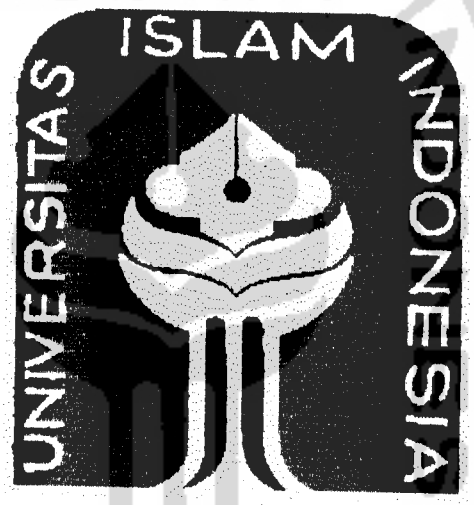
ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS MULTIVARIAT TERHADAP SYARAT-SYARAT SIFAT KIMIA DAN FISIK SEMEN PORTLAND TIPE V

(Studi Kasus di PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap)

TUGAS AKHIR



DISUSUN OLEH:

ANDI YULIANTO
00611055

JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2004

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS MULTIVARIAT TERHADAP SYARAT-SYARAT SIFAT KIMIA DAN FISIK SEMEN PORTLAND TIPE V

(Studi Kasus di PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap)

TUGAS AKHIR

DISUSUN OLEH:

ANDI YULIANTO

00611055

Tugas Akhir ini telah disyahkan dan disetujui untuk diuji pada tanggal 24 Agustus 2004

Dosen Pembimbing:

Pembimbing I	Pembimbing II
Prof. Dr. Zanzawi Soejoeti, M.Sc, Ph.D	Edy Widodo, M.Si

HALAMAN MOTTO

- "Bila Anda dapat mengukur apa yang Anda sedang bicarakan dan menyatakannya dalam bentuk angka-angka, maka Anda mengetahui sesuatu tentang itu; tetapi a pabila Anda tidak dapat mengukurnya, dan apabila Anda tidak dapat menyatakan nya itu dalam bentuk angka-angka, maka pengetahuan Anda adalah tidak lengkap dan tidak memuaskan" (**Lord Kelvin** – ilmuwan Fisika)
- Berpikir statistis suatu hari akan sepenting kemampuan membaca dan menulis bagi kewarganegaraan yang efisien. (**H.G. Wells**)
- "Maka, tanyalah pada ahli ilmu pengetahuan apabila kamu semua tidak mengerti" (**QS. An-Nahl; 16:43**)
- Saya tidak akan pernah pada sebuah kebenaran sebelum saya meragukan bahwag jalan menuju kebenaran itu sendiri mungkin salah (**Ali Bin Abi Thalib**)
- Keberbakatan itu satu persen ilham dan sembilan puluh sembilan persen keringat. (**Thomas Alva Edison: 1847-1931**)
- Kalau aku punya sebuah pemikiran dan engkau punya sebuah pemikiran, dan kedua pemikiran itu kita pertukarkan maka masing-masing kita punya dua gagasan. (**George Bernard Shaw**)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Penulis pesembahkan karya ini kepada:

- *Ayahanda dan Ibunda tersayang yang telah berusaha keras mengangkat Penulis menjadi manusia terhormat,*
- *Kedua adikku, Dwi Yulianti dan Prayitno Utomo sebagai penurus cita-cita Penulis dan keluarga,*
- *Desy Suryalita Kusumawati, kekasih dan wanita masa depan yang selalu memberikan motivasi, cinta, dan kasih sayangnya serta mengingatkan Penulis akan segala sesuatunya.*

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
PERPUSTAKAAN
FMIPA

KATA PENGANTAR

بسم الله الرحمن الرحيم

Assalamu'laikum Wr. Wb.

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah yang tiada hentinya kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan hidayah-Nya kepada Penulis, sehingga laporan penelitian ini sebagai laporan Tugas Akhir untuk mencapai gelar kesarjanaan di Jurusan Statistika telah selesai tanpa suatu hambatan berarti yang Penulis alami. Shalawat dan salam Penulis haturkan pula kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat yang setia mengikuti ajaran-ajarannya dan orang-orang yang telah berjihad demi tegaknya agama Allah di muka bumi ini hingga akhir jaman. Amin.

Dalam kesempatan ini Penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyusun Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung, antara lain:

1. Bapak Ir. Akhwan Purwoko, selaku Manajer Training Departemen Sumber Daya Manusia yang telah mengijinkan Penulis untuk melakukan penelitian di PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap,
2. Bapak Sudihasiyono, selaku staf Departemen Sumber Daya Manusia PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap,
3. Bapak Jaka Nugraha, M.Si, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia,

4. Ibu Rohmatul Fajriyah, M.Si, selaku Ketua Jurusan Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia,
5. Bapak Prof. Dr. Zanzawi Soejoeti, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang telah mengarahkan dan membimbing Penulis,
6. Bapak Edy Widodo, M.Si, sebagai dosen favorit Penulis sekaligus Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan motivasi, mengarahkan dan membimbing Penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini,
7. Mas Sulis yang selalu mentransfer ilmunya kepada Penulis, sehingga selama ini Penulis selalu mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan statistik di dunia kerja,
8. Teman-teman di Biro Konsultasi Statistika (BKS) yaitu: Mba Neneng, Mega, Leli, Thobri (Sahabat Sejati), dan Agus, sebagai wadah berdiskusi tentang permasalahan statistika sehingga pengetahuan Penulis tentang statistika semakin berkembang,
9. Teman-teman di Ikatan Keluarga Statistika (IKS): Ery, Sachrul, Sidik, Dharmo, Edi, Kiryanto, Alif, Fajar, Dini, Vera, Yeni, Helma dan teman-teman yang tidak dapat sebutkan satu-persatu, yang telah berusaha memperjuangkan organisasi statistika,
10. Induk Semang Penulis (Ibu Tugiwati dan Bapak Suryadi H.) beserta anak-anaknya (Desy Suryalita Kusumawati dan Melina Kurniawati), sebagai orang tua kedua di Jogja, perhatian dan kasih sayangnya tidak akan Penulis lupakan,
11. Dan teman-teman "Kos Ijo" (Thobrie Arif Kecil, Isar, Danang, dan Dani), semoga kekompakan dan kebersamaan selalu kita jaga bersama.

12. Teman-teman seperjuangan yang telah memberi dorongan dan motivasinya kepada Penulis, serta semua yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini Penulis merasa masih terdapat kekurangan di dalamnya karena keterbatasan ilmu dan pengetahuan yang Penulis miliki, untuk itu Penulis dengan lapang dada menerima kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya, Penulis berharap bahwa Tugas Akhir ini dapat digunakan sebagaimana mestinya sehingga mendatangkan manfaat bagi para pembaca untuk dijadikan referensi Tugas Akhir di kemudian hari dan mendatangkan ridhlo dari Allah SWT. Amien.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 23 Agustus 2004

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ii

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iii

HALAMAN MOTTO iv

HALAMAN PERSEMBAHAN v

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiii

ABSTRAKSI xiv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. LATAR BELAKANG 1

1.2. RUMUSAN MASALAH 3

1.3. BATASAN MASALAH 3

1.4. TUJUAN PENELITIAN 3

1.5. MANFAAT PENELITIAN 4

BAB II LANDASAN TEORI 5

2.1. PENGERTIAN PENGENDALIAN KUALITAS 5

2.1.1. Arti Pengendalian atau Kontrol 5

2.1.2. Arti Kualitas 5

2.1.3. Arti Pengendalian Kualitas 7

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
PERPUSTAKAAN
FMIPA

2.2. PENGENDALIAN KUALITAS MULTIVARIAT 7
2.2.1. Analisis Deskriptif Multivariat 8
2.2.2. Bagan Kendali Multivariat 11
2.3. SEMEN 12
2.3.1. Definisi Semen 12
2.3.3. Bahan Baku Semen dan Produk Yang Dihasilkan 13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 14
3.1. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN 14
3.2. OBJEK PENELITIAN 14
3.3. VARIABEL PENELITIAN DAN DEFINISI OPERASIONAL 14
3.4. POPULASI DAN SAMPEL PENELITIAN 16
3.5. METODE PENELITIAN 17
3.6. METODE PENGUMPULAN DATA 17
3.7. DATA YANG DIPERLUKAN 19
3.8. METODE SAMPLING 20
3.9. ANALISIS DATA 21
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 25
4.1. HASIL PENELITIAN 25
4.2. ANALISIS DAN PEMBAHASAN 26
4.2.1. Standarisasi Data 26
4.2.2. Uji Korelasi atau Hubungan Antar Variabel Pengamatan 28
4.2.3. Analisis Pengendalian Kualitas Multivariat 32
4.2.4. Analsis Pengendalian Kualitas Univariat 36
4.2.5. Analisis Antara Bagan Kendali Multivaiat Dengan Univariat 42

4.2.6. Perbedaan Antara Bagan Kendali Univariat Dengan Multivariat 43

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 45

4.1. KESIMPULAN 45

4.2. SARAN 46

DAFTAR PUSTAKA 47

LAMPIRAN 48

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Hasil Penelitian Bulan Juni 2004.....22

Tabel 4.2. Data Hasil Standarisasi (ZScore) Dari Tabel 4.1.....23

Tabel 4.3. Nilai-nillai *Hotelling* T^2 (alpa = 0.05).....29

Tabel 4.4. Nilai *Hotelling* T^2 (alpha = 0.003).....35

Tabel 4.5. Perbedaan Antara Bagan Kendali Univariat Dengan Multivariat.....44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Alur Program Simulasi 21

Gambar 4.1. Bagan Kendali Multivariat Dengan Alpha 5% 30

Gambar 4.2. Bagan Kendali Multivariat Dengan Alpha 3% 35

Gambar 4.3. Bagan Kendali *Moving Range* Variabel C3S 37

Gambar 4.4. Bagan Kendali *Moving Range* Variabel C2S 37

Gambar 4.5. Bagan Kendali *Moving Range* Variabel C3A 38

Gambar 4.6. Bagan Kendali *Moving Range* Variabel C4AF 38

Gambar 4.7. Bagan Kendali *Moving Range* Variabel CaO 39

Gambar 4.8. Bagan Kendali *Moving Range* Variabel MgO 40

Gambar 4.9 Bagan Kendali *Moving Range* Variabel *Bline* 40

Gambar 4.10. Bagan Kendali *Moving Range* Variabel *Strenth 3 Day* 41

Gambar 4.11. Bagan Kendali *Moving Range* Variabel *Strength 7 Day* 41

Gambar 4.12 : Bagan Kendali Multivariat Yang Terkendali Dengan Alpa 5% ... 43

ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS MULTIVARIAT TERHADAP SYARAT-SYARAT SIFAT KIMIA DAN FISIK SEMEN PORTLAND TIPE V

(Studi Kasus di PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap)

Oleh	: Andi Yulianto
No. Mahasiswa	: 00611055
Jurusan	: Statistika
Pembimbing I	: Prof. Dr. Zanzawi Soejoeti M.Sc., Ph.D
Pembimbing II	: Edy Widodo, M.Si
Tanggal Wisuda	: 25 September 2004

INTISARI

Analisis pengendalian kualitas multivariat merupakan bagian dari analisis multivariat untuk mengukur variabel kualitas yang diukur secara bersama-sama. Analisis ini menggunakan statistik T^2*Hotelling* yang digunakan untuk membuat bagan kendali multivariat. Penelitian ini mengukur variabel sifat-sifat kimia dan fisik semen portland tipe V yang diproduksi oleh PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap dengan menggunakan bagan kendali multivariat. Variabel-variabel itu adalah C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF, CaO, MgO, *bline*/kelembutan dan *strength*/kuat tekan pada waktu 3 hari dan 7 hari dari semen portland tipe V. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu nilai-nilai pengamatan pada hari ke-1, 9, 12, 13, dan ke-25 berada di luar batas kendali dalam batas interval 3.9926 sampai 15.4716 dengan menggunakan *alpha* 5%. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas semen portland tipe V untuk pengukuran secara bersama-sama dalam keadaan tidak terkendali. Namun bila menggunakan *alpha* 3% proses dalam keadaan terkendali secara statistik dan diperoleh batas kendali baru yaitu dengan Batas Kendali Bawah (BKB) = 2.0324 dan Batas Kendali Atas (BKA) = 17.0917

Kata kunci: *Analisis pengendalian multivariat, Statistik T^2Hotelling, semen portland tipe V, C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF, CaO, MgO, bline/kelembutan, strength/kuat tekan, Batas Kendali Bawah, Batas kendali Atas*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap, selanjutnya disebut PT. Semen Cibinong, terdiri dari dua unit produksi yaitu Unit Cilacap 1 (CP-1) dan Unit Cilacap 2 (CP-2). CP-1 dioperasikan sejak tahun 1977 dengan kapasitas produksi 1.500.000 ton per tahun, memproduksi *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Pozzoland Portland Cement* (PPC). Sedangkan CP-2 dioperasikan tahun 1997 dengan kapasitas produksi 2.600.000 ton per tahun, memproduksi *Ordinary Portland Cement* dan *Ordinary Portland Cement 1* atau *Special Portland Cement* (SPC). Menurut SII-0013-1981, semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat *kalsium* bersama *gysum*. Macamnya terdiri dari 5 (lima) tipe (*Hadi, P.P., hal.22, 1998*), yaitu: Semen portland tipe I, semen portland tipe II, semen portland tipe III, semen portland tipe IV, dan semen portland tipe V.

Untuk pembuatan tipe semen yang diproduksi oleh PT. Semen Cibinong tergantung dari komposisi bahan baku waktu diolah. Bahan baku utama yang digunakan untuk pembuatan semen yaitu batu kapur (*limestone*), tanah liat (*clay*), pasir besi (*iron sand*), dan pasir silika (*silica sand*). Masing-masing bahan baku mengandung senyawa-senyawa kimia yang ditentukan komposisinya untuk membuat tipe semen tertentu sesuai dengan kebutuhan produksi atau pesanan konsumen.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
PERPUSTAKAAN
FMIPA

Dalam pembuatan semen secara umum harus melalui beberapa tahapan proses dan setiap proses diawasi secara ketat oleh petugas pengawas. Pengawasan ini bertujuan agar setiap perpindahan proses harus dalam batas spesifikasi yang diharapkan. Oleh karena itu, di setiap lini proses produksi semen dilakukan pengujian terhadap bahan bakunya. Kualitas akhir dari semen ditentukan oleh kualitas bahan baku, maka perlu dilakukan pengendalian sejak awal proses produksi.

