktor-faktor penyebab utama yang mempengaruhi masalah kualitas sebagai tulang besar. Kategori-kategori penyebab utama dapat dikembangkan melalui stratifikasi ke dalam pengelompokan dari faktor-faktor, seperti manusia, mesin, peralatan, material, metode kerja, lingkungan dan lain-lain.

5. Menuliskan penyebab–penyebab sekunder yang mempengaruhi penyebab tugas utama.

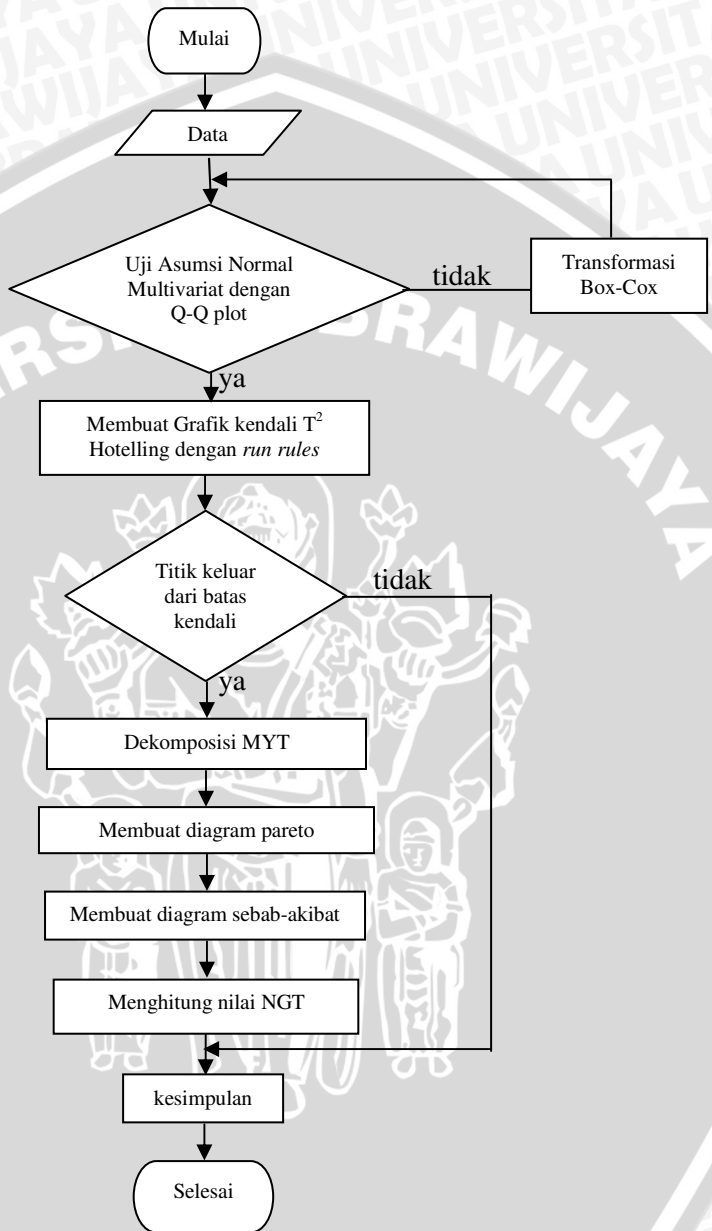
3.2.7. *Nominal Group Technique*

Langkah-langkah pengambilan keputusan pada *Nominal Group Technique* adalah sebagai berikut:

1. Menulis masalah-masalah yang yang dihadapi
2. Menentukan prioritas dari masalah
3. Menghitung nilai akhir setelah ditentukan prioritas
4. Menghitung nilai NGT (2.30)

Paket program yang digunakan dalam penelitian ini adalah Minitab versi 14.0 dan Matlab versi 7.1 Langkah–langkah metode analisis tersebut tersaji dalam diagram alir yang pada Gambar 3.1. berikut.





Gambar 3.1 Langkah-langkah Penelitian Proses Produksi Semen OPC

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Uji Korelasi Data

Dengan menggunakan *Software* Minitab 14, didapatkan hasil korelasi sebagai berikut :

Tabel 4.1. Nilai Korelasi Antar Variabel Pengukuran OPC

variabel	<i>blaine</i>	<i>free lime</i>	SO ₃	CaO	<i>mesh</i>	<i>time</i>
<i>blaine</i>	1	-0,032	0,080	0,000	0,139*	0,068
<i>free lime</i>	-0,032	1	0,058	-0,005	-0,098	0,052
SO ₃	0,080	0,058	1	0,004	0,032	0,030
CaO	0,000	-0,005	0,004	1	-0,032	-0,020
<i>mesh</i>	0,139*	-0,098	0,032	-0,032	1	-0,030
<i>time</i>	0,068	0,052	0,030	-0,020	-0,030	1

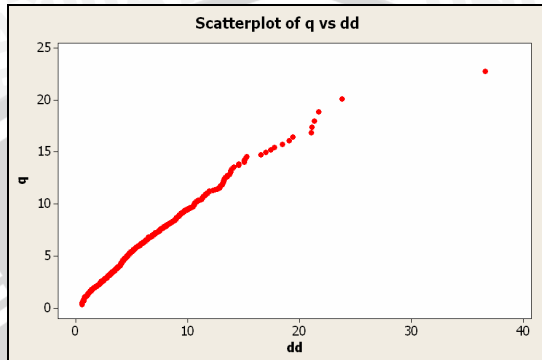
Keterangan : * Signifikan pada $\alpha = 0,05$

Pada Tabel 4.1. tersebut korelasi antar *blaine* dan *mesh* adalah 0,139 yang signifikan pada $\alpha = 0,05$ (*p-value* korelasi antar variabel dapat dilihat pada Lampiran 5). Dapat disimpulkan bahwa *blaine* dan *mesh* saling berkorelasi tetapi untuk korelasi antar variabel yang lain tidak signifikan sehingga antar variabel yang lain tidak berkorelasi (Walpole, 2002). Penggunaan grafik kendali T² Hotelling bisa diterapkan pada data yang memiliki variabel yang berkorelasi secara parsial maupun simultan (Aparisi *et al.*, 2004). Jika antar variabel saling bebas, maka masing-masing variabel dapat digambarkan dalam grafik univariat (jika digunakan grafik kendali multivariat pada *p*-variabel yang tidak berkorelasi maka hasil pada grafik kendali multivariat dan univariat sama) (Montgomery, 1996).

4.2. Uji Kenormalan Data

Analisis awal sebelum membuat grafik kendali T² Hotelling adalah memeriksa asumsi kenormalan multivariat dari data. Untuk mengetahui data tersebut memenuhi asumsi atau tidak, dapat dibuktikan menggunakan Q-Q plot dengan bantuan *macro* Minitab14 (Lampiran 3).

Q-Q plot data semen OPC dapat dilihat pada Gambar 4.1.



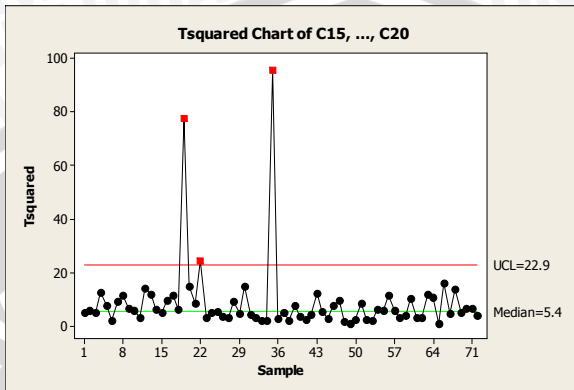
Gambar 4.1. Q-Q Plot Data Semen OPC

Dari Gambar 4.1, sumbu horizontal menunjukkan jarak mahalanobis (d_i^2) dan sumbu vertikal menunjukkan nilai khi-kuadrat (q_i). Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa plot cenderung membentuk garis lurus (linier) dan nilai d_i^2 yang lebih kecil dari nilai $\chi_{6;0,05}^2$ sebesar 55,7143%. Nilai tersebut lebih besar dari 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa data masa lalu memenuhi asumsi data berdistribusi normal multivariat (Anderson, 1984).

4.3. Pengendalian Tahap Pertama

Tahap pertama dilakukan pengendalian untuk membentuk stabilitas proses pada data masa lalu yaitu data bulan April sampai dengan bulan Juli 2008. Pada tahap ini nilai rata-rata dan matriks ragam-peragam diperoleh dengan cara dihitung dari sampel. Pada tahap pertama ini, dilakukan penghilangan sampel yang keluar dari batas kendali yaitu data yang melewati batas kendali atas yaitu 22,9. Pada bagian penggilingan akhir (*finish mill*) dalam satu hari terdapat dua shift dan setiap satu shift diambil 1 sampel dengan 4 subsampel sehingga semen OPC setiap hari mempunyai 2 sampel dengan 4 subsampel. Dari 288 data mempunyai titik amatan sebanyak 72 sampel dengan 4 subsampel (ulangan). Dari pengendalian tersebut diperoleh T^2 sebanyak 72 pengamatan yang dapat dilihat pada

Lampiran 5. Nilai-nilai T^2 tersebut diplotkan sehingga terbentuk grafik kendali T^2 Hotelling seperti Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Kendali T^2 Hotelling Tahap I (Kendali I)

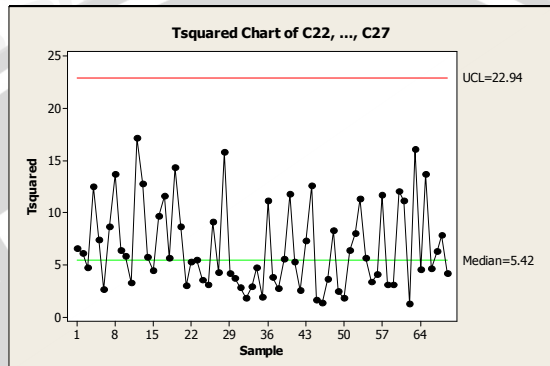
Sumbu horizontal menunjukkan banyaknya sampel dan sumbu vertikal menunjukkan nilai T^2 (Aparisi, *et al.*, 2004). Warna merah menunjukkan nilai T^2 yang keluar batas kendali atas (*out-of-control*) sedangkan warna hitam pengeplotan menunjukkan nilai T^2 yang terkendali (*in-control*). Berdasarkan Gambar 4.3 diketahui bahwa titik-titik yang *out-of-control* sebanyak 3 titik. Dekomposisi MYT dapat menguraikan T^2 (Mason, *et al.*, 1995). Setelah T^2 didekomposisi, dapat diketahui variabel-variabel yang menyebabkan titik tersebut keluar dari batas kendali. Titik-titik tersebut adalah :

Tabel 4.2. Dekomposisi Titik-titik yang Tidak Terkendali pada Grafik Kendali T^2 Hotelling Tahap I

	titik ke-	variabel	<i>p-value</i>
Titik yang tidak terkendali	19	<i>Blaine</i>	0,0000
	22	<i>Free lime</i>	0,0000
		SO ₃	0,0288
	35	<i>Blaine</i>	0,0000

Nilai-nilai tersebut $< 0,05$ ($\alpha=0,05$) sehingga disimpulkan bahwa variabel-variabel tersebut yang menyebabkan titik ke-19, 22 dan 35 tidak terkendali. Titik-titik yang tidak terkendali (karena

sebab-sebab terduga) tersebut kemudian dikeluarkan dari data. Setelah titik-titik yang tidak terkendali dikeluarkan dari data kemudian dibuat grafik kembali.



