TUGAS AKHIR – SS141501

MONITORING VARIABILITAS PROSES DAN *MEAN* PROSES TAHAP PENGGILINGAN AKHIR PRODUK SEMEN *ORDINARY PORTLAND CEMENT* (OPC) DI PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.

MUHAMMAD ARIS ASHARI
NRP 1313 100 123

Dosen Pembimbing
Drs. Haryono, MSIE

PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

TUGAS AKHIR – SS141501

MONITORING VARIABILITAS PROSES DAN *MEAN* PROSES TAHAP PENGGILINGAN AKHIR PRODUK SEMEN *ORDINARY PORTLAND CEMENT* (OPC) DI PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.

MUHAMMAD ARIS ASHARI
NRP 1313 100 123

Dosen Pembimbing
Drs. Haryono, MSIE

PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

FINAL PROJECT – SS141501

THE MONITORING OF THE PROCESS VARIABILITY AND MEAN AT THE FINISH MILL PHASE OF ORDINARY PORTLAND CEMENT (OPC) PRODUCTS AT PT. SEMEN INDONESIA (Persero), Tbk.

MUHAMMAD ARIS ASHARI
NRP 1313 100 123

Supervisor
Drs. Haryono, MSIE

UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMTICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

LEMBAR PENGESAHAN

MONITORING VARIABILITAS DAN *MEAN* PROSES TAHAP PENGGILINGAN AKHIR PRODUK SEMEN *ORDINARY PORTLAND CEMENT* (OPC) DI PT. SEMEN INDONESIA (PERSERO) Tbk.

TUGAS AKHIR
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Muhammad Aris Ashari
NRP. 1313 100 123

Disetujui oleh Pembimbing:
Drs. Haryono, MSIE ( )
NIP : 19520919 197901 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen

Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001
SURABAYA, JULI 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

MONITORING VARIABILITAS PROSES DAN MEAN PROSES TAHAP PENGGILINGAN AKHIR PRODUK SEMEN *ORDINARY PORTLAND CEMENT* (OPC) DI PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk.

Nama : Muhammad Aris Ashari

NRP : 1313 100 123

Departemen : Statistika

Pembimbing : Drs. Haryono, MSIE

Abstrak

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk menjadi salah satu perusahaan pendukung sektor infrastruktur di Indonesia dengan berbagai produk semen dengan kualitas terbaik. Pada penelitian kali ini akan dilakukan pengendalian kualitas terhadap proses produksi semen OPC. Semen OPC dibentuk oleh enam belas senyawa utama, yaitu CaO, MgO, SO_3, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO2, C_3Sc, C_2S, C_3A, C_4AF, FL, Insol, LOI, Ekspansi, Mesh, dan Blaine. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa seleksi variabel utama pembentuk Semen OPC menghasilkan empat senyawa utama yaitu CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol pada uji parsial dengan menggunakan metode Backward. Pada diagram kendali $I-\overline{MR}$ didapatkan kesimpulan bahwa dari keempat variabel utama penyusun Semen OPC tidak ada satu pun senyawa dengan proses terkendali. Pengamatan yang dilakukan dengan diagram kendali Generalized Variance menunjukkan bahwa pada fase satu, proses telah terkendali secara statistik dengan BKA sebesar 3,954 dan BKB senilai 0. Kedua batas kendali tersebut digunakan kembali pada fase dua dengan 44 data dimana proses tidak terkendali. Pada pengamatan dengan peta kendali T^2 Hotelling, proses terkendali pada fase satu dengan BKA sebesar 12,669 dan BKB = 0. Pada fase dua, proses masih belum terkendali secara statistik. Deteksi penyebab variabel out of control dengan metode PCA menunjukkan bahwa senyawa Insol merupakan variabel dengan nilai ekstraksi tertinggi sebesar 0,800. Insol memiliki kontribusi terbesar pada proses out of control pada penelitian ini.

Kata Kunci : Backward, Diagram Kendali $I-\overline{MR}$, Generalized Variance, PCA, Semen OPC, T^2 Hotelling.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

THE MONITORING OF THE PROCESS VARIABILITY AND MEAN AT THE FINISH MILL PHASE OF ORDINARY PORTLAND CEMENT (OPC) PRODUCTS AT PT. SEMEN INDONESIA (Persero), Tbk.

Name : **Muhammad Aris Ashari**
NRP : **1312 100 123**
Department : **Statistics**
Supervisor : **Drs. Haryono, MSIE**

Abstract

PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk became one of the infrastructure support companies in Indonesia with a variety of cement products of the highest quality. In this Final Project will be done the quality control of OPC cement production process. OPC cement is formed by sixteen major compounds, namely CaO, MgO, SO_3, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO2, C_3Sc, C_2S, C_3A, C_4AF, FL, Insol, LOI, Expantion, Mesh, and Blaine. Based on the results of the analysis, it can be concluded that the selection of the main variables forming OPC Cement produces is four main compounds namely CaO, Fe_2O_3, FL, and, Insol on the partial test using Backward method. In the $I-\overline{MR}$ control chart monitoring, obtained the conclusion that from four major variables of Cement OPC composer there is no single compound with controlled process. The observations with Generalized Variance control charts show that in Phase I, the process has been statistically controlled with the UCL of 3.954 and the LCL worth 0. Both control limits are reused in Phase II with 44 data where the process is out of control. On the observation with T^2 Hotelling control chart, the controlled process in Phase I with UCL is 12.669 and LCL = 0. In Phase II, the process is still not statistically controlled. The detection of cause of out of control variable with PCA method showed that Insol compound was the variable with highest extraction value of 0,800. Insol has the greatest contribution to the out of control process in this study.

***Keywords :** Backward Method, Generalized Variance, $I-\overline{MR}$ control chart, OPC Cement, PCA, T^2 Hotelling.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul

"*Monitoring* Variabilitas Proses dan *Mean* Proses Tahap Penggilingan Akhir Produk Semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk."

Tugas Akhir dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tidak lepas dari banyaknya bantuan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Haryono, MSIE selaku dosen pembimbing, berkat segala masukan dan bimbingannya, Buku ini menjadi salah satu karya ilmiah yang berguna bagi almamater.
2. Bapak Dr. Suhartono, M. Sc selaku Ketua Jurusan Statistika ITS yang telah menyediakan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Sutikno selaku Kaprodi S1 Jurusan Statistika ITS.
4. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT dan Prof. Drs. Nur Iriawan, MIKOM, Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan pembelajaran luar biasa di hidup saya.
5. Ayah dan Ibu tercinta. Sebentar lagi anakmu ini pulang, yah, bu!
6. Adik-adik yang saat ini sedang hidup enak di Jakarta, Lina Basafira Dewi (sukses terus PNJ nya) dan Zaidan Fathi Yakan (semoga bisa lolos PTN favorit!).
7. Alicia Mutiara Anky, agen super saya. Ia adalah Mino Raiola dan Jorge Mendes dalam satu wujud. Buku ini tidak akan terbit kalau bukan karena ia yang terus mendesak.
8. Teman-teman Futsal 2013 sekaligus Debat Bola: Makhdum, Eza, Bani, Joko, Dona, Hendro, Ardi Paji (teman nonbar Arsenal selama empat tahun!) dkk. FAIGKKK!
9. Teman-teman PHK HIMASTA-ITS 15/16: Aldi, Rinta, Ratih, Hendro, Bani, Icha (Juru Kunci Plasa T), Rukmi, Aldho, Iqbal, Anung, Dona, Eza, Dinda, Hana, Kokom, Neni dan

Adheala yang selalu memberikan dorongan motivasi untuk segera lulus. *Two* KM ITS Awards!

10. Seluruh Fungsionaris HIMASTA-ITS 15/16, berkat semangat positif yang ditularkan sehingga pengerjaan Tugas Akhir ini dapat terwujud.
11. Teman-teman *Steering Committee* BCS 2016 yang selalu menemani proses pengerjaan Tugas Akhir di Senin malam: Dhani, Kajul, Nisa, Canggih, Alul, Raju, Icha, Hendro, Taufik, Niki dan Bani.
12. Muhammad Fadhil, Cendiana Aprilia Haryono dan Kakak-kakak Kabinet HIMASTA-ITS 14/15 yang merupakan figur inspirasional. Salah satu alasan mengapa saya mulai memikirkan Tugas Akhir saat Semester 7 adalah karena wejangan dari mereka.
13. Salam kepada rekan-rekan di sisi hidup saya yang lain, Wahana Juang: Mayang, Fiky, Hamzah, Dino, Zizi, Zeni, Pak Koor Jirjiz, Bassam, Adit, Anggit, Hasnan, Imam, Sukron, Iqal, Fateh, Widi, Della, Nafa, Redi, Egar dkk. *Proud to be a winner*!
14. *Shout out to* Rofi Arga Hardiansyah, *brother in arms at* BEM ITS Wahana Juang. Teman yang selalu mengusik pengerjaan buku ini, tapi juga memberikan dukungan agar segera menyelesaikan Tugas Akhir. (Hastag) *Sorry Ninggal*.
15. Kabinet BEM ITS 16/17 yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Saya hanya bisa bersyukur dapat bertemu dengan orang-orang hebat seperti kalian. Karena "Kita 5 tahun yang akan datang bergantung pada dua hal: buku yang kita baca dan orang-orang yang kita temui".

Pembuatan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, besar harapan dari penulis untuk menerima kritik dan saran yang berguna untuk perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
TITLE PAGE iii
LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii
DAFTAR LAMPIRAN xix
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 6
1.3 Tujuan 7
1.4 Manfaat 7
1.5 Batasan Masalah 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Analisa Univariat 9
2.1.1 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ 9
2.2 *Metode Backward* 11
2.3 Analisa Multivariat 13
2.3.1 Uji Matriks Korelasi 13
2.3.2 Distribusi Normal Multivariat 15
2.3.3 Diagram Kendali *Generalized Variance* 16
2.3.4 Diagram Kendali T^2 Hotelling 17
2.4 Analisis Kapabilitas Proses 18
2.5 *Principal Component Analysis* (PCA) 20
2.6 Proses Produksi Semen 22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Sumber Data 25
3.2 Variabel Penelitian 25
3.3 Struktur Data 29
3.4 Langkah Analisis 30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN
4.1 Deskripsi Kualitas Kandungan Semen OPC 35
4.2 Seleksi Variabel Utama Penyusun Semen OPC..... 38
4.3 Pengendalian Kualitas secara Univariat dengan Diagram Kendali $I - \overline{MR}$..... 41
4.4 Pengendalian Kualitas secara Multivariat 46
4.4.1 Pemeriksaan Dependensi..... 46
4.4.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat..... 47
4.4.3 Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Semen OPC..... 47
4.4.4 Pengendalian *Mean* Proses Produksi Semen OPC..... 51
4.5 Deteksi Variabel Penyebab *Out of Control* (PCA)..... 54
4.6 Deteksi Variabel Penyebab *Out of Control* (T_i) 59
4.7 Kapabilitas Proses 61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 65
5.2 Saran 66
DAFTAR PUSTAKA 69
LAMPIRAN 71

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Urutan Produksi Semen 22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 32
Gambar 4.1 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ CaO 42
Gambar 4.2 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ Fe_2O_3 43
Gambar 4.3 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ FL 44
Gambar 4.4 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ *Insol*..... 45
Gambar 4.5 Diagram Kendali *Generalized Variance* Fase 1. 48
Gambar 4.6 Diagram Kendali *Generalized Variance* Fase 1 (Terkendali)..... 49
Gambar 4.7 Diagram Kendali *Generalized Variance* Fase 2..... 50
Gambar 4.8 Diagram Kendali T^2 Hotelling Fase 1 51
Gambar 4.9 Diagram Kendali T^2 Hotelling Fase 1 (Terkendali) 52
Gambar 4.10 Diagram Kendali T^2 Hotelling Fase 2 53
Gambar 4.11 Diagram Kendali PC1 56
Gambar 4.12 Diagram Kendali PC2 57
Gambar 4.13 Biplot PC1 dan PC2 58

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1 Variabel Penelitian 25
Tabel 3.2 Struktur Data Penelitian..... 29
Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas 36
Tabel 4.2 Seleksi Variabel Penyusun Semen OPC 39
Tabel 4.3 Tabel ANOVA Variabel Utama Penyusun Semen OPC 40
Tabel 4.4 Uji Parsial Variabel Utama Penyusun Semen OPC 40
Tabel 4.5 Uji Barlett Variabel Penyusun Semen OPC 46
Tabel 4.6 Nilai Ekstraksi Variabel dengan PCA 54
Tabel 4.7 Nilai *Eigenvalue* Masing-masing PC 54
Tabel 4.8 Proporsi PC yang Terbentuk 55
Tabel 4.9 Kapabilitas Proses Secara Univariat 60
Tabel 4.10 Kapabilitas Proses Secara Univariat 61

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran A Data Kualitas Produk Semen OPC *Finish Mill 7* 71
Lampiran B Uji Signifikansi Model dengan 16 Variabel 72
Lampiran C Variabel yang Dikeluarkan 77
Lampiran D Pengujian Distribusi Normal Multivariat 79
Lampiran E Perhitungan Interpolasi Tabel *Pearson Correlation* 79
Lampiran F *Pearson Correlation Table* 80
Lampiran G Histogram CaO 81
Lampiran H Histogram Fe2O3 81
Lampiran I Histogram FL 82
Lampiran J Histogram Insol 82
Lampiran K Fase 1 Diagram Kendali GV 83
Lampiran L Fase 1 Diagram Kendali T^2 Hotelling 83
Lampiran M Analisis Kapabilitas Proses 87
Lampiran N *Syntax* Matlab GV 90
Lampiran O *Syntax* Matlab T^2 Hotelling 91
Lampiran P Surat Keterangan Publikasi Data 94

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

15.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk telah menjadi salah satu perusahaan pendukung sektor infrastruktur di Indonesia melalui berbagai produk semen dengan kualitas yang telah diakui oleh konsumen di dalam maupun luar negeri. Kementerian Keuangan (2017) mencatat bahwa angka anggaran yang didistribusikan pemerintah Indonesia mengalami kenaikan yang sangat signifikan hingga mencapai Rp. 387,3 Triliun atau kedua terbesar setelah sektor pendidikan. Berdasarkan data yang dipaparkan oleh Kementerian Keuangan Republik Indonesia (Kemenkeu) prioritas infrastruktur di negara ini selalu berada di nomor dua dalam tiga tahun terakhir. Hal inilah yang mendorong perusahaan-perusahaan pendukung sektor infrastruktur untuk melakukan pengendalian terhadap kualitas proses produksi masing-masing produknya. PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk tentunya harus melakukan pengendalian kualitas terhadap produksi semen di perusahaan tersebut jika tidak ingin ditinggalkan oleh para konsumen.

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan salah satu *holding company* penghasil semen terbesar di Indonesia yang menguasai 43% pangsa pasar dalam negeri. Salah satu alasan mengapa PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan perusahaan nasional terbesar dan memiliki reputasi baik dalam bidang produksi semen adalah perusahaan tersebut memiliki empat anak perusahaan yang satu di antaranya berasal dari Vietnam. Keempat anak perusahaan tersebut adalah PT Semen Padang, PT Semen Tonasa, PT Semen Gresik dan *Thang Long Cement* Vietnam (PT. Semen Indonesia, 2015). Melihat angka 43% permintaan akan kebutuhan semen, PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk selalu berupaya untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan kualitas yang baik dan menetapkan standar

kualitas dalam produksinya agar mampu bersaing bersama industri persemenan lain di Indonesia.

Produk dengan predikat penjualan tertinggi di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk adalah semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) dan *Portland Pozzoland Cement* (PPC). Pada penelitian kali ini akan dilakukan pengendalian kualitas terhadap proses produksi semen OPC. Hal tersebut dilakukan karena pada proses produksi Semen OPC masih terdapat produk-produk cacat dalam jumlah yang cukup besar. Pada tahun 2014, proses produksi Semen OPC mengalami kerugian hingga Rp. 122 juta karena ada kesalahan dalam proses pembakaran dan pengolahan bahan-bahan semen yang mengakibatkan proses harus diulang sebelum akhirnya masuk ke tahap penggilingan akhir (PT. Semen Indonesia, 2015). Hal tersebut sungguh ironis, mengingat Semen OPC merupakan salah satu produk terbaik di PT. Semen Indonesia. OPC digunakan untuk bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti untuk membangun gedung bertingkat, jalan raya, landasan pacu pesawat. Sedangkan PPC digunakan untuk bangunan umum namun mempunyai kegunaan khusus yaitu untuk bangunan yang memerlukan ketahanan terhadap garam laut atau sulfat dengan panas hidrasi sedang (Jacob & Kilduff, 2005). Proses produksi semen memiliki lima tahapan diantaranya proses penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan, proses pembakaran, proses penggilingan akhir serta proses pengemasan (Gemert, Czarnecki, Lukowski, & Krapen, 2004). Dalam penelitian kali ini akan terfokus pada tahap penggilingan akhir (*finish mill*) karena berkaitan dengan kuat tekan semen yang menentukan kualitas semen secara umum terhadap konsumen. Pada tahapan *finish mill* dilakukan proses penggilingan antara terak, *gypsum,* dan *pozzonland* yang ditambahkan sesuai spesifikasi semen yang telah dipersyaratkan oleh perusahaan. Alat utama yang menunjang proses penggilingan akhir yakni *tube mill, separator, bag filter*. Realita di lapangan menunjukkan peralatan utama dari tahap penggilingan akhir masih belum optimal sehingga menyebabkan

proses keluar batas kendali. Melihat paradigma tersebut, maka sangat penting untuk dilakukan pengendalian kualitas yang terukur agar karakteristik dari setiap unsur pembentuk bahan semen yang menyebabkan proses *out of control* dapat terdeteksi sebelum tahap selanjutnya. Adapun kualitas semen berdasarkan kebutuhan pelanggan diantaranya bagaimana proses pengikatan semen, perkembangan kuat tekan, panas hidrasi, pemuaian/penyusutan volume, dan ketahanan semen terhadap pengaruh lingkungan (*durability*) (El-Reedy & Mohammed, 2013). Kuat tekan menjadi salah satu parameter terukur yang menjadi sorotan untuk mengetahui seberapa berkualitas produk semen tersebut. Kuat tekan semen OPC dipengaruhi oleh enam belas faktor utama dan reaktivitas *pozzoland* yang ditambahkan dalam *Cement Mill* berupa persentase bagian tak larut di semen, jumlah dan kualitas batu kapur yang ditambahkan dalam *Cement Mill* yang diukur sebagai persentase hilang pijar semen (Tjokrodimulyo, 1996). Pada penelitian ini, variabel yang digunakan adalah CaO, MgO, SO_3, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO2, C_3Sc, C_2S, C_3A, C_4AF, FL, Insol, LOI, Ekspansi, Mesh, dan *Blaine*.

Pada proses produksi di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, kualitas suatu barang dapat dijaga dengan proses produksi yang stabil. Hal ini dilakukan untuk menekan terjadinya produk cacat atau produk di luar batas kendali. Di perusahaan perlu adanya pengontrolan pada proses produksi agar produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh *customer*. Pengendalian kualitas pada proses produksi dapat dilakukan pada variabel-variabel yang memungkinkan adanya indikasi *out of control* atau berada di luar batas kendali (Garvin, 2001). Salah satu metode statistika untuk melakukan control kualitas adalah pada disiplin ilmu *statistical process control* (SPC). SPC adalah metode statistika yang memisahkan variasi hasil dari sebab-akibat dan variasi ilmiah untuk menghilangkan sebab khusus, membangun dan mempertahankan konsistensi dalam suatu proses serta dalam menampilkan proses perbaikan (Gaspersz, 2002).

Adapun fungsi dari SPC antara lain mencapai stabilitas proses, memberikan arahan dan petunjuk untuk peningkatan proses melalui adanya variasi yang terjadi, serta menghasilkan informasi untuk pengambilan keputusan (Wignjosoebroto, 1993). Salah satu metode SPC yang seringkali digunakan dalam melakukan pemecahan masalah terhadap pengendalian kualitas proses produksi adalah diagram kendali. Pengelompokan jenis-jenis diagram kendali tergantung pada tipe datanya. Dalam konteks pengendalian proses statistika dikenal dua jenis tipe data, yaitu data variabel dan data atribut. Data variabel merupakan data kuantitatif yang diukur untuk keperluan analisis (Gaspersz, 2002). Jenis krakteristik kualitas proses *Finish Mill* pada produksi semen OPC PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk adalah variabel. Selain itu Diagram kendali dibedakan menjadi dua yaitu diagram kendali univariat dan multivariat. Diagram kendali univariat adalah diagram kendali yang menggunakan satu karakteristik kualitas. Diagram kendali multivariat adalah diagram kendali dimana karakteristik kualitas yang digunakan lebih dari satu.

Tahap penggilingan akhir proses produksi semen OPC di PT. Semen Indonesia selalu dilakukan bersama dengan proses monitoring kualitas. Monitoring kualitas semen dilakukan di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk pada tahap penggilingan akhir melibatkan beberapa variabel yang saling berhubungan. Ketika terdapat suatu produk yang memiliki lebih dari satu karakteristik kualitas yang saling berhubungan, pengendalian kualitas yang dilakukan haruslah menggunakan teknik multivariat, tidaklah tepat jika menggunakan pengendalian secara independen antar karakteristik yang ada (Montgomery, 2009). Kuat tekan merupakan sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan (Mulyono, 2004). Pada pengamatan yang dilakukan di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, Tuban Jawa Timur serta wawancara dengan kepala seksi *quality control* perusahaan tersebut didapatkan kesimpulan bahwa presentase SiO_2, MgO, CaO, C3A, C4AF, *Insoluable*, LOI, dan *Blaine* sangat mempengaruhi nilai kuat tekan pada proses penggilingan akhir.

Apabila presentase ketiga variabel tersebut tidak sesuai nilai spesifikasi yang diharapkan maka ada kemungkinan kuat tekan di proses penggilingan terakhir akan *out of control*. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap pergeseran proses secara multivariat ini agar kualitas produk akan tetap terjaga.

Prosedur yang paling umum untuk pengendalian kualitas multivariat dengan data variabel adalah diagram kendali *Generalized Variance* yang digunakan untuk memonitoring variabilitas proses. Sedangkan diagram kendali T^2 *Hotelling* untuk memonitoring mean proses. Selanjutnya dilakukan analisa kapablitias proses untuk mengukur kinerja proses Finish Mill pada produk Semen OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pada diagram kendali multivariat tentu memiliki suatu perlakuan khusus untuk mendeteksi titik *out of control* proses tersebut. Sehingga mengetahui penyebab variabel dengan kontribusi *out of control* dalam proses multivariat merupakan suatu keharusan. Salah satu metode pemilihan komponen-komponen *out of control* secara multivariat yang tepat digunakan untuk melakukan deteksi *out of control* adalah *Principal Component Analysis* (PCA) (Montgomery, 2009). Pada penelitian ini, akan dilakukan deteksi sinyal keluar kendali menggunakan PCA dengan variabel utama yang saling berhubungan sebagai objek. Namun sebelumnya perlu dilakukan monitoring variabilitas dan mean proses secara univariat agar dapat melihat variabilitas dan mean proses pada setiap variabel yang memengaruhi proses Finish Mill pada produk Semen OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Diagram kendali univariat yang cocok digunakan pada penelitian ini adalah diagram kendali *Individual-Moving Range* ($I - \overline{MR}$) karena data yang digunakan adalah *individual observation.*

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pengendalian kualitas pada semen telah dilakukan oleh Fitri Agustina (2012). Penelitian tersebut terfokus pada kuat tekan (*compressive strength*) pada proses *Finish Mill* semen dengan menggunakan diagram kendali $\bar{X} - R$. Kesimpulan yang didapat adalah proses telah terkendali, selain itu kemampuan proses *Finish Mill* dapat

dikatakan sudah baik yaitu sebesar 89,99% dan ditunjukkan dengan peluang produk di bawah standar sebesar 0,36% dari 10.000 produk. Penelitian lainnya adalah melakukan analisis kapabiltas proses terhadap produksi *Monosodium Glutamat* (MSG) di PT. Ajinomoto Indonesia yang sebelumnya proses telah terkendali dengan diagram kendali *Generalized Variance* dan T^2 *Hotelling*. Hasil dari analisis kapabilitas proses secara multivariat adalah proses MSG jenis RC periode bulan Januari sampai Maret 2012 dikatakan belum kapabel (Kurnia, 2013). Berdasarkan kedua penelitian tersebut, maka diagram kendali multivariat *Generalized Variance* dan T^2 *Hotelling* dapat digunakan pada pengendalian kualitas pada proses *finish mill* produk semen OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang sebelumnya juga dilakukan pengendalian kualitas secara univariat dengan diagram kendali $I - \overline{MR}$ sebagai perbandingan.