Di PT. Semen Cibinong, pengendalian proses produksi semen dilakukan oleh *Departemen Technical Seksi Proses Kontrol*. Departemen ini bertanggung jawab terhadap pengujian bahan baku yang baru masuk, di dalam proses, dan yang sudah menjadi produk akhir. Pengujian yang dilakukan dalam rangka pengendalian proses ini dilakukan hanya secara individu, artinya senyawa-senyawa yang terkandung dalam bahan baku atau produk akhir dilakukan secara terpisah antara yang satu dengan yang lainnya. Padahal suatu proses terkendali bukan hanya karena faktor keragaman dari satu variabel saja, tetapi bisa juga karena faktor keragaman dari variabel lainnya yang saling berhubungan, jika proses itu melibatkan banyak variabel.

Statistika yang digunakan untuk menganalisis pengendalian proses yang melibatkan banyak variabel adalah analisis pengendalian multivariat. Analisis ini berdasarkan statistik T^2 *Hotelling*. Metode ini pertama kali dikemukakan oleh *Hotelling* (1974), ketika menerapkan prosedurnya pada data pembidik bom selama Perang Dunia II (*Montgomery, D.C., hal.295, 1990*).

Dari uraian di atas, Peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terhadap pengendalian proses yang melibatkan banyak variabel. Variabel yang diteliti adalah senyawa-senyawa kimia dan fisik yang terkandung dalam semen portland tipe V sebagai produk akhirnya di PT. Semen Cibinong.

1.3. RUMUSAN MASALAH

Dari latar belakang permasalahan di atas, maka timbul permasalahan: apakah PT. Semen Cibinong sudah memproduksi semen portland tipe V sesuai dengan batas spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan.

I.4. BATASAN MASALAH

1. Objek penelitian adalah semen portland tipe V yang diproduksi oleh PT. Semen Cibinong selama bulan Juni 2004.
2. Selain hal di atas dianggap di luar batasan penelitian ini.

1.5. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabel-variabel yang diukur secara bersama-sama, sudah terkendali atau belum dalam pengendalian proses produksi semen portland tipe V di PT. Semen Cibinong berdasarkan bagan kendali multivariat.

1.6. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Secara teoritik diharapkan dapat mengetahui sejauh mana teori-teori yang ada dapat diterapkan di lapangan atau dunia sesungguhnya bagi Peneliti.
2. Secara praktis penelitian ini dapat dijadiakan referensi bagi PT. Semen Cibinong untuk perbaikan dan peningkatan kualitas terhadap bahan-bahan semen yang diukur secara bersamaan dengan bagan kendali multivariat.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. PENGERTIAN PENGENDALIAN KUALITAS

2.1.1. Arti Pengendalian atau Kontrol

Pengendalian atau kontrol berarti menjaga sebuah proses beroperasi dalam *range* variasi yang dapat diprediksi. Sasarannya adalah untuk memelihara kinerja yang baik dari sebuah proses yang stabil dan konsisten (*Pande, Peter S., hal.387, 2000*). Pengendalian dalam istilah industri adalah suatu proses untuk mendelegasikan tanggung jawab dan wewenang untuk kegiatan manajemen sambil tetap menggunakan prosedur untuk menjamin hasil yang memuaskan (*Hartanto, R.A., hal.8, 2004*). Pengendalian diperlukan sebagai bagian dari kegiatan produksi, mulai dari pemilihan bahan baku, proses produksi sampai suatu produk siap dipasarkan.

2.1.2. Arti Kualitas

Kualitas menjadi faktor dasar keputusan konsumen dalam menentukan produk dan jasa. Gejala ini meluas, tanpa membedakan apakah konsumen itu perorangan, kelompok industri, program pertahanan militer, atau toko pengecer. Akibatnya kualitas adalah faktor kunci yang membawa keberhasilan bisnis, pertumbuhan, dan peningkatan posisi bersaing (*Hartanto, R.A., hal.11, 2004*).

Ada dua segi umum tentang kualitas, yaitu: *kualitas rancangan* dan *kualitas kecocokan*. Semua barang dan/atau jasa dihasilkan dalam berbagai tingkat kualitas. Variasi dalam tingkat kualitas ini memang disengaja, maka dari itu istilah teknik yang sesuai adalah *kualitas rancangan,* contohnya semua mobil mempunyai tujuan dasar memberikan angkutan yang aman bagi konsumen, tetapi mobil-mobil berbeda dalam ukuran, penentuan, rupa, dan penampilan. Perbedaan-perbedaan ini adalah hasil perbedaan rancangan yang disengaja antara jenis-jenis mobil itu. *Kualitas kecocokan* adalah seberapa baik produk itu sesuai dengan spesifikasi dan kelonggaran yang disyaratkan oleh rancangan itu. Kualitas kecocokan dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk pemilihan proses pembuatan, latihan dan pengawasan angkatan kerja, jenis sistem jaminan kualitas (pengendalian proses, uji, aktivitas pemerikasaan, dan sebagainya) yang digunakan, seberapa jauh prosedur jaminan kualitas ini diikuti, dan motivasi angkatan kerja untuk mencapai kualitas (*Montgomery, D.C,. hal.2, 1990*). Dalam pembuatan semen di PT. Semen Cibinong menggunakan kedua kualitas tersebut. Kualitas rancangan, PT. Semen Cibinong merancang untuk memproduksi beberapa tipe semen, namun mempunyai tujuan yang sama yaitu sebagai bahan baku membuat bangunan. Kualitas kecocokan, PT. Semen Cibinong selalu melakukan pengujian di setiap proses produksi semen, yaitu sejauh mana semen yang diproduksi memenuhi batas spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan.

2.1.3. Arti Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas adalah aktivitas keteknikan dan manajemen yang dengan aktivitas itu dapat diukur ciri-ciri kualitas produk, membandingkannya dengan spesifikasi atau persyaratan dan mengambil tindakan penyehatan yang sesuai apabila ada perbedaan antara penampilan yang sebenarnya dengan yang standar. Tujuan pokok pengendalian kualitas statistik adalah menyidik dengan cepat terjadinya sebab-sebab terduga atau tidak terduga suatu proses produksi dan melakukan penyelidikan pada proses tersebut dengan tindakan perbaikan, sebelum terlalu banyak unti tidak sesuai yang diproduksi (*Hartanto, R.A., hal.10, 2004*).

2.2. PENGENDALIAN KUALITAS MULTIVARIAT

Pengendalian kualitas multivariat merupakan bagian dari analisis multivariat yang menggunakan dua atau lebih variabel sebagai karakteristik yang diukur untuk melihat secara bersama-sama dalam mengendalikan suatu produk/proses. Banyak keadaan yang memerlukan pengendalian secara bersama-sama dua atau lebih karakteristik kualitas yang berhubungan. Sebagai contoh, misalkan suatu bantalan poros mempunyai diameter dalam (x_1) dan diameter luar (x_2) yang bersama-sama menentukan manfaat itu (*Montgomery, D.C., hal.293, 1990*). Langkah pertama yang harus dilakukan untuk menganalisis pengendalian kualitas multivariat adalah variabel-variabel yang diamati harus mempunyai korelasi satu sama lain. Setelah semua variabel dinyatakan mempunyai korelasi satu sama lain kemudian variabel-variabel tersebut diplotkan dalam suatu bagan kendali. Salah satu

metode yang umum digunakan untuk membuat bagan kendali multivariat adalah dengan menggunakan statistik T^2 *Hotelling*. T^2 *Hotelling* ini berguna untuk menggambarkan nilai-nilai T^2 yang dihitung bagi tiap-tiap sampel. Grafik pengendali ini biasanya dinamakan grafik pengendali T^2 *Hotelling*. Penggambaran dari data dengan menggunakan bagan ini mempunyai keunggulan yaitu keadaan proses dari karakterisasi dengan satu bilangan (nilai statistik T^2), selain itu urutan waktu data itu terpelihara dengan bagan pengendali ini, sehingga giliran atau pola tak random lainnya dapat diselidiki.

2.2.1. Analisis Multivariat Deskriptif

Misalkan banyaknya p variabel dari karakteristik kualitas berdistribusi bersama menurut distribusi normal multivariat dinotasikan dengan matrik vektor sebagai berikut:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ x_{ij} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \cdot & & & & & \\ x_{p1} & x_{p2} & \cdots & x_{pj} & \cdots & x_{pn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dimana **X** merupakan data pengamatan yang ditulis dalam bentuk matriks dengan *p* baris dan *n* kolom, X_{ij} menyatakan harga tertentu dari karakteristik kualitas ke-*i*, item (trial) ke-*j*, untuk i = {1, 2, ..., p} dan j = {1, 2, ..., n}.

Dari persamaan (1) dapat dicari statistik deskriptifnya, misal rata-rata adalah ukuran pusat sedangkan variansi merupakan ukuran sebaran.

Misal $X_{11}, X_{12},\ldots,X_{1n}$ adalah banyaknya n pengukuran pada variabel ke-1. Rata-rata pengukuran yang juga disebut rata-rata (*mean*) sampel ditulis dengan $\overline{X}_1$ adalah:

$$\overline{X}_1 = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} X_{1j} \tag{2}$$

Secara umum adalah mean sampel ke-i bila ada p variabel dan n pengukuran ditulis dalam persamaan sebagai berikut:

$$\overline{X}_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \tag{3}$$

dan matrik *mean* vektornya dapat ditulis dalam persamaan:

$$\overline{\mathbf{X}}_i = \begin{bmatrix} \overline{X}_1 \\ \overline{X}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \overline{X}_p \end{bmatrix} \tag{4}$$

$\overline{\mathbf{X}}$ menyatakan *mean* vektor dari sampel ke-i pada variabel ke-p. Selanjutnya persamaan (4) ditranspose yaitu:

$$\overline{\mathbf{X}}_j = \left\{\overline{X}_1, \overline{X}_2, \ldots \overline{X}_p\right\}^T \tag{5}$$

Sampel variansi merupakan ukuran sebaran data, misal banyaknya n pengukuran pada variabel ke-1 ditulis dengan S_1^2 adalah:

$$S_1^2 = \frac{1}{n-1}\sum\left(X_{1j} - \overline{X}_1\right)^2 \tag{6}$$

Variansi sampel untuk variabel ke-i adalah:

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1}\sum\left(X_{ij} - \overline{X}_i\right)^2 \qquad (7)$$

Kovariansi sampel adalah ukuran hubungan linear antara variabel ke-1 dan ke-2 (*Johnson, Richard A. dan Wichern, Dean W., hal.11, 1982*), dengan persamaan:

$$S_{12} = \frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{1j} - \overline{X}_1\right)\left(X_{2j} - \overline{X}_2\right) \qquad (8)$$

Kovariansi sampel untuk variabel ke-i dan ke-k, item (trial) ke-j, secara umum dinotasikan dalam persamaan:

$$S_{ik} = \frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij} - \overline{X}_i\right)\left(X_{kj} - \overline{X}_k\right) \qquad (9)$$

Dimana: i = 1, 2, ..., p; k = 1, 2, ..., p;

j = 1, 2, ..., n. $S_{ik} = S_{ki}$ untuk setiap i dan k

Koefisien korelasi sampel (atau *korelasi koefisien Pearson's product moment*) merupakan ukuran hubungan linear antara dua variabel yang tidak tergantung pada satuan pengamatan. Koefisien korelasi sampel untuk variabel ke-i dan ke-k dinotasikan dalam persamaan:

$$\rho_{ik} = \frac{S_{ik}}{\sqrt{S_{ii}}\sqrt{S_{kk}}} = \frac{\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij} - \overline{X}_i\right)\left(X_{kj} - \overline{X}_k\right)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(X_{ij} - \overline{X}_i\right)^2}\sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(X_{kj} - \overline{X}_k\right)^2}} \qquad (10)$$

Dimana: i = 1, 2, ..., p; k = 1, 2, ..., p;

j = 1, 2, ..., n. $r_{ik} = r_{ki}$ untuk setiap i dan k

2.2.2. Bagan Kendali Multivariat

Untuk membuat bagan kendali multivariat berdasarkan statistik T^2 *Hotelling* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_i^2 = Q_i = \left(X_i - \overline{X}_p\right)^T S_p^{-1}\left(X_i - \overline{X}_p\right) \quad (11)$$

Dimana:

i = pengamatan ke-i

$\overline{X}_p$ = mean sampel subgrup untuk masing-masing parameter/variabel

S = kovarians parameter (matrik ukuran p x p)

p = jumlah parameter atau variabel-variabel output

Persamaan (11) dikemukakan oleh *Ogaja, Clement, dkk.*, dalam jurnalnya "*Multivariate Monitoring With GPS Observation and Auxiliary Multi-Sensor Data*". Untuk jumlah subgrup lebih dari 25, Batas Kendali Atas (BKA) menggunakan pendekatan distribusi Chi-square, $\chi^2_{\alpha,p}$. Sedangkan untuk jumlah subgrup kurang dari 25 maka BKA menggunakan pendekatan *Distribusi F* (*Flores, G.E., hal.5*). Lalu persamaan (11) dapat digunakan untuk menentukan batas bagan kendali :

a. Berdasarkan *Distribusi Chi-square:*

- Batas Kendali Bawah (BKB)

$$BKB = \chi^2_{(1-\alpha/2;p)} \quad (12)$$

- Batas Kendali Atas (BKA)

$$BKB = \chi^2_{(\alpha/2;p)} \quad (13)$$

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
PERPUSTAKAAN
FMIPA

b. Berdasarkan *Distribusi F*:

- Batas Kendali Bawah (BKB)

$$BKB = \left(\frac{(n-1)^2}{n}\right)\left(\frac{(p/(n-p-1))F_{(1-\alpha/2;p,n-p-1)}}{1+(p/(n-p-1))F_{(1-\alpha/2;p,n-p-1)}}\right) \quad (14)$$

- Batas Kendali Atas (BKA)

$$BKB = \left(\frac{(n-1)^2}{n}\right)\left(\frac{(p/(n-p-1))F_{(\alpha/2;p,n-p-1)}}{1+(p/(n-p-1))F_{(\alpha/2;p,n-p-1)}}\right) \quad (15)$$

Dimana:

n = ukuran sampel subgrup

p = jumlah parameter atau variabel

F = *Distribusi F* dengan derajat bebas (db) p dan n-p-1 pada tingkat signifikansi α

Batas kendali pada bagan multivariat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan persamaan (14) dan (15).