Gambar 4.3. Grafik Kendali T^2 Hotelling Tahap I (Kendali 2)

Sampel yang digunakan untuk pengendalian kembali menjadi 69 sampel. Pada Gambar 4.3 dapat dilihat grafik kendali T^2 hotelling (kendali II). Sumbu horizontal menunjukkan banyaknya sampel dan sumbu vertikal menunjukkan nilai T^2 . Warna hitam pengeplotan menunjukkan nilai T^2 yang dalam batas *in-control*. Dari gambar tersebut tidak terdapat titik yang keluar dari batas kendali. Jadi, kondisi terkendali diperoleh setelah dilakukan pengendalian sebanyak dua kali.

Proses yang telah terkendali ini selanjutnya dihitung rata-rata dan matriks ragam-peragam. Hal ini dilakukan karena pengendalian menggunakan metode grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules*, diperlukan rata-rata dan matriks ragam-peragam yang telah diketahui dari data masa lalu yang terkendali. Rata-rata dan matriks ragam-peragam tersebut digunakan sebagai acuan pengendalian tahap kedua. Rata-rata dan matriks ragam-peragam yaitu :

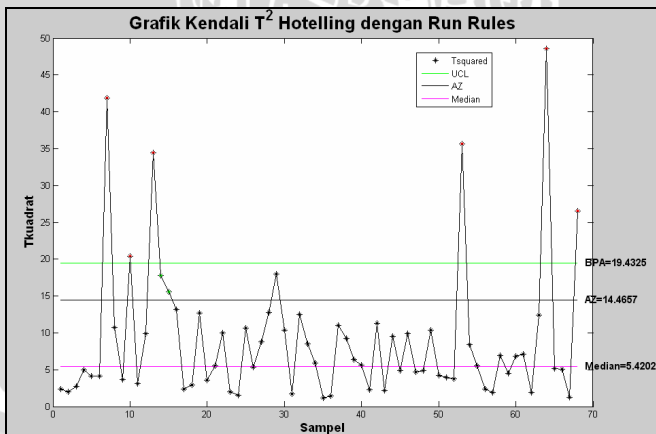
$$\bar{X}^t = [3199,9 \quad 0,603 \quad 1,958 \quad 67,470 \quad 71,7690 \quad 185,220]$$

$$\hat{\Sigma} = \begin{bmatrix} 2161,68 & -0,1997 & 1,2373 & -6,5366 & 30,6513 & 29,9867 \\ -0,1997 & 0,0103 & 0,0033 & -0,0205 & -0,0424 & 0,0468 \\ 1,2370 & 0,0033 & 0,1516 & 0,0031 & 0,0255 & 0,1279 \\ -6,5370 & -0,0205 & 0,0031 & 25,9300 & -0,5164 & -0,8514 \\ 30,6500 & -0,0424 & 0,0255 & -0,5164 & 21,3306 & -0,8531 \\ 29,9870 & 0,0468 & 0,1279 & -0,8514 & -0,8531 & 74,7460 \end{bmatrix}$$

4.3.1. Pengendalian Tahap Kedua (*Run Rules*)

Pengendalian tahap kedua dilakukan sebagai kendali untuk data masa sekarang. Pengendalian untuk data masa sekarang menggunakan rata-rata dan matriks ragam-peragam data masa lalu yang telah terkendali pada tahap pertama. Pada tahap kedua ini, digunakan metode grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules*. Metode ini mempunyai tiga batas kendali yaitu BPA, AZ, dan median. Pada grafik kendali T^2 Hotelling dengan *run rules*, penentuan keadaan tak terkendali tidak hanya dikarenakan titik keluar dari batas kendali (UCL). Akan tetapi ditentukan oleh pola yang terbentuk dari titik-titik pengamatan. Titik-titik yang sudah terkendali pada grafik kendali T^2 Hotelling belum tentu terkendali bila diterapkan *run rules*.

Pengendalian tahap kedua dengan grafik kendali T^2 Hotelling *run rules* dikerjakan dengan bantuan *macro* Matlab 7.1 (Lampiran 4) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.4. Grafik Kendali T^2 Hotelling Dengan *Run Rules*

Analisis untuk pengendalian tahap dua yaitu data OPC masa sekarang (Agustus sampai bulan Oktober 2008) sebanyak 68 sampel (Lampiran 2), dihasilkan nilai pengamatan T^2 yang dapat dilihat pada Lampiran 6. Plot hitam menunjukkan nilai T^2 yang *in-control*. Plot warna merah menunjukkan titik yang memenuhi *run rules* I yaitu nilai T^2 yang melebihi batas kendali atas (BPA). Plot berwarna hijau menunjukkan titik yang memenuhi *run rules* II yaitu dua dari tiga titik berturut-turut berada pada zona A (zona A dibatasi oleh dua garis yaitu garis BPA dan garis AZ) (Aparisi *et al.*, 2004). Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pola pengeplotan tidak acak dan dapat dideteksi kondisi yang *out-of-control*. Banyaknya titik yang dapat dideteksi oleh T^2 Hotelling dengan *run rules* yaitu sebanyak 8 titik yaitu 6 titik memenuhi *run rules* II (titik ke-7, 10, 13, 53 64 dan 68) dan 2 titik memenuhi *run rules* I (titik ke-14, 15) (Lampiran 7).

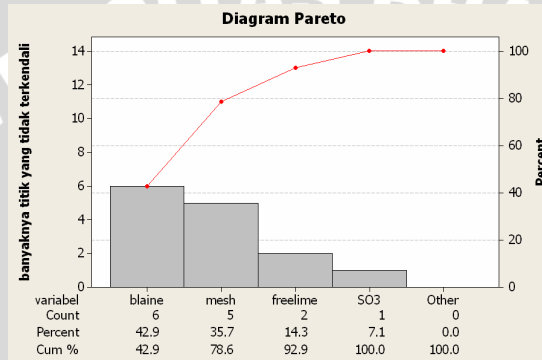
Dekomposisi MYT menguraikan nilai T^2 sehingga setelah nilai T^2 didekomposisi dapat diketahui variabel-variabel yang menyebabkan titik tersebut keluar dari batas kendali (Mason *et al.*, 1995). Titik-titik tersebut adalah :

Tabel 4.3. Dekomposisi Titik-titik yang Tidak Terkendali pada Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan *Run Rules*

	titik ke-	variabel	<i>p-value</i>
titik yang tidak terkendali	7	<i>blaine</i>	0,0000
		<i>free lime</i>	0,0004
	10	<i>blaine</i>	0,0000
		<i>mesh</i>	0,0136
	13	<i>blaine</i>	0,0000
		<i>mesh</i>	0,0141
	53	<i>blaine</i>	0,0000
		<i>mesh</i>	0,0142
	64	<i>blaine</i>	0,0000
		<i>free lime</i>	0,0001
		SO_3	0,0000
		<i>mesh</i>	0,0154
68	<i>blaine</i>	0,0000	
	<i>mesh</i>	0,0133	

Semua *p-value variabel* di atas $< 0,05$ ($\alpha=0,05$) sehingga disimpulkan bahwa variabel-variabel tersebut yang menyebabkan titik ke-7, 10, 13, 53, 63 dan 64 tidak terkendali (Mason *et al.*, 1995). Kemudian dari titik-titik yang tidak terkendali, dianalisis dengan diagram pareto untuk mengetahui variabel yang paling banyak menyebabkan proses tidak terkendali.

4.4. Diagram Pareto



Gambar 4.5. Diagram Pareto Variabel OPC

Dengan memperhatikan persentase variabel yang menyebabkan semen tidak terkendali pada Gambar 4.5, maka disimpulkan bahwa 78,6% ketidaksesuaian semen dapat dicirikan 2 variabel yaitu *blaine* dan *mesh*. *Blaine* dan *mesh* merupakan ukuran tingkat kehalusan semen, hanya saja alat ukur yang digunakan berbeda. Untuk *blaine*, tingkat kehalusan semen diukur dengan alat *blaine* dan kehalusan semen yang dihasilkan memiliki satuan cm^2/gr sedangkan *mesh* juga untuk mengukur tingkat kehalusan semen yang diukur dengan ayakan dan kehalusan semen yang dihasilkan memiliki satuan $m\mu$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel yang menyebabkan semen OPC tidak terkendali adalah kehalusan semen. Lebih lanjut menurut karyawan penggilingan akhir dikatakan bahwa semen terlalu halus.

Setelah diketahui semen yang terlalu halus yang paling dominan menyebabkan proses tidak terkendali, maka dilanjutkan dengan pengidentifikasian sebab dan akibat menggunakan diagram sebab akibat.

4.5. Diagram Sebab Akibat



Gambar 4.6. Diagram Sebab Akibat Kehalusan Semen

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa faktor-faktor yang menyebabkan semen tidak terkendali (semen terlalu halus) yaitu faktor manusia, material, mesin dan metode yang digunakan (berdasarkan pendapat karyawan di bagian penggilingan akhir (*finish mill*)). Faktor manusia disebabkan antara lain yaitu kurang tanggung jawab, selalu menunggu perintah atau teguran, tidak ada petugas cadangan, beban kerja terlalu banyak, kurang komunikasi dan tim kerja kurang kompak. Faktor material yaitu semen kurang homogen, terak terbatas. Faktor mesin yaitu mesin sering rusak, usia pakai mesin sudah lama, peralatan produksi kurang perawatan dan faktor metode yaitu metode terlalu rumit, mengacu pada metode lama dan terlalu banyak paraf pejabat.

Setelah diketahui sebab mengapa *blaine* dan *mesh* tidak terkendali, selanjutnya dilakukan pengumpulan pandangan karyawan semen Gresik di bagian *finish mil* (penggilingan akhir) dengan *nominal group technique* (NGT) untuk menentukan sebab yang paling dominan sehingga *blaine* dan *mesh* tersebut tidak terkendali (Mulyana, 2008).