15.2 Rumusan Masalah

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk selama ini telah melakukan pengendalian kualitas pada produksi semen tak terkecuali produk Semen OPC. Proses pengendalian kualitas tersebut tidak dibarengi dengan pengendalian variabilitas proses dan *mean* proses secara statistik, namun hanya sebatas analisa deskriptif dari mekanisme grafik monitoring individu atau hanya melihat batas spesifikasi secara manual. Pada proses penggilingan akhir produksi Semen OPC terdapat enam belas variabel yang memiliki pengaruh terbesar terhadap kuat tekan semen, yaitu: CaO, MgO, SO_3, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO2, C_3Sc, C_2S, C_3A, C_4AF, FL, Insol, LOI, Ekspansi, Mesh, dan *Blaine*. Keenam belas variabel yang digunakan saling memengaruhi satu sama lain secara konsep persemenan, sehingga kurang tepat jika pengendalian kualitas hanya dilakukan secara univariat.

Pada penelitian ini perlu dilakukan pengendalian secara multivariat agar dapat dilakukan perbandingan dengan diagram kendali univariat. Pengendalian kualitas secara univariat dilakukan dengan menggunakan diagram kendali $I - \overline{MR}$ untuk memonitoring variabilitas dan *mean* proses, karena data yang

digunakan merupakan *individual observation*. Diagram kendali multivariat yang digunakan adalah diagram *Generalized Variance* untuk memonitoring variabilitas dan diagram kendali T^2 *Hotelling* untuk memonitoring stabilitas *mean* proses, dimana kemudian dapat dilakukan identifikasi variabel penyebab *out of control*, sehingga dapat dilakukan perbandingan diagram kendali univariat dengan diagram kendali multivariat. Kemudian masing-masing diagram kendali yang telah terkontrol, dilakukan pengukuran kapabilitas proses untuk mengukur kinerja proses *finish mill* produk semen OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

15.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk tepatnya pada proses penggilingan akhir, maka tujuan dari penelitian ini adalah memonitoring variabilitas dan *mean* proses secara univariat dengan menggunakan diagram kendali $I - \overline{MR}$ dan secara multivariat dengan diagram kendali *Generalized Variance* dan T^2 *Hotelling*, sehingga dapat dilihat perbandingan pada kedua jenis diagram kendali tersebut. Selanjutnya dilakukan perhitungan kapabilitas proses untuk mengetahui kinerja proses pada masing-masing diagram kendali.

15.4 Manfaat

Penerapan diagram kendali $I - \overline{MR}$ serta *Generalized Variance* dan T^2 *Hotelling* dalam mengendalikan proses *finish mill* semen OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk akan bermanfaat bagi perusahaan sebagai pertimbagan dalam pengendalian kualitas secara univariat dan multivariat pada proses tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini data yang digunakan pada tahap penggilingan akhir produk semen di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk pada produksi bulan 1 Januari 2014 sampai 31 Desember 2014, terdapat batasan masalah diantaranya sebagai berikut.

1. Data yang digunakan hanya dibatasi di Pabrik Tuban 4, Jawa Timur yakni pada penggilingan akhir di *Finish Mill* 7.
2. Produk semen yang digunakan adalah produk semen *Ordinary Portland Cement* (OPC).
3. Variabel yang digunakan akan diseleksi dengan menggunakan metode statistika agar memudahkan dan mengefisiensi proses analisis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisa Univariat

Analisa univariat adalah analisa yang digunakan untuk menganalisis tiap variabel dari penelitian, analisa tersebut dapat berupa ukuran statistik, grafik, dan tabel. Pada penelitian univariat, teknik statistik yang digunakan adalah untuk memastikan bahwa proses memenuhi standar, membuat pengukuran dan mengambil tindakan selagi sebuah produk masih diproduksi (Heizer & Render, 2006). Situasi *out of control* pada diagram kendali univariat sangat mudah dideteksi karena dalam pengamatan masing-masing variabel akan menunjukkan sinyal *out of control* secara visual di pengamatan ke-n (Rao, Subbaiah, Rao & Rao, 2013).

2.1.1 Diagram Kendali $\boldsymbol{I - \overline{MR}}$

Individuals and moving range control chart ($I - \overline{MR}$) yang juga dikenali dengan nama *Shewhart individuals control chart* adalah diagram kendali variabel yang digunakan jika jumlah observasi dari masing-masing subgrup hanya satu (n = 1). $I - \overline{MR}$ diperlukan dalam situasi-situasi sebagai berikut (Montgomery, 2009).

1. Menggunakan teknologi pengukuran dan inspeksi otomatis, dan setiap unit yang diproduksi dapat dianalisis sehingga tidak ada dasar untuk pengelompokan rasional ke dalam subgrup.
2. Siklus produksi sangat lama, dan menyulitkan jika mengumpulkan sampel sebanyak $n > 1$.
3. Pengukuran berulang pada proses akan berbeda karena faktor kesalahan (*error*) lab atau analisis, seperti pada proses kimia.
4. Beberapa pengukuran diambil pada unit produk yang sama, seperti mengukur ketebalan oksida di beberapa lokasi yang berbeda pada sebuah *wafer* di fabrikasi alat semikonduktor.

5. Dalam pabrik-pabrik proses tertentu, seperti pabrik kertas, pengukuran pada beberapa parameter seperti ketebalan lapisan di seluruh gulungan kertas akan berbeda sangat sedikit dan menghasilkan standar deviasi yang jauh terlalu kecil jika tujuannya adalah untuk mengendalikan ketebalan lapisan sepanjang gulungan kertas.
   Berikut merupakan perhitungan *moving range*

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|, \tag{2.1}$$

maka parameter untuk diagram *I* adalah.

$$\text{BKA} = \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2}, \tag{2.2}$$

$$\text{Garis Tengah} = \bar{x}, \tag{2.3}$$

$$\text{BKB} = \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2}, \tag{2.4}$$

sedangkan batas kendali diagram $\overline{MR}$ juga dicari dengan rumusan sebagai berikut.

$$\text{BKA} = D_4\overline{MR}, \tag{2.5}$$

$$\text{Garis Tengah} = \overline{MR}, \tag{2.6}$$

$$\text{BKB} = D_3\overline{MR}. \tag{2.7}$$

Keterangan:

i = 1,2,3,…,m

m = banyak sampel

x_i = sampel pada observasi ke-i

$\bar{x}$ = rata-rata jumlah sampel pada seluruh observasi

MR_i = *moving range* ke-i

$\overline{MR}$ = rata-rata *moving range*

BKA = batas kendali atas

BKB = batas kendali bawah,

dimana d_2, D_3 dan D_4 dapat dilihat dari tabel yang ditentukan berdasarkan banyaknya pengamatan pada tiap sampel.

2.2 *Metode Backward*

Seleksi variabel dengan menggunakan *backward regression* merupakan langkah mundur, semua variabel *X* didasarkan pada nilai $t_{(parsial)}$ terkecil dan turut tidaknya variabel *X* pada model juga ditentukan oleh nilai $F_{(tabel)}$. Metode *backward* merupakan metode regresi yang baik karena dalam metode ini dijelaskan perilaku variabel respon dengan sebaik-baiknya dengan memilih variabel penjelas dari sekian banyak variabel penjelas yang tersedia dalam data. Langkah pertama dalam melakukan metode *backward* adalah membentuk persamaan regresi linier berganda lengkap (Drapper & Smith, 1992).

$$y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \cdots + b_p x_{pi} + \varepsilon_i \tag{2.8}$$

Keterangan:

y_i = Variabel terikat

$x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{pi}$ = Variabel bebas

$b_0, b_1, b_2, \ldots, b_p$ = Koefisien regresi

ε_i = Nilai kesalahan

Kemudian setelah membentuk persamaan regresi di atas, menentukan nilai dari t_0 (statistik uji) dari masing-masing variabel.

$$t_0 = \frac{b_p}{\sqrt{(C_{pp})^{-1} s^2}} \tag{2.9}$$

$$\mathbf{b} = (\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}\mathbf{x}'\mathbf{y} \tag{2.10}$$

Keterangan:

b_p = Koefiesien regresi ke-*p*

C_{pp} = diagonal elemen dari $(\mathbf{x}'\mathbf{x})^{-1}$ yang berkorespondensi dengan b_p

s^2 = *mean square error*

b = Vektor koefisien regresi

x = Matriks variabel bebas

y = vektor variabel terikat

Setelah mengetahui nilai dari t_0 maka dilanjutkan dengan menentukan nilai ANOVA. Untuk menentukan nilai ANOVA diperlukan nilai-nilai sebagai berikut (Drapper & Smith, 1992).

$$SS_{Regression} = \sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2, \quad (2.11)$$

$$SS_{Error} = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (2.12)$$

$$SS_{Total} = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2, \quad (2.13)$$

Nilai $SS_T, SS_{Treatments}$ dan SS_E menunjukkan bagaimana ANOVA bekerja. Dimana $\bar{y}$ adalah rata-rata dari variabel respon dan $\hat{y}_i$ merupakan *fit* dari variabel respon. Hal ini akan membawa ke analisis statistik yang sesuai untuk menguji hipotesis. Sebelum dilakukan uji hipotesis terhadap nilai F_0, terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk nilai $MS_{Treatments}$ dan MS_E seperti persamaan di bawah ini.

$$MS_{Regression} = \frac{SS_{Regression}}{p}, \quad (2.14)$$

$$MS_{Error} = \frac{SS_E}{n-p-1}, \quad (2.15)$$

Dimana nilai F_0 adalah nilai F_{hitung} pada pengujian serentak yang dapat dituliskan seperti persamaan berikut ini.

$$F_0 = \frac{MS_{Regression}}{MS_{Error}}, \quad (2.16)$$

Keterangan :

SS_T = Jumlah Kuadrat Total

$SS_{Regression}$ = Jumlah Kuadrat Regresi

SS_E = Jumlah Kuadrat Error

$MS_{Regression}$ = *Mean Square for Regression*

MS_E = *Mean Square Error*

n = Total sampel

p = Jumlah variabel

Selanjutnya dilakukan pemilihan terhadap variabel pertama yang keluar dari model yang didapat pada nilai $F_{(parsial)}$ terkecil. Untuk menentukan apakah variabel x_p keluar dari model regresi atau tidak, maka nilai t_0 dibandingkan dengan nilai $t_{(tabel)}$ dengan hipotesis sebagai berikut (Drapper & Smith, 1992).

$H_0 : b_p = 0$

$H_1 : b_p \neq 0$

Keputusan :

Jika $t_0 < t_{tabel}$ maka tolak H_0

Jika $t_0 \geq t_{tabel}$ maka gagal tolak H_0

Setelah melakukan langkah-langkah di atas selanjutnya kembali membentuk persamaan regresi linier berganda untuk melakukan seleksi variabel berikutnya (Drapper & Smith, 1992).

2.3 Analisa Multivariat

Analisis multivariat merupakan analisis statistika pada data yang terdiri dari banyak variabel dan antar variabel saling berhubungan. Konsep dasar dari analisis multivariat adalah variabel harus berkorelasi dengan variabel lainnya dan data berdistribusi normal multivariat (Johnson & Wichern, 2007).

2.3.1 Uji Matriks Korelasi

Variabel random X_1, X_2,…,X_p merupakan variabel karakteristik kualitas pada penelitian ini yang akan dicari hubungan antar variabelnya. Uji Bartlett bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat homogenitas varians antar variabel

dalam kasus multivariat. Jika variabel X_1, X_2,…,X_p bersifat saling bebas, maka matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas. Untuk menguji kebebasan antarvariabel, dapat dilakukan uji *Bartlett sphericity*. Uji *Bartlett sphericity* dapat dinyatakan dalam hipotesis sebagai berikut:

H_0 : $\mathbf{R} = \mathbf{I}$
H_1 : $\mathbf{R} \neq \mathbf{I}$

Statistik Uji :

$$\chi^2 = -\left[n - 1 - \frac{2p+5}{6}\right] \ln|\mathbf{R}|, \tag{2.17}$$

dimana *n* adalah jumlah observasi, sedangkan *p* adalah jumlah variabel, dan **R** adalah matrik korelasi dari masing-masing variabel, serta $\chi^2_{(\alpha;\frac{1}{2}p(p-1))}$ adalah nilai distribusi *chi-square*. Adapun persamaan dari matriks korelasi adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \tag{2.18}$$

$$r_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij}-\bar{x}_j)(x_{ih}-\bar{x}_h)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij}-\bar{x}_j)^2(x_{ih}-\bar{x}_h)^2}}, \tag{2.19}$$

dimana :
r_{jh} = nilai korelasi antara variabel ke-*j* dan variabel ke-*h*
i = sampel variabel ke-*i* (*i*=1,2,...,*n*)
n = jumlah observasi
x_{ij} = sampel variabl ke-*i* (*i*=1,2,...,*n*) dan variabel ke-*j* (*j*=1,2,...,*p*)
x_{ih} = sampel variabel ke-i sampai variabel ke-*h* (*h*=1,2,...,*p*)

$\bar{x}_h$ = rata-rata sampel variabel ke-*h* (*h*=1,2,...,*p*)
$\bar{x}_j$ = rata-rata sampel variabel ke-*j* (*j*=1,2,...,*p*)
R = matriks korelasi dari masing-masing variabel

Jika ditetapkan tingkat signifikansi α sebesar 0,05, maka H_0 ditolak jika nilai $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{(\alpha;\frac{1}{2}p(p-1))}$ dengan derajat bebas sebesar $\frac{1}{2}p(p-1)$ atau dapat disimpulkan bahwa variabel tidak berkorelasi (Morrison, 1990).

2.3.2 Distribusi Normal Multivariat

Salah satu asumsi yang harus dipenuhi untuk melakukan pengendalian kualitas menggunakan diagram kendali multivariat adalah data berdistribusi normal multivariat. Variabel $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, ..., \mathbf{X}_p$ dikatakan berditribusi normal multivariat dengan parameter $\boldsymbol{\mu}$ dan $\boldsymbol{\Sigma}$ jika mempunyai *probability density function* :

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2}|\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\boldsymbol{x}-\mu)'\boldsymbol{\Sigma^{-1}}(\boldsymbol{x}-\mu)} \qquad (2.20)$$

Jika $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, ..., \mathbf{X}_p$ berdistribusi normal *multivariat*, maka $(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})'\boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})$ berditribusi χ^2_p. Berdasarkan sifat ini maka pemeriksaan distribusi normal multivariat dapat dilakukan dengan cara membuat *q-q plot* dari nilai $d_i^2 = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})'\mathbf{S}^{-1}(\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}), i = 1,...,n$.

Pembuatan *q-q plot* dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (Johnson & Wichern, 2007)

1. Menentukan nilai vektor rata-rata : $\bar{\mathbf{x}}$
2. Menentukan nilai matriks varians-kovarians : **S**
3. Menentukan nilai jarak Mahalanobis setiap titik pengamatan dengan vektor rata-ratanya $d_i^2 = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})'\mathbf{S}^{-1}(\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}), i = 1,...,n$
4. Mengurutkan nilai d_i^2 dari kecil ke besar : $d_{(1)}^2 \le d_{(2)}^2 \le d_{(3)}^2 \le ... \le d_{(n)}^2$

5. Menentukan nilai $p_i = \frac{i-1/2}{n}, i = 1,..., n$
6. Menentukan nilai q_i sedemikian hingga $\int_{-\infty}^{q_i} f(\chi^2) d\chi^2 = p_i$
7. Membuat *scatterplot* $d_{(i)}^2$ dengan q_i

Jika *scatterplot* ini cenderung membentuk garis lurus dan nilai $d_{(i)}^2$ kurang dari χ_p^2 berada di sekitar 50 %, maka dapat dikatakan bahwa data berdistribusi normal multivariat.

2.3.3 Diagram Kendali *Generalized Variance*

Pengendalian kualitas terhadap variansi proses sama pentingnya dengan pemantauan rata-rata. Peta kendali *Generalized Variance* digunakan untuk mengendalikan variansi dari proses. Peta kendali ini dikemukakan oleh Maman A. Djauhari (2010) yang didasarkan pada selisih antar vector pengamatan secara berturut-turut. Diketahui nilai plot statistik F sebagai berikut.

$$F = \sqrt{Tr(\boldsymbol{D}^2)}\,, \tag{2.21}$$

dimana $\boldsymbol{D} = \boldsymbol{SS}_{n+1} - \boldsymbol{SS}_n$ sedangkan $\boldsymbol{SS}_k$ diketahui adalah matriks dengan $k = n$ dan $k = n + 1$ sebagai berikut.

$$\boldsymbol{SS}_k = \sum_{i=1}^{k} (\boldsymbol{x}_i - \bar{\boldsymbol{x}}_k)(\boldsymbol{x}_i - \bar{\boldsymbol{x}}_k)^t, \tag{2.22}$$

dimana $\bar{x}_k = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} x_i$. Sementara itu batas kendali dari peta *Generalized Variance* individu BKA pada fase 1 adalah sebagai berikut.

$$cx_r^2 \text{ dengan } c = \frac{Tr(S_n^2)}{Tr(S_n)} \text{ dan } r = \frac{\{Tr(S_n)\}^2}{Tr(S_n^2)}, \tag{2.23}$$

Sementara itu untuk Batas Kontrol Bawah (BKB) = 0. Jika nilai statistik plot jatuh di atas BKA maka dapat dinyatakan proses tidak terkontrol. Matriks kovarian pada peta *Generalized Variance* fase 1 mengacu pada Montgomery (2009) yakni

$$S = \frac{1}{2}\frac{V'V}{(m-1)}, \tag{2.24}$$

dimana,

$$V = \begin{bmatrix} v_1' \\ v_2' \\ \vdots \\ v_{m-1}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_2 - x_1)' \\ (x_3 - x_2)' \\ \vdots \\ (x_{i+1} - x_i)' \end{bmatrix} \text{ dengan } i = 1,2\ldots,m\text{-}1 \tag{2.25}$$

Sedangkan batas kendali peta *Generalized Variance* individu BKA pada fase 2 adalah sebagai berikut.

$$cx_r^2 \text{ dengan } c = \frac{Tr(\Sigma^2)}{Tr(\Sigma)} \text{ dan } r = \frac{\{Tr(\Sigma)\}^2}{Tr(\Sigma^2)}, \tag{2.26}$$

Sementara itu Batas Kontrol Bawah (BKB) = 0. Jika nilai statistik plot jatuh di atas BKA maka dapat dinyatakan proses tidak terkontrol. Matriks kovarian pada peta *Generalized Variance* fase 2 didapatkan dari nilai matriks kovarian pengamatan fase 1 yang telah terkendali, yaitu peta kendali *Generalized Variance* fase 1 yang telah terkendali.

2.3.4 Diagram Kendali T^2 Hotelling

Diagram kendali T^2 Hotelling adalah suatu diagram yang digunakan untuk mengetahui apakah mean proses produksi terkendali secara statistik atau tidak, dimana terdapat dua atau lebih karakteristik kualitas yang saling berhubungan. Karakteristik kualitasnya terdiri dari *p* variabel, yaitu $X_1, X_2, \ldots, X_p$. Diagram kendali multivariat dengan pengamatan individu dijumpai pada produksi dengan subgroup *n*=1, *m* sampel pengamatan, dan *p* adalah jumlah karakteristik kualitas (Rao,

Subbaiah, Rao, & Rao, 2013). Nilai statistik pada diagram kendali T^2 Hotelling dengan pengamatan individu adalah.

$$T_i^2 = (x_{ij} - \bar{x}_j)^T S_2^{-1} (x_{ij} - \bar{x}_j), \quad (2.27)$$

Dimana,

x_{ij} = sampel vektor pengamatan ke-i

$\bar{x}_j$ = vektor rata-rata tiap variabel kualitas

S_2^{-1} = matriks varians kovarians dengan *successive difference*

diagram kendali T^2 Hotelling individu dihitung dengan rumus,

$$S_2 = \frac{1}{2}\frac{V'V}{(m-1)}, \quad (2.28)$$

dimana,

$$V_i = \begin{bmatrix} v_1' \\ v_2' \\ \vdots \\ v_{m-1}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_2 - x_1)' \\ (x_3 - x_2)' \\ \vdots \\ (x_{i+1} - x_i)' \end{bmatrix} \text{ dengan } i = 1,2\ldots,m\text{-}1 \quad (2.29)$$

Dengan V_i adalah vektor selisih antara vektor data ke-i dan vektor data ke-i+1. Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) fase I untuk diagram kendali T^2 Hotelling pengamatan individu adalah sebagai berikut.

$$BKA = \frac{(m-1)^2}{m}\beta_{\alpha,p/2,(m-p-1)/2} \quad (2.30)$$

$$BKB = 0 \quad (2.31)$$

Sedangkan batas kendali untuk fase II adalah sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$BKA = \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp}F_{\alpha,p/2,m-p} \quad (2.32)$$

$$BKB = 0 \quad (2.33)$$

2.4 Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan suatu pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi keseluruhan proses. Indeks kapabilitas yang disarankan oleh *Automotive Industry Action Group* (AIAG) untuk proses dalam keadaan *in control* adalah C_p dan C_{pk}, sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan *in control*, digunakan indeks *performance process* P_p dan P_{pk} (Montgomery D. C., 2009). Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} untuk data univariat adalah sebagai berikut.

$$P_P = \frac{BSA - BSB}{6s} \tag{2.34}$$

$$P_{PU} = \frac{BSA - \bar{x}}{3s} \tag{2.35}$$

$$P_{PL} = \frac{\bar{x} - BSB}{3s} \tag{2.36}$$

$$P_{PK} = \min\{P_{PU}, P_{PL}\} \tag{2.37}$$

Keterangan :

BSA = batas spesifikasi atas

BSB = batas spesifikasi bawah

Dalam penelitian ini, digunakan empat karakteristik kualitas, maka indeks *performance process* secara multivariat cocok digunakan terutama dengan mempertimbangkan tidak diketahuinya nilai pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Montgomery D. C., 2009).

$$MP_P = \left(\prod_{i=1}^{p} P_{P(i)}\right)^{1/p} \tag{2.38}$$

$$MP_{PK} = \left(\prod_{i=1}^{p} P_{PK(i)}\right)^{1/p} \tag{2.39}$$

Keterangan:
i = 1,2,…,p
p= jumlah variabel atau karakteristik kualitas

Kriteria penilaian MP_{PK} yaitu apabila nilai MP_{PK} yang didapatkan kurang dari 1 maka kinerja proses tidak bagus atau tidak kapabel secara multivariat, jika lebih dari 1 maka kinerja proses tersebut mutlak bagus atau kapabel. Apabila nilai MP_{PK} lebih kecil dari nilai MP_P menunjukkan bahwa proses pada kedua variabel ini tidak terpusat dan tidak mencapai kapabilitas potensial.