2.3. SEMEN

2.3.1. Definisi Semen

Semen adalah suatu campuran bahan-bahan kimia yang mempunyai sifat hidraulis, bila dicampur dengan air akan bereaksi dan berubah menjadi bahan yang mempunyai sifat perekat sehingga bisa mengikat bahan-bahan lain menjadi suatu satuan massa yang padat dan mengeras (*Hadi P.P., hal.20, 1998*). Semen dibedakan menjadi dua kelompok besar yaitu *semen hidraulis* dan *semen non-hidraulis*. Semen hidraulis adalah semen yang mengeras dalam air membentuk padatan yang stabil dalam air, contohnya

semen portland. Sedangkan semen non-hidraulis adalah semen yang tidak mengeras dalam air, meskipun dapat mengeras tetapi tidak stabil, contohnya *lime, gypsum*.

2.3.3. Bahan Baku Semen dan Produk Yang Dihasilkan

Bahan baku utama yang digunakan untuk pembuatan semen yaitu batu kapur (*limestone*), tanah liat (*clay*), pasir besi (*iron sand*), pasir silika (*silica sand*), dan *gypsum*. Sifat-sifat semen Portland sangat dipengaruhi oleh susunan kimia yang terkandung di dalamnya. Empat senyawa utama dari semen portland adalah *Tricalsium silikat* ($3CaO.SiO_2$ atau disingkat C_3S), *Dicalsium silikat* ($2CaO.SiO_2$ atau disingkatC_2S),

Tricalsium aluminat ($3CaO.Al_2O_3$ atau C_3A), dan *Tetracalsium aluminat ferrite* ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ atau disingkat C_4AF).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap Departemen Tekhnikal Seksi Control Process yang berada di Jalan Ir. H. Juanda Cilacap selama satu bulan mulai tanggal 1 Juni sampai dengan 31 Juni 2004.

3.2. OBJEK PENELITIAN

Yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah semen portland tipe V, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya perlu ketahanan yang tinggi terhadap sulfat dengan kandungan C_3S ± 43% dan C_3A maksimal 5% .

3.3. VARIABEL PENELITIAN DAN DEFINISI OPERASIONAL

Dalam penelitian ini variabel yang diteliti sebagai karakteristik penelitian adalah syarat-syarat kimia dan syarat-syarat fisik yang terkandung dalam semen portland tipe V. Variabel-variabel tersebut didefinisikan sebagai berikut:

1. Syarat-syarat Kimia Semen

Syarat-syarat kimia ini merupakan komponen dasar semen yang dihasilkan pada pembakaran bahan baku semen, terdiri dari:

a. C_3S (*Tricalsium silikat* atau $3CaO.SiO_2$)

yaitu senyawa yang mempercepat proses pengerasan semen, diukur dengan satuan persentase dari kandungan semen.

b. C_2S (*Dicalsium silikat* atau $2CaO.SiO_2$)

yaitu senyawa yang memperlambat pengembangan kekuatan akhir, diukur dengan satuan persentase dari kandungan semen.

c. C_3A (*Tricalsium aluminat* atau $3CaO.Al_2O_3$)

yaitu senyawa yang mengembangkan kekuatan semen yang berlangsung dengan cepat diukur dengan satuan persentase dari kandungan semen.

d. C_4AF (*Tetracalsium aluminat ferrite* atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$)

yaitu senyawa yang mengembangkan kekuatan semen yang berlangsung dengan cepat diukur dengan satuan persentase dari kandungan semen.

e. CaO dan MgO

yaitu senyawa yang mempengaruhi kekutan semen akhir pada waktu pembuatan *mortar*.

2. Syarat-syarat Fisik Semen

Syarat-syarat fisik merupakan hasil yang ditunjukkan pada bahan akhir semen, syarat-syarat fisik yang diteliti terdiri dari:

a. Kehalusan (*Bline*)

yaitu syarat yang menentukan luas permukaan partikel semen pada proses hidrasi. Makin halus semen akan meningkatkan panas hidrasi, kekeruhan air dan terjadi *drying srinkage*. Jika kurang halus maka

kekuatan plastisitas dan kestabilan akan berkurang. Kehalusan semen diukur dengan satuan cm^2/g

b. Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

yaitu syarat untuk mengontrol kemampuan dalam menerima beban tekan dan mortal atau beton yang akan dibuat. Kuat tekan dipengaruhi oleh komposisi mineral, kandungan CaO bebas, MgO, kehalusan semen dan homogenitas, serta rasio air semen. Kuat tekan diukur dilakukan dua kali yaitu: pengukuran pada waktu kuat tekan (i) tiga hari dan (ii) tujuh hari. Kuat tekan semen diukur dengan satuan kg/cm^2.

3.4. POPULASI DAN SAMPEL PENELITIAN

Populasi dari penelitian ini adalah semen portland tipe V yang diproduksi oleh PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap. Sedangkan sampel yang diambil adalah senyawa utama (C_3S, C_2S, C_3A, dan C_4AF) dan sifat-sifat fisik (kelembutan/*bline* dan kuat tekan/*compressive strength*).

Alasan pemilihan populasi semen portland tipe V, karena semen portland tipe V merupakan tipe semen dengan kualitas terbaik, sehingga tipe semen ini yang diekspor ke luar negeri. Pengendalian kualitas terhadap tipe semen sangat dijaga dengan ketat supaya pasaran di luar negeri tidak kecewa dengan tipe semen ini akibat dari kontrol yang tidak optimal dari perusahaan. Inilah yang menjadi dasar pemikiran bagi Peneliti dalam kegiatan penelitian ini untuk mengetahui kualitas dari semen portland tipe V

yang diproduksi oleh PT. Semen Cibinong menurut bagan kendali multivariat.

3.5. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1. Observasi

   Peneliti melihat secara langsung proses pembuatan dan pengujian bahan-bahan semen di Departemen Teknikal bagian Kontrol Proses PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap II.

2. Wawancara

   Pengumpulan data dilakukan dengan cara tanya jawab sepihak secara langsung dengan petugas yang ditunjuk oleh perusahaan untuk melengkapi data-data mengenai proses pembuatan dan pengujian bahan-bahan semen.

3.6. METODE PENGUMPULAN DATA

Pengumpulan data dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1. Penelitian kepustakaan, yaitu dengan mendapatkan data melalui buku-buku literatur, diktat, dan lain-lain.
2. Penelitian laboratorium, yaitu dengan melakukan pengujian-pengujian terhadap bahan-bahan semen.

Di laboratorium kimia dan fisik PT. Semen Cibinong Peneliti melakukan beberapa pengujian terhadap senyawa-senyawa semen portland tipe V. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Analisis Kekekalan Bentuk

1. 200 gram semen ditimbang untuk membuat 2 buah kue percobaan, dibuat dalam mangkok dan diatas plat kaca berbentuk kerucut yang berdiameter 10 dan tinggi 1,5 cm.
2. Bahan dicampur dengan *Iodium Lourge Sulfat* yang berfungsi sebagai bahan pengikat, lalu digiling dan dihomogenisasi oleh mesin, kemudian dimasukan dalam cetakan *pallet.*
3. Cetakan *pallet* tersebut ditekan oleh mesin penekan dengan tekanan tertentu supaya berbentuk *pallet* dengan diameter 4 cm.
4. *Pallet* tersebut dimasukan dalam mesin *X-ray* yang telah dilengkapi dengan pemrograman komputer yang canggih.
5. *Pallet* akan ditembakan dengan sinar X yang berasal dari gas Argon dan tenaga listrik bertekanan tinggi.
6. Dari hasil mesin *X-ray* diperoleh analisis berupa kadar senyawa semen, yaitu: SiO_2, SiO_3, $Fe2O_3$, CaO, MgO, K_2O, Ha_2O, Na_2OEQ, SO_3, SM (*Silica Modulus*), LSF (*Lime Saturation Factor*), HM (*Hidrolic Modulus*), dan IM (*Iron Modulus*)

b. Analisis Blaine

1. Sampel semen ditimbang sebanyak 2,95 gram, dimasukan ke dalam silinder baja, dimasukan pada bagian dasar terdapat penutup yang berongga.
2. Satu helai kertas saring diletakan diatas sampel, sampel ditekan secara perlahan hingga termampatkan, kemudian silinder baja

diletakan pada pipa U yang berisi cairan minyak berwarna kuning, yang dilengkapi dengan bola penghisap.

3. Dilepaskan sampai cairan minyak naik keatas sampai melebihi tanda batas, *stopwatch* dihidupkan dan dicatat lama waktu cairan minyak turun hingga tanda batas bawah.

c. Analisis Kuat Tekan *Mortar*

1. Sampel ditimbang sebesar 740 gr dan pasir standar 200 gr, dimixer dengan air 139 ml selama 30 detik.
2. Pasir standar dimasukan secara merata sambil tetap dimixer selama 45 menit, ditambahkan air 5 ml.
3. Setelah *dimixer* dimasukan dalam cetakan setengah, terlebih dahulu kemudian diisi kembali cetakannya sampai penuh dan diratakan.
4. Didiamkan hingga kering dalam *box* kuningan dibongkar dan *mortar* didiamkan sebentar.
5. *Mortar* direndam dalam air, sebelumnya ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui beratnya.
6. Lama perendaman dalam air yaitu 1 hari, 7 hari, dan 28 hari.
7. Pengukuran kuat tekan *mortar* dilakukan pada mesin kuat tekan *mortar* dengan menekankan *mortar* pada tekanan tertentu.

3.7. DATA YANG DIPERLUKAN

Data yang diambil merupakan data sekunder yang sudah disimpan dalam *Technical Information System* (TIS). Dari hasil penelitian data yang

diambil yaitu senyawa-senyawa yang bereaksi dalam semen tipe V selama bulan Juni 2004 dari tanggal 1 sampai tanggal 28, terdiri dari senyawa-senyawa: SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, SO_3, Na_2O, K_2O, LOI, *Free* CaO, Alkali, IR, C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF, *Bline*/kelembutan, *Residu* (R-90 dan R-45), *Setting Time* (WR, IS, dan FS) SG, Exp, Air, Flow, *Heat Hydration* (7 Day dan 28 Day) dan *Strength*/kuat tekan (3 Day, 7 Day, dan 28 Day).

Namun dalam penelitian ini senyawa-senyawa yang dipilih sebagai variabel penelitian adalah kandungan C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF, *bline*/kelembutan, *strength*/kuat tekan semen (3 Day dan 7 Day) portland tipe V. Karena variabel-variabel tersebut merupakan senyawa-senyawa utama dalam kandungan semen portland tipe V.

Pengambilan data diukur secara langsung setiap hari oleh petugas pengawas laboratorium untuk diuji setiap proses dari bahan baku. Dalam penelitian yang diuji adalah kandungan C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF, *bline*/kelembutan, *strength*/kuat tekan (3 Day dan 7 Day) semen portland tipe V.

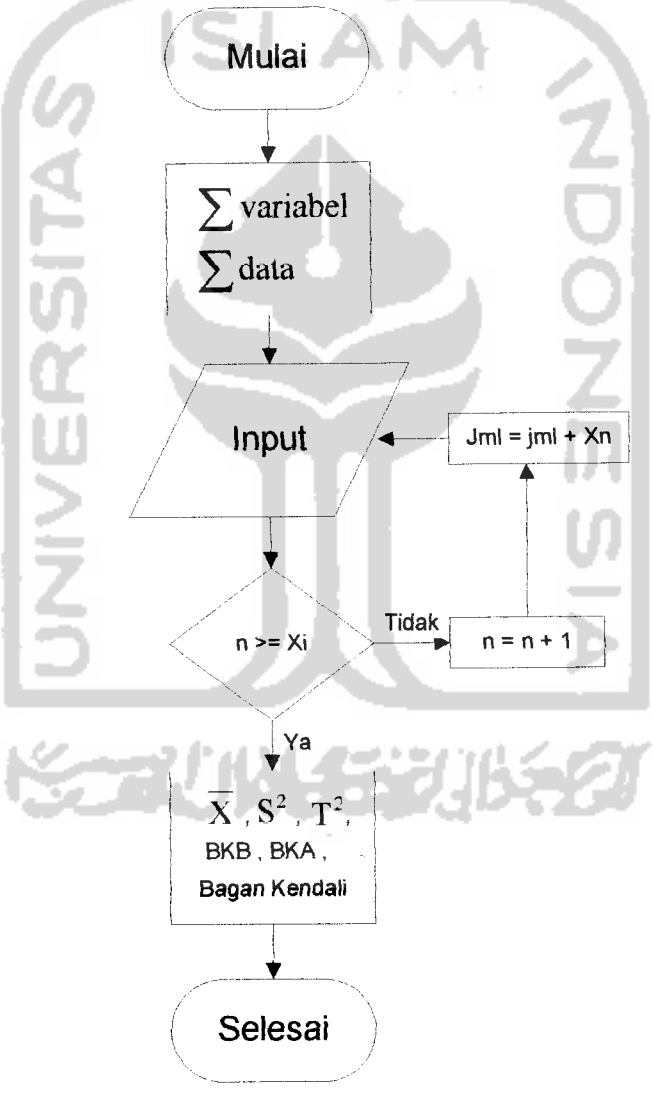
3.8. METODE SAMPLING

Sampling yang digunakan pada setiap proses untuk dilakukan pengujian yaitu berdasarkan *box sampler* yang ditempatkan pada setiap mesin. Bahan baku yang sedang diproses dalam mesin untuk dijadikan semen berjalan melalui *box sampler* tersebut. Oleh petugas setiap harinya mengambil sampel di *box sampler* untuk dilakukan pengujian di laboratorium kimia dan fisik.