4.6. Nominal Group Technique

Berdasarkan pendapat karyawan di bagian penggilingan akhir (*finish mill*) dari 14 faktor (Lampiran 7) yang diduga sebagai

penyebab masalah, dengan NGT didapatkan $\frac{N}{2}+1= 8$ faktor

dominan (Mulyana, 2008) yang menyebabkan *blaine* dan *mesh* tidak terkendali, yaitu :

1. selalu menunggu perintah atasan.
karyawan di bagian penggilingan akhir sebenarnya telah mengetahui adanya penyimpangan pada proses penggilingan semen tetapi karyawan tersebut tidak dapat langsung mengambil tindakan karena setiap tindakan harus melalui prosedur yang ada.
2. mengacu pada metode lama.
butuh waktu untuk mengubah kebiasaan karyawan untuk beradaptasi dengan metode baru.
3. metode terlalu rumit.
sebelum dan selama proses penggilingan semen terdapat tahapan-tahapan yang harus dilakukan secara berurutan sehingga kadang-kadang seorang karyawan tidak melakukan secara benar.
4. mesin terlalu panas.
keadaan mesin akan berbeda ketika dipakai diawal proses penggilingan dan ketika mesin sudah lama digunakan.
5. semen kurang homogen.
sili-silo (tempat penampungan dan penggilingan semen) sangat besar sehingga kemungkinan besar semen kurang homogen.
6. terak terbatas.
PT. Semen Gresik yang bertempat di Gresik hanya beroperasi di bagian penggilingan akhir. Bahan dasar semen (terak) dikirim dari PT. Semen Gresik yang bertempat di Tuban. Sehingga ketika terjadi proses penggilingan bisa saja kekurangan terak.
7. kurang tanggung jawab.
kurangnya kesadaran setiap karyawan dengan tanggung jawab masing-masing.
8. tidak ada petugas cadangan.
ada kemungkinan terjadi sesuatu yang tidak diinginkan terhadap karyawan yang bertugas sehingga dibutuhkan petugas cadangan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

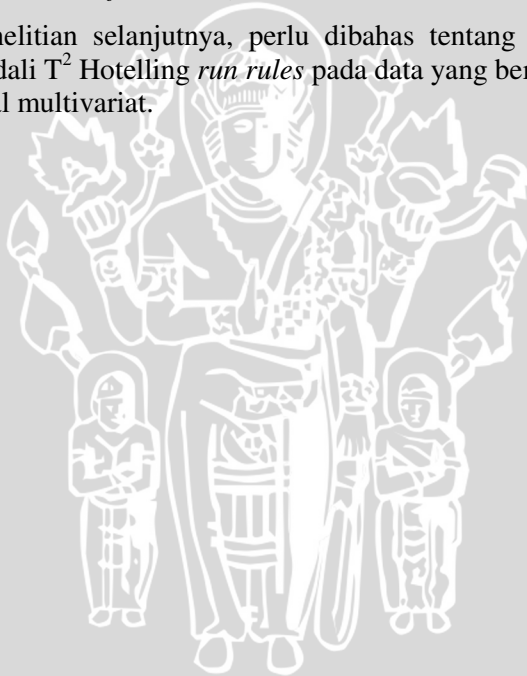
5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Grafik kendali T^2 Hotelling diterapkan pada data semen jenis OPC dengan dua tahap. Tahap pertama dilakukan pengendalian sebanyak dua kali. Pada pengendalian pertama, dari 72 titik terdapat 3 titik yang *out-of-control*. Pada pengendalian selanjutnya (dengan membuang 3 titik yang tidak terkendali) diperoleh kondisi yang *in-control* (terkendali). Pada kondisi yang *in-control* diperoleh rata-rata dan matriks ragam-peragam yang digunakan sebagai acuan pengendalian tahap kedua (T^2 Hotelling dengan *rules*). Penerapan grafik kendali T^2 Hotelling *run rules* dapat dikatakan belum terkendali. Hal ini ditandai dengan adanya titik-titik yang tidak terkendali sebanyak 8 titik yaitu 6 titik memenuhi *run rules* I (titik ke-7, 10, 13, 53, 64 dan 68) dan 2 titik memenuhi *run rules* II (titik ke-14, 15)
2. Variabel yang menyebabkan titik tidak terkendali ditentukan dengan dekomposisi MYT. Semen OPC dengan nomor sampel 7, 10, 13, 53, 64 dan 68 tidak terkendali secara statistik didekomposisi sehingga didapatkan variabel yang paling menyebabkan OPC tidak terkendali yaitu *blaine*, *mesh*, *free lime* dan SO_3 . 78,6% ketidaksesuaian OPC hanya disebabkan 2 variabel yaitu *blaine* dan *mesh*.
3. Penyebab timbulnya masalah ditentukan dengan diagram sebab-akibat. Dari diagram sebab akibat didapatkan 14 faktor (berdasarkan pendapat karyawan di bagian penggilingan akhir) yang diduga sebagai penyebab masalah dan dengan NGT didapatkan 8 faktor dominan yang menyebabkan kahalusan semen (*blaine* dan *mesh*) tidak terkendali, yaitu selalu menunggu perintah atasan, mengacu pada metode lama, metode terlalu rumit, mesin terlalu panas, semen kurang homogen, terak (bahan dasar semen) terbatas, kurang tanggung jawab dan tidak ada petugas cadangan.

5.2 Saran

1. Penggunaan grafik kendali T^2 Hotelling *run rules* di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. hendaknya dilaksanakan untuk menganalisis secara simultan variabel pengukuran OPC yang berkorelasi. Agar informasi yang dapat disampaikan menjadi lebih informatif sehingga dapat dijadikan sebagai acuan dalam menindaklanjuti permasalahan yang ada.
2. Sebaiknya dilakukan peninjauan ulang mengenai faktor-faktor yang menyebabkan proses produksi OPC tidak terkendali secara statistik dan dilakukan pemantauan terhadap karyawan di bagian penggilingan akhir (*finish mill*).
3. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dibahas tentang kepekaan grafik kendali T^2 Hotelling *run rules* pada data yang berdistribusi non-normal multivariat.



DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, T. W., 1984. *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis*. John Wiley & Sons. New York.
- Anonymous. 2004 . *Profil Perusahaan PT. Semen Gresik (Persero) Tbk..* Gresik.
- Aparisi, F.; C.W Champ dan J.C. Garcia-Diaz. 2004. *A Performance analysis Hotelling's χ^2 Control Chart with Supplementary Run Rules..* Journal of Quality Engineering, vol 16, pp 359 – 368.
- Evans, J. R. dan W. M. Lindsay. 2002. *The Management and Control of Quality*, 5th edition, South_western, Thomson Learning, Ohio.
- Gasperz, V. 1998. *Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan*. Tarsito. Bandung.
- Grant, E.L. dan R.S. Leavenworth. 1999. *Statistical Quality Control*. 7th edition. Mc Graw-Hill. New York.
- Johnson R. A. and D. W. Wichern 2002. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 5th edition, Prentice Hall, Englewood Chiffs, New Jersey
- Khoo, M.B.C. and S.H. Quah. 2003. *Incorporating Runs Rules into Hotelling's χ^2* , *Journal of Quality Engineering*, Vol 15(4), pp 671-675
- Mardiyah, T. 2008. Pengendalian Proses Produksi *Ordinary Portland Cement* (OPC) Dengan Grafik kendali T^2 Hotelling. Laporan Praktek Kerja lapang Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya. Malang

- Mason R.L.; J.C. Young dan N.D. Tracy. 1995. *Decomposition of T^2 for Multivariate Control Chart Interpretation*. Journal of Quality Technology, 27, 99-108.
- Minitab Inc. 2003. *MINITAB Statistical Software*, Release 14 for Windows, State College, Pennsylvania.
- Mitra, A. 1998. *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, 2nd edition. Prentice Hall, Upper Sanddle River, New Jersey.
- Montgomery, D.C. 1996. *Introduction to Statistical Quality Control*, 3th edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Mulyana, I. 2008. <http://id.shvoong.com/business-management/nominal-group-technique/>, Tanggal akses: 28 Nopember 2008.
- Munikah, T. 2002. *Kajian Grafik Kendali Multivariat*. Skripsi Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya. Malang.
- The MathWorks Inc. 2005. <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/helpdesk.shtml>, Tanggal akses : 28 Oktober 2008.
- Walpole. 2002. *Probability and Statistics*. International Edition. Prentice Hall Inc. New jersey.

Lampiran 1. Data OPC pada tanggal 5 April 2008 sampai 26 Juni 2008 (Data Masa lalu)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)
1	5-Apr-08	1	3236	0.59	1.45	64.0	75.4	175
			3282	0.57	1.59	63.8	74.2	180
			3193	0.53	2.00	55.8	71.4	198
			3221	0.69	2.48	69.4	70.7	173
2	5-Apr-08	2	3260	0.57	2.24	70.6	76.9	195
			3180	0.55	2.34	67.8	73.4	192
			3275	0.69	2.24	65.4	71.2	190
			3170	0.63	1.15	70.5	70.5	203
3	7-Apr-08	1	3260	0.47	2.50	69.9	74.1	194
			3182	0.72	2.43	66.0	67.0	177
			3234	0.68	1.97	58.1	62.7	200
			3139	0.56	2.35	69.9	80.7	185
4	7-Apr-08	2	3197	0.55	1.49	61.7	72.8	174
			3210	0.49	1.97	68.4	80.7	180
			3131	0.62	1.59	55.1	69.4	188
			3142	0.51	1.57	63.4	76.4	186
5	8-Apr-08	1	3161	0.49	1.39	69.4	71.2	183
			3145	0.62	1.70	65.0	65.4	161
			3218	0.64	1.36	69.7	72.7	175
			3189	0.65	2.27	70.1	76.3	186
6	8-Apr-08	2	3320	0.68	1.95	69.6	75.3	183
			3130	0.67	2.69	64.4	67.5	187
			3258	0.69	1.45	69.3	70.6	196
			3170	0.53	2.53	63.5	74.2	177
7	19-Apr-08	1	3215	0.72	2.16	66.7	78.9	188
			3196	0.58	1.78	58.3	68.7	197
			3231	0.54	2.71	73.7	80.4	201
			3117	0.48	2.07	66.4	69.0	195
8	19-Apr-08	2	3277	0.52	1.92	67.9	80.2	194
			3260	0.48	2.13	79.0	71.1	191
			3247	0.86	2.51	71.7	73.1	183
			3252	0.53	1.76	71.6	77.0	185

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (<i>mμ</i>)	Time (menit)
9	20-Apr-08	1	3170	0.72	1.90	54.6	68.1	182
			3210	0.39	2.56	54.2	73.8	186
			3180	0.69	2.07	78.6	70.1	178
			3236	0.52	1.77	60.9	69.7	180
10	20-Apr-08	2	3177	0.60	2.05	67.1	73.7	190
			3150	0.67	1.68	67.5	75.1	179
			3246	0.53	1.54	67.1	62.7	190
			3161	0.63	1.48	74.8	73.6	209
11	21-Apr-08	1	3182	0.58	1.86	66.3	70.2	174
			3223	0.68	1.98	69.0	72.5	170
			3117	0.64	1.59	64.4	79.7	191
			3253	0.51	1.57	65.3	74.1	193
12	21-Apr-08	2	3328	0.67	2.47	63.0	76.7	203
			3272	0.71	2.55	69.8	81.3	186
			3283	0.61	2.04	63.2	77.8	172
			3179	0.52	1.86	61.9	71.8	179
13	22-Apr-08	1	3246	0.56	1.55	69.8	70.5	174
			3230	0.72	1.26	62.9	71.6	192
			3176	0.97	1.97	73.7	68.4	175
			3229	0.71	2.22	58.1	75.8	177
14	22-Apr-08	2	3260	0.42	1.52	70.4	71.0	180
			3133	0.55	2.26	58.0	75.3	180
			3215	0.60	2.12	67.4	67.1	184
			3093	0.47	1.88	69.7	73.4	180
15	23-Apr-08	1	3221	0.46	2.07	69.6	66.3	191
			3207	0.55	2.11	76.0	69.1	193
			3139	0.71	2.33	64.1	78.3	190
			3196	0.61	2.26	65.4	64.7	184