2.5 Deteksi *Out of Control* dengan *Principal Component Analysis*

Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui variabel yang memberikan kontribusi terbesar saat proses dalam keadaan *out of control*. *Principal Component Analysis* atau komponen utama adalah kombinasi linier dari p variabel random $x_1, x_2, \dots, x_p$. Komponen utama ini menghasilkan satu set variabel baru yang lebih kecil dan tidak berkorelasi serta mampu menjelaskan variabilitas yang tinggi dari variabel awal.

$$\begin{aligned} PC1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p \\ PC2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2p}x_p \\ &\vdots \\ PCp &= a_{p1}x_1 + a_{p2}x_2 + \dots + a_{pp}x_p \end{aligned} \tag{2.40}$$

Misalnya variabel random $x_1, x_2, \dots, x_p$ yang diwakili oleh vektor **X** dengan matriks kovarians diberikan oleh **Σ** dan nilai eigen dari **Σ** adalah $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$. Maka konstanta *aij* adalah elemen ke-*i* dari vektor eigen yang berasosiasi dengan nilai eigen λ_i (Montgomery, 2009). Varians dari komponen utama ke-*i* adalah nilai eigen ke-*i* λ_i. Maka proporsi dari variabilitas pada data asli yang mampu dijelaskan oleh komponen utama ke-*i* diberikan sebagai berikut.

$$\frac{\lambda_i}{\lambda_1+\lambda_2+...+\lambda_p} \tag{2.41}$$

Kombinasi linier dari komponen utama dengan nilai eigen terbesar dapat bermanfaat dalam interpretasi data. Diagram komponen disusun menggunakan faktor utama, dimana factor utama tersebut adalah komponen utama yang dibagi dengan akar nilai eigennya. Variabel dengan bobot tertinggi pada vektor eigennya merupakan variabel dengan kontribusi paling tinggi pada proses yang *out of control*.

Apabila μ dan Σ merupakan vektor *mean* dan matriks kovarians dari *x,* kepadatan *x* adalah konstan pada elips dengan pusat μ sebagai berikut (Oyeyemi, 2011).

$$(x-\mu)'\sum^{-1}(x-\mu)=c^2, \tag{2.42}$$

dengan sumbu $\pm c\sqrt{\lambda_i}\,e_i$ dan *i* = 1, 2, …, *p,* dimana (λ_i, e_i) merupakan pasangan nilai eigen dan vektor eigen dari **Σ**. Menurut Johnson & Wichern (2007), statistik *c* dapat dituliskan sebagai berikut.

$$c^2 = x'\sum^{-1}x = \frac{1}{\lambda_1}(e'_1x)^2+\frac{1}{\lambda_2}(e'_2x)^2+...+\frac{1}{\lambda_p}(e'_px)^2 \tag{2.43}$$

dimana $e'_1x, e'_2x,...,e'_px$ merupakan komponen utama dari *x*.

Karena $y_1=e'_1x, y_2=e'_2x,...,y_p=e'_px$ maka dapat didapatkan persamaan berikut ini.

$$c^2=\frac{1}{\lambda_1}(y_1)^2,\frac{1}{\lambda_2}(y_2)^2,...,\frac{1}{\lambda_p}(y_p)^2, \tag{2.44}$$

Sehingga statistik T^2Hotelling dapat digunakan sebagai fungsi dari nilai *x* atau *y* (komponen). Dalam metode PCA akan digunakan variabel yang telah distandarkan karena perbedaan

satuan dalam masing-masing variabel dapat menyebabkan kecenderungan salah satu variabel tertentu untuk memberikan kontribusi terbesar dalam variabilitas yang terjelaskan. Standarisasi variabel akan menyebabkan *mean* bernilai 0. Karena $\text{var}(y_i) = \lambda_i$ maka batas kendali yang didapatkan untuk diagram komponen utama adalah sebagai berikut (Oyeyemi, 2011).

$$UCL = 3\sqrt{\lambda_k} \tag{2.45}$$

$$CL = 0 \tag{2.46}$$

$$LCL = -3\sqrt{\lambda_k} \tag{2.47}$$

2.6 Deteksi *Out of Control* dengan Statistik T_i

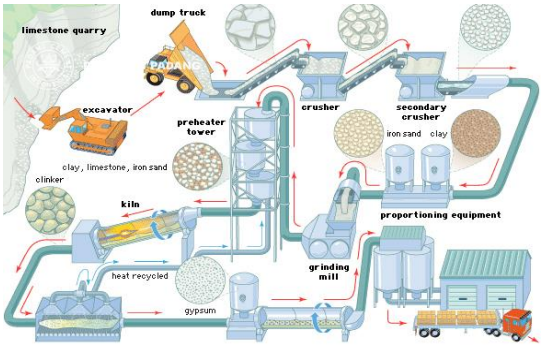
Pada saat pengontroloan *mean* proses jika terjadi sinyal tidak terkendali maka perlu dilakukan identifikasi variabel penyebab terjadinya sinyal tidak terkendali tersebut. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mendeteksi sinyal tidak terkendali adalah menguraikan statistik $T^2_{(i)}$ ke dalam komponen-komponen yang menunjukkan kontribusi masing-masing variabel individu. $T^2_{(j)}$ merupakan nilai statistik untuk semua variabel proses tanpa variabel ke-*j*. sehingga dijelaskan bahwa,

$$d_i = T^2_{(i)} - T^2_{(j)}, \tag{2.48}$$

d_i merupakan sebuah indikator dari kontribusi variabel ke-*j* untuk keseluruhan data (Box & Kramer, 1992). Ketika terdapat sinyal *out of control* maka direkomendasikan perhitungan dari nilai d_i (*i* = 1, 2, 3, … , *p*) dan memfokuskan perhatian pada variabel yang memiliki nilai d_i yang relatif besar. Jika nilai $d_i > x^2_{\alpha,1}$ maka variabel ke-*i* tersebut adalah penyebab pengamatan *out of control*.

2.7 Proses Produksi Semen

Proses produksi semen di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk untuk menghasilkan semen melewati lima tahap yaitu proses penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan, proses pembakaran, proses penggilingan akhir, proses pengemasan. Dalam penelitian ini digunakan pada satu tahapan proses yaitu penggilingan akhir (*finish mill*).



Gambar 2.2 Proses Produksi Semen

1. Penyediaan Bahan Mentah

Penyediaan bahan mentah ini yakni batu kapur dan tanah liat serta penambahan zat belerang. Bahan- bahan tersebut akan dipecah menggunakan mesin *Crusher* sebagai alat utama untuk menghasilkan bebatuan kapur dengan ukuran yang sesuai persyaratan. PT. Semen Indonesia menyediakan bahan mentah dari proses penambangan di Lokasi Pertambangan Kapur Indonesia.

2. Pengolahan Bahan

Dalam proses ini, semua bahan baku akan masuk ke *raw mill* melalui *feeder-feeder* untuk kemudian digiling menjadi bentuk serbuk halus dengan ukuran maksimum 90 micron dan kadar air 1% dikenal sebagai produk *raw mill/kiln feed*

3. Pembakaran

Pembakaran produk *raw mill* ini dilakukan di *kiln*, namun sebelum produk *raw mill* masuk ke *kiln*, bahan baku tersebut terlebih dahulu melewati *preheater* yang merupakan alat untuk melakukan pemanasan awal. Proses pemanasan awal di *preheater* ini memiliki empat *cyclone* bertingkat yang suhunya bertingkat pula mulai dari $\pm 330^0$ C, $\pm 540^0$ C, $\pm 720^0$ C, dan $\pm 840^0$ C. Produk keluaran *kiln* ini disebut *clinker* atau yang lebih dikenal dengan terak.

4. Penggilingan Akhir

Pembakaran menghasilkan senyawa kimia yang biasa disebut dengan elemen mayor. Setelah keluar dari *cooler, clinker* ini disimpan di *clinker storage* atau dijual ke pabrik semen yang lain sebagai bahan baku semen. Untuk *clinker* yang disimpan, selanjutnya *clinker* dibawa menuju *cement mill* untuk dilakukan penggilingan dengan *gypsum* serta material tambahan lainnya.

5. Pengemasan

Semen yang akan di *release* ke konsumen dapat berupa dalam kemasan *bag/*sak atau curah. Untuk semen dalam bentuk *bag/*sak, pengantongan atau pengemasan dilakukan dengan mesin yang bernama *packing machine.* Setelah dikemas dalam kantong, semen akan diangkut menggunakan truk untuk dikirim langsung ke gudang penyangga atau distributor (PT. Semen Indonesia, 2015).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Penelitian ini akan menggunakan data sekunder dari data laporan kualitas pada produk periode 1 Januari 2014 sampai 31 Desember 2014 sebanyak 155 data untuk produk semen OPC yang didapatkan dari Laboratorium *Quality Assurance* di Seksi Jaminan Mutu. Data yang digunakan merupakan data dari satu tahapan proses produksi semen yakni pada Proses Penggilingan Akhir yang terjadi di *Finish Mill.* Pada Pabrik Tuban 4 dilakukan proses produksi untuk semen OPC yakni pada *Mill* 7. Pengambilan sampel dilakukan di masing- masing *Finish Mill* yang bersifat homogen. Pengambilan sampel dilakukan setiap 1 kali dalam satu hari.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini, yaitu CaO, MgO, SO_3, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO2, C_3Sc, C_2S, C_3A, C_4AF, FL, Insol, LOI, Ekspansi, Mesh, dan *Blaine*. Keenam belas senyawa tersebut memberikan pengaruh dominan terhadap kuat tekan pada proses penggilingan akhir di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Berikut merupakan variabel yang akan digunakan.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan
X_1	CaO	(%)
X_2	MgO	(%)
X_3	SO_3	(%)
X_4	Al_2O_3	(%)
X_5	Fe_2O_3	(%)
X_6	SiO_2	(%)

X_7	C_3Sc	(%)
X_8	C_2S	(%)
X_9	C_3A	(%)
X_{10}	C_4AF	(%)
X_{11}	FL	(%)
X_{12}	*Insol*	(%)
X_{13}	LOI	(%)
X_{14}	Ekspansi	(%)
X_{15}	Mesh	(%)
X_{16}	*Blaine*	(m^2/gram)

Pengukuran variabel-variabel yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk didasarkan pada pemeriksaan yang dilakukan oleh bagian laboratorium *Quality Assurance*. Di tahap penggilingan terdiri dari enam belas variabel yang diukur yaitu sebagai berikut.

1. CaO adalah Kapur tohor, atau dikenal pula dengan nama kimia kalsium oksida (CaO), adalah hasil pembakaran kapur mentah (kalsium karbonat atau $CaCO_3$) pada suhu kurang lebih 90 derajat Celcius. Jika disiram dengan air, maka kapur tersebut akan menghasilkan panas dan berubah menjadi kapur padam (kalsium hidroksida, CaOH). Kalsium oksida adalah bahan penting dalam pembuatan semen. Komposisi dan jenis kapur yang digunakan akan mempengaruhi hasil semen yang dihasilkan. Adapun batas spesifikasi atas CaO adalah sebesar 65,25% dan batas spesifikasi bawah sebesar 62,25%.
2. MgO adalah Magnesium Oksida, atau magnesia, ialah suatu mineral padat higroskopis berwarna putih yang terjadi secara alami sebagai periklas dan merupakan sumber magnesium. MgO merupakan salah satu dari bahan mentah untuk pembuatan semen Portland di kilang pengolahan kering. Bila

terlalu banyak MgO ditambahkan, semen mungkin menjadi ekspansif. Produksi semen berbasis MgO menggunakan serpentinit dan limbah karbon dioksida (CO_2) (sebagai lawan semen berbasis CaO konvensional menggunakan bahan bakar fosil) dapat mengurangi emisi antropogenik CO_2. Suatu bahan tahan api ialah satu zat yang stabil secara fisika dan kimia pada suhu tinggi. Batas spesifikasi bawah dari variabel ini adalah sebesar 1,25% dan batas spesifikasi atas sebesar 1,85%.

3. SO_3, atau biasa disebut Sulfur Trioksida adalah komponen yang tidak reaktif biasanya digunakan pada pembakaran arang, minyak bakar gas, kayu dan sebagainya. Batas spesifikasi atas sebesar 2,05 dan batas spesifikasi bawah senilai 1,65.
4. $Al2O_3$ adalah bahan baku utama untuk memproduksi Aluminium, Alumina mempunyai morfologi sebagai bentuk bubuk putih dengan berat molekul 102, titik leleh pada 2050°C, dan densitas 3,5 – 4,0 g/cm3. Alumina diperoleh dari bauksit, melalui proses Bayer. Batas spesifikasi atas senyawa ini adalah 6,50 dan batas spesifikasi bawah sebesar 5,10.
5. Fe_2O_3, merupakan Besi(III) oksida dikenal juga dengan nama bijih besi adalah salah satu senyawa oksida dari besi dan mempunyai rumus kimia Fe_2O_3 dan mempunyai sifat paramagnetik. Batas spesifikasi atas sebesar 3,50 dan batas spesifikasi bawah sebesar 3,20.
6. Silikon dioksida, juga dikenal sebagai silika (dari silex Latin), adalah oksida *silicon* dengan rumus kimia SiO_2 yang telah dikenal sejak zaman dahulu karena kekerasannya. Silika ini paling sering ditemukan di alam sebagai pasir atau kuarsa, serta di dinding sel diatom. Batas spesifikasi bawah variabel ini adalah sebesar 18,25% dan batas spesifikasi atas sebesar 21,25%.
7. C_3Sc adalah merupakan senyawa utama yang dapat mengakibatkan bersifat semen (perekat). Batas spesifikasi atas sebesar 88,95 dan batas spesifikasi bawah sebesar 12,85.

8. C_2S merupakan senyawa yang berfungsi sebagai pencair (fluk) pada waktu pembakaran sehingga pembentukan C_2S cukup dengan suhu 1300 - 1450°C. Batas spesifikasi atas sebesar 61,55 dan batas spesifikasi bawah sebesar -8,55.
9. C_3A adalah fragmen protein yang terbentuk saat sistem komplemen teraktivasi dan terdiri dari C_3a, C_4a, C_5a. C_3A merupakan polipeptida yang berfungsi layaknya sitokina yang hanya dilepaskan pada area peradangan. Batas spesifikasi bawah C_3A adalah sebesar 9,55 dan batas spesifikasi atas sebesar 11,45%.
10. C_4AF adalah suatu senyawa yang jumlahnya sedikit dan tidak terlalu mempengaruhi perilaku semen, kendati demikian C_4AF sangat berfungsi untuk mempercepat hidrasi senyawa *silicate*. Batas spesifikasi atas C_4AF adalah sebesar 11,15% dan batas spesifikasi bawah sebesar 9,45%.
11. FL adalah kalsium oksida bebas yang dihasilkan terpisah dari proses pembakaran. Batas spesifikasi atas sebesar 2,90 dan batas spesifikasi bawah sebesar 0,15.
12. Mesh adalah Residu pada saringan mesh 200 dan 325 mesh. Partikel > 65 memiliki reaktivitas rendah dan tidak memberikan kontribusi yang signifikan bagi perkembangan kekuatan semen. Partikel > 95 mungkin tidak bereaksi sama sekali. Batas spesifikasi atas sebesar 90,25 dan batas spesifikasi bawah sebesar 85,25.
13. Ekspansi adalah expansion yaitu 1 aktivitas memperbesar/memperluas usaha. Batas spesifikasi atas sebesar 0,385 dan batas spesifikasi bawah sebesar 0.
14. *Insoluble* adalah indikator penambahan batu *trass* untuk produk semen OPC. Batas spesifikasi atas variabel *Insoluble* di perusahaan ini adalah sebesar 3,15 % sementara batas spesifikasi bawah variabel ini adalah sebesar 0,35%.
15. *Blaine* adalah hasil pengujian kehalusan semen dengan batas spesifikasi bawah perusahaan sebesar 340 m2/gram untuk semen OPC.

16. LOI atau *Lost of Ignition* adalah berat yang hilang dalam persentase (%) dari suatu sampel pada saat dipijarkan pada suhu dan waktu tertentu. Batas spesifikasi bawah variabel ini adalah sebesar 2,25 % serta batas spesifikasi atas sebesar 4,55%.

3.4 Struktur Data

Berikut merupakan struktur data yang digunakan untuk memonitoring stabilitas pada proses *finish mill* pada produk semen jenis *Ordinary Portland Cement* (OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Seperti yang sudah diketahui pada penjelasan sebelumnya, bahwa data yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan *individual observation*. Dimana masing-masing pengamatan akan diwakili oleh satu data. Observasi ke-n pada setiap variabel menunjukkan observasi pada hari ke-n pada kurun waktu 155 hari dari bulan Januari hingga Desember 2014.

Tabel 3.2 Struktur Data Penelitian

Observasi ke-	**Karakteristik Kualitas**							
	X_1	**X_2**	**X_3**	**…**	**X_{13}**	**X_{14}**	**X_{15}**	**X_{16}**
1	$x_{(1)1}$	$x_{(1)2}$	$x_{(1)3}$	…	$x_{(1)13}$	$x_{(1)14}$	$x_{(1)15}$	$x_{(1)16}$
2	$x_{(2)1}$	$x_{(2)2}$	$x_{(2)3}$	…	$x_{(2)13}$	$x_{(2)14}$	$x_{(2)15}$	$x_{(2)16}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
155	$x_{(155)}$	$x_{(155)}$	$x_{(155)}$	…	$x_{(155)}$	$x_{(155)}$	$x_{(155)}$	$x_{(155)}$

Keterangan:

i = Pengamatan ke-i
N = Jumlah pengamatan
X_1 = Variabel karakteristik kualitas CaO
X_2 = Variabel karakteristik kualitas MgO
X_3 = Variabel karakteristik kualitas SO_3
X_4 = Variabel karakteristik kualitas Al_2O_3
X_5 = Variabel karakteristik kualitas Fe_2O_3
X_6 = Variabel karakteristik kualitas SiO_2
X_7 = Variabel karakteristik kualitas C_3Sc

X_8 = Variabel karakteristik kualitas C_2S
X_9 = Variabel karakteristik kualitas C_3A
X_{10} = Variabel karakteristik kualitas C_4AF
X_{11} = Variabel karakteristik kualitas FL
X_{12} = Variabel karakteristik kualitas *Insol*
X_{13} = Variabel karakteristik kualitas Ekspansi
X_{14} = Variabel karakteristik kualitas Mesh
X_{15} = Variabel karakteristik kualitas LOI
X_{16} = Variabel karakteristik kualitas *Blaine*

3.4 Langkah Analisis

Langkah analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah menganalisis kapabilitas proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk sebagai berikut.

a. Mengumpulkan data dan melakukan analisis statistika deskriptif untuk mengetahui bagaimana karakteristik dari data proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
b. Menyeleksi Variabel dengan menggunakan metode *Backward Regression*.
c. Melakukan pengendalian kualitas statistik secara univariat dengan diagram kendali $I - \overline{MR}$.
    1. Membuat Diagram Kendali secara univariat dengan menggunakan diagram kendali *Individual*.
        - Membuat diagram kedali *Individual* lengkap dengan BKA dan BKB.
        - Jika proses tidak terkendali maka dicari variabel yang menjadi penyebabnya.
        - Setelah variabel penyebab tidak terkendali diketahui, maka dilakukan perbaikan dengan cara membuang observasi yang berada diluar batas kendali (asumsi bahwa analisis penyebab variabel *out off control* dengan diagram *ishikawa* dapat dan telah dilakukan).

2. Membuat Diagram Kendali secara univariat dengan menggunakan diagram kendali *Moving Range*.
   - Membuat diagram kedali *Moving Range* lengkap dengan BKA dan BKB.
   - Jika proses tidak terkendali maka dicari variabel yang menjadi penyebabnya.
   - Setelah variabel penyebab tidak terkendali diketahui, maka dilakukan perbaikan dengan cara membuang observasi yang berada diluar batas kendali (asumsi bahwa analisis penyebab variabel *out off control* dengan diagram *ishikawa* dapat dan telah dilakukan).
3. Menghitung indeks kapabilitas proses *finish mill* pada semen untuk mengukur kinerja proses.

d. Melakukan pengendalian kualitas statistik secara multivariat.
   1. Melakukan pengujian dependensi antar variabel untuk mengetahui apakah data variabel proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk saling berhubungan antar variabel.
   2. Melakukan pengujian distribusi normal multivariat untuk mengetahui apakah data dari variabel yang diamati telah mengikuti pola distribusi normal multivariat.
   3. Membuat diagram kendali *Generalized Variance* lengkap dengan BKA dan BKB.
      Langkah membuat diagram kendali *generalized variance* :
      - Mendifinisikan proses produksi yang akan dilakukan pengamatan
      - Menentukan karakeristik proses produksi
      - Melakukan pengambilan data
      - Menentukan batas kendali proses produksi
      - Melakukan analisis *Generalized Variance*
      - Membuat kesimpulan
   4. Membuat diagram kendali T^2 *Hotelling.*

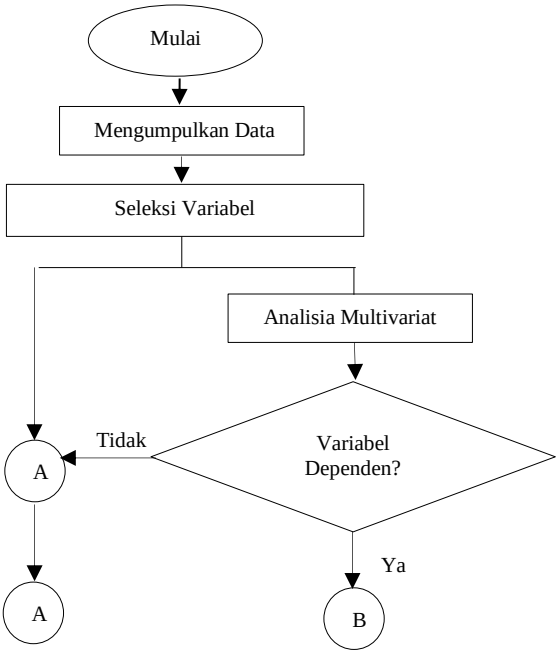
- Membuat diagram kedali T^2 *Hotelling* lengkap dengan BKA dan BKB.
- Jika proses tidak terkendali maka dicari variabel yang menjadi penyebabnya dengan membuat diagram *ishikawa*.
- Setelah variabel penyebab tidak terkendali diketahui, maka dilakukan perbaikan dengan cara membuang observasi yang berada diluar batas kendali

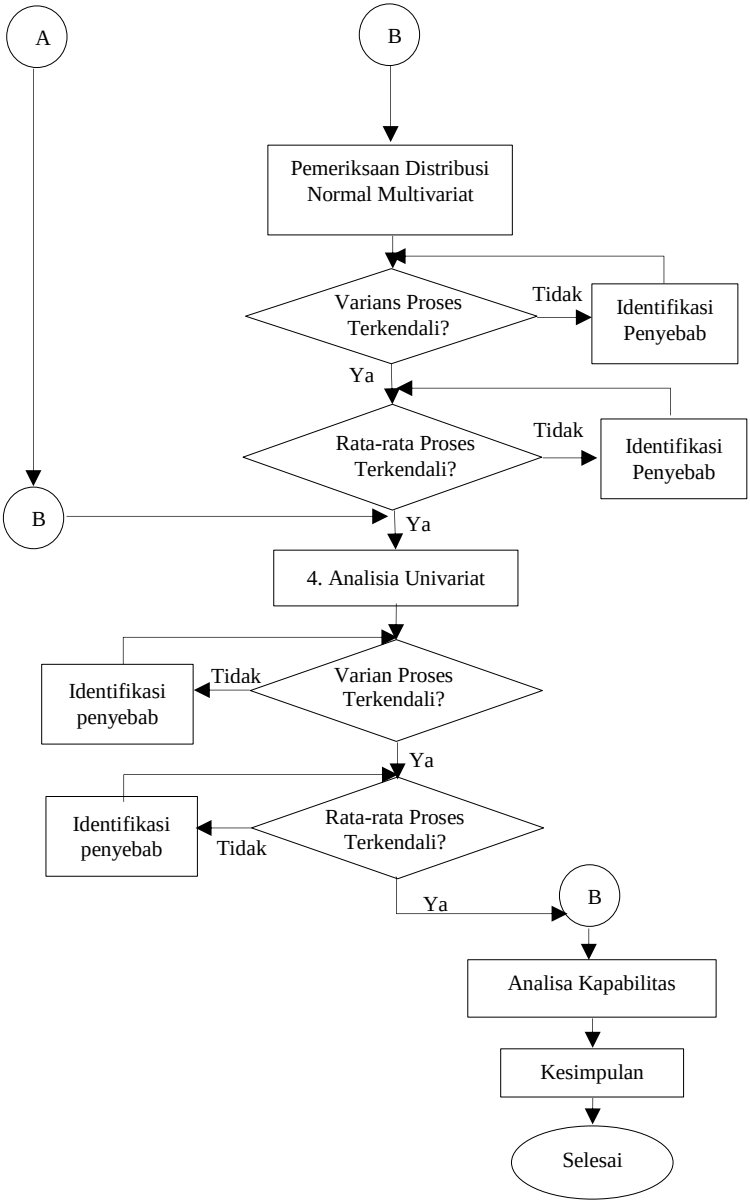
5. Deteksi sinyal *out of control* dengan *principal component analysis*.

e. Analisis kapabilitas proses untuk mengatahui apakah proses *finish mill* telah kapabel.

f. Menginterpretasikan, Kesimpulan dan saran.