3.9. ANALISIS DATA

Untuk mengolah data-data tersebut digunakan simulasi program MINITAB versi 13.0, karena untuk menganalisis dengan menggunakan pengendalian kualitas multivariat belum tersedia dalam menu MINITAB dan menggunakan paket program statistik lainnya yang memungkinkan.

Simulasi program yang digunakan dengan alur sebagai berikut:



Gambar 3.1 : Alur Program Simulasi

Dan bahasa programnya sebagai berikut:

```
NOTE ******************************************************
NOTE *          SIMULASI PROGRAM NILAI HOTELLING T2          *
NOTE *   UNTUK VARIABEL-VARIABEL SEMEN PORTLAND TIPE V       *
NOTE *  PRODUKSI PT. SEMEN CIBINONG TBK. PABRIK CILACAP      *
NOTE *            OLEH : ANDI YULIANTO (00611055)           *
NOTE ******************************************************
NOTE Catatan : Program ini menggunakan alpha 5%
NOTE
COPY C1-C9 M1                    # m1=(28x9)
TRANS M1 M2                      # M2 = Transpose M1 (9x28)
SET C10
28(1)
END
COPY C10 M3                      # M3 = Matriks satuan C9(28x1)
MULTY M2 M3 M4                   # M4 = Perkalian M2 M3 (9x1)
LET K3=1/28                      # 1/n1
MULTY K3 M4 M5                   # M5 = Perkalian 1/n1 M4 (9X1)
NAME M5 'RATA-RATA'
PRINT M5                         # M5 = Rata-rata matriks
TRANS M3 M6                      # M6 = Transpose M6 (1X28)
MULTY M5 M6 M7                   # M7 = Perkalian M5 M6 (9X28)
TRANS M7 M8                      # M8 = Transpose M7 (28X9)
NAME M8 'TRANSPOSE M8'
PRINT M8
SUBTR M8 M1 M9                   # M9 = Beda M1 m8 (28X9)
NAME M9 'BEDA M1 M8'
PRINT M9                         # M9 = (Xi-Xbar)
TRANS M9 M10                     # M10 = Transpose M9 (9X28)
MULTY M10 M9 M11                 # M11 = Perkalian M10 M9 (9X9)
NAME M11 'PERKALIAN M10 M11'
PRINT M11
LET K4=1/27                      # 1/n1-1
MULTY K4 M11 M12                 # M12 = Perkalian 1/n1-1 M11 (9X9)
NAME M12 'MATRIK KOVARIANS'
PRINT M12
INVERT M12 M13                   # M13 = Invers M12 (9X9)
MULTY M9 M13 M14                 # M14 = Perkalian M9 M13 (28X9)
MULTY M14 M10 M15                # M15 = Perkalian M10 M9 (28X9)
NAME M15 'T2 HOTELLING'          # M15 = T-square Hotelling
LET K5=27
LET K6=1/28
LET K8=9
LET K9=1/18
LET K10=0,2702                   # K10 = Nilai F tabel
LET K11=1
LET K13=2,9291                   # K13 = Nilai F tabel
MULTY K5 K5 K7                   # K7  = (n-1)x(n-1)
MULTY K6 K7 C11                  # C11 = (n-1)x(n-1)/m
MULTY K8 K9 C12                  # C12 = p/(n-p-1)
MULTY C12 K10 C13        # C13 = p/(n-p-1)xNilai F_tabel
ADD K11 C13 C14            C14 = 1+p/(n-p-1)xNilai F_tabel
LET K12=1/C14
MULTY C14 C13 C15        # C15 = p/(n-p-1)xNilai F_tabel)/(1+p/(n-
                               p-1)xNilai F_tabel)
MULTY C11 C15 C16        # C16 = ((n-1)x(n-1)/n)x(p/(n-p-1)xNilai
                               F_tabel)/(1+p/(n-p-1)xNilai
                               F_tabel)
```

```
SET C23
28(3,99263)
END.
NAME C23 'LCL'
PRINT C16
MULTY C12 K13 C17                    # C17 = p/(n-p-1)xNilai F_tabel
ADD K11 C17 C18                      # C18 = 1+p/(n-p-1)xNilai F_tabel
LET K14=1/C18
MULTY C17 K14 C19          # C19 = p/(n-p-1)xNilai F_tabel)/1+p/(n-p-
                                     1)xNilai F_tabel
MULTY C11 C19 C20          # C20 = ((n-1)x(n-1)/n)x(p/(n-p-1)xNilai
                                     F_tabel)/1+p/(n-p-1)xNilai F_tabel

SET C24
28(15,4716)
END.
NAME C24 'UCL'
DIAGO M15 C21
NAME C21 'T-Square Hotelling'
NAME C22 'Time'
SET C22
1:28
END
TSPlot 'T-Square Hotelling' 'LCL' 'UCL';
Day;
TDisplay 11;
Symbol;
Type 6 0 0;
Connect;
Title "Bagan Kendali Multivariat Variabel-variabel Semen Portland Tipe V"&
;
Overlay;
ScFrame;
ScAnnotation.
```

Tahapan Analisis Data:

1. Uji korelasi antar variabel semen portland V

   Langkah-langkah pengujian:

   - Hipotesis:

     Ho : $\rho_{ik} = 0$ atau tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

     H_1 : $\rho_{ik} \neq 0$ atau ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

   - Tingkat sig. : α

   - Kriteria keputusan:

     Berdasarkan nilai probabilitas:

Jika probabilitas ≥ 0.05, maka Ho diterima

Jika probabilitas < 0.05, maka Ho ditolak

- Mengambil kesimpulan

2. Menentukan nilai *Hotelling* T^2

   Nilai *Hotelling* T^2 ditentukan untuk membuat bagan kendali multivariat dari variabel-variabel semen portland tipe V. Persamaan (11) digunakan untuk menentukan nilai *Hotelling* T^2 tersebut.

3. Membuat bagan kendali multivariat

   Seperti halnya dalam bagan kendali univariat, bagan kendali multivariat juga dibatasi oleh dua batas kendali yaitu batas kendali bawah dan batas kendali atas. Persamaan (14) dan (15) berturut-turut untuk membuat dua batas kendali tersebut.

4. Menganalisis bagan kendali multivariat yang telah dibuat berdasarkan nilai *Hotelling* T^2.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan di PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap II Departemen Technical Seksi Proses Kontrol diperoleh data pada *Tabel 4.1*. Data tersebut adalah atribut-atribut kualitas dari semen portland tipe V yang merupakan data sekunder selama bulan Juni 2004.

Tabel 4.1: Data Hasil Penelitian Bulan Juni 2004

Date	Klinker		Sifat Kimia Semen				Sifat Fisik Semen		
	CaO %	MgO %	C3S %	C2S %	C3A %	C4AF %	Blaine cm^2/g	Strength 3D (kg/cm^2)	Strength 7D (kg/cm^2)
1	64.3	1.22	59.7	15.5	3.0	15.0	3120	217	277
2	63.8	1.39	58.9	15.5	2.8	15.4	3520	235	298
3	64.4	1.33	64.2	10.9	3.0	14.8	3580	260	311
4	64.3	1.31	62.3	12.8	3.1	14.6	3750	294	340
5	64.2	1.33	60.7	14.4	3.0	14.7	3720	253	326
6	64.5	1.28	64.4	10.8	3.1	14.4	3740	251	317
7	64.7	1.28	66.2	9.10	3.1	14.2	3740	300	389
8	64.6	1.33	65.3	10.0	3.0	14.5	3710	291	344
9	64.5	1.39	65.8	9.30	3.1	14.3	3720	275	323
10	64.8	1.43	67.5	7.90	3.3	14.0	3800	292	340
11	64.8	1.45	66.7	8.70	3.7	13.5	3740	325	363
12	64.7	1.40	65.5	9.90	3.6	13.6	3710	292	358
13	64.7	1.38	65.0	10.4	3.6	13.7	3250	269	324
14	64.8	1.36	65.1	10.6	3.6	13.6	3280	267	322
15	64.5	1.32	64.7	10.6	3.3	14.0	3310	269	315
16	64.5	1.37	64.0	11.3	3.4	14.0	3330	286	356
17	64.5	1.44	63.4	11.8	3.6	13.9	3300	249	345
18	64.6	1.41	64.4	10.7	3.9	13.7	3370	263	315
19	64.6	1.29	63.0	12.3	3.7	14.0	3250	236	320
20	64.5	1.28	62.3	12.7	3.8	13.9	3320	239	305
21	64.6	1.27	63.5	11.8	3.7	13.8	3290	254	328
22	64.4	1.27	63.3	11.7	3.5	14.2	3370	226	272
23	64.7	1.25	65.9	9.20	3.7	14.0	3650	274	337
24	64.5	1.29	61.9	13.1	3.7	14.2	3720	286	358
25	64.8	1.35	66.0	9.70	3.6	13.8	3800	260	342

Date	Klinker		Sifat Kimia Semen				Sifat Fisik Semen		
	CaO %	MgO %	C3S %	C2S %	C3A %	C4AF %	Blaine cm^2/g	Strength 3D (kg/cm^2)	Strength 7D (kg/cm^2)
26	64.8	1.42	65.9	9.70	3.5	13.5	3610	267	345
27	64.9	1.51	68.2	7.20	3.3	13.5	3740	273	346
28	64.8	1.59	68.7	6.80	3.3	13.5	3720	255	331

Sumber: *Technical Information System* (TIS) PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap.

Untuk senyawa CaO dan MgO termasuk senyawa sisa lainnya (CaO dan MgO, senyawa yang mempengaruhi kekuatan semen),nilai pengukurannya diperoleh dari hasil analisis *klinker*/terak. *Klinker* merupakan semen setengah jadi berbentuk bulatan yang nantinya akan dihaluskan sehingga menjadi semen akhir. Sedangkan senyawa C_3S, C_2S, C_3A, dan C_4AF (termasuk senyawa sisa lainnya) merupakan senyawa utama yang nilai pengukurannya diperoleh dari analisis semen akhir. Dengan demikian untuk persentase antara CaO, MgO, C_3S, C_2S, C_3A, dan C_4AF tidak 100%, karena diperoleh dari analisis bahan yang berbeda Variabel *bline*/kelembutan nilai pengukurannya diperoleh dari analisis semen akhir dan variabel kekuatan semen diperoleh setelah semen akhir dicampur dengan air untuk dijadikan *morta*, diukur pada waktu pengukuran 3 hari dan 7 hari.

4.2. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.2.1. Standarisasi Data

Tujuan standarisasi data adalah untuk mendeteksi seberapa besar nilai standar deviasai dari setiap pegamatan terhadap nilai rata-rata atau mean. Karena nilai pengamatan yang satu dengan pengamatan yang lainnya biasanya terdapat perbedaan nilai yang besar maka perlu dilakukan standarisasi ke dalam nilai *Z skore* terhadap data pengamatan. Standarisasi

dalam analisis pengendalian multivariat ini dikemukakan oleh *Ian J. Rehmet* dalam jurnalnya *"A Performance Analysis of The Minimax Multivariate Quality Control Chart"*. Data hasil standarisasi dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.2: Data hasil standarisasi (ZScore) dari tabel 4.1

ZC3S	ZC2S	ZC3A	ZC4AF	BLINE	ZSTR_3D	ZSTR_7D	ZCaO	ZMgO
-1.988	2.11905	-1.29663	1.87341	-1.93467	-2.02575	-2.11105	-1.13486	-1.61827
-2.32819	2.11905	-1.95673	2.68984	-0.09837	-1.28698	-1.27853	-3.2819	0.41955
-0.07442	0.01308	-1.29663	1.4652	0.17707	-0.26091	-0.76315	-0.70545	-0.29968
-0.88237	0.88294	-0.96658	1.05698	0.9575	1.13454	0.38653	-1.13486	-0.53942
-1.56276	1.61545	-1.29663	1.26109	0.81978	-0.54821	-0.16849	-1.56427	-0.29968
0.01063	-0.0327	-0.96658	0.64877	0.91159	-0.6303	-0.52529	-0.27605	-0.89904
0.77606	-0.811	-0.96658	0.24055	0.91159	1.3808	2.3291	0.58277	-0.89904
0.39335	-0.39896	-1.29663	0.85288	0.77387	1.01141	0.54511	0.15336	-0.29968
0.60597	-0.71943	-0.96658	0.44466	0.81978	0.35473	-0.28742	-0.27605	0.41955
1.32887	-1.36038	-0.30648	-0.16766	1.18704	1.05245	0.38653	1.01217	0.89904
0.98868	-0.99412	1.01373	-1.1882	0.91159	2.40686	1.29835	1.01217	1.13879
0.47839	-0.44474	0.68368	-0.98409	0.77387	1.05245	1.10013	0.58277	0.53942
0.26577	-0.21583	0.68368	-0.77998	-1.33787	0.10847	-0.24778	0.58277	0.29968
0.3083	-0.12427	0.68368	-0.98409	-1.20015	0.02638	-0.32706	1.01217	0.05994
0.1382	-0.12427	-0.30648	-0.16766	-1.06243	0.10847	-0.60457	-0.27605	-0.41955
-0.15946	0.19621	0.02358	-0.16766	-0.97061	0.8062	1.02084	-0.27605	0.17981
-0.41461	0.42512	0.68368	-0.37177	-1.10834	-0.71238	0.58475	-0.27605	1.01891
0.01063	-0.07848	1.67383	-0.77998	-0.78698	-0.13779	-0.60457	0.15336	0.6593
-0.5847	0.65403	1.01373	-0.16766	-1.33787	-1.24594	-0.40635	0.15336	-0.77917
-0.88237	0.83716	1.34378	-0.37177	-1.01652	-1.12281	-1.00102	-0.27605	-0.89904
-0.37208	0.42512	1.01373	-0.57587	-1.15424	-0.50717	-0.0892	0.15336	-1.01891
-0.45713	0.37934	0.35363	0.24055	-0.78698	-1.65637	-2.30928	-0.70545	-1.01891
0.64849	-0.76521	1.01373	-0.16766	0.49842	0.31368	0.2676	0.58277	-1.25866
-1.05247	1.02029	1.01373	0.24055	0.81978	0.8062	1.10013	-0.27605	-0.77917
0.69101	-0.5363	0.68368	-0.57587	1.18704	-0.26091	0.46582	1.01217	-0.05994
0.64849	-0.5363	0.35363	-1.1882	0.31479	0.02638	0.58475	1.01217	0.77917
1.62654	-1.68085	-0.30648	-1.1882	0.91159	0.27264	0.6244	1.44158	1.85802
1,83916	-1,86398	-0,30648	-1,1882	0,81978	-0,46613	0,02973	1,01217	2,817

4.2.2. Uji Korelasi atau Hubungan Antar Variabel Pengamatan

Dalam analisis pengendalian kualitas multivariat asumsi yang digunakan adalah bahwa antar variabel harus mempunyai korelasi atau hubungan satu sama lain, artinya besar kecilnya hasil pengukuran antar variabel dipengaruhi oleh variabel yang satu dengan variabel yang lain. Untuk itu, dalam penelitian ini dilakukan pengujian uji korelasi antara *strength* atau kekuatan semen pada waktu pengukuran 3 hari dan 7 hari dengan senyawa C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF, CaO, MgO, dan *bline*/kelembutan semen.