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO3 (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)
16		2	3185	0.66	2.70	69.3	70.3	191
			3181	0.71	2.37	59.1	70.8	186
			3194	0.79	2.62	61.6	63.2	192
			3268	0.45	1.72	65.2	68.8	184
17	24-Apr-08	1	3195	0.52	1.83	66.6	75.8	167
			3190	0.45	2.09	67.9	75.6	186
			3210	0.46	2.75	76.3	70.8	183
			3277	0.63	2.53	69.5	70.9	172
18		2	3171	0.59	1.90	77.9	74.5	195
			3137	0.56	2.33	61.5	63.7	187
			3227	0.59	2.02	70.2	76.9	190
			3202	0.64	2.35	77.2	69.0	186
19	29-Apr-08	1	3173	0.71	2.04	66.7	68.4	190
			3234	0.36	1.29	73.6	76.8	194
			3181	0.48	0.92	67.5	68.2	188
			3179	0.42	1.31	72.9	71.1	179
20		2	3083	0.65	2.22	70.9	70.4	192
			3160	0.46	1.54	64.1	78.8	171
			3160	0.63	2.55	70.8	70.7	176
			3216	0.61	2.27	74.3	77.9	193
21	30-Apr-08	1	3249	0.69	2.07	66.2	78.2	185
			3202	0.51	1.53	68.8	74.9	193
			3104	0.71	1.64	65.9	65.6	185
			3222	0.59	1.88	66.7	75.2	196
22		2	3266	0.62	2.37	65.3	71.7	185
			3176	0.73	1.66	65.4	76.2	174
			3136	0.77	1.79	64.1	72.6	190
			3191	0.57	2.07	63.7	78.0	185
23	2 Mei 2008	1	3196	0.60	1.96	73.9	72.8	175
			3105	0.63	1.22	67.1	69.1	168
			3199	0.48	1.96	62.3	75.1	192
			3154	0.67	1.85	74.0	64.5	190

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO3 (%)	CaO (%)	Mesh ($m\mu$)	Time (menit)
24		2	3248	0.41	2.17	66.3	70.3	191
			3246	0.66	2.38	61.8	68.5	191
			3129	0.66	1.94	68.4	76.6	166
			3202	0.45	2.00	65.9	74.2	177
25	3 Mei 2008	1	3172	0.48	1.10	80.5	71.9	193
			3194	0.74	1.91	64.5	66.1	181
			3171	0.65	2.60	64.3	70.9	179
			3212	0.52	1.14	65.9	72.5	180
26		2	3178	0.62	1.08	70.6	72.8	184
			3152	0.48	1.43	71.7	81.0	171
			3127	0.54	2.21	72.8	65.5	179
			3200	0.73	1.89	66.0	70.2	177
27	4 Mei 2008	1	3236	0.55	2.07	60.2	69.1	203
			3228	0.72	2.40	64.8	72.6	184
			3127	0.53	2.54	61.8	67.3	180
			3187	0.58	1.77	68.2	73.3	172
28		2	3212	0.83	1.57	67.8	64.8	172
			3135	0.60	1.18	73.5	70.3	196
			3122	0.47	1.69	66.6	70.9	184
			3092	0.77	1.69	71.6	69.9	189
29	5 Mei 2008	1	3165	0.67	1.51	68.1	74.9	179
			3157	0.52	2.01	61.9	80.0	173
			3218	0.68	2.28	64.1	71.1	185
			3188	0.58	2.03	64.8	73.4	194
30		2	3195	0.59	2.32	74.6	65.9	169
			3229	0.62	2.27	62.5	72.0	182
			3236	0.58	2.20	73.5	66.0	189
			3221	0.59	1.98	65.2	75.9	204
31	6 Mei 2008	1	3256	0.60	1.88	56.9	76.2	196
			3211	0.55	2.03	72.2	68.1	191
			3233	0.68	1.54	65.2	73.9	180
			3197	0.60	2.34	63.7	72.9	180

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)
32		2	3196	0.56	1.50	70.5	68.5	187
			3147	0.61	1.55	64.7	75.8	182
			3147	0.60	2.54	72.3	67.8	172
			3222	0.61	2.32	62.7	70.6	185
33	7 Mei 2008	1	3272	0.58	2.08	65.0	80.3	179
			3122	0.46	2.15	72.0	75.9	194
			3187	0.72	2.14	67.8	71.1	200
			3278	0.60	1.63	73.8	71.0	176
34		2	3214	0.54	2.09	74.7	70.7	189
			3189	0.61	2.27	66.8	68.6	187
			3220	0.41	2.41	62.4	79.1	177
			3150	0.81	2.46	70.5	73.3	174
35	8 Mei 2008	1	3207	0.56	2.04	65.3	72.3	184
			3178	0.61	1.64	66.7	77.8	186
			3135	0.60	1.26	72.6	72.8	182
			3217	0.68	2.18	67.6	66.4	182
36		2	3266	0.55	1.63	58.8	79.4	182
			3224	0.53	2.16	70.0	78.7	184
			3309	0.83	2.06	67.3	76.2	194
			3258	0.57	1.80	61.1	58.8	181
37	9 Mei 2008	1	3221	0.78	2.05	72.0	67.1	199
			3245	0.69	1.62	61.3	76.2	176
			3189	0.60	2.00	68.1	74.8	193
			3177	0.67	1.90	66.7	72.9	187
38		2	3182	0.67	1.89	61.6	72.0	198
			3183	0.67	1.84	70.9	66.7	184
			3223	0.56	1.54	74.8	66.0	184
			3249	0.52	1.57	63.9	78.7	188
39	10 Mei 2008	1	3181	0.54	1.83	73.8	68.1	182
			3254	0.76	2.22	73.6	71.1	190
			3235	0.69	1.35	69.5	74.0	186
			3236	0.69	1.61	58.8	71.8	177

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh ($m\mu$)	Time (menit)
40		2	3128	0.71	1.40	70.7	69.7	194
			3123	0.45	1.92	61.7	77.0	194
			3180	0.62	2.50	71.0	66.2	190
			3198	0.59	1.88	57.6	66.7	205
41	11 Mei 2008	1	3171	0.70	2.09	73.4	67.4	184
			3150	0.73	2.47	65.7	65.2	187
			3132	0.67	2.21	65.1	71.0	185
			3196	0.38	1.76	66.9	74.6	166
42		2	3178	0.59	1.88	72.3	73.7	181
			3191	0.58	1.96	71.2	66.7	185
			3223	0.50	1.48	70.0	73.8	178
			3179	0.63	2.37	69.4	66.9	191
43	12 Mei 2008	1	3194	0.54	0.99	66.5	74.2	195
			3121	0.71	1.89	62.4	67.8	194
			3230	0.58	1.54	70.0	78.1	180
			3222	0.41	1.64	71.9	73.6	184
44		2	3275	0.58	1.40	63.4	60.4	172
			3249	0.53	2.17	63.5	68.0	187
			3241	0.69	2.28	67.7	72.1	190
			3241	0.60	2.23	59.6	71.4	186
45	17 Mei 2008	1	3234	0.60	1.84	66.8	80.8	194
			3222	0.66	1.92	68.5	78.2	179
			3198	0.59	1.93	71.9	71.7	185
			3178	0.61	2.32	67.5	64.0	193
46		2	3189	0.48	2.28	58.5	72.6	171
			3212	0.65	2.07	70.8	67.7	188
			3234	0.51	2.04	71.5	69.5	194
			3241	0.71	1.74	71.6	78.1	198
47	18 Mei 2008	1	3248	0.67	2.53	66.5	74.4	185
			3266	0.61	2.43	73.1	71.3	189
			3160	0.57	1.48	66.6	69.2	188
			3250	0.69	1.99	70.6	71.6	179

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh ($m\mu$)	Time (menit)
48		2	3234	0.58	2.43	72.1	85.1	178
			3127	0.55	2.82	64.8	74.0	175
			3253	0.68	1.89	72.8	82.1	197
			3155	0.51	1.83	62.4	66.8	198
49	19 Mei 2008	1	3178	0.60	2.21	57.1	80.3	185
			3211	0.49	2.30	67.6	73.5	192
			3217	0.67	2.05	68.8	66.6	191
			3187	0.83	1.50	63.3	67.6	179
50		2	3182	0.62	1.73	58.9	66.4	198
			3227	0.52	1.86	67.3	75.5	172
			3146	0.61	2.21	74.3	70.8	186
			3160	0.65	2.09	71.3	75.7	198
51	21 Mei 2008	1	3213	0.75	0.94	68.2	71.3	200
			3181	0.58	1.64	69.1	67.6	177
			3162	0.80	2.04	80.7	69.7	183
			3186	0.57	2.23	62.0	67.1	190
52		2	3279	0.67	1.95	64.3	74.8	189
			3251	0.54	2.41	74.4	71.8	188
			3194	0.55	1.86	72.8	75.4	176
			3285	0.72	1.93	63.5	72.2	173
53	22 Mei 2008	1	3227	0.54	1.89	59.5	76.2	176
			3103	0.68	1.72	63.9	72.0	185
			3185	0.61	1.26	70.3	62.4	183
			3146	0.50	1.01	65.2	69.9	187
54		2	3196	0.63	2.12	65.6	67.9	185
			3201	0.55	2.08	71.7	60.6	187
			3208	0.63	1.85	62.1	77.1	197
			3227	0.45	2.26	78.8	66.7	187
55	23 Mei 2008	1	3184	0.77	2.10	71.2	67.6	192
			3240	0.62	1.40	67.5	67.6	194
			3184	0.47	2.67	71.5	73.6	176
			3173	0.78	1.59	67.9	66.8	171

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh ($m\mu$)	Time (menit)
56		2	3205	0.60	2.52	68.2	78.6	198
			3260	0.38	1.64	73.0	73.3	174
			3228	0.66	2.67	70.8	70.4	195
			3163	0.52	1.65	69.7	70.5	176
57	16 Juni 2008	1	3219	0.72	2.26	75.1	70.0	181
			3288	0.47	1.22	61.2	72.1	187
			3215	0.69	1.48	64.8	74.3	169
			3206	0.80	1.69	53.5	72.9	183
58		2	3345	0.56	2.12	71.9	75.6	186
			3102	0.68	2.11	70.5	77.1	203
			3175	0.68	2.02	62.8	75.7	189
			3118	0.68	1.65	65.0	68.0	174
59	17 Juni 2008	1	3194	0.52	1.48	63.8	73.9	199
			3243	0.57	2.20	58.3	76.0	190
			3215	0.68	1.74	63.2	62.7	174
			3155	0.55	2.07	68.6	72.2	184
60		2	3173	0.56	2.36	71.7	69.1	170
			3137	0.91	1.98	63.5	77.5	191
			3195	0.81	2.13	75.5	74.3	187
			3267	0.63	2.36	71.2	79.5	185
61	18 Juni 2008	1	3201	0.66	1.44	71.9	65.6	179
			3207	0.54	1.76	68.7	66.5	201
			3221	0.49	1.99	63.7	65.4	191
			3242	0.48	2.70	65.6	65.3	181
62		2	3225	0.65	1.80	66.8	73.1	188
			3218	0.60	1.88	69.9	64.9	191
			3212	0.33	1.88	70.4	68.7	175
			3180	0.79	2.29	57.5	73.4	190
63	22 Juni 2008	1	3203	0.65	2.01	69.2	66.8	192
			3210	0.47	2.78	64.4	66.3	193
			3236	0.43	2.16	68.7	59.9	191
			3191	0.74	1.98	61.8	66.5	191