Langkah analisis di atas dapat digambarkan pada diagram alir berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Variabel penyusun semen OPC dalam proses produksi semen di PT. Semen Indonesia memiliki hubungan yang erat secara konsep persemenan. Pada BAB IV akan dilakukan pengujian yang menunjukkan suatu pola hubungan secara statistik. Seperti yang telah diketahui pada BAB sebelumnya, bahwa ada total 16 variabel yang secara konsep persemenan berpengaruh terhadap kuat tekan selama 28 hari. Pada BAB IV ini nantinya akan dilakukan *monitoring* variabel berdasarkan prioritas terbaik secara statistik. Setelah itu dilakukan pengujian dependensi antar variabel terpilih berdasarkan prioritas secara statistik yang menunjukkan hubungan antar senyawa penyusun semen OPC tersebut satu sama lain.

Pengendalian kualitas statistika secara univariat sangat dibutuhkan dalam penelitian kali ini karena memiliki fungsi deteksi *out of control* menggunakan data asli. Data asli ini tentu menunjukkan variabel mana yang memiliki proses tidak terkendali secara univariat dengan mudah baik secara visual maupun matematis. Adapun fungsi dari diagram kendali multivariat dalam penelitian ini agar mampu mendeteksi suatu pergeseran proses secara multivariat (bersama-sama) dalam proses yang bersamaan. Selain itu pergeseran pada pengendalian kualitas secara multivariat akan menunjukkan dan mempertegas deteksi *out of control* yang telah dilaukan pada diagram kendali univariat.

Pada penelitian ini akan dilakukan *monitoring* kualitas pada fase 1 dengan 111 data pada periode Januari hingga Juli 2014 dan fase 2 sebanyak 44 data yaitu pada bulan Agustus sampai Desember 2014.

4.1 Deskripsi Kualitas Kandungan Semen OPC

Sebelum melakukan tahap pengendalian kualitas proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia, Tuban terlebih dahulu dilakukan analisa secara deskriptif masing-masing

variabel penyusun semen. Semen OPC dikatakan layak untuk diproduksi jika pada data proses yang terbentuk, rata-rata dari proses produksi sudah memenuhi batas spesifikasi atas dan bawah yang telah ditetapkan oleh PT. Semen Indonesia. Tabel 4.1 berikut ini merupakan deskripsi kualitas masing-masing variabel penyusun Semen OPC di PT. Semen Indonesia.

Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas

Variabel	Rataan	Varians	Min	Maks
Al_2O_3	5,8049	0,0678	4,9505	6,57
CaO	64,116	0,453	62,043	64,99
C_4AF	10,651	0,0454	10,162	11,272
LOI	4,0028	0,2147	3,24	5,03
SiO_2	19,425	0,147	17,288	21,13
MgO	1,5601	0.0187	1,1651	1,87
Fe_2O_3	3,3714	0,00528	3,1926	3,5593
SO_3	1,8769	0,0119	1,61	2,09
C_3Sc	59,916	100,349	11,883	90,453
C_2S	13,196	72,941	-11,016	62,911
C_3A	10,083	0,697	6,161	14,405
FL	1,1084	0,2784	0,11	2,91
Insol	1,4856	1,2154	0,18	5,47
Ekspansi	0,06508	0,00271	-0,0436	0,3996
Mesh	94,602	6,412	82,57	97,9
Blaine	330,34	322,06	284	392

Rata-rata kandungan senyawa kimia yang terbentuk pada proses penggilingan akhir telah memenuhi spesifikasi secara deskriptif. Senyawa kimia tersebut adalah CaO dengan nilai rata-rata sebesar 64,116% dengan batas spesifikasi atas yang telah ditetapkan oleh PT. Semen Indonesia adalah 65,25% dan batas spesifikasi bawah 62,25%. Adapun nilai MgO, SiO_2, Al_2O_3, SO_3 dan Fe_2O_3 dinyatakan *in control* secara deskriptif karena nilai rata-rata kelima senyawa tersebut tidak memlebihi batas atas dan batas bawah batas spesifikasi.

Nilai rata-rata kandungan modulus yang terbentuk dari senyawa kimia yaitu variabel C_4AF adalah sebesar 10,651%. Hal tersebut berarti telah memenuhi batas spesifikasi atas sebesar 11,45% dan batas spesifikasi bawah 9,55%. Variabel C_4AF secara rata-rata dianggap telah memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh PT. Semen Indonesia. Kemudian variabel C_3A dengan nilai 10,083% telah memenuhi batas spesifikasi atas dan bawah masing-masing sebesar 11,45% dan 9,45%. Hal tersebut juga terjadi pada variabel C_2S dan C_3Sc yang telah memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan.

Nilai rata-rata variabel yang merupakan kandungan tingkat kehalusan, kekasaran dan berat yang hilang diwakili oleh Insol sebesar 1,4856% dan LOI dengan nilai 4,0028%. Kedua variabel tersebut telah memenuhi batas spesifikasi yang telah diterangkan di BAB III. Adapun variabel FL, Mesh, Ekspansi dan Blaine secara berturut-turut dengan nilai rata-rata sebesar 1,1084%, 94,602%, 0,06508% dan 330,34 m2/gram telah memenuhi batas spesifikasi atas dan bawah masing-masing senyawa tersebut.

Sementara itu untuk nilai variansi dari 16 variabel penyusun Produk Semen OPC menunjukkan seberapa besar atau kecil variansi data yang terbentuk dari masing-masing variabel. Senyawa Ekspansi memiliki variansi data yang paling kecil dengan nilai 0,00271, sedangkan variabel Blaine memiliki tingkat variansi yang sangat besar dengan angka 322,06. Hal tersebut menunjukkan variabel Blaine memiliki tingkat homogenitas yang rendah jika dibandingkan dengan variabel-variabel lainnya.

Nilai rata-rata yang memberikan informasi mengenai lolos atau tidaknya variabel-variabel di atas pada batas spesifikasi yang telah ditetapkan oleh PT. Semen Indonesia bisa dipertegas dengan adanya interpretasi nilai minimum dan maksimum agar mengetahui variabel mana saja yang memiliki data di luar batas spesifikasi. Berdasarkan Tabel 4.1, Variabel CaO, MgO, SiO_2, C_4AF, Blaine, Al_2O_3, Fe_2O_3, C_3Sc, FL dan Mesh merupakan senyawa yang telah memenuhi batas spesifikasi atas maupun bawah jika ditinjau dari nilai maksimum dan minimum. Adapun variabel C_3A merupakan satu-satunya variabel yang tidak

memenuhi batas spesifikasi atas maupun bawah yang telah ditetapkan oleh PT. Semen Indonesia. Sementara itu variabel Insoluble, LOI, C_2S, dan Ekspansi merupakan senyawa yang tidak memenuhi batas spesifikasi atas. Sedangkan variabel SO_3 merupakan senyawa dengan batas minimum yang tidak lolos batas spesifikasi perusahaan.

4.2 Seleksi Variabel Utama Penyusun Semen OPC

Dalam melakukan *monitoring* pada proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia, Tbk tentu harus ada variabel yang menjadi prioritas dalam penelitian. Hal ini tentu dilakukan untuk mengefisensi dan mempermudah kinerja perusahaan dalam melakukan pengamatan terhadap proses produksi. Banyak metode seleksi variabel dalam statistika, namun pada penelitian kali ini akan dilakukan seleksi terhadap variabel-variabel penyusun dengan menggunakan metode *Backward Regression*. Penentuan metode ini tentu tidak terlepas dari variabel pembentuk Semen OPC yang selalu berpengaruh pada Kuat Tekan selama 28 hari setelah proses tersebut dilakukan.

Secara keseluruhan terdapat 16 karakteristik kualitas penyusun semen OPC, yaitu CaO, MgO, SO_3, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO2, C_3Sc, C_2S, C_3A, C_4AF, FL, Insol, LOI, Ekspansi, Mesh, dan Blaine. Variabel-variabel penyusun tersebut satu sama lain saling berpengaruh secara konsep persemenan. Namun dalam statistika dan juga bidang *industrial engineering* diperlukan suatu prioritas dari susunan variabel-variabel tersebut untuk memudahkan dan mengefisensi proses analisis tanpa harus menyalahi suatu aturan dalam bidang keilmuan. Pada penelitian ini, variabel yang digunakan hanyalah variabel utama yang paling memengaruhi Kuat Tekan 28 Hari Semen OPC. Seleksi variabel tersebut dilakukan dengan menggunakan metode *Backward.* Metode *Backward* adalah salah satu metode regresi dengan mengeliminasi variabel prediktor secara mundur. Berikut merupakan hasil eliminasi dengan metode *Backward.*

Tabel 4.2 Seleksi Variabel Penyusun Semen OPC

Model	*Variables Entered*	*Variables Removed*	*Method*
1	Blaine, Al_2O_3, Ekspansi, LOI, C_4AF, CaO, MgO, Mesh, C3Sc, SO3, SiO2, FL, Fe_2O_3, Insol, C_3A, C_2S		*Enter*
2		SO_3	*Backward*
3		Mesh	*Backward*
4		SiO_2	*Backward*
5		Ekspansi	*Backward*
6		C_4AF	*Backward*
7		Blaine	*Backward*
8		Al_2O_3	*Backward*
9		MgO	*Backward*

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa pada awal model, semua variabel digunakan, kemudian dengan menggunakan metode *backward regression*, variabel pertama yang tereliminasi adalah variabel SO_3, selanjutnya adalah variabel Mesh, dan seterusnya. Variabel yang tersisa adalah variabel LOI, CaO, C_3Sc, FL, Fe_2O_3, Insol, C_3A, C_2S. Oleh karena itu, kedelepan variabel tersebut merupakan variabel penyusun yang paling memengaruhi Kuat Tekan Semen OPC 28 hari. Berikut merupakan tabel ANOVA dari regresi ke-delapan variabel prediktor tersebut dengan variabel respon Kuat Tekan 28 hari.

Tabel 4.3 Tabel ANOVA Variabel Utama Penyusun Semen OPC

	Sum of Squares	***df***	***Mean Square***	***F***	***Sig.***
Regression	87370,035	8	10921,254	11,169	0
Residual	142756,185	146	977,782		
Total	230126,219	154			

Statistik uji F dari Tabel 4.3 menunjukkan nilai sebesar 11,169, dengan *alpha* 5% dimana nilai tersebut lebih besar dari F tabel sebesar 2,00, selain itu *p-value* sebesar 0,000 dimana nilai tersebut kurang dari *alpha* menunjukkan bahwa variabel LOI, CaO, C_3Sc, FL, Fe_2O_3, Insol, C_3A, dan C_2S secara bersama-sama memiliki pengaruh signifikan terhadap Kuat Tekan Semen OPC 28 hari. Untuk melihat bagaimana pengaruh secara parsial tiap variabel terhadap Kuat Tekan Semen OPC 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Uji Parsial Variabel Utama Penyusun Semen OPC

	Unstandardized Coefficients		**Standardized Coefficients**	**T**	**Sig.**
	B	**Std. Error**	**Beta**		
(Constant)	-1424.870	322.788		-4.414	.000
CaO	15.569	6.125	.271	2.542	.012
LOI	-10.423	5.928	-.125	-1.758	.081
Fe_2O_3	97.008	42.228	.182	2.297	.023
C_3Sc	5.514	3.140	1.429	1.756	.081
C_2S	5.232	3.154	1.156	1.659	.099
C_3A	9.611	5.249	.208	1.831	.099
FL	28.427	13.902	.388	2.045	.043
Insol	-26.378	7.730	-.752	-3.412	.001

Berdasarkan Tabel 4.4, terlihat bahwa dengan *alpha* 5% dari delapan variabel yang ada, hanya 4 variabel yang signifikan berpengaruh terhadap Kuat Tekan Semen OPC 28 hari, yaitu variabel CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol dengan *p-value* masing-masing sebesar 0,012, 0,023, 0,043, dan 0,001. Oleh karena itu,

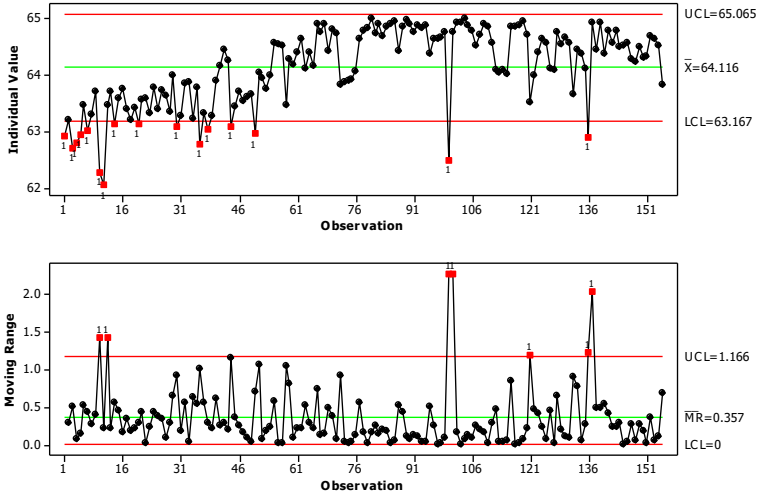
pada penelitian ini, hanya akan dilakukan monitoring variabilitas dan *mean* proses pada variabel CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol yang merupakan karakteristik kualitas utama penyusun Semen OPC.

4.3 Pengendalian Kualitas secara Univariat dengan Diagram Kendali $I - \overline{MR}$

Pengendalian kualitas pada penenlitian ini dilakukan dengan memonitoring proses secara univariat dan multivariat. Sebelum melakukan *monitoring* proses secara multivariat, maka perlu dilakukan monitoring kestabilan proses secara univariat terlebih dahulu.

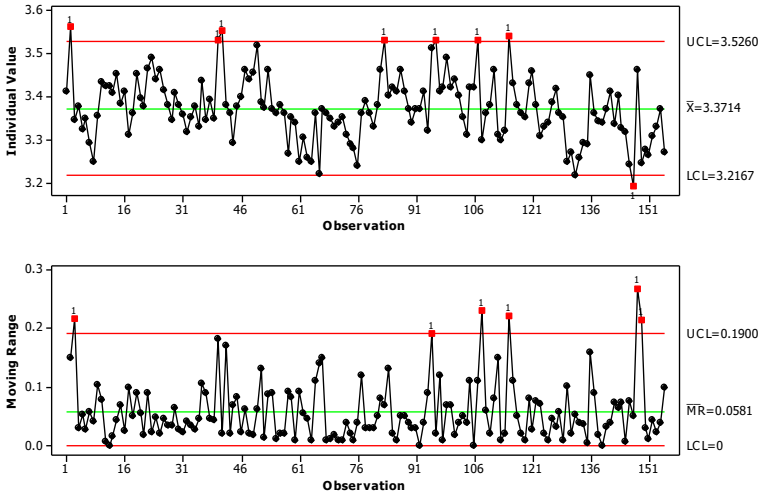
Pada Lampiran G, Histogram variabel CaO mengalami *skewness* kiri yang artinya secara visual data dari variabel tersebut tidak mengikuti distribusi normal. Peta kendali univariat yang dikembangkan oleh konsep *confident interval* distribusi normal tentu kurang tepat untuk diterapkan pada variabel CaO. Hal tersebut karena asumsi normal dari variabel CaO tidak terpenuhi dan akan menyebabkan adanya proses di luar batas kendali.

Monitoring proses secara univariat digunakan untuk mengetahui kestabilan proses berdasarkan masing-masing karakteristik kualitas dengan menggunakan diagram kendali $I - \overline{MR}$. Sehingga dari keempat variabel karakteristik kualitas, dapat diketahui variabel mana yang paling banyak mengalami kecatatan. Hal ini akan menjadi rekomendasi untuk PT. Semen Indonesia dalam deteksi awal proses produksi Semen OPC. Diagram kendali univariat juga dapat menginterpretasikan titik *out of control* secara univariat yang menjawab permasalahan pada diagram kendali multivariat. *False alarm* pada diagram kendali univariat akan dijadikan evaluasi bagi perusahaan dalam melakukan proses produksi, adapun batas kendali yang telah terbentuk akan menjadi acuan standar dalam menjalankan proses produksi.



Gambar 4.1 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ Variabel CaO

Gambar 4.1 merupakan diagram kendali $I - \overline{MR}$ untuk variabel CaO. Dapat dilihat jika pada diagram kendali *MR* dengan nilai tengah 0,357, batas kendali atas (BKA) sebesar 1,166, dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0, terdapat 7 observasi yang berada diluar BKA 3 sigma, sehingga berdasarkan varians proses, karakteristik kualitas CaO belum terkendali secara statistik. Untuk diagram kendali *I* dengan nilai tengah sebesar 64,116, BKA sebesar 65,065, dan BKB sebesar 63,167 terlihat bahwa terdapat 16 titik pengamatan yang berada di luar nilai BKB. Sehingga berdasarkan *mean* proses, karakteristik CaO juga belum terkendali secara statistik. Selain itu, masih banyak titik pengamatan baik di diagram kendali *MR* ataupun *I* yang melanggar 10 aturan Shewhart lainnya, contohnya masih banyak titik-titik pengamatan *in control* yang mendekati batas 3 sigma. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa dari diagram kendali $I - \overline{MR}$ yang terbentuk menunjukkan proses belum terkendali secara statistik.



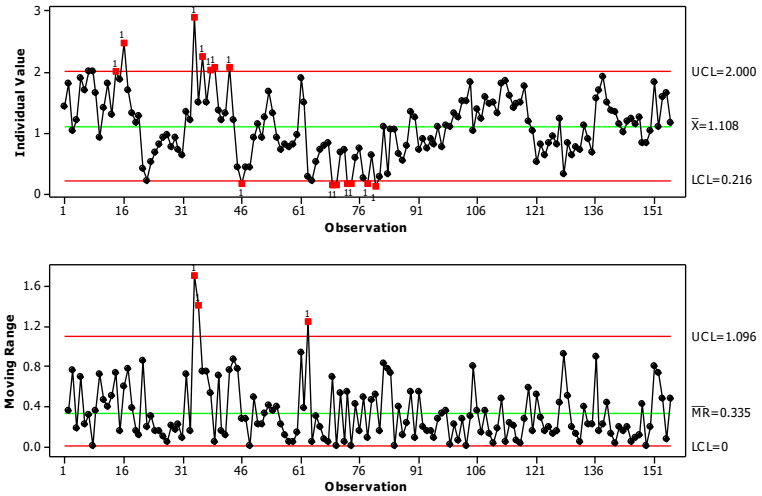
Gambar 4.2 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ variabel Fe_2O_3

Pengendalian kualitas selanjutnya dilakukan pada variabel Fe_2O_3 seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Sebelum dilakukan pengendalian, terlebih dahulu dilakukan pengamatan terhadap histogram variabel Fe_2O_3 pada Lampiran H. Adapun secara visual, histogram menunjukkan pola berdistibusi normal.

Berdasarkan Gambar 4.2, untuk diagram kendali *MR* terlihat bahwa nilai tengah yang dihasilkan adalah sebesar 0.0581, dimana BKA yang diperoleh sebesar 0,1900 dan BKB sebesar 0. Diagram kendali *MR* tersebut menunjukkan bahwa masih terdapat 6 titik yang *out of control* melebihi BKA. Untuk diagram kendali *I*, terlihat bahwa dengan nilai tengah 3,3714, BKA sebesar 3,5260, dan BKB sebesar 3,2167, terlihat terdapat 7 titik melebihi BKA, dan 1 titik melebihi BKB. Selain itu jika merujuk pada 10 aturan shewhart, masih banyak terjadi pelanggaran aturan shewhart pada diagram kendali *MR* ataupun *I* tersebut, sehingga diagram kendali $I - \overline{MR}$ menunjukkan bahwa proses tersebut belum terkendali secara statistik, namun jika dilihat, *out of control* pada diagram kendali $I - \overline{MR}$ variabel Fe_2O_3 tersebut

masih jauh lebih sedikit dibandingan diagram kendali $I - \overline{MR}$ variabel CaO.