Hasil uji korelasi terhadap variabel pengamatan dalam penelitian ini dapat dilihat pada output dibawah ini, dan analisis dan pembahasannya terdapat pada bagian bawah tabel tersebut.

Output Correlations:

ZC3S, ZC2S, ZC3A, ZC4AF, BLINE, ZSTR_3D, ZSTR_7D, ZCaO, ZMgO

	ZC3S	ZC2S	ZC3A	ZC4AF	BLINE	ZSTR_3D	ZSTR_7D	ZCaO
ZC2S	-0.996							
	0.000							
ZC3A	0.228	-0.208						
	0.242	0.288						
ZC4AF	-0.724	0.695	-0.754					
	0.000	0.000	0.000					
BLINE	0.444	-0.468	-0.294	-0.005				
	0.018	0.012	0.129	0.981				
ZSTR_3D	0.538	-0.541	0.077	-0.339	0.576			
	0.003	0.003	0.698	0.078	0.001			
ZSTR_7D	0.506	-0.497	0.152	-0.420	0.544	0.824		
	0.006	0.007	0.440	0.026	0.003	0.000		
ZCaO	0.874	-0.842	0.532	-0.873	0.211	0.455	0.511	
	0.000	0.000	0.004	0.000	0.280	0.015	0.005	
ZMgO	0.577	-0.585	0.040	-0.480	0.306	0.278	0.302	0.379
	0.001	0.001	0.842	0.010	0.113	0.152	0.119	0.046

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Hipotesis untuk uji korelasi:

Ho : $\rho_{ik} = 0$ atau tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

H_1 : $\rho_{ik} \neq 0$ atau ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

Tingkat sig. : 0.05

Statistik uji : $$\rho_{ik} = \frac{S_{ik}}{\sqrt{S_{ii}}\sqrt{S_{kk}}} = \frac{\sum_{j=1}^{n}(X_{ij} - \bar{X}_i)(X_{kj} - \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(X_{ij} - \bar{X}_i)^2}\sqrt{\sum_{j=1}^{n}(X_{kj} - \bar{X}_k)^2}}$$

Pengambilan keputusan:

Berdasarkan *P-value* (Probabilitas)

Jika probabilitas ≥ 0.05, maka Ho diterima

Jika probabilitas < 0.05, maka Ho ditolak

Analisis dan pembahasan:

Korelasi antara variabel:

- C_2S dengan C_3S : angka signifikansi menunjukkan $0.000 < 0.05$, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.996.
- C_3A dengan C_3S : angka signifikansi menunjukkan $0.242 > 0.05$, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- C_3A dengan C_2S : angka signifikansi menunjukkan $0.288 > 0.05$, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- C_4AF dengan C_3S : angka signifikansi menunjukkan $0.000 < 0.05$, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.724.
- C_4AF dengan C_2S : angka signifikansi menunjukkan $0.000 < 0.05$, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.695.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
PERPUSTAKAAN
FMIPA

- C_4AF dengan C_3A : angka signifikansi menunjukkan 0.00 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.754.
- Bline dengan C_3S : angka signifikansi menunjukkan 0.018 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.444.
- Bline dengan C_2S : angka signifikansi menunjukkan 0.012 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.468.
- Bline dengan C_3A : angka signifikansi menunjukkan 0.129 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.294.
- Bline dengan C_4AF : angka signifikansi menunjukkan 0.981 > 0.05, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- STR_3D dengan C_3S : angka signifikansi menunjukkan 0.003 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.538.
- STR_3D dengan C_2S : angka signifikansi menunjukkan 0.003 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.541.
- STR_3D dengan C_3A : angka signifikansi menunjukkan 0.698 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.077.
- STR_3D dengan C_4AF : angka signifikansi menunjukkan 0.078 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.339.
- STR_3D dengan Bline : angka signifikansi menunjukkan 0.001 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.576.
- STR_7D dengan C_3S : angka signifikansi menunjukkan 0.006 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.506.
- STR_7D dengan C_2S : angka signifikansi menunjukkan 0.007 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.497.

- STR_7D dengan C_3A : angka signifikansi menunjukkan 0.440 > 0.05, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- STR_7D dengan C_4AF : angka signifikansi menunjukkan 0.026 > 0.05, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- STR_7D dengan Bline : angka signifikansi menunjukkan 0.003 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.544.
- STR_7D dengan STR_3D : angka signifikansi menunjukkan 0.000 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.824.
- CaO dengan C_3S : angka signifikansi menunjukkan 0.000 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.874.
- CaO dengan C_2S : angka signifikansi menunjukkan 0.000 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.842.
- CaO dengan C_3A : angka signifikansi menunjukkan 0.000 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.824.
- CaO dengan C_4AF : angka signifikansi menunjukkan 0.004 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.532.
- CaO dengan Bline : angka signifikansi menunjukkan 0.000 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.873.
- CaO dengan STR_3D : angka signifikansi menunjukkan 0.280 > 0.05, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- CaO dengan STR_7D : angka signifikansi menunjukkan 0.005 = 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.511.
- MgO dengan C_3S : angka signifikansi menunjukkan 0.001 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.824.

- MgO dengan C_2S : angka signifikansi menunjukkan 0.001 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.585.
- MgO dengan C_3A : angka signifikansi menunjukkan 0.04 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.842.
- MgO dengan C_4AF : angka signifikansi menunjukkan 0.01 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya -0.480.
- MgO dengan Bline : angka signifikansi menunjukkan 0.113 > 0.05, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- MgO dengan STR_3D : angka signifikansi menunjukkan 0.152 > 0.05, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- MgO dengan STR_7D : angka signifikansi menunjukkan 0.119 > 0.05, berarti tidak ada korelasi antara kedua varabel.
- MgO dengan CaO : angka signifikansi menunjukkan 0.046 < 0.05, berarti ada korelasi antara kedua varabel yang besarnya 0.379.

4.2.3. Analisis Pengendalian Kualitas Multivariat

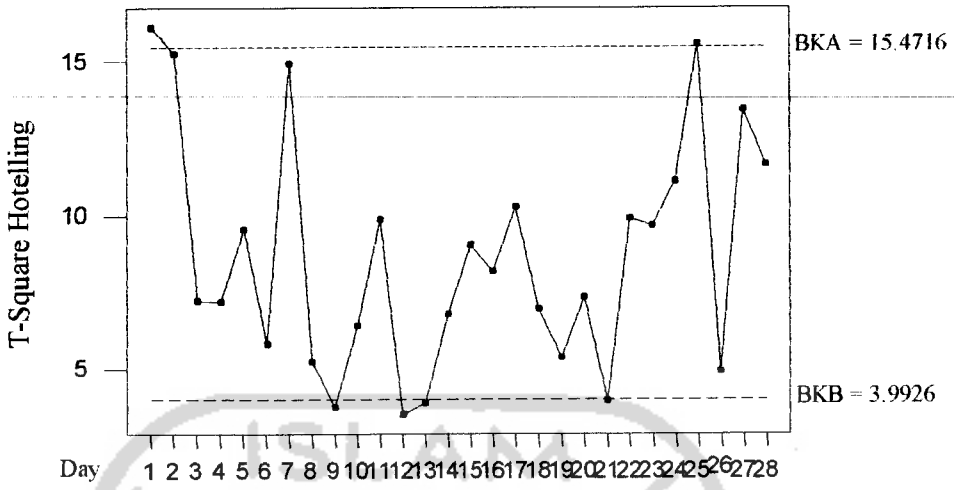
Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa analisis pengendalian kualitas multivariat, data pengamatan dihitung berdasarkan statistik T^2 *Hoteling* (lihat persamaan 7). Statistik ini yang nantinya digunakan sebagai dasar pembuatan bagan kendali multivariat. Untuk pembuatan bagan kendali dalam penelitian ini menggunakan program simulasi MINITAB 13.0. Dari simulasi program tersebut diperoleh nilai *Hotelling* T^2 seperti yang tercantum dalam *Tabel 4.5* dibawah ini:

Tabel 4.3 : Nilai-nilai *Hotelling* T^2 (alpha=0.05)

Day	T-Square Hotelling
1	16.1611
2	15.2740
3	7.2291
4	7.2145
5	9.5765
6	5.8137
7	14.9419
8	5.2327
9	3.7509
10	6.4359
11	9.8654
12	3.4919
13	3.8744
14	6.7750
15	9.0387
16	8.1714
17	10.2652
18	6.9364
19	5.3669
20	7.3400
21	3.9605
22	9.9187
23	9.6707
24	11.1148
25	15.5903
26	4.9000
27	13.4523
28	11.6372

Nilai-nilai T^2 Hotelling tersebut kemudian diplotkan dalam suatu bagan kendali yang dibatasi oleh dua batas kendali yaitu Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB). Untuk membuat kedua batas kendali pada bagan kendali digunakan persamaan (10) dan (11). Diperoleh BKA = 15.4716 dan BKB = 3.9926. Gambar berikut merupakan hasil plot dari nilai-nilai T2 Hotelling beserta batas kendalinya:

Bagan Kendali Multivariat Variabel-variabel Semen Portland Tipe V



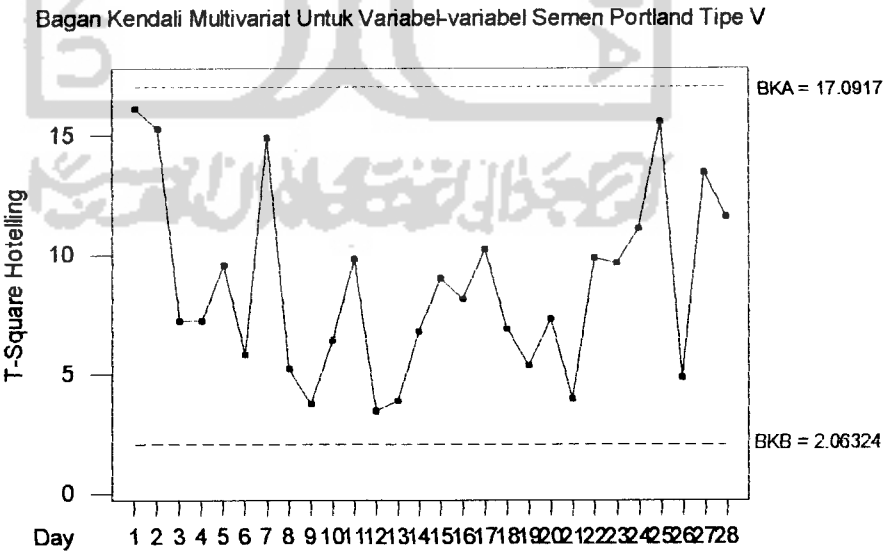
Gambar 4.1 : Bagan Kendali Multivariat Dengan Alpha 5%

Analisis:

Gambar 4.1 merupakan bagan kendali multivariat dari variabel-variabel C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF, CaO, MgO, *bline*/kelembutan, *strength*/kekuatan yang diukur pada waktu 3 hari dan 7 haridari semen portland tipe V yang telah ditransformasi ke dalam bentuk nilai *Hotelling* T^2 (lihat Tabel 4.5) dengan menggunakan alpha 5%. Bagan kendali tersebut terlihat bahwa terdapat nilai pengamatan yang berada di luar batas kendali. Nilai-nilai itu terjadi pada hari ke-1, 9, 12, 13, dan ke-25. Dengan kata lain bahwa pengukuran secara bersama-sama terhadap C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF, CaO, MgO, *bline*/kelembutan, kekuatan semen pada waktu pengukuran 3 hari dan 7 hari tidak mampu memenuhi batas kendali pada selang interval dengan BKB = 3.999 (batas minimal dari proses variabel semen portland tipe V) dan BKA = 15.4716 (batas maksimal dari proses variabel semen portland tipe V).

Tabel 4.4: Nilai-nilai *Hotelling* T^2 (alpha=0.03)

Day	T-Square Hotelling
1	16,1611
2	15,2740
3	7,2291
4	7,2145
5	9,5765
6	5,8137
7	14,9419
8	5,2327
9	3,7509
10	6,4359
11	9,8654
12	3,4919
13	3,8744
14	6,7750
15	9,0387
16	8,1714
17	10,2652
18	6,9364
19	5,3669
20	7,3400
21	3,9605
22	9,9187
23	9,6707
24	11,1148
25	15,5903
26	4,9000
27	13,4523
28	11,6372



Gambar 4.2 : Bagan Kendali Multivariat Dengan Alpha 3%

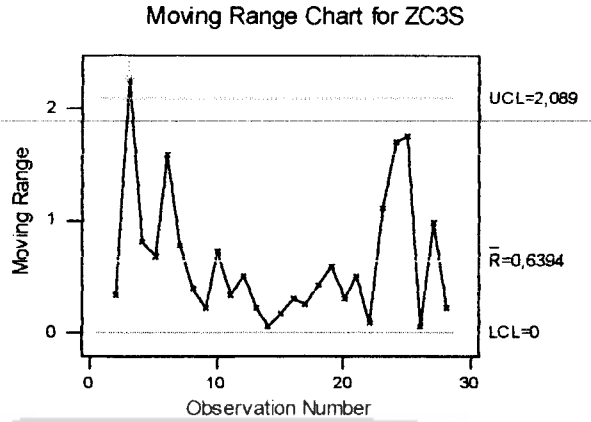
Bagan kendali multivariat di atas (Gambar 4.2) merupakan bagan kendali dengan menggunakan alpha 3%, terlihat bahwa semua nilai T^2 *Hotelling* berada dalam batas kendali pada interval 2.06324 sampai dengan 17.0917. Dengan kata lain proses dari variabel-variabel semen portland tipe V akan terkendali bila menggunakan alpha 3%, karena dengan menggunakan alpha 3% akan mendapatkan batas kendali yang baru yang lebih lebar yaitu BKB = 2.0324 dan BKA = 17.0917. Programnya dapat di lihat pada lampiran 1.