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)
64		2	3230	0.58	1.60	73.8	69.8	191
			3256	0.64	2.89	71.0	73.1	201
			3216	0.53	2.04	64.7	72.6	170
			3119	0.66	2.30	76.4	74.9	180
65	23 Juni 2008	1	3105	0.46	1.31	74.4	74.6	180
			3141	0.63	2.69	65.5	65.0	198
			3203	0.63	2.36	73.1	68.7	177
			3095	0.59	2.51	64.0	64.1	177
66		2	3203	0.54	2.07	57.1	72.4	184
			3170	0.55	1.64	68.3	73.0	189
			3161	0.45	1.88	65.2	77.6	176
			3197	0.65	1.19	70.7	65.9	184
67	24 Juni 2008	1	3173	0.55	2.00	76.5	71.8	178
			3186	0.61	2.13	75.8	78.2	182
			3156	0.54	1.94	69.0	69.3	169
			3175	0.56	1.73	63.7	69.1	185
68		2	3264	0.53	2.55	68.8	77.5	183
			3213	0.58	2.08	72.5	72.2	172
			3281	0.78	1.86	62.1	76.0	187
			3196	0.59	1.87	75.2	74.6	180
69	25 Juni 2008	1	3234	0.46	1.64	62.1	70.1	197
			3139	0.55	1.96	74.1	65.6	192
			3204	0.64	2.33	67.0	72.0	176
			3229	0.74	1.31	69.6	65.9	194
70		2	3173	0.55	2.00	76.5	71.8	178
			3186	0.61	2.13	75.8	78.2	182
			3156	0.54	1.94	69.0	69.3	169
			3175	0.56	1.73	63.7	69.1	185
71	26 Juni 2008	1	3264	0.53	2.55	68.8	77.5	183
			3213	0.58	2.08	72.5	72.2	172
			3281	0.78	1.86	62.1	76.0	187
			3196	0.59	1.87	75.2	74.6	180

Lampiran 1. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (<i>mμ</i>)	Time (menit)
72		2	3234	0.46	1.64	62.1	70.1	197
			3139	0.55	1.96	74.1	65.6	192
			3204	0.64	2.33	67.0	72.0	176
			3229	0.74	1.31	69.6	65.9	194



Lampiran 2. Data OPC pada tanggal 2 Juli 2008 sampai 18 Oktober 2008 (Data Masa Sekarang)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (mμ)	Time (menit)
1	2 Juli 2008	1	3213	0.64	1.83	68.2	68.3	176
			3134	0.72	1.89	68.3	78.3	189
			3172	0.77	1.85	68.2	56.4	158
			3222	0.77	2.11	68.1	70.6	198
2		2	3380	0.50	1.78	68.3	68.7	179
			3183	0.67	2.59	67.6	63.2	197
			3255	0.80	1.70	67.9	70.1	177
			3179	0.69	1.78	68.2	77.2	182
3	3 Juli 2008	1	3111	0.67	2.32	68.2	71.2	189
			3132	0.71	2.05	68.1	63.7	175
			3249	0.56	2.11	68.2	65.5	182
			3283	1.00	1.73	68.0	71.5	172
4		2	3400	0.68	2.17	67.9	75.6	185
			3166	0.64	2.38	67.7	69.5	168
			2985	0.80	1.98	67.6	83.0	182
			3558	0.65	2.49	67.8	76.9	190
5	5 Juli 2008	1	3381	0.78	1.90	67.6	70.7	169
			3133	0.98	2.62	68.8	57.5	194
			3254	0.48	2.31	67.5	85.8	193
			3314	0.64	2.08	68.2	73.2	180
6		2	3244	0.80	2.59	67.6	85.4	186
			3270	0.71	1.68	68.6	75.9	185
			3337	0.70	1.85	67.6	88.6	180
			3091	0.69	1.87	67.9	62.1	181
7	13 Juli 2008	1	3513	0.44	2.80	68.4	81.2	191
			3524	0.73	2.51	68.0	92.9	185
			3387	0.87	2.35	68.1	82.0	183
			3537	0.66	2.25	68.1	69.9	172
8		2	3341	0.49	1.83	68.5	64.1	177
			3306	0.73	2.49	68.1	61.7	194
			3305	0.70	1.97	67.8	75.0	185
			3304	0.46	2.13	68.3	53.5	186

Lampiran 2. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (μ)	Time (menit)
9	17 juli 2008	1	3055	0.74	1.49	67.9	88.2	170
			3089	0.76	1.68	68.2	63.4	178
			2946	0.72	2.13	68.4	60.0	187
			3478	0.64	1.79	67.9	79.7	181
10		2	3264	0.87	2.32	68.3	64.5	189
			3574	0.70	2.40	67.6	59.4	202
			3319	0.79	2.38	67.6	76.8	180
			3223	0.67	2.29	68.5	42.3	185
11	18 juli 2008	1	3405	0.88	2.14	67.3	78.0	188
			3167	0.67	2.49	67.9	74.8	174
			3247	0.76	2.21	67.8	74.4	193
			3124	0.56	2.11	67.8	76.9	181
12		2	3515	0.70	2.45	68.2	55.6	173
			3345	0.60	1.66	67.8	60.4	170
			3218	0.73	2.10	68.3	88.7	167
			3165	0.70	2.31	68.4	66.9	189
13	19 juli 2008	1	2978	0.67	2.88	67.5	69.8	184
			3686	0.51	1.26	68.2	69.9	188
			3579	0.63	2.44	67.8	78.9	185
			3598	0.93	2.22	67.5	54.2	178
14		2	3163	0.73	2.65	68.7	81.4	181
			3519	0.88	1.62	67.7	83.7	184
			3332	0.93	1.69	67.4	78.1	185
			3311	1.00	2.23	68.2	61.9	176
15	20 juli 2008	1	3295	0.77	2.43	67.5	76.0	191
			3447	0.82	2.43	68.0	72.7	177
			3378	0.77	1.79	68.0	75.0	183
			3272	0.87	2.28	68.3	75.1	176

Lampiran 2. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (<i>mμ</i>)	Time (menit)
16		2	3430	0.88	1.81	67.7	66.5	178
			3366	0.75	2.20	67.1	89.6	175
			3149	0.75	2.27	69.2	82.2	194
			3318	0.93	2.21	68.2	73.9	196
17	24 juli 2008	1	3174	0.55	1.80	68.3	84.6	189
			3524	0.72	1.87	67.7	76.4	188
			3237	0.61	1.99	67.8	53.8	183
			3121	0.56	2.20	68.2	84.7	169
18		2	3315	0.62	2.01	68.6	80.1	169
			2923	0.94	2.71	68.5	75.0	196
			3073	0.56	2.43	67.7	93.1	185
			3541	0.77	2.21	67.6	50.9	176
19	25 juli 2008	1	3254	0.57	2.78	68.0	61.1	186
			3449	0.57	1.52	68.4	51.7	182
			3349	0.84	1.94	67.7	74.4	196
			3201	0.67	1.99	68.2	60.2	172
20		2	3288	0.55	2.16	68.2	67.3	175
			3035	0.67	2.65	67.9	80.2	174
			3031	0.63	1.87	68.0	79.5	188
			3278	0.55	1.88	67.7	86.1	187
21	26 juli 2008	1	3300	0.62	1.99	68.1	74.3	181
			3075	0.68	2.10	67.5	61.3	179
			2961	0.62	1.99	68.0	86.8	205
			3141	0.74	1.98	67.8	85.7	183
22		2	3230	0.83	1.33	68.5	74.0	174
			3430	0.67	2.04	67.7	66.8	196
			3208	0.86	2.74	67.3	74.5	163
			3411	0.53	2.13	68.3	75.0	173
23	27 juli 2008	1	3209	0.38	2.28	67.7	63.2	182
			3220	0.56	1.56	69.1	75.4	187
			3079	0.70	1.85	68.0	64.3	180
			3118	1.04	2.43	68.1	67.2	177

Lampiran 2. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)
24		2	3110	0.80	2.17	67.5	56.2	178
			3330	0.75	2.19	68.0	85.1	175
			3208	0.57	2.09	68.1	93.5	182
			3342	0.39	1.37	67.5	63.1	195
25	31 juli 2008	1	3413	0.54	2.54	68.0	67.7	170
			2699	0.86	2.40	67.8	81.2	191
			3206	0.69	1.81	67.4	75.9	196
			2989	0.63	2.85	68.3	78.5	175
26		2	3310	0.87	2.32	67.8	81.1	194
			3181	0.61	2.08	68.6	74.0	177
			3225	0.74	2.27	68.3	78.1	180
			3469	0.43	2.42	68.3	66.3	190
27	7 agustus 2008	1	3405	0.77	1.25	68.9	66.5	167
			3364	0.58	2.12	67.5	60.4	174
			3073	0.71	2.12	67.8	59.1	188
			3317	0.79	2.64	68.4	83.9	167
28		2	2988	0.76	2.55	67.6	77.4	164
			3020	0.79	1.94	67.7	68.0	173
			3058	0.62	2.27	67.5	61.4	170
			3161	0.63	2.38	67.2	62.7	182
29	9 Agustus 2008	1	3558	0.72	2.10	68.5	68.4	170
			3238	0.71	1.61	67.8	79.5	193
			3258	0.81	1.39	67.2	74.2	189
			3414	0.68	2.03	68.5	87.1	158
30		2	3009	0.58	1.81	67.4	72.1	174
			3339	0.57	1.55	68.1	63.6	179
			3019	0.78	1.65	67.9	40.0	176
			2992	0.96	2.21	68.2	72.1	185
31	10 Agustus 2008	1	3168	0.76	2.03	68.1	87.8	180
			3384	0.73	2.10	68.0	75.0	195
			3264	0.79	2.18	67.7	72.0	177
			2951	0.59	2.30	68.3	55.1	173