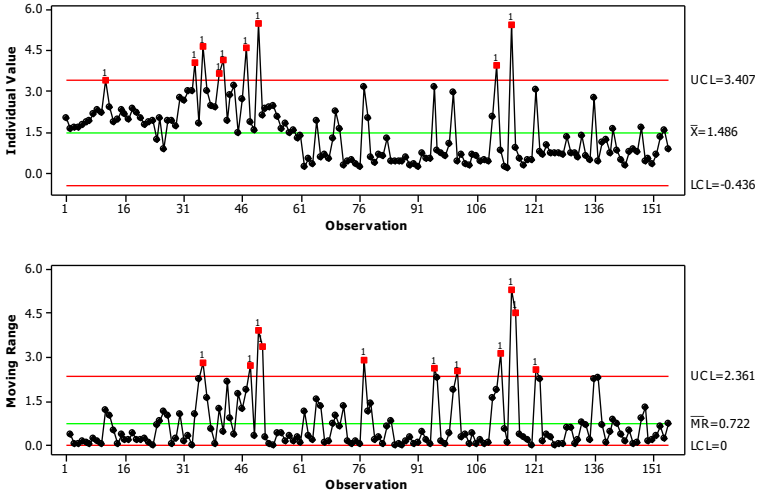
Selanjutnya dilakukan monitoring variabilitas dan *mean* proses pada variabel FL, dimana pada Lampiran I terlihat pola berdistribusi normal pada FL. Hal tersebut tentu sudah sesuai dengan asumsi yang diperlukan dalam diagram kendali univariat. Gambar 4.3 berikut merupakan diagram kendali $I - \overline{MR}$ variabel FL.



Gambar 4.3 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ Variabel FL

Monitoring variabilitas proses pada variabel FL dapat dilihat pada diagram kendali *MR* di Gambar 4.3, terlihat bahwa dengan nilai tengah 0,335, BKA sebesar 1,096, dan BKB sebesar 0, terdapat 3 variabel yang berada di luar nilai BKA. Untuk diagram kendali *I*, menunjukkan monitoring *mean* proses pada variabel FL. Berdasarkan Gambar 4.3 terlihat bahwa diagram kendali *I*, dengan nilai tengah 1,108, BKA sebesar 2,000, dan BKB sebesar 0,216, terdapat 7 titik pengamatan yang berada di luar nilai BKA dan 7 titik pengamatan di luar nilai BKB. Selain itu, ada beberapa aturan shewhart lainnya yang masih di langgar pada diagram kendali *MR* maupun *I*, sehingga dapat dikatakan bahwa proses

belum terkendali secara statistik. Secara keseluruhan, jumlah titik pengamatan yang *out of control* pada diagram kendali $I - \overline{MR}$ variabel FL tidak jauh berbeda dengan diagram kendali $I - \overline{MR}$ variabel Fe_2O_3.



Gambar 4.4 Diagram Kendali $I - \overline{MR}$ Fase 2 Variabel Insol

Pengendalian kualitas proses terakhir dilakukan untuk variabel Insol. Pada Lampiran J, histogram Insol secara visual menunjukkan bahwa terjadi kemiringan ke kanan dan pola tidak membentuk distribusi normal. Hal tersebut sebagai salah satu rujukan kepada perusahaan bahwa pada variabel Insol, data tidak mengikuti distribusi normal dan memiliki resiko konsumen yang cukup besar jika diterapkan pada diagram kendali univariat.

Monitoring variabilitas proses dapat dilihat pada diagram kendali *MR* pada Gambar 4.4, terlihat bahwa dengan nilai tengah sebesar 0,722, BKA sebesar 2.361, dan BKB sebesar 0, terdapat 11 titik pengamatan yang berada di luar nilai BKA. Sedangkan untuk *mean* proses dapat dilihat pada diagram kendali *I*, terlihat bahwa dengan nilai tengah 1,486, BKA 3,407, dan BKB sebesar -0,436, terdapat 9 titik pengamatan yang berada di luar nilai BKA. Selain itu, masih banyak terdapat titik-titik pengamatan pada

diagram kendali *MR* dan *I* yang melanggar aturan shewhart lainnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa variabilitas dan *mean* proses belum terkendali secara statistik. Secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa diagram kendali $I-\overline{MR}$ pada variabel Insol menunjukkan titik *out of control* yang lebih banyak daripada variabel FL ataupun Fe2O3, namun masih jauh lebih banyak titik *out of control* pada diagram kendali $I-\overline{MR}$ variabel CaO. Sehingga dapat dikatakan bahwa dari keempat variabel penentu karakteristik kualitas semen OPC, variabel CaO, merupakan variabel yang prosesnya paling tidak stabil jika ditinjau dari *mean* proses sedangkan variabilitas proses menunjukkan bahwa Insol merupakan senyawa yang paling berpengaruh pada proses *out of control*.

4.4 Pengendalian Kualitas secara Multivariat

Pengendalian kualitas secara multivariat perlu dilakukan setelah pengendalian kualitas dengan pendekatan univariat. Hal tersebut dikarenakan secara teori, keempat variabel yang menjadi karakteristik kualitas Semen OPC, yaitu CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol saling berhubungan satu sama lain, sehingga perlu adanya monitoring proses secara bersama-sama (multivariat) dari keempat variabel tersebut.

4.4.1 Pemeriksaan Dependensi Kandungan Semen OPC

Karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini ada empat yaitu kandungan CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol, sehingga untuk memeriksa apakah keempat variabel tersebut saling dependen digunakan pengujian Barlett. Berdasarkan persamaan 2.17 dari data pada Lampiran A, didapatkan nilai *Chi-Square* seperti pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Uji Barlett Variabel Penyusun Semen OPC

Approx. Chi-Square	Df	Sig.
106.745	6	.000

Nilai *Chi-Square* yang didapatkan dari Tabel 4.5 sebesar 106,745, dengan menggunakan alpha 5%, didapatkan *Chi-Square* tabel sebesar 12,592, selain itu didapatkan *p-value* sebesar 0,000.

Nilai tersebut menunjukkan korelasi antara CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol. Secara konsep maupun pengujian secara statistik, dapat disimpulkan bahwa keempat variabel tersebut saling berhubungan satu sama lain, sehingga perlu dilakukan pengendalian kialitas proses secara multivariat.

4.4.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

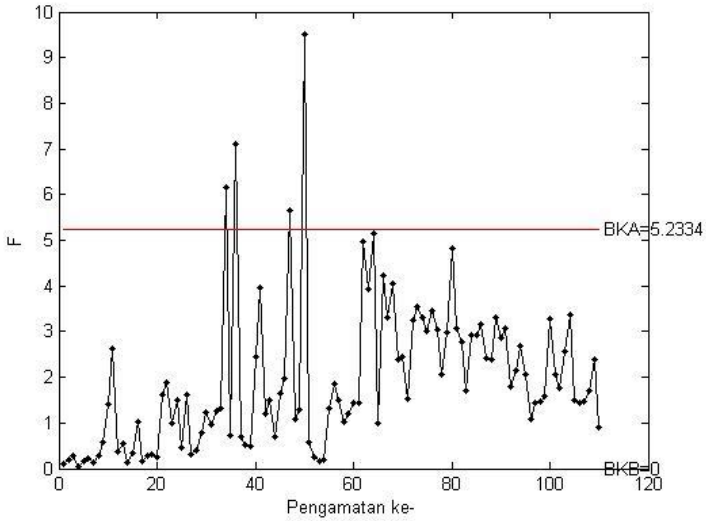
Pemeriksaan asumsi normal multivariat dilakukan pada keempat karakteristik kualitas yaitu CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol. Sesuai langkah-langkah yang ada pada subbab 2.2.2, didapatkan jarak d_i^2 yang lebih besar dari $\chi^2_{0,5,4}$ sebesar 0.548387. Nilai ini berada di sekitar 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas berdistribusi normal multivariat. Selain itu, untuk meyakinkan bahwa data berdistribusi normal multivariat dapat dilihat pada Lampiran D. Titik-titik pada diagram pencar tersebar mendekati garis lurus, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa secara visual, data karakteristik kualitas pakan ternak G 11 S *Crumble* mengikuti pola persebaran normal multivariat. Untuk lebih memastikan lagi dilakukan perbandingan antara koefisien korelasi dari d_j^2 dan q_i dengan *critical point*. Nilai korelasi antara d_j^2 dan q_i adalah sebesar 0,989. Untuk nilai *critical point* dapat dilihat pada Lampiran E dengan menggunakan *alpha* 1%, karena untuk n=155 tidak ada di tabel pada Lampiran F, maka dilakukan interpolasi seperti pada Lampiran E dan didapatkan *critical point* sebesar 0,98816. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh lebih dari *critical point*, sehingga dapat disimpulkan bahwa data mengikuti distribusi normal multivariat.

4.4.3 Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Semen OPC

Pengendalian kualitas pada penelitian kali ini menggunakan data 4 variabel karakteristik kualitas penyusun semen OPC, yaitu CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol, dimana data tersebut merupakan *individual observation*. Oleh karena itu, digunakan diagram kendali *Improved Generalized Variance* (*Improved* GV) untuk memonitoring variabilitas proses secara bersama pada keempat

variabel penyusun semen OPC tersebut. Penelitian ini menggunakan 2 fase, dimana fase 1 merupakan data bulan Januari-Juli 2014 sebanyak 111 data, dan fase 2 merupakan data bulan Agustus-Desember 2014 sebanyak 44 data.

Gambar 4.5 berikut merupakan diagram kendali Improved GV fase 1.

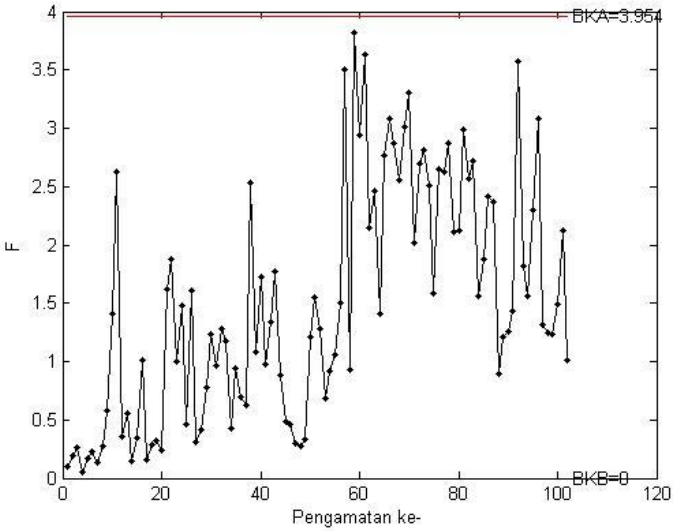


Gambar 4.5 Diagram Kendali *Improved Generalized Variance* Fase 1

Berdasarkan Gambar 4.5, didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 5,2334 dan batas kendali bawah yang pasti selalu 0, dimana dengan batas kendali tersebut, didapatkan 5 titik pengamatan yang berada di luar batas kendali atas. Menurut pemaparan dari seksi Jaminan Mutu PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk beberapa hal dapat disimpulkan menjadi penyebab terjadinya kecacatan pada proses produksi. Penyebab utamanya adalah terjadi masalah pada *endurance* dan keterampilan operator dalam menguasai mesin *finish mill.* Adapun beberapa faktor lain seperti kualitas bahan penyusun dan kebersihan lingkungan produksi juga menjadi sebab-sebab kecacatan proses produksi.

Sehingga dapat dikatakan bahwa secara multivariat, proses belum terkendali secara statistik. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan diagram kendali dengan menghapus titik-titik yang mengalami *out of control*.Titik-titik yang mengalami *out of control* merupakan titik ke-35, 37, 48, dan ke-51.

Setelah melakukan penghapusan data *out of control* pada pengamatan secara multivariat tersebut hasil yang didapatkan adalah seperti Gambar 4.6 berikut ini.

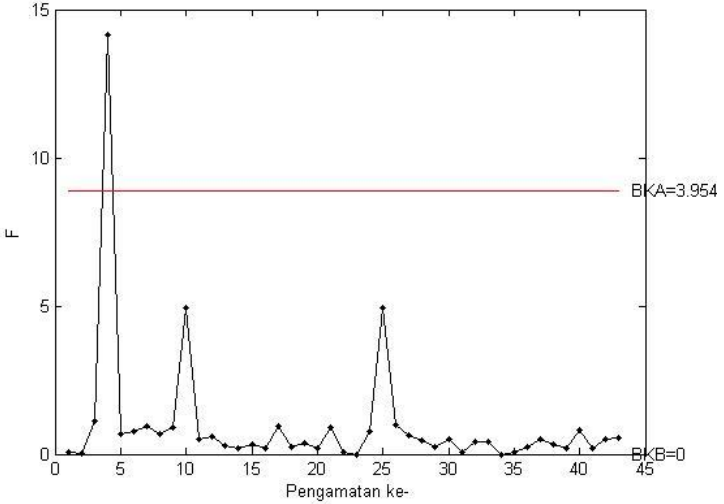


Gambar 4.6 Diagram Kendali *Improved Generalized Variance* Fase 1 yang Telah Terkendali Secara Statistik

Berdasarkan Gambar 4.6, didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 3,954 dan batas kendali bawah yang pasti selalu 0, dimana dengan batas kendali tersebut, tidak lagi didapatkan titik pengamatan yang berada di luar batas kendali atas. Artinya, proses multivariat telah terkontrol secara statistik sehingga dapat dilakukan pengamatan pada 44 data di Fase kedua.

Pengamatan pada fase 2 memberikan informasi mengenai apakah telah terjadi perbaikan proses dari *monitoring* dan

pengendalian kualitas yang telah dilakukan pada fase 1. Adapun batas kendali atas dari fase 2 adalah 3,954 atau sama dengan batas kendali atas pada fase 1 yang telah terkendali. Berikut ini merupakan diagram kendali *Improved Generalized Variance* fase kedua.



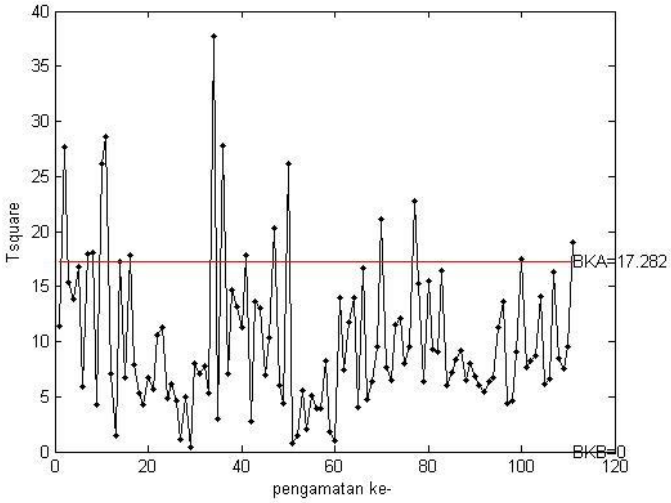
Gambar 4.7 Diagram Kendali *Improved Generalized Variance* Fase 2

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa tidak terjadi perbaikan proses pada 44 data di fase 2. Hal ini dapat terlihat dari masih terdapatnya titik *out of control* pada pengamatan ke-4. Proses yang masih belum terkendali secara statistik ini menunjukkan adanya stagnasi perlakuan pada pengendalian variabilitas proses produksi Semen OPC di *finish mill* 7 sehingga proses produksi masih *out of control*. Hal tersebut terjadi karena minimnya perawatan mesin selama bertahun-tahun digunakan, serta terlalu sedikitnya waktu *idle* mesin selama setahun. Seksi Jaminan Mutu menjelaskan bahwa hal tersebut sangat mempengaruhi kinerja proses produksi Semen OPC, karena performa mesin yang kurang baik akan mengakibatkan kecacatan pada proses produksi yang dihasilkan.

4.4.4 Pengendalian *Mean* Proses Produksi Semen OPC

Pengendalian kualitas statistika secara multivariat dengan metode Diagram kendali T^2 Hotelling adalah suatu diagram yang digunakan untuk mengetahui apakah *mean* proses produksi terkendali secara statistik atau tidak. Proses pengamatan dengan *mean* proses dilakukan setelah *monitoring* terhadap variabilitas proses telah dilakukan terlebih dahulu.

Pada penelitian kali ini, pengendalian *mean* proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia Tbk akan berfokus pada 111 data pengamatan di fase 1 dan 44 data di fase kedua.

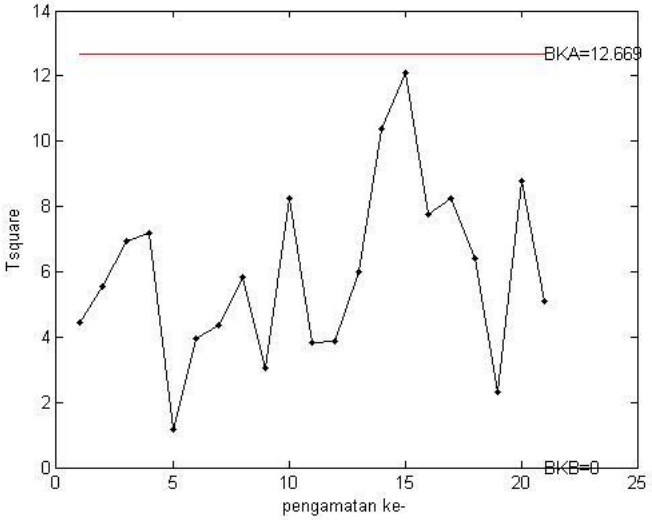


Gambar 4.8 Diagram Kendali T^2 Hotelling Fase 1

Pada fase pertama pengamatan dengan metode T^2 Hotelling didapatkan beberapa titik *out of control* yang mengindikasikan bahwa proses tidak terkendali secara statistik. Dengan batas kendali atas sebesar 17,28 Diagram kendali T^2 Hotelling yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa secara *mean* proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia Tbk *finish mill* 7 tidak terkendali karena terdapat sinyal

out of control. Seksi Jaminan Mutu di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk mengonfirmasi bahwa hal tersebut disebabkan oleh operator dan kualitas bahan penyusun. Sesuai dengan aturan yang dirujuk dari Montgomery (2009), maka pengendalian kualitas dapat kembali dilakukan dengan menghapus titik *out of control* yakni pada titik ke- 2, 7, 8, 10, 11, 16, 34, 36, 41, 47, 50,70,77, 100, dan 111.

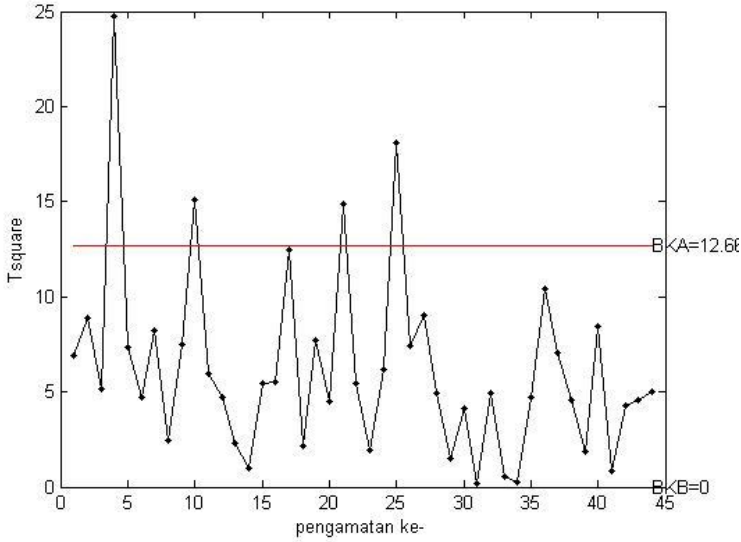
Adapun hasil dari perbaikan proses dengan menghapus beberapa titik di luar batas kendali atas tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 4.9 Diagram Kendali T^2 Hotelling Fase 1 dengan Proses Telah Terkendali

Berdasarkan Gambar 4.9 diagram kendali T^2 Hotelling fase 1 pada proses yang telah dilakukan perbaikan melalui tahapan penghapusan sinyal *out of control* didapatkan batas kendali atas sebesar 12,669. Melalui batas kendali atas tersebut dapat disimpulkan pula bahwa proses sudah terkendali secara statistik, dimana tidak ada lagi titik-titik *out of control* dalam

pengamatan. Selain telah terkendali secara statistik, bahwa *monitoring* terhadap *mean* proses telah terkendali pada fase 1 sehingga dapat dilanjutkan pada fase 2.



Gambar 4.10 Diagram Kendali T^2 Hotelling Fase 2

Pengendalian *mean* proses pada fase 2 yang melibatkan pengamatan pada bulan Agustus sampai Desember 2014 dengan banyaknya 44 data, dapat disimpulkan tidak mengalami perbaikan proses. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10 bahwa dengan batas kendali atas *in control* pada fase sebelumnya, masih terdapat titik *out of control* yang mengakibatkan proses mengalami stagnansi dari fase sebelumnya.

Adanya sinyal *out of control* pada fase 2 pengendalian kualitas *mean* proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia Tbk ini sekaligus mempertegas bahwa pada *finish mill* 7 tidak dilakukan perbaikan perlakuan baik pada variabilitas proses maupun *mean* proses dalam proses produksi nya. Hal ini tentu dapat menjadi perhatian lebih bagi PT. Semen Indonesia

Tbk, Tuban untuk memperketat *monitoring* produksi di setiap musimnya.

4.5 Deteksi Variabel Penyebab *Out of Control* pada Variabilitas Proses

Deteksi variabel utama penyebab *out of control* dapat dilakukan dengan menggunakan metode Principal *Component Analysis* (PCA). Kombinasi linier dari komponen utama dengan nilai eigen terbesar dapat bermanfaat dalam intepretasi data. Variabel dengan bobot tertinggi pada vektor eigennya merupakan variabel dengan kontribusi paling tinggi pada proses yang *out of control*. Pada penelitian ini deteksi variabel penyebab *out of control* dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Tabel Nilai Ekstraksi Masing-Masing Variabel dengan PCA

	Initial	***Extraction***
CaO	1,000	0,652
Fe_2O_3	1,000	0,719
FL	1,000	0,712
Insol	1,000	0,800

Ekstraksi merupakan pemisahan variabel berdasarkan karakteristik terhadap faktor yang terbentuk. Tabel 4.6 merupakan tabel nilai ekstraksi, dimana nilai tersebut menunjukkan proporsi dari variabilitas dan karakteristik keempat variabel asli (CaO, Fe_2O_3, FL, dan Insol) dapat menjelaskan faktor yang terbentuk. Berdasarkan Tabel 4.6 tersebut terlihat bahwa variabel kandungan Insol memiliki nilai ekstraksi tertinggi sebesar 0,800. Hal tersebut menunjukkan bahwa variabel Insol dapat menjelaskan variansi dari komponen yang terbentuk sebesar 80%. Hal ini menunjukkan bahwa variabel Insol memberikan kontribusi terbesar pada proses yang *out of control* pada komponen secara keseluruhan.

Adapun untuk mengetahui komponen yang terbentuk dalam proses *Principal Component Analysis* perlu diketahui nilai *eigenvalue* dari tiap-tiap komponen untuk memudahkan pengelompokkan. Nilai *eigenvalue* akan berguna untuk memisahkan komponen yang menjadi prioritas, atau terpilih dan kompnen yang tidak terpilih.

Tabel 4.7 Tabel Nilai *Eigenvalue* Masing-masing *Principal Component*

PC	Eigenvalue	Proporsi
PC1	1.877541216	0.469
PC2	1.006116618	0.252
PC3	0.780597977	0.195
PC4	0.33574419	0.084

Komponen utama (PC) yang terbentuk merupakan PC dengan dengan nilai eigenvalue lebih dari 1. Terlihat dari Tabel 4.7, hanya PC1 dan PC2 yang memiliki nilai eigenvalue lebih dari 1. Nilai PC1 memiliki nilai eigenvalue 1,877 dengan proporsi variabilitas yang dapat dijelaskan sebesar 46,9%. Sedangkan PC2 memiliki nilai eigenvalue sebesar 1,0006 dengan proporsi variabilitas yang dapat dijelaskan sebesar 25,2%.