4.2.4. Analisis Pengendalian Kualitas Univariat

Dari analisis pengendalian kualitas secara bersama-sama terhadap variabel-variabel semen portland tipe V di atas, memperlihatkan bahwa proses dalam keadaan tidak terkendali. Hal tersebut ditunjukkan oleh adanya nilai-nilai yang berada di luar batas kendali antara selang interval 15.4716 sampai dengan 3.9926. Selanjutnya, Peneliti ingin mengetahui apakah pengendalian secara individu terhadap variabel semen portland tipe V juga dalam keadaam tidak terkendali. Berikut pembahasannya:

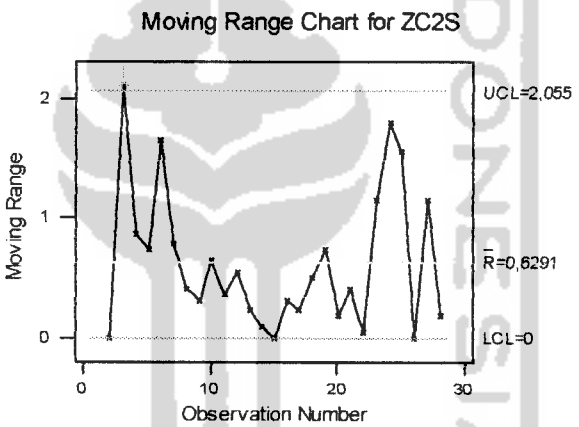
1. Pengendalian terhadap variabel C_3S

Untuk variabel C_3S, proses dalam keadaan tidak terkendali karena ada pengamatan yang berada di luar batas kendali dengan BKB = 0, BKA = 2.089 dan $\overline{R}$ = 0.6394 (yaitu rata-rata range dari variabel C_3S) yang terjadi pada pengamatan ke-2.



Gambar 4.3 : Bagan kendali *moving range* variabel C_3S

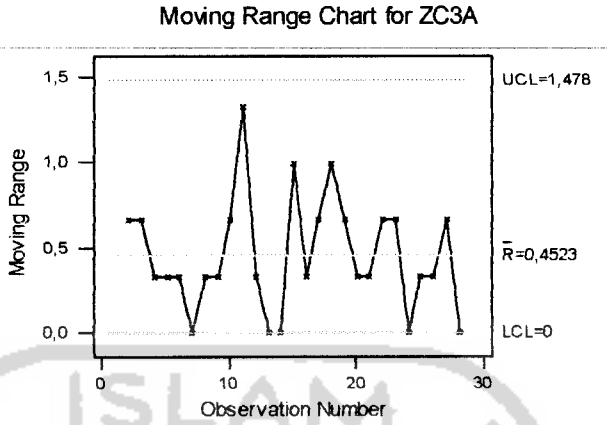
2. Pengendalian terhadap variabel C_2S



Gambar 4.4 : Bagan kendali *moving range* variabel C_2S

Bagan kendali *moving range* untuk variabel C_2S di atas menunjukkan bahwa proses dalam keadaan tidak terkendali, dibuktikan oleh pengamatan yang berada di luar interval dengan BKB = 0 dan BKA = 2.0955. Rata-rata *range* dari proses C_2S yaitu 0.6291.

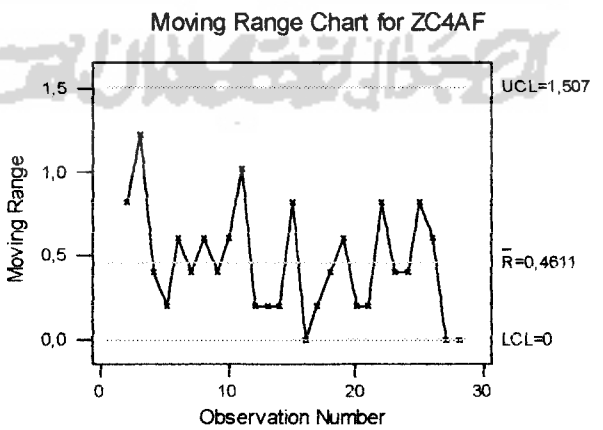
3. Pengendalian terhadap variabel C_3A



Gambar 4.5 : Bagan kendali *moving range* variabel C_3A

Dengan BKB = 0 dan BKA =1.478, proses dari C_3A yang mempunyai rata-rata *range* sebesar 0.4523 mampu memenuhi batas kendali tersebut atau dengan kata lain proses dalam keadaan terkendali (lihat *Gambar 4.4*). Namun proses tersebut perlu pengawasan lebih lanjut karena ada beberapa titik yang berada tepat pada garis batas kendali bawah.

4. Pengendalian terhadap variabel C_4AF

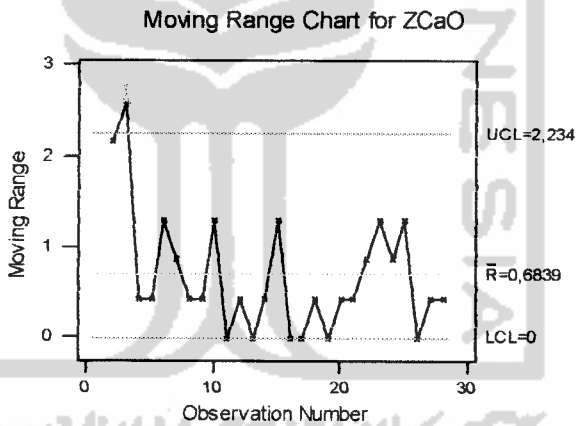


Gambar 4.6 : Bagan kendali *moving range* variabel C_4AF

Seperi halnya pada bagan kendali *moving range* untuk variabel C_3A, bagan kendali *moving range* C_4AF juga dalam keadaan terkendali. Semua pengamatan berada pada selang interval dengan BKB = 0 dan BKA = 1.50, rata-rata *range* pengamatan sebesar 0.4611.

5. Pengendalian terhadap variabel CaO

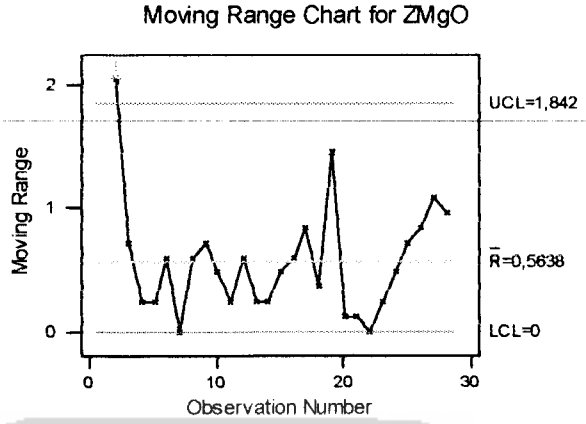
Selang interval dengan BKB = 0 dan BKA = 2.234 dari bagan kendali di bawah untuk variabel CaO menunjukkan bahwa proses tidak mampu memenuhi batas kendali tersebut. Dengan demikian proses CaO dalam keadaan tidak terkendali yang terjadi pada pengamatan ke-2. Proses mempunyai rata-rata *range* sebesar 0.6839



Gambar 4.7 : Bagan kendali *moving range* variabel CaO.

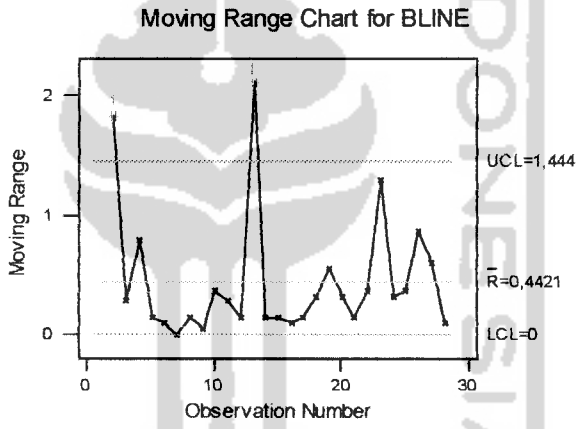
6. Pengendalian terhadap variabel MgO

Proses dari variabel C_3A tidak mampu memenuhi batas kendali pada interval dengan BKB = 0 dan BKA = 1.478, sehingga proses dikatakan dalam keadaan tidak terkendali yang ditunjukkan oleh pengamatan ke-1 yang berada di luar batas kendali. Rata-rata *range* dari proses sebesar 0.5638.



Gambar 4.8 : Bagan kendali *moving range* variabel MgO

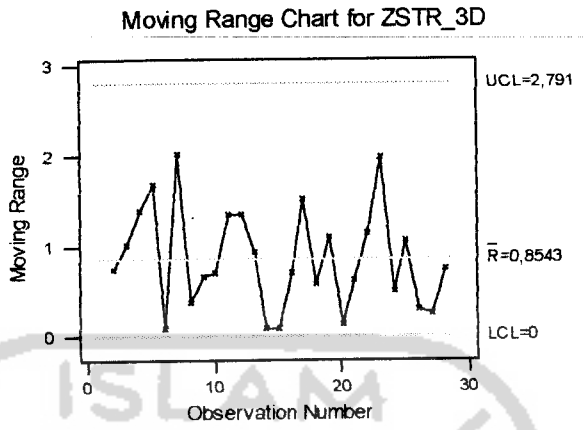
7. Pengendalian terhadap variabel bline/kelembutan



Gambar 4.9 : Bagan kendali *moving range* variabel bline

Bagan kendali di atas menunjukkan untuk variabel *bline*/kelembutan semen dalam keadaan tidak terkendali. Proses tidak mampu memenuhi batas kendali dengan BKB = 0 dan BKA = 1.444. Pengamatan ke-1 dan ke-12 berada di luar batas kendali. Proses mempunyai rata-rata *range* sebesar 0.4421.

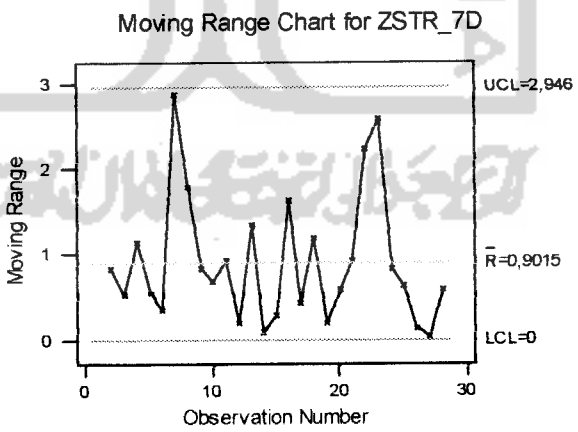
8. Pengendalian terhadap variabel strength 3 day/kekuatan 3 hari



Gambar 4.10 : Bagan kendali *moving range* variabel strength 3 day

Gambar 4.9, memperlihatkan untuk proses pengukuran kekuatan pada waktu 3 hari dalam keadaan terkendali secara statistik, karena semua pengamatan berada pada selang interval dengan BKB = 0 dan BKA = 2.791 serta proses mempunyai rata-rata *range* sebesar 0.8543.

9. Pengendalian terhadap variabel strength 7 day/kekuatan 7 hari



Gambar 4.11 : Bagan kendali *moving range* variabel strength 7 day

Proses dari variabel pengukuran kekuatan semen portland pada waktu 7 hari dalam keadaan terkendali. Seluruh pengamatan berada pada interval dengan BKB = 0 dan BKA = 2.946, rata-rata *range* dari proses sebesar 0.9015. Hal tersebut ditunjukkan pada *Gambar 4.10* di atas.

Dengan menggunakan bagan kendali univariat dari variabel-variabel semen portland tipe V dapat disimpulkan:

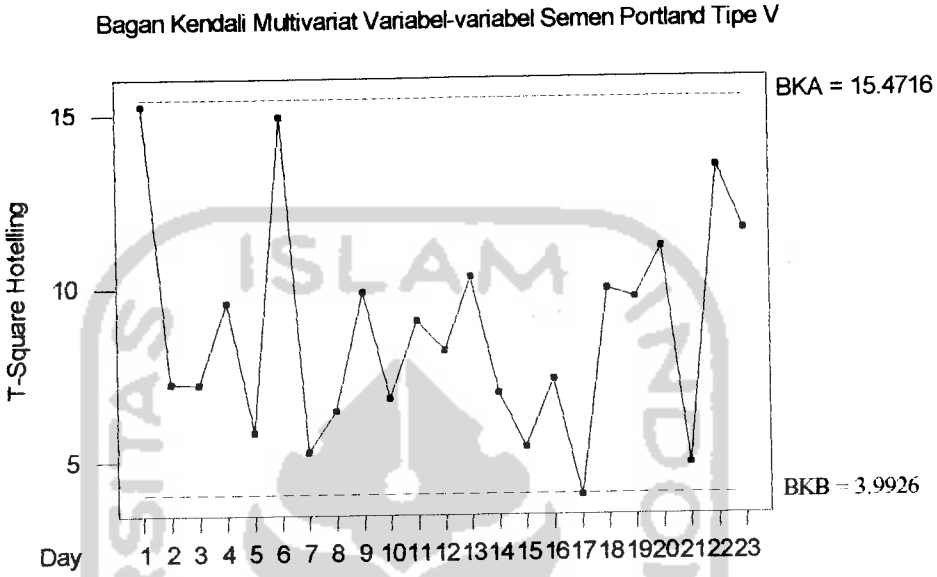
1. Variabel-variabel yang tidak terkendali secara statistik adalah C_3S, C_2S, CaO, MgO, dan *bline* kelembutan semen portland tipe V.
2. Variabel-variabel yang terkendali secara statistik adalah C_3A, C_4AF, kekuatan semen pada waktu pengukuran 3 hari dan 7 hari.