Lampiran 2. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)
32		2	3145	0.55	2.44	68.3	73.5	174
			3657	0.69	1.86	67.8	76.6	183
			3288	0.75	2.32	68.5	74.0	170
			3296	0.72	2.69	67.7	72.7	181
33	13 Agustus 2008	1	3477	0.80	2.22	68.3	100.7	164
			3129	0.90	2.48	68.4	69.8	161
			3022	0.66	1.73	68.4	75.1	166
			3451	0.67	2.02	67.7	53.7	193
34		2	2981	0.72	1.38	68.6	62.8	169
			3260	0.54	2.42	67.4	61.9	178
			2939	0.62	1.93	68.2	72.6	171
			3272	0.61	1.90	68.7	59.1	198
35	15 Agustus 2008	1	3298	0.80	1.91	68.2	64.1	184
			3323	0.67	1.89	68.5	57.8	181
			3088	0.60	1.96	68.0	84.0	192
			3223	0.53	2.34	68.3	72.8	199
36		2	3322	0.62	1.70	67.6	71.2	182
			3146	0.70	1.97	68.3	73.7	184
			3268	0.71	2.23	68.4	87.5	182
			3158	0.44	2.38	67.5	72.0	173
37	20 Agustus 2008	1	3212	0.83	1.57	68.1	64.4	192
			3273	0.87	2.52	68.0	80.7	182
			3179	0.67	2.44	67.7	79.7	198
			3641	0.65	2.24	68.3	84.6	178
38		2	3287	0.69	2.20	68.7	79.3	200
			3132	0.74	2.01	67.7	74.0	192
			3507	0.69	1.41	67.7	66.9	165
			3362	0.81	1.76	68.0	68.2	196
39	2-Sep-08	1	3234	0.47	1.52	67.7	51.0	178
			3348	0.96	2.03	68.1	65.9	190
			3075	0.66	2.45	68.1	62.3	188
			2865	0.73	2.16	68.2	70.1	192

Lampiran 2. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)
40		2	3252	0.84	2.03	68.1	62.5	176
			3418	0.79	2.19	68.0	94.9	191
			3272	0.64	1.67	68.2	71.8	159
			3140	0.64	1.93	67.2	60.8	179
41	6-Sep-08	1	2962	0.76	2.45	68.5	86.0	179
			3202	0.68	2.38	67.8	74.5	184
			3387	0.65	2.05	67.9	60.8	200
			3172	0.64	2.07	68.4	81.9	179
42		2	3542	0.72	1.57	68.9	73.4	178
			3322	0.62	1.94	68.0	71.4	172
			3155	0.74	2.24	68.5	80.3	179
			3357	0.56	2.34	68.0	54.1	200
43	7-Sep-08	1	3200	0.44	1.75	68.2	58.3	173
			3353	0.66	2.14	67.7	77.9	195
			3333	0.77	1.99	68.3	73.9	196
			3094	0.71	2.34	66.9	61.9	195
44		2	3046	0.69	1.94	67.5	75.1	197
			3051	0.77	2.45	69.0	84.4	175
			3361	0.69	2.32	67.8	78.9	190
			3401	0.87	2.40	68.1	94.2	179
45	26-Sep-08	1	3048	0.62	1.72	67.7	71.6	168
			3122	0.75	1.75	68.2	70.0	179
			3268	0.87	1.68	68.5	69.0	178
			3327	0.92	2.13	67.5	71.6	183
46		2	3237	0.72	2.40	68.5	81.2	183
			3568	0.68	2.54	68.8	73.6	168
			3438	0.88	2.28	67.4	61.3	191
			3008	0.69	1.99	68.0	95.6	192
47	29-Sep-08	1	3157	0.61	1.55	67.7	70.7	167
			3343	0.81	2.15	68.3	92.3	178
			3078	0.43	1.79	68.4	80.9	190
			3094	0.59	2.64	67.5	75.6	175

Lampiran 2. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)	
48		2	3379	0.54	2.02	68.6	84.6	189	
			3281	0.68	2.60	67.8	64.2	177	
			3356	0.53	2.08	68.2	82.4	205	
			3167	0.69	2.38	68.0	66.3	184	
49	30-Sep-08	1	3084	0.75	1.61	67.1	65.0	171	
			3445	0.69	2.42	68.0	58.4	192	
			3237	0.82	1.95	68.7	63.3	182	
			3359	0.59	2.27	68.0	59.9	184	
50			2	3090	0.81	2.19	67.2	75.3	175
				3308	0.76	2.31	67.6	68.2	186
				3212	0.68	1.90	67.3	96.1	177
				3449	0.51	1.96	68.3	68.0	184
51	8 Oktober 2008	1	3076	0.63	1.94	67.5	64.7	186	
			3118	0.83	2.42	68.0	68.6	182	
			3448	0.82	2.06	67.9	53.4	174	
			3227	0.70	2.19	68.2	75.7	198	
52			2	3094	0.63	2.35	68.2	83.5	184
				3176	0.74	1.63	68.4	62.5	180
				3387	0.55	2.01	68.0	63.6	188
				3189	0.73	1.62	68.9	46.1	173
53	9 Oktober 2008	1	3560	0.68	2.78	68.9	78.9	182	
			3438	0.55	2.04	68.5	65.3	187	
			3358	0.59	2.78	67.8	74.1	184	
			3531	0.65	2.32	68.2	81.4	178	
54			2	3169	0.60	2.06	68.2	61.8	176
				3477	0.65	1.41	68.1	78.6	206
				3412	0.63	1.91	68.2	57.3	199
				3181	0.69	1.89	67.7	67.8	177
55	10 Oktober 2008	1	3021	0.69	2.14	68.0	60.8	189	
			3184	0.81	2.00	68.0	75.2	200	
			3006	0.71	2.25	67.3	76.7	179	
			3277	0.75	2.50	67.8	81.2	154	

Lampiran 2. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO	Mesh (<i>mμ</i>)	Time (menit)
56		2	3445	0.58	2.39	68.1	83.4	191
			3183	0.64	1.94	68.0	64.5	197
			3105	0.85	2.15	67.2	69.8	183
			3205	0.84	2.25	68.2	65.6	175
57	11 Oktober	1	3209	0.84	2.00	67.8	56.5	184
			3147	0.76	2.36	67.4	68.8	211
			3243	0.59	2.11	68.1	80.8	193
			3082	0.56	2.01	67.9	83.6	178
58	2008	2	3300	0.89	1.86	68.2	93.1	181
			3141	0.70	1.79	68.3	76.5	171
			3302	0.64	2.06	68.5	64.0	192
			3485	0.53	2.48	67.5	66.8	181
59	12 Oktober	1	3457	0.70	2.29	68.4	69.2	180
			3516	0.79	2.15	68.0	79.9	171
			2995	0.72	2.24	68.5	65.7	187
			3068	0.74	2.08	67.5	87.1	189
60	2008	2	3344	0.53	2.09	67.8	76.6	185
			3373	0.69	1.79	68.5	71.3	170
			3210	0.72	1.99	67.1	81.2	174
			3274	0.64	2.54	67.4	64.2	170
61	14 Oktober	1	3195	0.69	2.05	67.6	81.6	171
			3270	0.84	1.86	68.6	74.2	178
			2986	0.71	2.20	68.0	80.2	187
			3558	0.76	2.06	68.3	84.8	191
62	2008	2	3419	0.71	2.41	68.2	64.3	203
			3156	0.60	2.08	68.8	59.7	192
			3049	0.64	1.89	67.8	80.1	173
			3310	0.72	2.15	67.9	68.0	173
63	15 Oktober	1	3451	0.92	1.95	68.5	90.7	164
			3344	0.71	2.19	67.6	70.8	163
			3144	0.74	2.42	67.6	74.5	177
			3242	0.81	1.71	67.7	71.7	183

Lampiran 2. (Lanjutan)

No. Sampel	Tanggal	Sampel	Blaine (cm ² /gr)	F.Lime (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Mesh (m μ)	Time (menit)	
64		2	3649	0.94	2.95	68.3	42.9	169	
			3547	0.66	1.97	68.4	75.1	170	
			3067	0.59	1.99	68.3	55.2	167	
			3559	0.56	2.37	67.5	65.3	171	
65	17 Oktober 2008	1	3210	0.62	1.92	67.7	71.1	173	
			3144	0.75	1.93	68.0	75.2	175	
			2985	0.72	2.19	68.3	55.4	177	
			3218	0.73	1.88	67.6	64.2	170	
66			2	3282	0.58	2.13	68.2	72.7	183
				3269	0.69	1.50	68.6	75.0	190
				3339	0.61	1.53	68.5	81.4	184
				3218	0.74	2.43	68.9	85.8	183
67	18 Oktober 2008	1	3129	0.60	1.40	68.0	71.3	177	
			3122	0.66	2.29	67.9	70.9	185	
			3272	0.66	2.13	67.5	68.8	188	
			3079	0.52	2.32	68.6	70.7	194	
68			2	2893	0.69	2.72	67.3	60.3	199
				2785	0.61	1.82	68.0	78.3	193
				3098	0.73	2.22	67.2	63.6	193
				3131	0.69	2.16	68.8	82.9	189

Lampiran 3. Macro Q-Q Plot dengan Software MINITAB 14

```
macro
qq x.1-x.p
mconstant i n p t chis
mcolumn d x.1-x.p dd pi q ss tt
mmatrix s sinv ma mb mc md
let n=count(x.1)
cova x.1-x.p s
invert s sinv
do i=1:p
  let x.i=x.i-rata-rata(x.i)
enddo
do i=1:n
  copy x.1-x.p ma;
  use i.
  transpose ma mb
  multiply ma sinv mc
  multiply mc mb md
  copy md tt
  let t=tt(1)
  let d(i)=t
enddo
set pi
  1:n
end
let pi=(pi-0.5)/n
sort d dd
invcdf pi q;
chis p.
plot q*dd
regress.
invcdf 0.5 chis;
chis p.
let ss=dd<chis
let t=sum(ss)/n
print t
if t>0.5
  note distribusi data multinormal
endif
if t<=0.5
  note distribusi data bukan multinormal
endif
endmacro
```



Lampiran 4. *Macro* Grafik Kendali T² Hotelling *Run Rules* dengan *Software* Matlab 7.1

```

clear;
clc;
%data0=fopen('D:\diyah\work\work1\DataLaskarMathCom.txt','r');
%data=fscanf('data0','%f',inf);
%fclose(data0);
data=["Masukkan data masa sekarang"];
n=4;
[b,kolom]=size(data);
p=[12.8 15.17 17.37 19.43 21.26 23.165 24.86 26.56];
covxest=[2161.6809 -0.1997 1.2373 -6.5366 30.6513 29.9867
        -0.1997 0.0103 0.0033 -0.0205 -0.0424 0.0468
        1.2373 0.0033 0.1563 -0.0031 0.0255 -0.8514
        -6.5366 -0.0205 0.0031 25.9300 -0.5164 -0.8514
        30.6513 -0.0424 0.0255 -0.5164 21.3306 -0.8531
        29.9867 0.0468 -0.1279 -0.8514 -0.8531 74.7462];
xgbar=[3199.9
        0.60380
        1.9584
        67.479
        71.769
        185.22];
m=b/n;
xbar=[];
for a=1:m,
    for b=1:kolom,
        xbar(b,1)=rata-rata(data(n*(a-1)+1:n*a,b));
    end
    tsquared(a,1)=(xbar-xgbar)*inv(covxest)*(xbar-xgbar);
end

%Membuat Grafik Kendali
Median=kolom*(m-1)*(n-1)/(m*n-m-kolom+1)*Finv(0.5,kolom,m*n-m-
kolom+1);
AZ=kolom*(m-1)*(n-1)/(m*n-m-kolom+1)*Finv(0.97,kolom,m*n-m-
kolom+1);
UCL=kolom*(m-1)*(n-1)/(m*n-m-kolom+1)*Finv(0.995,kolom,m*n-m-
kolom+1);
samples=1:m;

plot(samples,tsquared,'*k',samples,UCL(ones(m,1),:),'-
g',samples,AZ(ones(m,1),:),'-k',samples,Median(ones(m,1),:),'-m');