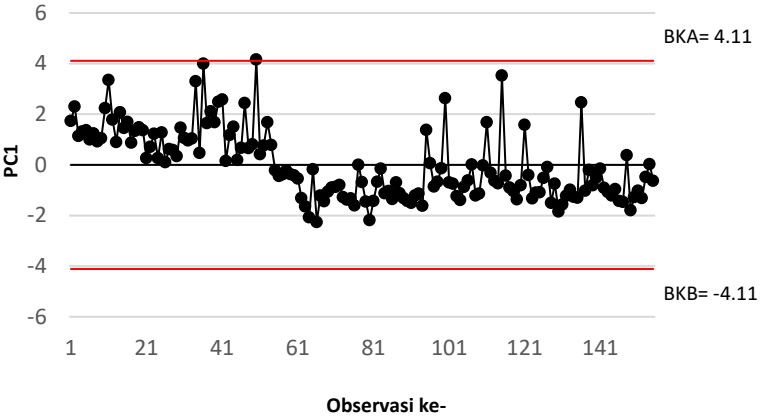
Tabel 4.8 Tabel Proporsi *Principal Component* yang Terbentuk

Variabel	PC1	PC2
CaO	-0.572	0.195
Fe203	0.405	0.639
FL	0.299	-0.736
Insol	0.648	0.111

Berdasarkan Tabel 4.8 nilai proporsi dari komponen yang terbentuk pada PC1 adalah -0,572 untuk variabel CaO, kemudian 0,405 untuk Fe_2O_3, 0,299 untuk variabel FL dan 0,648 untuk Insol. Hal tersebut menunjukkan bahwa variabel Insol memiliki pengaruh pada proses *out of control* terbesar dengan proporsi sebesar 64,8% pada PC1. Pada PC2, variabel Fe_2O_3 merupakan senyawa yang memiliki pengaruh paling besar terhadap proses *out of control* dengan proporsi sebesar 63,9%.

Karena pada PC1 dan PC2 sudah dapat menjelaskan variabilitas dari keseluruhan data sebesar 46,9% dan 25,2% atau senilai 72,1%, dimana nilai tersebut berada di atas 50%, maka dapat dibuat diagram kendali untuk PC1 dan PC2 seperti pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12. Diagram kendali *Principal Component* digunakan untuk mengetahui proses produksi Semen

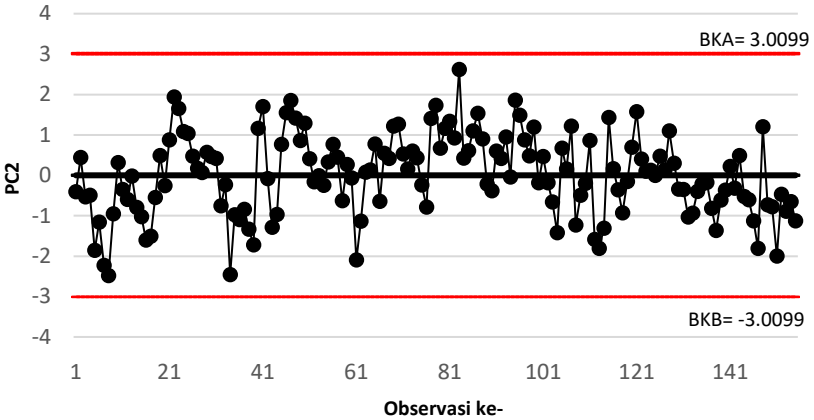
OPC pada komponen dengan proporsi *eigenvalue* terbesar, yakni pada PC1 dan PC2. Berdasarkan Tabel 4.8, variabel Insol merupakan senyawa dengan pengaruh terbesar dalam proses produksi. Artinya, hasil *monitoring* proses yang dilakukan pada diagram kendali *Principal Component* sangat dipengaruhi oleh variabel Insol.



Gambar 4.11 Diagram Kendali *Principal Component 1*

Gambar 4.11 merupakan diagram kendali PC1, dimana dengan nilai batas kendali atas sebesar ±4,11, masih terdapat 1 titik yang mengalami *out of control*, yaitu pada pengamatan ke 50. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan diagram kendali *Principal Component* pada komponen pertama yang terbentuk, proses masih belum terkendali secara statistik. Dapat diartikan pula bahwa pada PC1, dimana variabel yang terbentuk pada komponen ini merupakan varians maksimum dari data masih terdapat titik kecacatan pada produksi.

Adapun diagram kendali pada PC2 dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut ini.



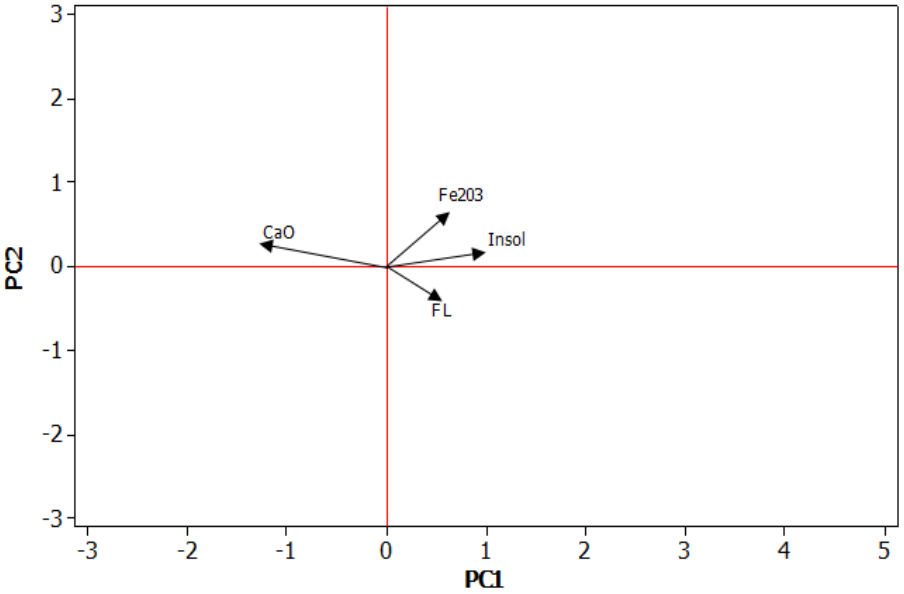
Gambar 4.12 Diagram Kendali *Principal Component 2*

Gambar 4.12 merupakan diagram kendali PC2, dimana dengan nilai batas kendali atas sebesar ±3,0099, sudah terkendali secara statistik. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan diagram kendali *Principal Component* pada komponen kedua yang terbentuk, proses telah terkendali secara statistik.

Variabel yang terbentuk pada PC2, menunjukkan varians maksimum yang belum terhitung pada PC1. Pada komponen kedua proses telah terkendali secara statistik dan menunjukkan bahwa 25,2% keragaman yang diwakili oleh PC2 memang memiliki proporsi yang sesuai karena tidak memiliki proporsi keragaman yang besar seperti pada PC1.

Untuk mengetahui variabel mana yang paling memengaruhi variabilitas proses *Finish Mill* 7, maka digunakan grafik biplot dengan komponen PC1 dan PC2. Total keragamaan yang dapat dijelaskan oleh PC1 dan PC2 sebesar 72,1%. Grafik Biplot adalah suatu grafik yang dapat menggambarkan kedekatakan, keragaman, maupun korelasi antar variabel. Grafik biplot juga dapat menggambarkan keterkaitan antara objek-objek dengan variabel-variabelnya.

Berikut merupakan grafik biplot dari PC1 dan PC2 beserta variabel aslinya (CaO, Fe_2O_3, FL, Insol).



Gambar 4.13 Biplot PC1 dan PC2

Variabel dengan keragaman kecil digambarkan sebagai vektor yang pendek, sedangkan variabel yang ragamnya besar digambarkan sebagai vektor panjang. Berdasarkan Gambar 4.13, terlihat bahwa CaO memiliki vektor terpanjang. Hal tersebut menunjukkan bahwa variabel yang paling memengaruhi keragaman atau variabilitas pada PC1 dan PC2 adalah variabel CaO. Dua observasi dengan karakteristik sama akan digambarkan sebagai dua titik yang posisinya berdekatan seperti yang terlihat pada Gambar 4.13. Sedangkan korelasi antar variabel dapat dilihat dari arah garis masing-masing variabel. Variabel yang berkorelasi positif tinggi memiliki garis dengan arah yang sama atau dua garis tersebut membentuk sudut yang sempit, seperti

variabel Fe_2O_3 dan Insol. Sedangkan variabel yang memiliki korelasi negatif tinggi ditunjukkan dengan garis yang saling berlawanan arah, atau membentuk sudut tumpul, seperti variabel Fe_2O_3, Insol, dan FL yang memiliki korelasi negatif tinggi terhadap variabel CaO. Sedangkan variabel yang saling tidak berkorelasi ditunjukkan dengan garis yang arahnya mendekati 90^0, pada Gambar 4.13 tersebut dapat dilihat bahwa tidak ada variabel yang tidak berkorelasi.

4.6 Deteksi Variabel Penyebab *Out of Control* pada *Mean* Proses

Setelah melakukan deteksi penyebab kecacatan pada variabilitas proses, pada saat pengontroloan *mean* proses jika terjadi sinyal tidak terkendali maka perlu dilakukan identifikasi variabel penyebab terjadinya sinyal tidak terkendali tersebut. PT. Semen Indonesia dapat menerapkan deteksi penyebab *out of control* pada saat *monitoring mean* proses di perusahaan tersebut guna memperbaiki proses yang cacat dengan tepat guna serta memudahkan Seksi Jaminan Mutu untuk mengoptimalkan produksi dari evaluasi yang telah dilakukan.

Ketika terdapat sinyal *out of control* maka direkomendasikan perhitungan dari nilai d_i (i = 1, 2, 3, … , p) dan memfokuskan perhatian pada variabel yang memiliki nilai d_i yang relatif besar. Jika nilai $d_i > x^2_{\alpha,1}$ maka variabel ke-i tersebut adalah penyebab pengamatan *out of control*.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan nilai d_i dengan nilai $x^2_{0.001,1} = 3{,}841$. Jika terdapat nilai d_i yang lebih besar dari $x^2_{\alpha,1}$, maka variabel tersebut merupakan penyebab kecacatan pada diagram kendali multivariat T^2 Hotelling.

Tabel 4.9 Deteksi *Out of Control* dengan Statistik T_i

Observasi ke-	Nilai T_i	Nilai d_i				Variabel Penyebab *Out of Control*
		Insol	FL	Fe_2O_3	CaO	
2	29.61	8.87	5.25	18.46	9.41	Semua Variabel
7	18.77	0.00	7.10	2.19	7.19	FL, CaO
8	19.30	1.23	6.91	6.95	2.59	FL, Fe_2O_3
10	28.52	3.30	0.47	2.01	26.80	CaO
11	31.10	0.10	0.49	0.28	25.11	CaO
16	19.74	0.01	18.37	0.41	0.47	FL
34	42.83	5.81	30.06	1.48	0.73	Insol, FL
36	30.43	4.76	11.32	0.09	4.25	Insol, FL, CaO
41	15.55	4.58	0.08	3.27	1.66	Insol
47	19.01	9.64	5.36	0.08	0.00	Insol, FL
50	24.36	9.10	0.01	0.33	1.62	Insol
70	19.80	7.15	9.81	3.50	6.78	Insol, FL, CaO
77	20.79	11.89	8.03	3.28	6.59	Insol, FL, CaO
100	19.56	0.19	0.26	0.40	16.21	CaO
111	16.27	11.25	0.35	0.02	7.23	Insol, CaO

Tabel 4.9 menunjukkan plot T_i masing-masing observasi dengan nilai d_i yang akan dibandingkan dengan $x^2_{0.001,1} = 3{,}841$. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan bahwa pada observasi ke-2 variabel penyebab kecacatan disebabkan oleh semua variabel karena nilai $d_i > x^2_{\alpha,1}$.

Pengamatan ke-10, 11 dan 100 menunjukkan bahwa variabel CaO merupakan penyebab kecacatan pada observasi tersebut. Pada pengamatan ke-41 dan 50 variabel dengan kontribusi *out of*

control yang paling tinggi adalah Insol. Sementara FL terdapat pada observasi ke-16 sebagai variabel penyebab kecacatan.

Adapun variabel penyebab kecacatan yang terdiri dari Insol, FL dan CaO merupakan kombinasi yang paling sering muncul yakni sebanyak tiga kali pada pengamatan ke-36, 70 dan 77.

Insol dan CaO merupakan variabel yang paling sering muncul sebagai senyawa penyebab kecacatan sebanyak sembilan kali. Sedangkan Fe_2O_3 merupakan variabel yang paling sedikit terdeteksi sebagai penyebab kecacatan dan hanya muncul dua kali dari 15 titik *out of control* pada diagram kendali T^2 Hotelling.

4.7 Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses digunakan untuk mengetahui kinerja proses secara keseluruhan yang diukur dari keseragaman produk yang dihasilkan. Suatu proses dikatakan kapabel ketika produk yang dihasilkan berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan. Indeks yang digunakan untuk mengukur kapabilitas proses dalam penelitian ini adalah P_p dan P_{pk}. Hal ini dikarenakan proses dalam kondisi tidak terkendali secara statistik. Ketika masing-masing nilai tersebut lebih besar dari satu maka dapat dikatakan bahwa proses kapabel.

Perhitungan kapabilitas dilakukan secara univariat dan multivariat. Secara univariat berarti pengukuran kapabilitas proses untuk masing-masing variabel. Sesuai dengan persamaan (2.31) dan (2.34) didapatkan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses secara univariat.

Tabel 4.10 Kapabilitas Proses Secara Univariat

Fase	Variabel	P_p	P_{pk}
Satu	CaO	0.69	0.57
	Fe_2O_3	0.72	0.56
	FL	0.81	0.55
	Insol	0.42	0.4

Berdasarkan hasil perhitungan kapabilitas proses secara univariat pada Tabel 4.9, untuk nilai P_p pada fase satu untuk variabel CaO sebesar 0,69, karena nilai P_p lebih kecil dari satu

maka dapat disimpulkan bahwa kinerja proses tidak memiliki presisi yang baik. Namun, kinerja proses akan lebih baik jika dilihat berdasarkan nilai P_{pk} yang mempertimbangkan tingkat presisi dan akurasi. Nilai P_{pk} untuk kandungan CaO pada fase satu sebesar 0,57. Jika melihat P_{pk} pada fase satu yang lebih kecil dari satu maka dapat disimpulkan bahwa kinerja proses kandungan CaO memiliki tingkat akurasi dan presisi belum berada dalam batas spesifikasi yang ditentukan.

Sementara itu untuk nilai P_p dan P_{pk} fase satu kandungan Fe_2O_3 masing-masing bernilai 0,72 dan 0,56. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada fase satu kinerja proses tidak memiliki presisi dan akurasi yang baik, sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja proses belum kapabel.

Analisis kapabilitas pada fase satu untuk kandungan FL menunjukkan nilai P_p sebesar 0,81. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kinerja proses dengan menggunakan variabel FL tidak memiliki akurasi yang baik. Adapun untuk mengukur nilai presisi dan akurasi pada senyawa FL dapat melihat nilai P_{pk} yang memiliki nilai sebesar 0,55 pada fase satu. Hal tersebut menunjukkan tingkat presisi dan akurasi dari kinerja proses pada kedua fase masih kurang baik.

Kandungan Insol memiliki nilai presisi yang kurang baik jika dilihat dari nilai P_p karena mengacu pada Tabel 4.6 dimana nilai nya adalah 0,42. Dengan nilai tersebut, maka dapat dikatakan bahwa kinerja proses memiliki presisi yang kurang baik. Adapun nilai P_{pk} dari kandungan Insol adalah 0,4. Hal tersebut menunjukkan tingkat akurasi dan presisi pada kandungan Insol masih dikatakan kurang baik.

Selanjutnya dilakukan analisis kapabilitas secara multivariat pada fase satu, dimana kapabilitas dihitung bersama-sama untuk variabel CaO, Fe2O3, FL, dan Insol. Perhitungan secara multivariat dapat dilakukan dengan menggunakan rumus (2.35 dan 2.36) dengan hasil sebagai berikut.

$$\mathrm{MP_p} = \sqrt[4]{0{,}69 \times 0{,}72 \times 0{,}81 \times 0{,}42} = 0{,}641$$

$$MP_{pk} = \sqrt[4]{0{,}57 \times 0{,}56 \times 0{,}55 \times 0{,}40} = 0{,}515$$

Berdasarkan hasil analisis secara multivariat didapatkan nilai MP_p dan MP_{pk} masing-masing sebesar 0,641 dan 0,515, dimana kedua nilai tersebut kurang dari satu. Hal tersebut menunjukkan bahwa secara multivariat kinerja proses memiliki presisi dan akurasi yang kurang baik pada keempat variabel tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses *Finish Mill* 7 dengan menggunakan variabel CaO, Fe2O3, FL, dan Insol belum kapabel.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada BAB IV dapat disimpulkan bahwa seleksi variabel utama pembentuk Semen OPC menghasilkan empat senyawa utama yaitu CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol dengan *p-value* masing-masing sebesar 0,012, 0,023, 0,043, dan 0,001 pada uji parsial dengan menggunakan metode *Backward*.

Setelah dilakukan seleksi variabel, langkah selanjutnya adalah melakukan *monitoring* kualitas produksi Semen OPC dengan diagram kendali univariat, $I - \overline{MR}$. Pada diagram kendali $I - \overline{MR}$ didapatkan kesimpulan bahwa dari keempat variabel utama penyusun Semen OPC tidak ada satu pun senyawa dengan proses terkendali. Insol adalah senyawa dengan jumlah *out of control* terbanyak pada variabilitas proses, sedangkan CaO merupakan variabel dengan pengaruh terbesar pada *mean* proses.

Pada pengamatan dengan menggunakan peta kendali multivariat, *Generalized Variance* dan T^2 Hotelling didapatkan hasil *out of control* pada fase kedua. Pengamatan yang dilakukan dengan diagram kendali *Generalized Variance* menunjukkan bahwa pada fase satu dengan menggunakan 111 data pada bulan Januari hingga Juli 2014, tidak terkendali secara statistik. Kemudian setelah dilakukan *monitoring* kembali dengan menggunakan 107 data pada fase 1, proses telah terkendali secara statistik dengan BKA sebesar 3,954 dan BKB senilai 0. Adapun kedua batas kendali tersebut digunakan kembali pada fase dua dengan 44 data di bulan Agustus hingga Desember 2014. Kesimpulan yang didapat pada fase dua dengan menggunakan BKA dan BKB yang sama dengan fase satu menunjukkan bahwa proses belum terkendali secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa pada variabilitas proses untuk Produk Semen OPC masih belum terkendali secara statistik. Pada pengamatan *mean* proses yang dilakukan dengan menggunakan diagram kendali T^2

Hotelling, didapatkan kesimpulan bahwa pada fase satu proses belum terkendali. Proses terkendali pada fase satu dengan BKA sebesar 12,669 dan BKB = 0. Pada fase dua, proses masih belum terkendali secara statistic karena terdapat titik-titik *out of control*. Hal ini menunjukkan bahwa secara *mean* proses, produksi Semen OPC masih belum terkendali dan tidak mengalami perbaikan proses pada fase kedua.

Deteksi penyebab variabel *out of control* dengan metode PCA menunjukkan bahwa senyawa Insol merupakan variabel dengan nilai ekstraksi tertinggi sebesar 0,800. Artinya Insol mampu menjelaskan faktor yang terbentuk sebesar 80%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Insol memiliki kontribusi terbesar pada proses *out of control* pada penelitian ini. Komponen utama yang terbentuk adalah PC1 dan PC2 dimana pada PC1 yang merupakan komponen dengan proporsi terbesar, Insol merupakan variabel dengan pengaruh terkuat terhadap proses. Adapun diagram kendali PC1 menunjukkan bahwa proses produksi pada komponen pertama yang terbentuk belum terkendali secara statistik. Sedangkan untuk diagram kendali PC2 telah terkendali secara statistik. Sementara itu dengan menggunakan Biplot *analysis*, vektor terpanjang ada pada variabel CaO yang berarti bahwa variabel tersebut merupakan senyawa dengan variabilitas terbesar pada dua komponen yang terbentuk.

Sementara itu untuk analisis kapabilitas secara univariat menunjukkan bahwa keempat variabel utama memiliki tingkat presisi yang tidak terlalu baik. Selain hal tersebut, tingkat presisi dan akurasi dari CaO, Fe_2O_3, FL, dan, Insol juga tidak baik yang ditunjukkan oleh nilai P_p dan P_{pk} yang berada di bawah angka 1. Analisis kapabilitas secara multivariat menghasilkan nilai MP_p dan MP_{pk} masing-masing sebesar 0,641 dan 0,515, dimana kedua nilai tersebut kurang dari satu. Sehingga proses produksi Semen OPC di PT. Semen Indonesia, Tbk tidak kapabel dan perlu suatu perbaikan proses.

5.2 Saran

Saran yang diberikan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya adalah sebagai berikut.

1. PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk perlu melakukan perbaikan proses pengendalian pada produksi Semen OPC. Penentuan BKA dan BKB dari diagram kendali univariat maupun multivariat, serta deteksi *out of control* yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan sekaligus evaluasi untuk proses produksi selanjutnya.
2. Pada penelitian selanjutnya penentuan fase pada proses produksi multivariat sebaiknya didasarkan pada perbaikan yang sudah dilakukan oleh perusahaan.
3. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya pengendalian kualitas secara multivariat dengan *monitoring* pada variabilitas proses dilakukan terlebih dahulu hingga proses terkendali. Kemudian penelitian dapat dilanjutkan dengan melakukan pengendalian kualitas terhadap *mean* proses dengan data yang telah terkendali saat *monitoring* variabilitas proses.
4. Perlu adanya kalibrasi dan waktu *idle* mesin yang ideal untuk menunjang kinerja *finish mill* agar dapat beroperasi secara optimal setiap tahun. Perlu adanya *monitoring* terhadap keterampilan operator dalam mengendalikan mesin penggilingan, serta peningkatan daya tahan tubuh pekerja saat proses penggilingan berlangsung.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, F. (2012). Pengendalian Kualitas Statistik Produk Semen. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*.

Box, G. E., & Kramer, T. (1992). Statistical Process Monitoring and Feedback Adjustment - A Discussion. *Technometrics*, 251-257.

Djauhari, M. A. (2010). A Multivariate Process Variability Monitoring Based on Individual Observation. *Modern Applied Science*, 91-96.

Draper, N. R. and Smith, H. (1992). *Applied Regression Analysis, Second Edition.* New York: John Wiley and sons, Inc.

El-Reedy, & Mohammed, A. (2013). *Concrete and Steel Construction.* Cairo: CRC Press.

Garvin, D. A. (2001). *Managing Quality.* Harvard: Harvard Business School.

Gaspersz, V. (2002). *Total Quality Management.* Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Gemert, V. D., Czarnecki, L., Lukowski, P., & Krapen, E. (2004). *Cement Concrete and Concrete Polymer Composites.* Brussels: Catholic Universiti Leuven.

Heizer, J., & Render, B. (2006). *Operation Management Eight Edition.* New Jersey: Pearson Education Inc.

Jacob, J., & Kilduff, T. (2005). *Engineering Materials Technology.* New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Johnson, R., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis Sixth Edition.* New Jersey: Prentice Hall Inc.

Kementerian Keuangan RI. (2017). kemenkeu.go.id diakses pada tanggal 27 Januari 2017.