4.2.5. Analisis Antara Bagan Kendali Multivariat Dengan Univariat

Setelah diketahui dengan memplotkan bagan kendali multivariat dan univariat terhadap variabel-variabel semen portland tipe V, proses dalam keadaan tidak terkendali (gambar 4.1) secara statistik pada bagan kendali multivariat yang menggunakan alpha 5%, disebabkan oleh proses yang tidak terkendali oleh satu atau beberapa bagan kendali univariat pada variabel-variabel semen portland tipe V. Hal tersebut dapat dibuktikan pada gambar bagan multivariat maupun univariat di atas. Namun bila menggunakan alpha 3% proses dalam keadaan terkendali secara statistik dan akan mendapatkan batas kendali yang lebih lebar dari pada menggunakan alpha 5%.

Untuk menjadikan proses dalam keadaan terkendali pada bagan kendali multivariat nilai-nilai pengamatan yang berada di luar batas kendali harus (Gambar 4.1) di buang terlebih dahulu kemudian dilakukan

pengukuran kembali terhadap nilai-nilai *Hotelling* T^2 dengan memplotkan bagan kendali multivariat terhadap nilai-nilai *Hotelling* T^2 tersebut. Hasil outputnya seperti pada *Gambar 4.11* di bawah ini:



Gambar 4.12 : Bagan Kendali Multivariat Yang Terkendali Dengan Alpa 5%

Analisis:

Dengan demikian variabel-variabel semen portland tipe V setelah dilakukan pengukuran kembali dan diplotkan dalam bagan kendali multivariat proses dalam keadaan terkendali secara statistik, karena tidak ada nilai pengamatan yang berada di luar batas kendali pada selang interval 3.9926 sampai dengan 15.4716.

4.2.6. Perbedaan Antara Bagan Kendali Univariat Dengan Multivariat

Untuk melihat perbedaan antara bagan kendali univariat dengan multivariat disajikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4.5 : Perbedaan Antara Bagan Kendali Univariat Dengan Multivariat

No	Jenis Bagan Kendali	Aspek	
		Kelebihan	**Kelemahan**
1.	**Univariat**	- Mudah menganalisisnya sehingga mudah digunakan - Datanya berupa nilai skalar yang sederhana - Proses yang tidak terkendali mudah terdeteksi dengan melihat waktu terjadinya pada setiap pengamatan	- Tidak dapat mendeteksi perubahan proses yang saling berhubungan/ berkorelasi - Tidak dapat mendeteksi karakteristik abnormal secara efisien.
2.	**Multivariat**	- Mampu memonitor karakteristik secara bersamaan - Mampu mengidentifikasi perubahan proses yang tidak dapat terdeksi pada bagan univariat.	- Sulit untuk menentukan karakteristik/variabel mana jika proses tidak terkendali - Menempuh langkah yang kompleks untuk membuat bagan kendalinya, karena melibatkan banyak variabel.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
PERPUSTAKAAN
FMIPA

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. KESIMPULAN

Berdasarkan bagan kendali multivariat yang menggunakan alpha 5% tentang variabel-variabel semen portland tipe V pada *Gambar 4.1*, dapat disimpulkan bahwa pengukuran secara bersama-sama terhadap variabel-variabel tersebut masih dalam keadaan tidak terkendali karena ada beberapa nilai pengukuran yang berada diluar batas kendali dalam interval 3.9926 sampai 15.4716. Nilai pengukuran yang di luar batas kendali terjadi pada hari ke-1, 9, 12, 13, dan ke-25. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas semen portland tipe V untuk pengukuran secara bersama-sama masih kurang dalam pengawasan. Namun bila menggunakan alpha 3% proses terkendali secara statistik, batas kendali menjadi lebar dengan BKB = 2.0324 dan BKA = 17.0917 sehingga semua nilai T^2 *Hotelling* yang merupakan hasil transformasi dari variabel-variabel semen portland tipe V.

4.2. SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Peneliti dan menganalisisnya berdasarkan teori yang ada, maka Peneliti bermaksud memberikan saran-saran kepada:

1. **PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap**

   Semen yang diproduksi oleh PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap terbuat dari beberapa komposisi bahan baku. Penentuan komposisi dan

pengujian bahan baku yang tepat dapat mempengaruhi kualitas akhir dari semen yang diproduksi. Berdasarkan hasil analisis dalam penelitian ini dengan menggunakan bagan kendali multivariat sebagai alat penelitiannya, diperoleh bahwa untuk pengukuran secara bersama-sama terhadap senyawa-senyawa kimia dan syarat fisik semen portland tipe V masih dalam keadaan tidak terkendali bila menggunakan alpha 5%. Untuk itu pihak perusahaan diharapkan lebih memperhatikan lagi tentang pengawasan pengendalian kualitas dengan melakukan pengujian terhadap bahan baku secara bersama-sama yang dapat menentukan kualitas semen, terutama semen portland tipe V. Yang notabene semen portland tipe V merupakan semen yang diekspor ke luar negeri. Sehingga konsumen di pasaran luar negeri akan merasa puas jika semen yang diproduksi oleh PT. Semen Cibinong Tbk. Pabrik Cilacap dapat menghasilkan semen yang sesuai dengan harapan mereka. Titik-titik pengamatan yang berada di luar kendali harus diteliti lebih lanjut dengan menggunakan diagram Pareto dan dari diagram Pareto dicari sebab-sebab terbanyak sampai terkecil yang menyebabkan proses tidak terkendali dengan menggunakan diagram Ishikawa/tulang ikan/*fishbone*. Setelah diketahui penyebabnya, maka dilakukan tindakan untuk memperbaiki proses yang tidak terkendali dan dilakukan pengukuran kembali berdasarkan tindakan yang telah diambil.

2. Pembaca

Mengingat analisis tentang pengendalian kualitas multivariat masih jarang diangkat bagi kalangan akademis, maka Peneliti menyarankan

kepada para Pembaca hasil laporan penelitian ini untuk menganalisis lebih jauh yang berkaitan dengan teori tersebut. Rekomendasi yang dapat Peneliti berikan adalah:

- untuk variabel-variabel semen portland tipe V yang Peneliti lakukan diharapkan ada penambahan variabel lain, karena ada variabel selain yang Peneliti yang menentukan kualitas semen secara bersama-sama.
- meneliti untuk ke tahap pengendalian selanjutnya yaitu dengan analisis proses kapabilitas multivariat.

DAFTAR PUSTAKA

Flores, G.E., Flack, W.W., Avlakeotos, Susan, and Martin, Bob, 1995, *Process Control of Stepper Overlay Using Multivariate Techniques,* Ultratech Stepper, Inc., California.

Hadi Purwanto, P., 1998, *Pengetahuan Dasar Teknologi Semen,* PT. Semen Cibinong Pabrik Cilacap, Cilacap.

Hartanto, R.A., 2004, *Implementasi Metode Six Sigma Motorola Dalam Pengendalian Kualitas Prosuk Akhir Tekstil*, Sripsi, UII, Yogyakarta.

Johnson, Richard A., Wichern, D.W., 1982, *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Prentice-Hall Inc.,New Jersey,.

Montgomery, D.C., 1990, *Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Ogaja, Clement, Wang, J., and Rizos, C., 2004, *Multivarite Monitoring with GPS Observations and Auxiliary Multi-Sensor Data,* UNSW, Australia.

Pande, P.S., Neuman, R.P., and Cavanagh, R.R., 2000, *The Six Sigma Way*, Andi Yogyakarta, Yogyakarta,.

Rehmert, I.J., 1997, *A Performance Analysis of The Minimax Multivariate Quality Control Chart,* Tesis, Virginia Polythecnic Institute and State University, Virginia.

LAMPIRAN 1

```
NOTE ********************************************************
NOTE *          SIMULASI PROGRAM NILAI HOTELLING T2          *
NOTE *    UNTUK VARIABEL-VARIABEL SEMEN PORTLAND TIPE V      *
NOTE *  PRODUKSI PT. SEMEN CIBINONG TBK. PABRIK CILACAP      *
NOTE *            OLEH : ANDI YULIANTO (00611055)           *
NOTE ********************************************************
NOTE Catatan : Program ini menggunakan alpha 3%
NOTE
COPY C1-C9 M1                    # m1=(28x9)
TRANS M1 M2                      # M2 = Transpose M1 (9x28)
SET C10
28(1)
END
COPY C10 M3                      # M3 = Matriks satuan C9(28x1)
MULTY M2 M3 M4                   # M4 = Perkalian M2 M3 (9x1)
LET K3=1/28                      # 1/n1
MULTY K3 M4 M5                   # M5 = Perkalian 1/n1 M4 (9X1)
NAME M5 'RATA-RATA'
PRINT M5                         # M5 = Rata-rata matriks
TRANS M3 M6                      # M6 = Transpose M6 (1X28)
MULTY M5 M6 M7                   # M7 = Perkalian M5 M6 (9X28)
TRANS M7 M8                      # M8 = Transpose M7 (28X9)
NAME M8 'TRANSPOSE M8'
PRINT M8
SUBTR M8 M1 M9                   # M9 = Beda M1 m8 (28X9)
NAME M9 'BEDA M1 M8'
PRINT M9                         # M9 = (Xi-Xbar)
TRANS M9 M10                     # M10 = Transpose M9 (9X28)
MULTY M10 M9 M11                 # M11 = Perkalian M10 M9 (9X9)
NAME M11 'PERKALIAN M10 M11'
PRINT M11
LET K4=1/27                      # 1/n1-1
MULTY K4 M11 M12                 # M12 = Perkalian 1/n1-1 M11 (9X9)
NAME M12 'MATRIK KOVARIANS'
PRINT M12
INVERT M12 M13                   # M13 = Invers M12 (9X9)
MULTY M9 M13 M14                 # M14 = Perkalian M9 M13 (28X9)
MULTY M14 M10 M15                # M15 = Perkalian M10 M9 (28X9)
NAME M15 'T2 HOTELLING'          # M15 = T-square Hotelling
LET K5=27
LET K6=1/28
LET K8=9
LET K9=1/18
LET K10=0,1476                   # K10 = Nilai F tabel
LET K11=1
LET K13=3,8219                   # K13 = Nilai F tabel
MULTY K5 K5 K7                   # K7  = (n-1)x(n-1)
MULTY K6 K7 C11                  # C11 = (n-1)x(n-1)/m
MULTY K8 K9 C12                  # C12 = p/(n-p-1)
MULTY C12 K10 C13        # C13 = p/(n-p-1)xNilai F_tabel
ADD K11 C13 C14            C14 = 1+p/(n-p-1)xNilai F_tabel
LET K12=1/C14
MULTY C14 C13 C15        # C15 = p/(n-p-1)xNilai F_tabel)/(1+p/(n-
                               p-1)xNilai F_tabel)
```

```
MULTY C11 C15 C16        # C16 = ((n-1)x(n-1)/n)x(p/(n-p-1)xNilai
                               F_tabel)/(1+p/(n-p-1)xNilai
                               F_tabel)

SET C23
28(3,99263)
END.
NAME C23 'LCL'
PRINT C16
MULTY C12 K13 C17                # C17 = p/(n-p-1)xNilai F_tabel
ADD K11 C17 C18                  # C18 = 1+p/(n-p-1)xNilai F_tabel
LET K14=1/C18
MULTY C17 K14 C19        # C19 = p/(n-p-1)xNilai F_tabel)/1+p/(n-p-
                               1)xNilai F_tabel
MULTY C11 C19 C20        # C20 = ((n-1)x(n-1)/n)x(p/(n-p-1)xNilai
                               F_tabel)/1+p/(n-p-1)xNilai F_tabel

SET C24
28(15,4716)
END.
NAME C24 'UCL'
DIAGO M15 C21
NAME C21 'T-Square Hotelling'
NAME C22 'Time'
SET C22
1:28
END
TSPlot 'T-Square Hotelling' 'LCL' 'UCL';
Day;
TDisplay 11;
Symbol;
Type 6 0 0;
Connect;
Title "Bagan Kendali Multivariat Variabel-variabel Semen Portland Tipe V"
&
;
Overlay;
ScFrame;
ScAnnotation.
```