```

Lampiran 4. (Lanjutan)

```
legend('Tsquared','UCL','AZ','Median');  
hold on;
```

```
%Rule 1
```

```
for k=1:m,
```

```
    if tsquared(k,1)>UCL,
```

```
        plot(samples(k),tsquared(k),'r');
```

```
        hold on;
```

```
        for LaokLorong=1:kolom,
```

```
            xinput(b,1)=rata-rata(data(n*(k-1)+1:n*k,LaokLorong));
```

```
        end
```

```
        disp('titik ke-');k
```

```
        %BhetesSarokaKDB=MathCom(xinput,covxest,xgbar);
```

```
yadz=(m*n-m-kolom+1)/(kolom*(m-1)*(n-1));
```

```
dotz=m*n-m-kolom+1;
```

```
TotalTsquare=0;
```

```
for a=1:6
```

```
    if a==1
```

```
        TsquaredSaroka(a)=(xinput(1,1)-xgbar(1,1))^2/covxest(1,1);
```

```
    else
```

```
        for b=1:a-1
```

```
            for c=1:a-1
```

```
                Sxx(b,c)=covxest(b,c);
```

```
            end
```

```
        end
```

```
        for b=1:a-1,
```

```
            SxX_pojokAtas(b,1)=covxest(b,a);
```

```
            SxX_pojokBawah(1,b)=covxest(a,b);
```

```
            xinputP(b,1)=xinput(b,1);
```

```
            xgbarP(b,1)=xgbar(b,1);
```

```
        end
```

```
        SxxInv=inv(Sxx);
```

```
        Bp=SxxInv*SxX_pojokAtas;
```

```
        xbart(a)=xgbar(a)+Bp*(xinputP-xgbarP);
```

```
        BetheS=SxX_pojokBawah*SxxInv*SxX_pojokAtas;
```

```
        SquareTemorLeke(a)=covxest(a,a)-BetheS;
```

```
        TsquaredSaroka(a)=(xinput(a,1)-xbart(a))^2/SsquareTemorLeke(a);
```

```
    end
```

```
    TotalTsquare=TotalTsquare+TsquaredSaroka(a);
```

```
End
```

Lampiran 4. (Lanjutan)

```
%TsquaredSaroka
%TotalTsquare
for a=1:6
    p_value(a)=1-fcdf(yadz*TsquaredSaroka(a),1,dotz);
end
p_value
disp('-----');
if p_value(1)<0.005
    disp('blaine');
end
if p_value(2)<0.005
    disp('freelime');
end
if p_value(3)<0.005
    disp('CaO');
end
if p_value(4)<0.005
    disp('SO3');
end
if p_value(5)<0.005
    disp('Mesh');
end
if p_value(6)<0.005
    disp('Time');
end
disp('-----');
end
%Rule 2
for k=1:m-2,
    tampung=0;
    for kk=k:k+2,
        if tsquared(kk,1)>=AZ & tsquared(kk,1)<=UCL,
            tampung=tampung+1;
            green(kk,1)=tsquared(kk,1);
        end
    end
    if tampung==2,
        for a=k:k+2,
            if tsquared(a,1)>=AZ & tsquared(a,1)<=UCL,
                plot(samples(a),tsquared(a),'g');
```

Lampiran 4. (Lanjutan)

```
        hold on;
    end
end
end
end
%Rule 3
for k=1:m-7,
    tampung=0;
    for a=k:k+7,
        if tsquared(a,1)>=Median & tsquared(a,1)<=AZ,
            tampung=tampung+1;
        end
    end
    if tampung==7,
        for LaskarChaloret=k:k+7,
            plot(samples(LaskarChaloret),tsquared(LaskarChaloret),'m');
            hold on;
        end
    end
end
%Rule 4
%Increase Monotone
for k=1:m-6,
    tampung=0;
    for ri=k:k+5,
        if tsquared(ri)<=tsquared(ri+1),
            tampung=tampung+1;
        end
    end
    if tampung==6,
        for LaskarChaloret=k:m-6,
            plot(samples(LaskarChaloret),tsquared(LaskarChaloret),'oc');
            hold on;
        end
    end
end
end
%Descrise Monotone
for k=1:m-6,
    tampung=0;
    for ri=k:k+5,
        if tsquared(ri)>=tsquared(ri+1),
```

Lampiran 4. (Lanjutan)

```
tampung=tampung+1;
end
end
if tampung==6,
    for LaskarChaloret=k:m-6,
        plot(samples(LaskarChaloret),tsquared(LaskarChaloret),'oc');
        hold on;
    end
end
end
samples=1:1:m;
for k=1:m,
    tsquaredcontinuu(k)=tsquared(k);
end
plot(samples,tsquaredcontinuu(:),'-k');
title(['\bfGrafik Kendali T^2 Hotelling dengan Aturan Run
Rules'], 'FontSize', 10);
xlabel('\bfSampel');
ylabel('\bf Tsquare');

text(m+1,Median,['\bfaMedian=',num2str(Median)], 'fontsize', 10)
text(m+1,AZ,['\bfAZ=',num2str(AZ)], 'FontSize', 10);
text(m+1,UCL,['\bfUCL=',num2str(UCL)], 'FontSize', 10);
DataOutput=fopen('Tsquared','w');
fprintf(DataOutput,'-----\n');
fprintf(DataOutput,'Samples      Rata-rata\n');
fprintf(DataOutput,'-----\n');
for k=1:m,
    fprintf(DataOutput,'%2f %2f\n',samples(k),tsquared(k));
end
fprintf(DataOutput,'-----\n');
fclose(DataOutput);
disp('Data T^2 Disimpan Dalam File Tsquared');
```

Lampiran 5. Nilai Korelasi Antar Variabel OPC

Variabel	<i>Blaine</i>	<i>Free Lime</i>	SO ₃	CaO	<i>Mesh</i>
<i>Free Lime</i>	-0.032 0.0585				
SO ₃	0.08 0.175	0.058 0.329			
CaO	0 0.998	-0.005 0.937	0.004 0.945		
<i>Mesh</i>	0.139* 0.018	-0.098 0.096	0.032 0.587	0.032 0.588	
<i>Time</i>	0.068 0.252	0.052 0.284	0.03 0.617	-0.03 0.617	-0.03 0.732

Keterangan : baris pertama menunjukkan nilai korelasi Pearson
baris kedua menunjukkan *p-value*

Lampiran 6. Nilai T^2 Data OPC Masa Lalu

UCL	Median
22.9	5.4

Sampel ke-	T^2	keterangan
1	1.512	terkendali
2	1.548	terkendali
3	1.179	terkendali
4	3.054	terkendali
5	1.861	terkendali
6	0.544	terkendali
7	2.439	terkendali
8	3.212	terkendali
9	1.588	terkendali
10	1.206	terkendali
11	0.798	terkendali
12	3.559	terkendali
13	3.26	terkendali
14	1.412	terkendali
15	1.092	terkendali
16	2.396	terkendali
17	2.645	terkendali
18	1.415	terkendali
19	78.92	tidak terkendali
20	2.021	terkendali
21	0.676	terkendali
22	23.45	tidak terkendali
23	1.2	terkendali
24	0.861	terkendali

Sampel ke-	T^2	keterangan
25	0.728	terkendali
26	2.204	terkendali
27	1.026	terkendali
28	3.394	terkendali
29	1.044	terkendali
30	0.837	terkendali
31	0.639	terkendali
32	0.422	terkendali
33	0.696	terkendali
34	1.023	terkendali
35	95.32	tidak terkendali
36	2.387	terkendali
37	0.922	terkendali
38	0.585	terkendali
39	1.392	terkendali
40	2.815	terkendali
41	1.236	terkendali
42	0.621	terkendali
43	1.572	terkendali
44	2.889	terkendali
45	0.367	terkendali
46	0.32	terkendali
47	0.797	terkendali
48	2.086	terkendali

Lampiran 6. (Lanjutan)

Sampel ke-	T²	keterangan
49	0.625	terkendali
50	0.424	terkendali
51	1.551	terkendali
52	1.722	terkendali
53	2.486	terkendali
54	1.393	terkendali
55	0.884	terkendali
56	1.047	terkendali
57	2.803	terkendali
58	0.771	terkendali
59	0.776	terkendali
60	0.963	terkendali
61	2.658	terkendali
62	0.3	terkendali
63	3.861	terkendali
64	1.057	terkendali
65	3.079	terkendali
66	1.084	terkendali
67	1.514	terkendali
68	1.719	terkendali
69	0.93	terkendali
70	1.515	terkendali
71	1.719	terkendali
72	0.93	terkendali

Lampiran 7. Nilai T^2 Data OPC Masa Sekarang

UCL	AZ	Median
19.433	14.466	5.4202

Sampel ke-	T^2	keterangan
1	2.3602	terkendali
2	1.969	terkendali
3	2.825	terkendali
4	4.981	terkendali
5	4.0732	terkendali
6	4.1437	terkendali
7	42.859	<i>run rules I</i>
8	10.737	terkendali
9	3.6631	terkendali
10	20.344	<i>run rules I</i>
11	3.076	terkendali
12	9.9248	terkendali
13	35.145	<i>run rules I</i>
14	17.779	<i>run rules II</i>
15	15.512	<i>run rules II</i>
16	13.085	terkendali
17	2.4164	terkendali
18	2.895	terkendali
19	12.679	terkendali
20	3.597	terkendali
21	5.6281	terkendali
22	9.8954	terkendali
23	2.0578	terkendali

Sampel ke-	T^2	keterangan
24	1.5223	terkendali
25	10.716	terkendali
26	5.386	terkendali
27	8.7183	terkendali
28	12.715	terkendali
29	18.093	terkendali
30	10.382	terkendali
31	1.753	terkendali
32	12.523	terkendali
33	8.4966	terkendali
34	5.8435	terkendali
35	1.1848	terkendali
36	1.4528	terkendali
37	11.013	terkendali
38	9.1582	terkendali
39	6.4312	terkendali
40	5.6992	terkendali
41	2.2575	terkendali
42	11.231	terkendali
43	2.2083	terkendali
44	9.5275	terkendali
45	4.8353	terkendali
46	9.7641	terkendali