Kurnia, J. D. (2013). Analisis Kapabilitas Proses Produksi MSG di PT. Ajinomoto Indonesia. *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 1.

Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition.* New York: John Wiley and Sons : Arizona State University.

Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods* (3rd ed.). New Jersey, USA: McGraw-Hill, Inc.

Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Penerbit ANDI.

Oyeyemi, G. M. (2011). Principal Component Chart for Multivariate Statistical Process Control. TOJSAT: The Online Journal of Science and Technology, Vol. 1, No. 2, 22-31.

PT. Semen Indonesia. (2015) . m.semenindonesia.com diakses pada tanggal 27 Januari 2017.

Rao, O. R., Subbaiah, K. V., Rao, K. N., & Rao, T. S. (2013). Application of Multivariate Control Chart for Improvement in Quality of Hotmetal - A Case Study. *International Journal for Quality Research*, 623-640.

Tjokrodimulyo, K. (1996). *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Nafiri.

Wignjosoebroto, S. (1993). *Pengantar Teknik Industri.* Jakarta: PT. Guna Widya.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Kualitas Produk Semen OPC *Finish Mill 7*

Pengamatan ke-	CaO	Fe203	FL	Insol	Kuat Tekan 28
1	62.9186	3.411	1.44	2.03	333
2	63.2084	3.5593	1.80	1.65	340
3	62.6966	3.3441	1.04	1.70	306
4	62.782	3.3751	1.22	1.67	323
5	62.9387	3.323	1.91	1.80	311
6	63.4582	3.3495	1.69	1.89	295
7	63.0174	3.2911	2.00	1.93	320
8	63.2878	3.25	2.00	2.17	324
9	63.6874	3.3541	1.65	2.31	298
10	62.2636	3.4316	0.93	2.24	295
11	62.0434	3.4244	1.40	3.42	299
12	63.4624	3.4245	1.80	2.41	339
13	63.6878	3.4081	1.29	1.89	359
14	63.1342	3.4526	2.02	1.95	371
15	63.5825	3.3838	1.87	2.34	336
16	63.7435	3.4102	2.47	2.16	302
17	63.3971	3.3106	1.69	1.95	288
18	63.2054	3.3605	1.31	2.38	290
19	63.4186	3.45	1.16	2.21	295
20	63.1173	3.3946	1.27	2.01	304
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
145	64.4978	3.3179	1.23	0.81	385
146	64.5439	3.2431	1.15	0.87	347
147	64.275	3.1926	1.26	0.78	347
148	64.21	3.46	0.84	1.70	347
149	64.4832	3.2459	0.84	0.43	341
150	64.2914	3.2758	1.03	0.56	340
151	64.3111	3.2653	1.83	0.36	331
152	64.6776	3.3079	1.10	0.69	333
153	64.62	3.33	1.58	1.35	371
154	64.5	3.37	1.65	1.59	321
155	63.8084	3.2708	1.17	0.87	347

Lampiran B. Uji Signifikansi Model 16 Variabel dengan Kuat Tekan 28 Hari

Coefficients[a]						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-1338.851	407.029		-3.289	.001
	Al2O3	-17.655	24.253	-.119	-.728	.468
	CaO	14.737	6.368	.257	2.314	.022
	C4AF	-19.276	19.392	-.106	-.994	.322
	LOI	-10.049	6.739	-.120	-1.491	.138
	SiO2	-5.600	9.420	-.056	-.595	.553
	MgO	-27.947	20.823	-.099	-1.342	.182
	Fe2O3	159.508	63.548	.300	2.510	.013
	SO3	-4.735	29.168	-.013	-.162	.871
	C3Sc	6.614	3.573	1.714	1.851	.066
	C2S	6.215	3.671	1.373	1.693	.093
	C3A	16.562	8.864	.358	1.868	.064
	FL	29.413	15.313	.401	1.921	.057
	Insol	-28.734	8.250	-.819	-3.483	.001
	Ekspansi	40.797	54.567	.055	.748	.456
	Mesh	.233	1.112	.015	.210	.834
	Blaine	.160	.177	.074	.902	.368
2	(Constant)	-1366.370	368.748		-3.705	.000
	Al2O3	-17.549	24.159	-.118	-.726	.469

	CaO	14.895	6.272	.259	2.375	.019
	C4AF	-19.180	19.315	-.106	-.993	.322
	LOI	-9.711	6.388	-.116	-1.520	.131
	SiO2	-5.471	9.354	-.054	-.585	.560
	MgO	-28.386	20.575	-.100	-1.380	.170
	Fe2O3	159.373	63.319	.299	2.517	.013
	C3Sc	6.714	3.507	1.740	1.914	.058
	C2S	6.332	3.587	1.399	1.765	.080
	C3A	16.505	8.826	.356	1.870	.064
	FL	29.683	15.169	.405	1.957	.052
	Insol	-28.887	8.168	-.824	-3.537	.001
	Ekspansi	41.202	54.318	.055	.759	.449
	Mesh	.223	1.107	.015	.202	.840
	Blaine	.154	.173	.072	.891	.374
3	(Constant)	-1343.451	349.617		-3.843	.000
	Al2O3	-17.087	23.967	-.115	-.713	.477
	CaO	14.834	6.243	.258	2.376	.019
	C4AF	-18.610	19.042	-.103	-.977	.330
	LOI	-9.867	6.319	-.118	-1.561	.121
	SiO2	-5.603	9.299	-.056	-.603	.548
	MgO	-28.657	20.460	-.101	-1.401	.164
	Fe2O3	158.165	62.819	.297	2.518	.013
	C3Sc	6.695	3.494	1.735	1.916	.057
	C2S	6.316	3.574	1.395	1.767	.079
	C3A	16.420	8.786	.355	1.869	.064
	FL	29.586	15.109	.404	1.958	.052

	Insol	-28.903	8.139	-.824	-3.551	.001
	Ekspansi	40.123	53.869	.054	.745	.458
	Blaine	.165	.165	.076	1.000	.319
4	(Constant)	-1399.892	336.075		-4.165	.000
	Al2O3	-22.116	22.417	-.149	-.987	.326
	CaO	15.423	6.152	.268	2.507	.013
	C4AF	-18.163	18.985	-.100	-.957	.340
	LOI	-9.996	6.301	-.120	-1.586	.115
	MgO	-30.231	20.247	-.107	-1.493	.138
	Fe2O3	154.297	62.349	.290	2.475	.015
	C3Sc	5.808	3.161	1.505	1.837	.068
	C2S	5.322	3.163	1.176	1.683	.095
	C3A	17.424	8.607	.376	2.024	.045
	FL	27.521	14.682	.376	1.874	.063
	Insol	-27.690	7.868	-.790	-3.519	.001
	Ekspansi	41.943	53.663	.056	.782	.436
	Blaine	.185	.161	.086	1.152	.251
5	(Constant)	-1405.312	335.543		-4.188	.000
	Al2O3	-23.411	22.325	-.158	-1.049	.296
	CaO	15.426	6.143	.269	2.511	.013
	C4AF	-18.588	18.951	-.102	-.981	.328
	LOI	-10.263	6.283	-.123	-1.633	.105
	MgO	-29.772	20.211	-.105	-1.473	.143
	Fe2O3	158.512	62.030	.298	2.555	.012
	C3Sc	5.792	3.157	1.501	1.835	.069

	C2S	5.238	3.157	1.157	1.659	.099
	C3A	18.315	8.519	.395	2.150	.033
	FL	29.961	14.327	.409	2.091	.038
	Insol	-28.016	7.847	-.799	-3.570	.000
	Blaine	.176	.160	.082	1.101	.273
6	(Constant)	-1492.467	323.521		-4.613	.000
	Al2O3	-26.053	22.159	-.176	-1.176	.242
	CaO	15.531	6.142	.270	2.529	.013
	LOI	-11.445	6.166	-.137	-1.856	.065
	MgO	-29.086	20.196	-.103	-1.440	.152
	Fe2O3	118.043	46.313	.222	2.549	.012
	C3Sc	6.074	3.143	1.574	1.932	.055
	C2S	5.371	3.153	1.187	1.703	.091
	C3A	20.044	8.334	.433	2.405	.017
	FL	32.270	14.130	.440	2.284	.024
	Insol	-28.561	7.826	-.815	-3.650	.000
	Blaine	.176	.160	.082	1.101	.273
7	(Constant)	-1440.845	320.342		-4.498	.000
	Al2O3	-30.742	21.762	-.207	-1.413	.160
	CaO	16.468	6.087	.287	2.706	.008
	LOI	-12.803	6.046	-.153	-2.118	.036
	MgO	-32.193	20.013	-.114	-1.609	.110
	Fe2O3	121.924	46.213	.229	2.638	.009
	C3Sc	5.569	3.112	1.443	1.789	.076
	C2S	4.933	3.131	1.090	1.576	.117

	C3A	20.514	8.329	.443	2.463	.015
	FL	31.916	14.137	.436	2.258	.025
	Insol	-26.794	7.665	-.764	-3.496	.001
8	(Constant)	-1416.694	320.982		-4.414	.000
	CaO	16.305	6.107	.284	2.670	.008
	LOI	-12.778	6.066	-.153	-2.106	.037
	MgO	-32.886	20.075	-.116	-1.638	.104
	Fe2O3	94.312	42.019	.177	2.244	.026
	C3Sc	5.469	3.122	1.417	1.752	.082
	C2S	5.198	3.136	1.149	1.658	.100
	C3A	11.463	5.340	.248	2.146	.034
	FL	27.499	13.834	.375	1.988	.049
	Insol	-26.394	7.686	-.753	-3.434	.001
9	(Constant)	-1424.870	322.788		-4.414	.000
	CaO	15.569	6.125	.271	2.542	.012
	LOI	-10.423	5.928	-.125	-1.758	.081
	Fe2O3	97.008	42.228	.182	2.297	.023
	C3Sc	5.514	3.140	1.429	1.756	.081
	C2S	5.232	3.154	1.156	1.659	.099
	C3A	9.611	5.249	.208	1.831	.099
	FL	28.427	13.902	.388	2.045	.043
	Insol	-26.378	7.730	-.752	-3.412	.001

a. Dependent Variable: Kuat_Tekan_28_Hari

Lampiran C. *Excluded Variables* (Variabel yang dikeluarkan)

Excluded Variables[a]						
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
2	SO3	-.013[b]	-.162	.871	-.014	.624
3	SO3	-.012[c]	-.152	.880	-.013	.626
	Mesh	.015[c]	.202	.840	.017	.804
4	SO3	-.008[d]	-.098	.922	-.008	.631
	Mesh	.018[d]	.244	.808	.021	.808
	SiO2	-.056[d]	-.603	.548	-.051	.493
5	SO3	-.011[e]	-.134	.893	-.011	.632
	Mesh	.012[e]	.169	.866	.014	.815
	SiO2	-.059[e]	-.646	.519	-.054	.495
	Ekspansi	.056[e]	.782	.436	.066	.800
6	SO3	-.010[f]	-.117	.907	-.010	.633
	Mesh	.001[f]	.020	.984	.002	.834
	SiO2	-.056[f]	-.609	.543	-.051	.496
	Ekspansi	.058[f]	.810	.420	.068	.801
	C4AF	-.102[f]	-.981	.328	-.082	.382
7	SO3	.013[g]	.162	.871	.014	.675
	Mesh	.025[g]	.367	.714	.031	.928
	SiO2	-.074[g]	-.820	.413	-.068	.517
	Ekspansi	.053[g]	.728	.468	.061	.805
	C4AF	-.102[g]	-.980	.329	-.082	.382
	Blaine	.082[g]	1.101	.273	.092	.755
8	SO3	.024[h]	.306	.760	.025	.683

	Mesh	.021[h]	.317	.752	.026	.929
	SiO2	-.108[h]	-1.297	.197	-.107	.605
	Ekspansi	.059[h]	.817	.416	.068	.808
	C4AF	-.119[h]	-1.144	.254	-.095	.388
	Blaine	.099[h]	1.350	.179	.112	.784
	Al2O3	-.207[h]	-1.413	.160	-.117	.194
9	SO3	.014[i]	.182	.856	.015	.686
	Mesh	.034[i]	.510	.611	.042	.943
	SiO2	-.126[i]	-1.525	.129	-.126	.619
	Ekspansi	.054[i]	.748	.456	.062	.810
	C4AF	-.113[i]	-1.085	.280	-.090	.389
	Blaine	.113[i]	1.564	.120	.129	.800
	Al2O3	-.213[i]	-1.445	.151	-.119	.194
	MgO	-.116[i]	-1.638	.104	-.135	.835

a. Dependent Variable: Kuat_Tekan_28_Hari

b. Predictors in the Model: (Constant), Blaine, Al2O3, Ekspansi, LOI, C4AF, CaO, MgO, Mesh, C3Sc, SiO2, FL, Fe2O3, Insol, C3A, C2S

c. Predictors in the Model: (Constant), Blaine, Al2O3, Ekspansi, LOI, C4AF, CaO, MgO, C3Sc, SiO2, FL, Fe2O3, Insol, C3A, C2S

d. Predictors in the Model: (Constant), Blaine, Al2O3, Ekspansi, LOI, C4AF, CaO, MgO, C3Sc, FL, Fe2O3, Insol, C3A, C2S

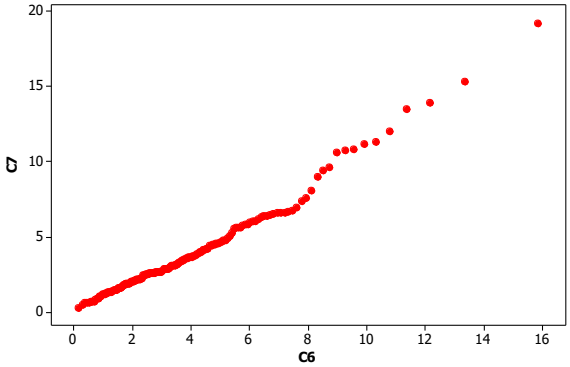
e. Predictors in the Model: (Constant), Blaine, Al2O3, LOI, C4AF, CaO, MgO, C3Sc, FL, Fe2O3, Insol, C3A, C2S

f. Predictors in the Model: (Constant), Blaine, Al2O3, LOI, CaO, MgO, C3Sc, FL, Fe2O3, Insol, C3A, C2S

g. Predictors in the Model: (Constant), Al2O3, LOI, CaO, MgO, C3Sc, FL, Fe2O3, Insol, C3A, C2S

h. Predictors in the Model: (Constant), LOI, CaO, MgO, C3Sc, FL, Fe2O3, Insol, C3A, C2S
i. Predictors in the Model: (Constant), LOI, CaO, C3Sc, FL, Fe2O3, Insol, C3A, C2S

Lampiran D. Pengujian Distribusi Normal Multivariat



Data Display

```
t     0.548387
```

Correlations: R1, R2

```
Pearson correlation of R1 and R2 = 0.989
P-Value = 0.000
```

Lampiran E. Perhitungan Interpolasi Tabel *Pearson Correlation*

$$\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1}$$

$$\frac{155 - 150}{200 - 150} = \frac{Y - 0{,}9879}{0{,}9905 - 0{,}9879}$$

$$\frac{5}{50} = \frac{Y - 0{,}9879}{0{,}0026}$$

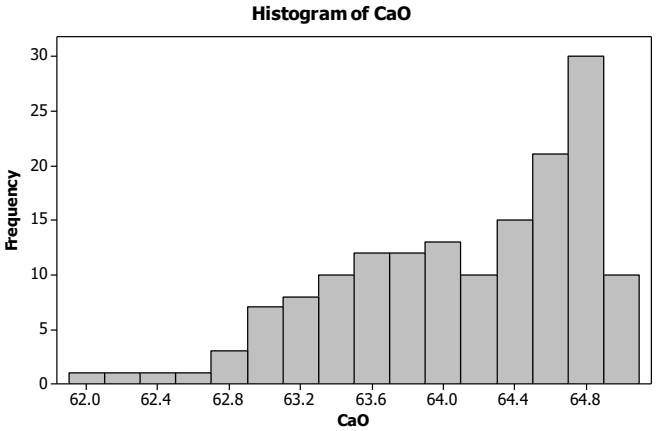
$$50Y = 0{,}013 + 49{,}395$$

$$Y = 0{,}98816$$

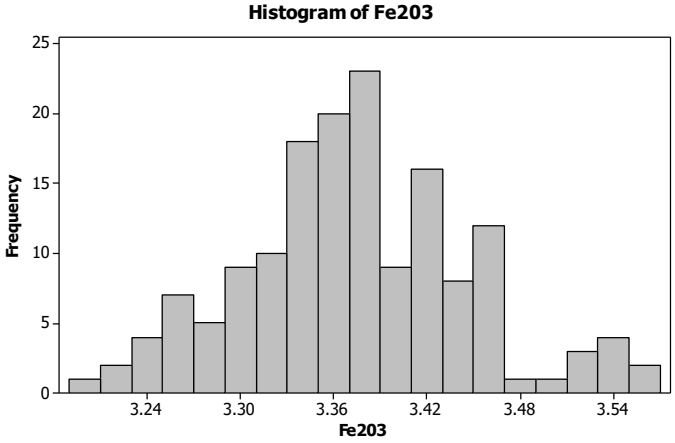
Lampiran F. *Pearson Correlation Table*

Sample size n	Significance levels α		
	.01	.05	.10
5	.8299	.8788	.9032
10	.8801	.9198	.9351
15	.9126	.9389	.9503
20	.9269	.9508	.9604
25	.9410	.9591	.9665
30	.9479	.9652	.9715
35	.9538	.9682	.9740
40	.9599	.9726	.9771
45	.9632	.9749	.9792
50	.9671	.9768	.9809
55	.9695	.9787	.9822
60	.9720	.9801	.9836
75	.9771	.9838	.9866
100	.9822	.9873	.9895
150	.9879	.9913	.9928
200	.9905	.9931	.9942
300	.9935	.9953	.9960

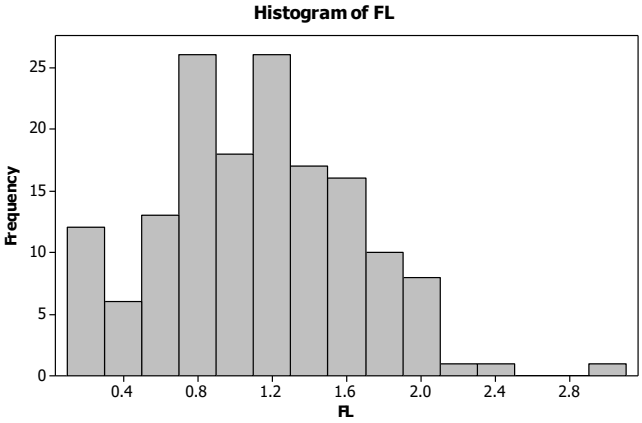
Lampiran G. Histogram CaO



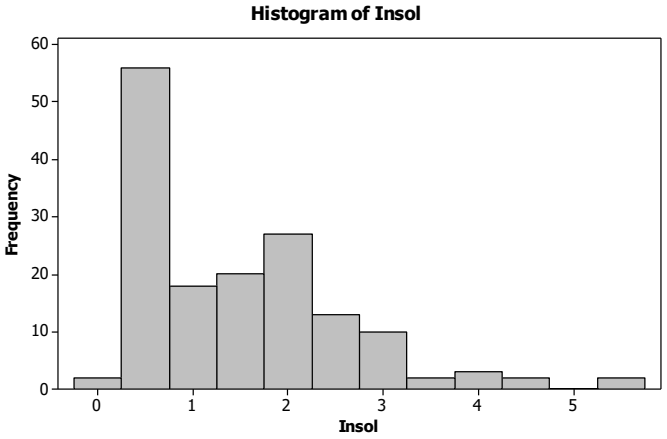
Lampiran H. Histogram Fe_2O_3



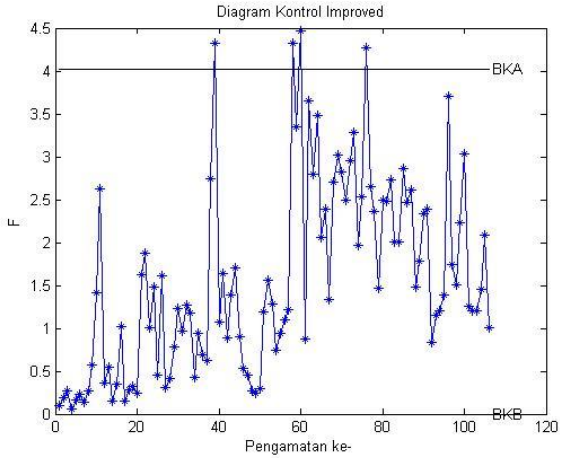
Lampiran I. Histogram FL



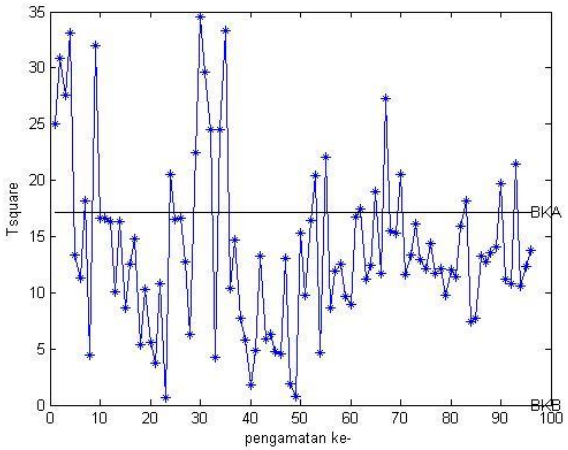
Lampiran J. Histogram Insol

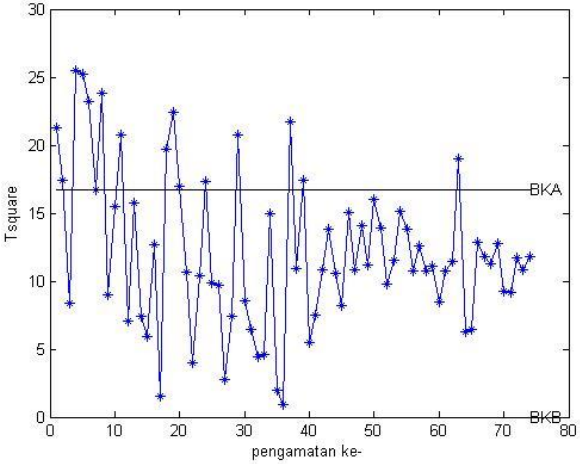


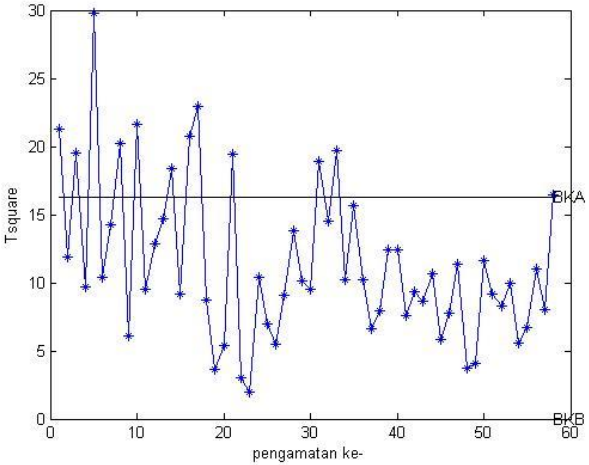
Lampiran K. Fase 1 Diagram Kendali GV

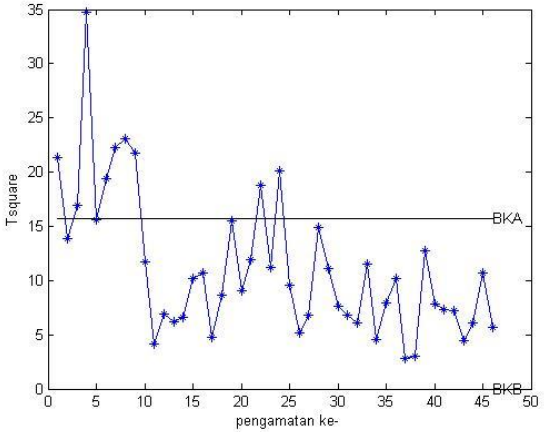


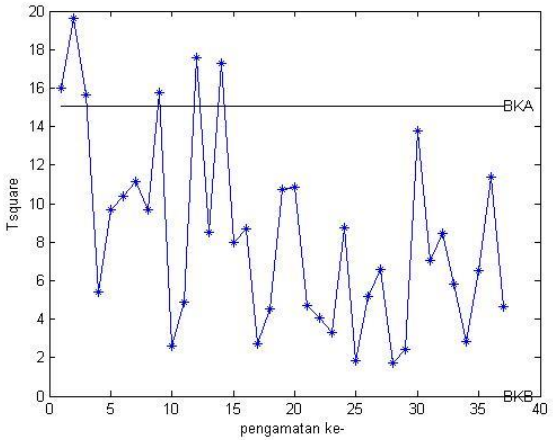
Lampiran L. Fase 1 Diagram Kendali T^2 Hotelling