LAMPIRAN 2

```
************************************************************
*           SIMULASI PROGRAM NILAI HOTELLING T2            *
*    UNTUK VARIABEL-VARIABEL SEMEN PORTLAND TIPE V         *
*   PRODUKSI PT. SEMEN CIBINONG TBK. PABRIK CILACAP        *
*             OLEH : ANDI YULIANTO (00611055)              *
************************************************************
Catatan : Program ini menggunakan alpha 5%

 Matrix M1

-1,98800  2,11905 -1,29663  1,87341 -1,93467 -2,02575 -2,11105 -1,13486
-2,32819  2,11905 -1,95673  2,68984 -0,09837 -1,28698 -1,27853 -3,28190
-0,07442  0,01308 -1,29663  1,46520  0,17707 -0,26091 -0,76315 -0,70545
-0,88237  0,88294 -0,96658  1,05698  0,95750  1,13454  0,38653 -1,13486
-1,56276  1,61545 -1,29663  1,26109  0,81978 -0,54821 -0,16849 -1,56427
 0,01063 -0,03270 -0,96658  0,64877  0,91159 -0,63030 -0,52529 -0,27605
 0,77606 -0,81100 -0,96658  0,24055  0,91159  1,38080  2,32910  0,58277
 0,39335 -0,39896 -1,29663  0,85288  0,77387  1,01141  0,54511  0,15336
 0,60597 -0,71943 -0,96658  0,44466  0,81978  0,35473 -0,28742 -0,27605
 1,32887 -1,36038 -0,30648 -0,16766  1,18704  1,05245  0,38653  1,01217
 0,98868 -0,99412  1,01373 -1,18820  0,91159  2,40686  1,29835  1,01217
 0,47839 -0,44474  0,68368 -0,98409  0,77387  1,05245  1,10013  0,58277
 0,26577 -0,21583  0,68368 -0,77998 -1,33787  0,10847 -0,24778  0,58277
 0,30830 -0,12427  0,68368 -0,98409 -1,20015  0,02638 -0,32706  1,01217
 0,13820 -0,12427 -0,30648 -0,16766 -1,06243  0,10847 -0,60457 -0,27605
-0,15946  0,19621  0,02358 -0,16766 -0,97061  0,80620  1,02084 -0,27605
-0,41461  0,42512  0,68368 -0,37177 -1,10834 -0,71238  0,58475 -0,27605
 0,01063 -0,07848  1,67383 -0,77998 -0,78698 -0,13779 -0,60457  0,15336
-0,58470  0,65403  1,01373 -0,16766 -1,33787 -1,24594 -0,40635  0,15336
-0,88237  0,83716  1,34378 -0,37177 -1,01652 -1,12281 -1,00102 -0,27605
-0,37208  0,42512  1,01373 -0,57587 -1,15424 -0,50717 -0,08920  0,15336
-0,45713  0,37934  0,35363  0,24055 -0,78698 -1,65637 -2,30928 -0,70545
 0,64849 -0,76521  1,01373 -0,16766  0,49842  0,31368  0,26760  0,58277
-1,05247  1,02029  1,01373  0,24055  0,81978  0,80620  1,10013 -0,27605
 0,69101 -0,53630  0,68368 -0,57587  1,18704 -0,26091  0,46582  1,01217
 0,64849 -0,53630  0,35363 -1,18820  0,31479  0,02638  0,58475  1,01217
 1,62654 -1,68085 -0,30648 -1,18820  0,91159  0,27264  0,62440  1,44158
 1,83916 -1,86398 -0,30648 -1,18820  0,81978 -0,46613  0,02973  1,01217

-1,61827
 0,41955
-0,29968
-0,53942
-0,29968
-0,89904
-0,89904
-0,29968
 0,41955
 0,89904
 1,13879
 0,53942
 0,29968
 0,05994
-0,41955
 0,17981
 1,01891
 0,65930
-0,77917
-0,89904
-1,01891
-1,01891
```

-1,25866
-0,77917
-0,05994
 0,77917

Matrix M2

-1,98800	-2,32819	-0,07442	-0,88237	-1,56276	0,01063	0,77606	0,39335
2,11905	2,11905	0,01308	0,88294	1,61545	-0,03270	-0,81100	-0,39896
-1,29663	-1,95673	-1,29663	-0,96658	-1,29663	-0,96658	-0,96658	-1,29663
1,87341	2,68984	1,46520	1,05698	1,26109	0,64877	0,24055	0,85288
-1,93467	-0,09837	0,17707	0,95750	0,81978	0,91159	0,91159	0,77387
-2,02575	-1,28698	-0,26091	1,13454	-0,54821	-0,63030	1,38080	1,01141
-2,11105	-1,27853	-0,76315	0,38653	-0,16849	-0,52529	2,32910	0,54511
-1,13486	-3,28190	-0,70545	-1,13486	-1,56427	-0,27605	0,58277	0,15336
-1,61827	0,41955	-0,29968	-0,53942	-0,29968	-0,89904	-0,89904	-0,29968

0,60597	1,32887	0,98868	0,47839	0,26577	0,30830	0,13820	-0,15946
-0,71943	-1,36038	-0,99412	-0,44474	-0,21583	-0,12427	-0,12427	0,19621
-0,96658	-0,30648	1,01373	0,68368	0,68368	0,68368	-0,30648	0,02358
0,44466	-0,16766	-1,18820	-0,98409	-0,77998	-0,98409	-0,16766	-0,16766
0,81978	1,18704	0,91159	0,77387	-1,33787	-1,20015	-1,06243	-0,97061
0,35473	1,05245	2,40686	1,05245	0,10847	0,02638	0,10847	0,80620
-0,28742	0,38653	1,29835	1,10013	-0,24778	-0,32706	-0,60457	1,02084
-0,27605	1,01217	1,01217	0,58277	0,58277	1,01217	-0,27605	-0,27605
0,41955	0,89904	1,13879	0,53942	0,29968	0,05994	-0,41955	0,17981

-0,41461	0,01063	-0,58470	-0,88237	-0,37208	-0,45713	0,64849	-1,05247
0,42512	-0,07848	0,65403	0,83716	0,42512	0,37934	-0,76521	1,02029
0,68368	1,67383	1,01373	1,34378	1,01373	0,35363	1,01373	1,01373
-0,37177	-0,77998	-0,16766	-0,37177	-0,57587	0,24055	-0,16766	0,24055
-1,10834	-0,78698	-1,33787	-1,01652	-1,15424	-0,78698	0,49842	0,81978
-0,71238	-0,13779	-1,24594	-1,12281	-0,50717	-1,65637	0,31368	0,80620
0,58475	-0,60457	-0,40635	-1,00102	-0,08920	-2,30928	0,26760	1,10013
-0,27605	0,15336	0,15336	-0,27605	0,15336	-0,70545	0,58277	-0,27605
1,01891	0,65930	-0,77917	-0,89904	-1,01891	-1,01891	-1,25866	-0,77917

0,69101	0,64849	1,62654	1,83916
-0,53630	-0,53630	-1,68085	-1,86398
0,68368	0,35363	-0,30648	-0,30648
-0,57587	-1,18820	-1,18820	-1,18820
1,18704	0,31479	0,91159	0,81978
-0,26091	0,02638	0,27264	-0,46613
0,46582	0,58475	0,62440	0,02973
1,01217	1,01217	1,44158	1,01217
-0,05994	0,77917	1,85802	2,81700

Matrix RATA-RATA

-0,000000714
 0,000000714
 0,000000357
-0,000001429
 0,000001786
 0,000000357
 0,000000357
-0,000000714
 0,000000714

Matrix TRANSPOSE M8

-0,000000714	0,000000714	0,000000357	-0,000001429	0,000001786	0,000000357

-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357
-0,000000714 0,000000714 0,000000357 -0,000001429 0,000001786
0,000000357

0,000000357 -0,000000714 0,000000714
0,000000357 -0,000000714 0,000000714
0,000000357 -0,000000714 0,000000714
0,000000357 -0,000000714 0,000000714
0,000000357 -0,000000714 0,000000714
0,000000357 -0,000000714 0,000000714
0,000000357 -0,000000714 0,000000714
0,000000357 -0,000000714 0,000000714
0,000000357 -0,000000714 0,000000714

0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714
0,000000357	-0,000000714	0,000000714

Matrix BEDA M1 M8

-1,98800	2,11905	-1,29663	1,87341	-1,93467	-2,02575	-2,11105	-1,13486
-2,32819	2,11905	-1,95673	2,68984	-0,09837	-1,28698	-1,27853	-3,28190
-0,07442	0,01308	-1,29663	1,46520	0,17707	-0,26091	-0,76315	-0,70545
-0,88237	0,88294	-0,96658	1,05698	0,95750	1,13454	0,38653	-1,13486
-1,56276	1,61545	-1,29663	1,26109	0,81978	-0,54821	-0,16849	-1,56427
0,01063	-0,03270	-0,96658	0,64877	0,91159	-0,63030	-0,52529	-0,27605
0,77606	-0,81100	-0,96658	0,24055	0,91159	1,38080	2,32910	0,58277
0,39335	-0,39896	-1,29663	0,85288	0,77387	1,01141	0,54511	0,15336
0,60597	-0,71943	-0,96658	0,44466	0,81978	0,35473	-0,28742	-0,27605
1,32887	-1,36038	-0,30648	-0,16766	1,18704	1,05245	0,38653	1,01217
0,98868	-0,99412	1,01373	-1,18820	0,91159	2,40686	1,29835	1,01217
0,47839	-0,44474	0,68368	-0,98409	0,77387	1,05245	1,10013	0,58277
0,26577	-0,21583	0,68368	-0,77998	-1,33787	0,10847	-0,24778	0,58277
0,30830	-0,12427	0,68368	-0,98409	-1,20015	0,02638	-0,32706	1,01217
0,13820	-0,12427	-0,30648	-0,16766	-1,06243	0,10847	-0,60457	-0,27605
-0,15946	0,19621	0,02358	-0,16766	-0,97061	0,80620	1,02084	-0,27605
-0,41461	0,42512	0,68368	-0,37177	-1,10834	-0,71238	0,58475	-0,27605
0,01063	-0,07848	1,67383	-0,77998	-0,78698	-0,13779	-0,60457	0,15336
-0,58470	0,65403	1,01373	-0,16766	-1,33787	-1,24594	-0,40635	0,15336
-0,88237	0,83716	1,34378	-0,37177	-1,01652	-1,12281	-1,00102	-0,27605
-0,37208	0,42512	1,01373	-0,57587	-1,15424	-0,50717	-0,08920	0,15336
-0,45713	0,37934	0,35363	0,24055	-0,78698	-1,65637	-2,30928	-0,70545
0,64849	-0,76521	1,01373	-0,16766	0,49842	0,31368	0,26760	0,58277
-1,05247	1,02029	1,01373	0,24055	0,81978	0,80620	1,10013	-0,27605
0,69101	-0,53630	0,68368	-0,57587	1,18704	-0,26091	0,46582	1,01217
0,64849	-0,53630	0,35363	-1,18820	0,31479	0,02638	0,58475	1,01217
1,62654	-1,68085	-0,30648	-1,18820	0,91159	0,27264	0,62440	1,44158
1,83916	-1,86398	-0,30648	-1,18820	0,81978	-0,46613	0,02973	1,01217

-1,61827
0,41955
-0,29968
-0,53942
-0,29968
-0,89904
-0,89904
-0,29968
0,41955
0,89904
1,13879
0,53942
0,29968
0,05994

```
-0,41955
 0,17981
 1,01891
 0,65930
-0,77917
-0,89904
-1,01891
-1,01891
-1,25866
-0,77917
-0,05994
 0,77917
 1,85802
 2,81700
```

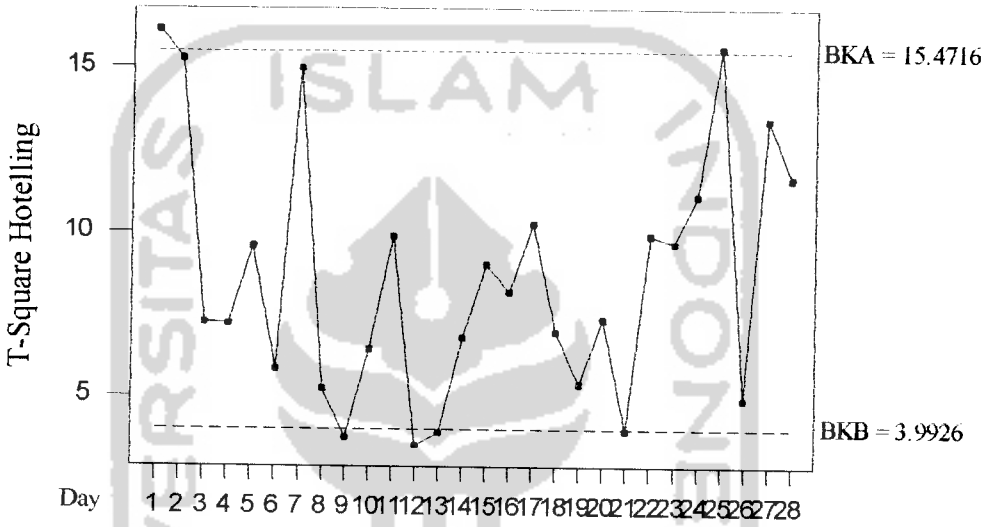
Matrix PERKALIAN M10 M11

```
 27,0000 -26,9013   6,1684 -19,5483  11,9804  14,5182  13,6531  23,6012
-26,9013  26,9999  -5,6145  18,7689 -12,6248 -14,6115 -13,4146 -22,7231
  6,1684  -5,6145  27,0001 -20,3685  -7,9352   2,0687   4,1020  14,3548
-19,5483  18,7689 -20,3685  27,0000  -0,1245  -9,1412 -11,3344 -23,5577
 11,9804 -12,6248  -7,9352  -0,1245  27,0000  15,5549  14,6816   5,7055
 14,5182 -14,6115   2,0687  -9,1412  15,5549  27,0000  22,2483  12,2940
 13,6531 -13,4146   4,1020 -11,3344  14,6816  22,2483  27,0000  13,7976
 23,6012 -22,7231  14,3548 -23,5577   5,7055  12,2940  13,7976  27,0000
 15,5752 -15,7999   1,0682 -12,9552   8,2655   7,5028   8,1429  10,2433

 15,5752
-15,7999
  1,0682
-12,9552
  8,2655
  7,5028
  8,1429
 10,2433
 27,0000
```

Matrix MATRIK KOVARIANS

```
 1,00000 -0,99634  0,22846 -0,72401  0,44372  0,53771  0,50567  0,87412
-0,99634  1,00000 -0,20795  0,69515 -0,46758 -0,54117 -0,49684 -0,84160
 0,22846 -0,20795  1,00000 -0,75439 -0,29390  0,07662  0,15193  0,53166
-0,72401  0,69515 -0,75439  1,00000 -0,00461 -0,33856 -0,41979 -0,87251
 0,44372 -0,46758 -0,29390 -0,00461  1,00000  0,57611  0,54376  0,21131
 0,53771 -0,54117  0,07662 -0,33856  0,57611  1,00000  0,82401  0,45533
 0,50567 -0,49684  0,15193 -0,41979  0,54376  0,82401  1,00000  0,51102
 0,87412 -0,84160  0,53166 -0,87251  0,21131  0,45533  0,51102  1,00000
 0,57686 -0,58518  0,03956 -0,47982  0,30613  0,27788  0,30159  0,37938

 0,57686
-0,58518
 0,03956
-0,47982
 0,30613
 0,27788
 0,30159
 0,37938
 1,00000
    Answer = 729,0000
    Answer = 26,0357
    Answer = 0,5000
    Answer = 0,1351
```

```
Answer = 1,1351
Answer = 0,1534
Answer = 3,9926
C16 3,99263
Answer = 1,4646
Answer = 2,4646
Answer = 0,5942
Answer = 15,4716
```

TSPlot 'T-Square Hotelling' 'LCL' 'UCL';

Bagan Kendali Multivariat Variabel-variabel Semen Portland Tipe V