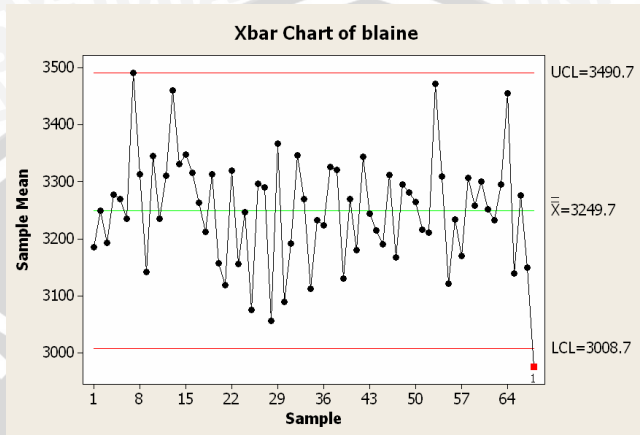
Lampiran 7. (Lanjutan)

Sampel ke-	T ²	keterangan
47	4.6639	terkendali
48	4.8962	terkendali
49	10.479	terkendali
50	4.2354	terkendali
51	3.9293	terkendali
52	3.6752	terkendali
53	35.704	<i>run rules I</i>
54	8.3812	terkendali
55	5.5523	terkendali
56	2.3753	terkendali
57	1.8698	terkendali
58	6.913	terkendali
59	4.4974	terkendali
60	6.8921	terkendali
61	7.0158	terkendali
62	1.8716	terkendali
63	12.395	terkendali
64	48.441	<i>run rules I</i>
65	4.999	terkendali
66	5.1181	terkendali
67	1.25	terkendali
68	26.65	<i>run rules I</i>

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



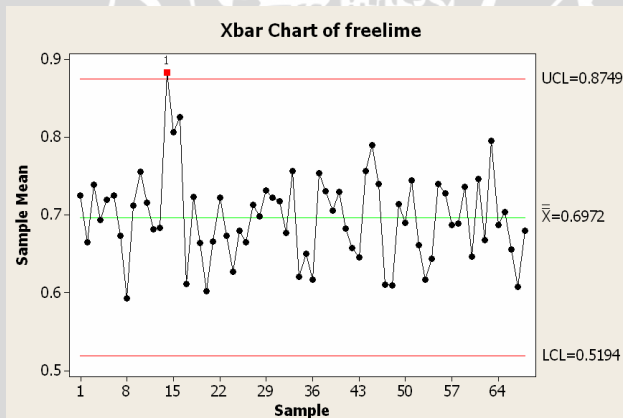
Lampiran 8. Grafik Kendali \bar{X} untuk masing-masing Variabel OPC



Gambar 1. Grafik Kendali \bar{X} untuk *Blaine*

Test Results for Xbar Chart of *Blaine*

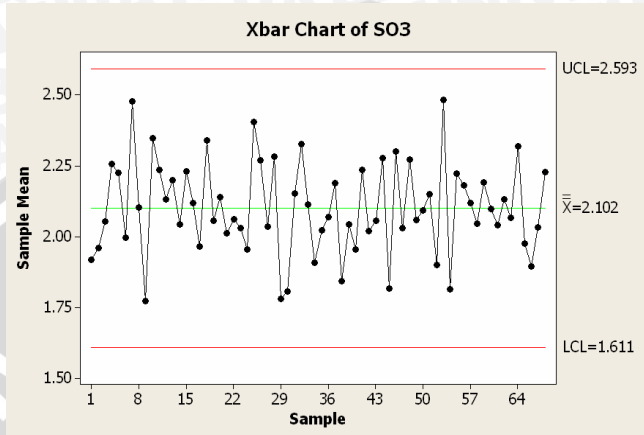
Semua titik berada dalam batas kendali ($\bar{X} \pm 3\sigma$)



Gambar 2. Grafik Kendali \bar{X} untuk *Free Lime*

Test Results for Xbar Chart of *Free Lime*

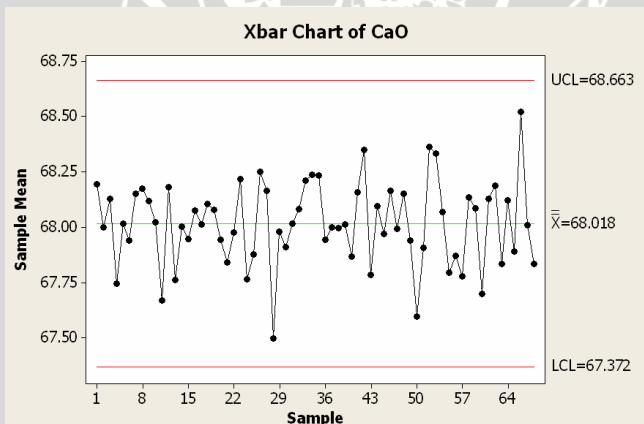
Terdapat tiga titik yang keluar dari batas kendali ($\bar{X} \pm 3\sigma$) yaitu titik ke-14



Gambar 3. Grafik Kendali \bar{X} untuk SO₃

Test Results for Xbar Chart of SO₃

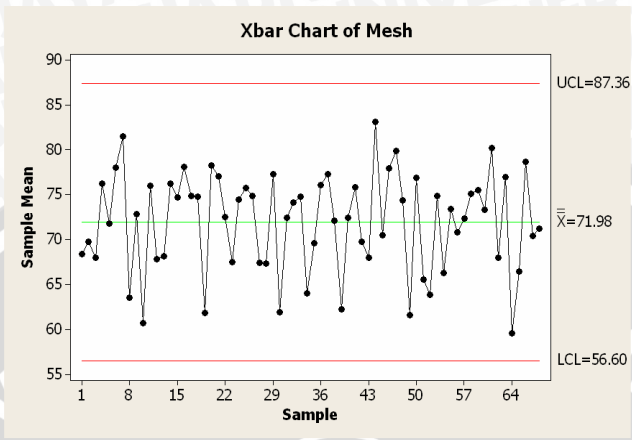
Semua titik berada dalam batas kendali ($\bar{X} \pm 3\sigma$)



Gambar 4. Grafik Kendali \bar{X} untuk CaO

Test Results for Xbar Chart of CaO

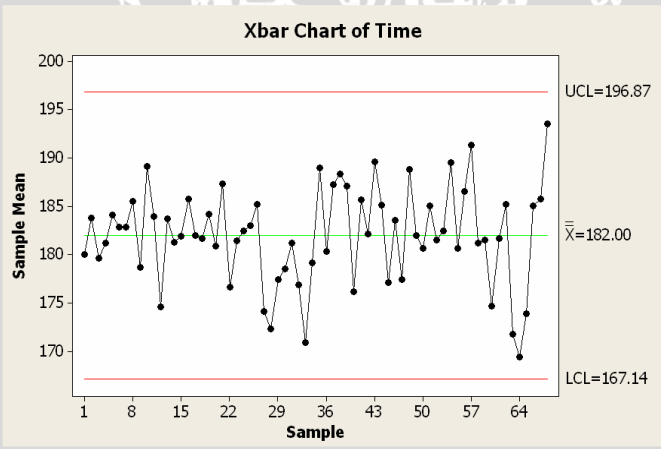
Semua titik berada dalam batas kendali ($\bar{X} \pm 3\sigma$)



Gambar 5. Grafik Kendali \bar{X} untuk Mesh

Test Results for Xbar Chart of Mesh

Semua titik berada dalam batas kendali ($\bar{X} \pm 3\sigma$)



Gambar 6. Grafik Kendali \bar{X} untuk Time

Test Results for Xbar Chart of Time

Semua titik berada dalam batas kendali ($\bar{X} \pm 3\sigma$)

Lampiran 9. Plot Antara *Blaine* da

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Microsoft Excel - Book1

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

A1 fx =TDIST(2.373,286,2)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	0.018305383								
2									
3									

t Distribution

Probability density
 Cumulative probability
 Inverse cumulative probability

Noncentrality parameter:
 Noncentrality parameter:

Degrees of freedom:

Input column:
 Optional storage:

Input constant:
 Optional storage:

Cumulative Distribution Function

Student's t distribution with 286 DF

x	P(X <= x)
2.373	0.990847

Microsoft Excel - Book1

File Edit View Insert Format Tools Data

A1 =TDIST(2.373,286,2)

	A	B	C	D
1	0.018305383			
2	0.017832518			
3	0.018592122			

Microsoft Excel - Book1

File Edit View Insert Format Tools Data

A2 =TDIST(2.373,1000,2)

	A	B	C	D
1	0.018305383			
2	0.017832518			
3	0.018592122			
4	0.021529919			
5	0.039076621			

Microsoft Excel - Book1

File Edit View Insert Format Tools Data Window

A3 =TDIST(2.373,200,2)

	A	B	C	D	E
1	0.018305383				
2	0.017832518				
3	0.018592122				
4	0.021529919				
5	0.039076621				
6	0.039076621				
7	0.063715255				
8					

Microsoft Excel - Book1

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

A5 =TDIST(2.373,10,2)

	A	B	C	D	E	F	G
1	0.018305383						
2	0.017832518						
3	0.018592122						
4	0.021529919						
5	0.039076621						
6	0.063715255						
7							

Microsoft Excel - Book1

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

A6 =TDIST(2.373,5,2)

	A	B	C	D	E	F
1	0.018305383					
2	0.017832518					
3	0.018592122					
4	0.021529919					
5	0.039076621					
6	0.063715255					
7						

Lampiran 8. Tabel Pendapat Karyawan di Bagian Penggilingan Akhir (*finish mill*)

No	Penyebab masalah	Pendapat										Jumlah	Peringkat	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J			K
1	Tidak ada petugas cadangan	7	8	1	2	2	4	5	6	5	8	7	55	VIII
2	Mengacu pada metode lama	14	14	13	10	11	12	10	14	12	12	11	133	II
3	Diparaf banyak atasan	6	3	2	1	1	5	3	7	4	9	9	50	X
4	Beban kerja terlalu berat	5	2	4	4	4	6	4	5	6	2	1	43	XII
5	Kurang komunikasi	2	4	5	5	3	8	2	1	3	5	2	40	XIII
6	Tim kerja kurang kompak	1	1	3	3	5	1	1	3	1	4	4	27	XIV
7	Usia pakai mesin terlalu lama	3	5	6	7	7	2	7	2	2	3	5	49	XI
8	Peralatan produksi kurang perawatan	4	6	7	6	6	3	6	4	8	1	3	54	IX
9	Selalu menunggu perintah	10	10	11	13	14	13	11	13	14	13	14	136	I
10	Mesin terlalu panas	8	7	9	14	10	14	12	12	13	11	13	123	IV
11	Semen Kurang homogen	9	9	8	8	13	11	14	11	10	14	12	119	V
12	Metode terlalu rumit	13	11	12	12	12	10	13	10	11	10	10	124	III
13	Terak terbatas	11	13	14	11	9	7	9	8	7	7	7	103	VI
14	Kurang tanggung jawab	12	12	10	9	8	9	8	9	9	6	6	98	VII

Keterangan :

A = Ain, B = Budi, C = Hasan, D = Irsyad, E = Mamik, F = Sholah, G = Udin, H = Uripo
 I = Waris, J = Wawan, K = Yusro