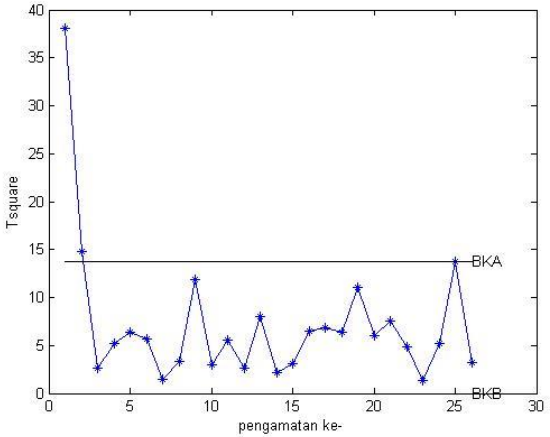


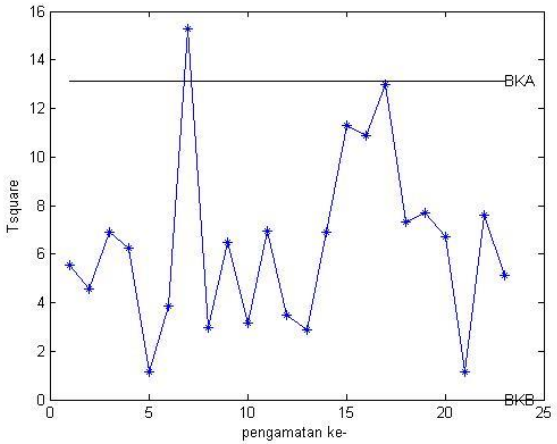

Tsquare
pengamatan ke-
BKA
BKB
0
5
10
15
20
25
30
0
10
20
30
40
50
60
70
80

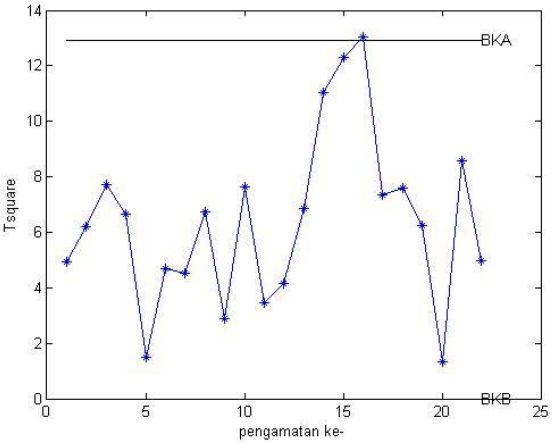

Tsquare
pengamatan ke-
BKA
BKB
0
5
10
15
20
25
30
0
10
20
30
40
50
60


Tsquare
pengamatan ke-
BKA
BKB


Tsquare
pengamatan ke-
BKA
BKB

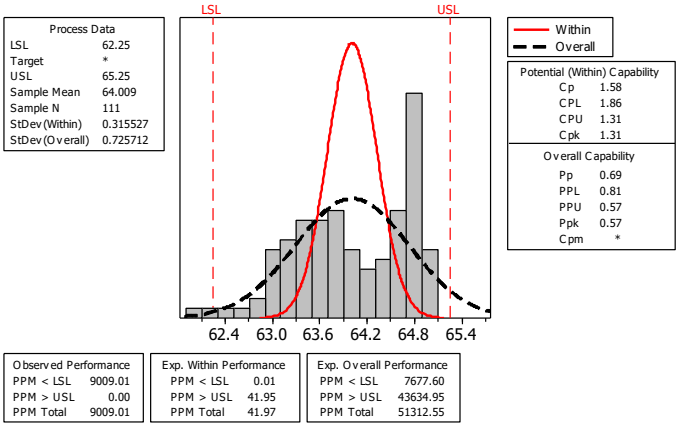

Tsquare
pengamatan ke-
BKA
BKB


Tsquare
pengamatan ke-
BKA
BKB

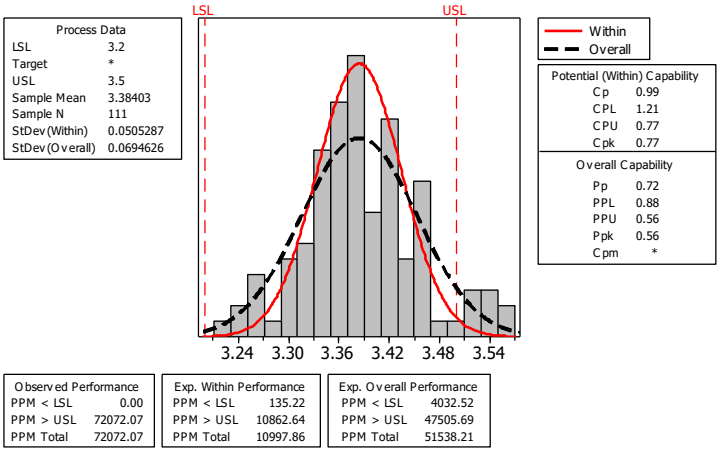


Lampiran M. Analisis Kapabilitas Proses

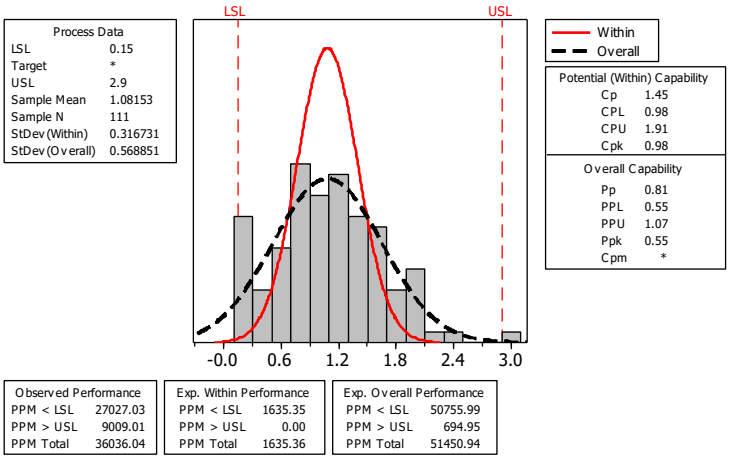
CaO



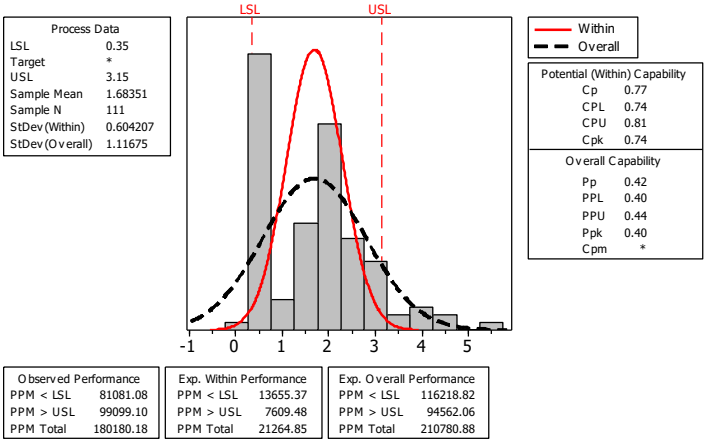
Fe2O3


Process Data
LSL 3.2
Target *
USL 3.5
Sample Mean 3.38403
Sample N 111
StDev(Within) 0.0505287
StDev(Overall) 0.0694626
LSL
USL
Within
Overall
Potential (Within) Capability
Cp 0.99
CPL 1.21
CPU 0.77
Cpk 0.77
Overall Capability
Pp 0.72
PPL 0.88
PPU 0.56
Ppk 0.56
Cpm *
3.24 3.30 3.36 3.42 3.48 3.54
Observed Performance
PPM < LSL 0.00
PPM > USL 72072.07
PPM Total 72072.07
Exp. Within Performance
PPM < LSL 135.22
PPM > USL 10862.64
PPM Total 10997.86
Exp. Overall Performance
PPM < LSL 4032.52
PPM > USL 47505.69
PPM Total 51538.21

FL


Process Data
LSL 0.15
Target *
USL 2.9
Sample Mean 1.08153
Sample N 111
StDev(Within) 0.316731
StDev(Overall) 0.568851
LSL
USL
Within
Overall
Potential (Within) Capability
Cp 1.45
CPL 0.98
CPU 1.91
Cpk 0.98
Overall Capability
Pp 0.81
PPL 0.55
PPU 1.07
Ppk 0.55
Cpm *
-0.0 0.6 1.2 1.8 2.4 3.0
Observed Performance
PPM < LSL 27027.03
PPM > USL 9009.01
PPM Total 36036.04
Exp. Within Performance
PPM < LSL 1635.35
PPM > USL 0.00
PPM Total 1635.36
Exp. Overall Performance
PPM < LSL 50755.99
PPM > USL 694.95
PPM Total 51450.94

Insol


Process Data
LSL 0.35
Target *
USL 3.15
Sample Mean 1.68351
Sample N 111
StDev(Within) 0.604207
StDev(Overall) 1.11675
LSL
USL
Within
Overall
Potential (Within) Capability
Cp 0.77
CPL 0.74
CPU 0.81
Cpk 0.74
Overall Capability
Pp 0.42
PPL 0.40
PPU 0.44
Ppk 0.40
Cpm *
-1 0 1 2 3 4 5
Observed Performance
PPM < LSL 81081.08
PPM > USL 99099.10
PPM Total 180180.18
Exp. Within Performance
PPM < LSL 13655.37
PPM > USL 7609.48
PPM Total 21264.85
Exp. Overall Performance
PPM < LSL 116218.82
PPM > USL 94562.06
PPM Total 210780.88

Lampiran N. *Syntax* Matlab Pengendalian Kualitas dengan GV

```
clc;
clear all;
uji = importdata('E:\datagv1.txt');
alpha=0.001;
[m,p]=size(uji)
for i=1:(m-1)
   for j=1:p
      v(i,j)=uji(i+1,j)-uji(i,j);
   end
end
vt=v';
s=0.5*vt*v/(m-1);
sinv=inv(s);
for i=1:m
   for j=1:p
      ujik(i,j)=(1/i)*sum(uji(1:i,j));
   end
end
for i=1:m
   for j=1:p
      xiujik(i,j)=uji(i,j)-ujik(i,j);
   end
end
for i=1:(m-1)
   for j=1:p
      SSk=xiujik(i,:)'*xiujik(i,:);
      SSk1=xiujik(i+1,:)'*xiujik(i+1,:);
      D=SSk1-SSk;
      F(i)=sqrt(trace(D^2));
   end
end
F=F';
c=(trace(s^2))/(trace(s));
```

```
r=((trace(s))^2)/(trace(s^2));
ucl=c*(chi2inv(1-alpha,floor(r)));
lcl=0;
bka(1:m-1)=ucl;
bkb=zeros(m-1);
x=1:m-1;
y=F;
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-')
title('Diagram Kontrol Improved')
xlabel('Pengamatan ke-')
ylabel('F')
text(m,ucl,'BKA')
text(m,lcl,'BKB')
for i=1:m-1
   if(F(i)>ucl)||(F(i)<lcl)
      o(i)=1;else o(i,1)=0;
   end;
end;
out=sum(o);
for i=1:m-1
   if(F(i,1)>ucl)||(F(i,1)<lcl)
      obs (i)=i;else obs(i)=0;
   end;
end;
obs_out=obs
```

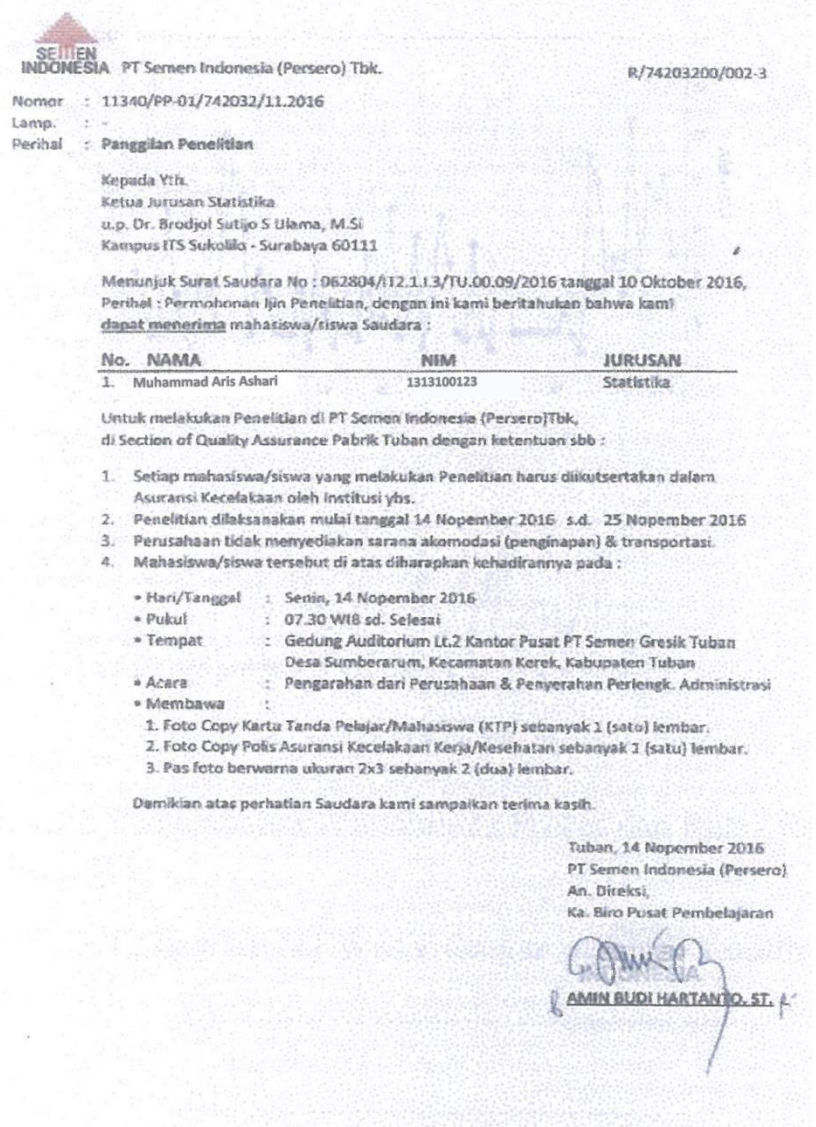
Lampiran K. *Syntax* Matlab Pengendalian Kualitas dengan T^2 Hotelling

```
clc;
clear all;
uji = importdata('E:\datahot1.txt');
alpha=0.001;
[m,p]=size(uji);
```

```
for i=1:(m-1)
   for j=1:p
      k=i+1;
      v(i,j)=uji(k,j)-uji(i,j);
   end
end

vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;

invs=inv(s);
rata=mean(uji);

for j=1:p
   for i=1:m
      tsquare1(i,j)=uji(i,j)-rata(1,j);
   end
end
tsquare2=tsquare1';
for i=1:m
   for j=1:p
   T(i,1)=tsquare1(i,:)*invs*tsquare2(:,i);
   a=p/2;
   b=(m-p-1)/2;
   ucl=(((m-1)^2)/m)*betainv((1-alpha),a,b);
   lcl=0;
   end
end

for i=1:m
   bka(i,1)=ucl;
end
for i=1:m
   bkb(i,1)=lcl;
```

```
end

x=1:m;
y=T;
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-');
xlabel('pengamatan ke-')
ylabel('Tsquare')
text(k,ucl,'BKA=')
text(k,lcl,'BKB=')

for i=1:m
   if(T(i,1)>ucl)|(T(i,1)<lcl);
      o(i,1)=1; else o(i,1)=0;
   end
end
out=sum(o)
```

Lampiran O. Surat Keterangan Publikasi Data



SEMEN INDONESIA PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. R/74203200/002-3

Nomor : 11340/PP-01/742032/11.2016
Lamp. : -
Perihal : **Panggilan Penelitian**

Kepada Yth.
Ketua Jurusan Statistika
u.p. Dr. Brodjol Sutijo S Ulama, M.Si
Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111

Menunjuk Surat Saudara No : 062804/I12.1.1.3/TU.00.09/2016 tanggal 10 Oktober 2016, Perihal : Permohonan Ijin Penelitian, dengan ini kami beritahukan bahwa kami dapat menerima mahasiswa/siswa Saudara :

No.	NAMA	NIM	JURUSAN
1.	Muhammad Aris Ashari	1313100123	Statistika

Untuk melakukan Penelitian di PT Semen Indonesia (Persero)Tbk, di Section of Quality Assurance Pabrik Tuban dengan ketentuan sbb :

1. Setiap mahasiswa/siswa yang melakukan Penelitian harus diikutsertakan dalam Asuransi Kecelakaan oleh Institusi ybs.
2. Penelitian dilaksanakan mulai tanggal 14 Nopember 2016 s.d. 25 Nopember 2016
3. Perusahaan tidak menyediakan sarana akomodasi (penginapan) & transportasi.
4. Mahasiswa/siswa tersebut di atas diharapkan kehadirannya pada :

   - Hari/Tanggal : Senin, 14 Nopember 2016
   - Pukul : 07.30 WIB sd. Selesai
   - Tempat : Gedung Auditorium Lt.2 Kantor Pusat PT Semen Gresik Tuban Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban
   - Acara : Pengarahan dari Perusahaan & Penyerahan Perlengk. Administrasi
   - Membawa :
     1. Foto Copy Kartu Tanda Pelajar/Mahasiswa (KTP) sebanyak 1 (satu) lembar.
     2. Foto Copy Polis Asuransi Kecelakaan Kerja/Kesehatan sebanyak 1 (satu) lembar.
     3. Pas foto berwarna ukuran 2x3 sebanyak 2 (dua) lembar.

Demikian atas perhatian Saudara kami sampaikan terima kasih.

Tuban, 14 Nopember 2016
PT Semen Indonesia (Persero)
An. Direksi,
Ka. Biro Pusat Pembelajaran

AMIN BUDI HARTANTO, ST.

BIODATA PENULIS

Muhammad Aris Ashari atau biasa dipanggil Aris dilahirkan pada 26 Maret 1995 di Sidoarjo, Jawa Timur. Meskipun memiliki darah Jawa yang melekat berkat kedua orang tua nya, masa kecil hingga remaja Aris dihabiskan di perantauan. Perjalanan panjang Aris di dunia pendidikan dimulai pada tahun 2001 saat ia menempuh jenjang pendidikan SD di Bekasi, Jawa Barat. Saat itu ia bersekolah di SDIT Darul Hikmah, Bekasi selama dua tahun, sebelum akhirnya mengikuti jejak orang tuanya yang harus dinas jauh di Kota Medan, Sumatera Utara. Di Medan, Aris bersekolah di SD Muhammadiyah 02, Medan Timur dimulai dari Tahun 2003 hingga 2007. Semasa bersekolah di SD tersebut, Aris cukup aktif dalam kegiatan-kegiatan ekstra kulikuler seperti *marching band*, futsal dan atletik (*sprint*). Menjadi salah seorang yang prestatif dengan konsisten pada peringkat 1 hingga 5 di kelas selama belajar di SD tersebut, Aris anti klimkas di UAN dan mengharuskan ia mengubur dalam-dalam bisa bersekolah negeri di Medan Timur saat itu. Pada tahun 2007, Aris bersekolah di SMP Pertiwi Medan dan kembali menjadi salah satu siswa yang konsisten berada pada ranking atas dalam tiga tahun masa studi. Salah satu pengalaman sebagai siswa Pertiwi adalah aktif di organisasi Pramuka dan ekstra kulikuler Futsal. Pertiwi mengantarkan Aris ke salah satu SMA Negeri terfavorit di Kota Medan, SMA Negeri 3 Medan yang selanjutnya disebut Smantig. Aris berada di Smantig pada Tahun 2010 hingga 2011. Meskipun periode itu tergolong singkat,

namun Aris hampir mendapatkan segalanya di sekolah dengan predikat terbaik se-Sumatera Utara di tahun 2011 tersebut. Aris mengikuti Palang Merah Remaja (PMR) 030 dan mendapatkan nomor induk organisasi serta mewakili Smantig ke Jakarta dalam Kejurnas Futsal Kit Futsalismo. Pada tahun 2011, Aris harus mengikuti jejak orang tuanya yang kembali dipindah tugaskan oleh Perusahaannya kali ini ke Jakarta. Di Ibukota, Aris terlempar jauh ke SMA Negeri 88 Jakarta yang berdomisili di Pasar Rebo padahal saat itu sekeluarga harus menginap di MES Kantor di Cawang, Jakarta Timur. Dua tahun di 88 Aris hanya mengikuti ekstra kulikuler Futsal karena organisasi seperti OSIS dan MPK membutuhkan regenerasi dan pengaderan murni dari tahun pertama. 2013 menjadi salah satu tahun yang baik bagi Aris dimana ia berhasil diterima di ITS Surabaya. Aris aktif pada kegiatan manajerial di ITS seperti menjadi staf Departemen Hubungan Luar HIMASTA-ITS 14/15, staf Kementerian Kebijakan Publik BEM ITS 14/15, Ketua HIMASTA-ITS 15/16 dan Menteri Koordinator Luar Negeri BEM ITS 16/17 serta sederet posisi manajerial lainnya. Cerita mengenai HIMASTA-ITS selama Aris berada di sana dapat dibaca dan diketahui secara komprehensif pada LPJ Ketua HIMASTA-ITS 15/16 di Sekretariat HIMASTA-ITS, Gedung H, Lt. 3, ITS Surabaya. Meskipun banyak kegiatan yang ia jalani saat menjadi siswa maupun mahasiswa, namun cinta pertamanya tetap pada sepakbola. Arsenal adalah klub favoritnya dan suka duka *The Gunners* selalu mengiringi langkah Aris di Bekasi, Medan, Jakarta hingga Surabaya. "*Wenger in" is too funny*!