



TUGAS AKHIR - KS184822

PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI SEMEN
DI PT SEMEN "X" MENGGUNAKAN DIAGRAM
KENDALI *MAXIMUM MULTIVARIATE
CUMULATIVE SUM (MAX MCUSUM)*

FRANSISKA YUNITARANI
NRP 062116 4000 0007

Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S

PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020



TUGAS AKHIR - KS184822

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI SEMEN
DI PT SEMEN "X" MENGGUNAKAN DIAGRAM
KENDALI *MAXIMUM MULTIVARIATE
CUMULATIVE SUM (MAX MCUSUM)***

**FRANSISKA YUNITARANI
NRP 062116 4000 0007**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**



FINAL PROJECT - KS184822

**QUALITY CONTROL OF CEMENT PRODUCTION AT
PT SEMEN "X" USING MAXIMUM MULTIVARIATE
CUMULATIVE SUM (MAX MCUSUM) CONTROL
CHART**

**FRANSISKA YUNTARANI
SN 062116 4000 0007**

**Supervisor
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF SCIENCE AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN KUALITAS
PRODUKSI SEMEN DI PT SEMEN "X" MENGGUNAKAN
DIAGRAM KENDALI *MAXIMUM MULTIVARIATE
CUMULATIVE SUM (MAX MCUSUM)***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Statistika
pada
Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Fransiska Yunitarani
NRP. 062116 4000 0007

Disetujui oleh Pembimbing:
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S
NIP. 19580823 198401 1 003

()



Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si
NIP. 19691212 199802 2 002

SURABAYA, AGUSTUS 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI SEMEN
DI PT SEMEN “X” MENGGUNAKAN DIAGRAM
KENDALI MAXIMUM MULTIVARIATE CUMULATIVE
SUM (MAX MCUSUM)**

Nama : Fransiska Yunitarani
NRP : 062116 4000 0007
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S

Abstrak

PT Semen “X” merupakan jenis perusahaan manufaktur yang bergerak dibidang produksi semen, selain itu PT Semen “X” merupakan salah satu holding company penghasil semen terbesar di Indonesia yang menguasai 43% pangsa pasar dalam negeri. Oleh karena itu, PT Semen “X” selalu berupaya untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan kualitas yang baik dan menetapkan standar kualitas dalam produksinya. Pada perusahaan ini pengendalian kualitas hanya dilakukan sebatas analisa deskriptif dan perhitungan secara manual, sehingga pengendalian kualitas proses produksi belum dilakukan secara statistik. Pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian kualitas proses produksi semen dalam satu periode produksi menggunakan peta kendali Max MCUSUM berdasarkan pengukuran variabel CaO, SiO₂, dan Al₂O₃, karena ketiga variabel tersebut merupakan senyama kimia semen dengan persentase paling banyak. Diagram kendali Max MCUSUM digunakan karena lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil, serta efektif karena memonitor rata-rata dan variabilitas secara simultan dalam satu peta kendali. Berdasarkan analisis dengan menggunakan ARL 370 didapatkan interval keputusan (h) 168,1329 diperoleh hasil bahwa tidak ditemukan nilai statistik M_i yang keluar dari batas kendali atau dalam artian grafik telah terkendali secara statistik dengan nilai M_i terbesar sebesar 151,043.

Kata Kunci : *Diagram Kendali Max MCUSUM, Interval Keputusan, Multivariat, Pengendalian Kualitas Statistika, Produksi Semen.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**QUALITY CONTROL OF CEMENT PRODUCTION
AT PT SEMEN “X” USING MAXIMUM MULTIVARIATE
CUMULATIVE SUM (MAX MCUSUM) CONTROL
CHART**

Name : Fransiska Yunitarani
SN : 062116 4000 0007
Departement : Statistika
Supervisor : Dr. Drs. Agus Suharsono, M. S

Abstract

PT Semen “X” is a kind of manufacturing company that is produce cement, moreover PT Semen “X” is one of the largest holding company in producing cement which control almost 43% market share in Indonesia. Hence, PT Semen “X” always strives the needs of consumers with a good quality and establish the quality standard as well. In this company, the quality control process are only limited to manual measurement (descriptive), so that the quality control of the production process has not been conducted statistically. This research is going to be conducted quality control of cement in one production period using Max MCUSUM control chart based on the measurement of the CaO, SiO₂, and Al₂O₃, for these three variables are the chemical compound of cement with the most composition. The Max MCUSUM control chart use in this research because Max MCUSUM control chart is more sensitive in detecting small process shifts and more effective because it monitors mean and variability simultaneously in a single control chart. Using ARL 370 so that the decision interval (h) of 168,1329 is obtained, the result is, there is no statistical value of M_i out of the decision interval so that the process has been controlled statistically with the maximum number of M_i is 151,043

Keywords : Cement Production , Decision Interval, Max MCUSUM Control Chart, Multivariate, Statistical Quality Control.

Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Pengendalian Kualitas Produksi Semen di PT Semen “X” Menggunakan Diagram Kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max MCUSUM)*”** dengan lancar dan tepat pada waktunya.

Keberhasilan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari partisipasi dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua saya Ibu Chanip Badriyah dan Bapak Sujoko, serta adik Andre Zakariya dan keluarga besar penulis atas doa yang selalu dipanjatkan dan dukungan serta motivasi yang tidak ada hentinya diberikan sehingga penulis terus memiliki kekuatan dan semangat dalam menjalani proses perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan waktu, ilmu, wawasan dan pengarahan dengan begitu baik serta penuh kesabaran selama penyelesaian Tugas Akhir ini. Semoga keduanya senantiasa diberi kesehatan dan diberkahi oleh-Nya.
3. Ibu Wibawati, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Achmad Choiruddin, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu serta saran yang membangun untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si selaku Kepala Departemen Statistika ITS yang telah memberikan fasilitas selama menuntut ilmu hingga fasilitas bagi Penulis guna kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Dra. Wiwiek Setya Winahju, M.S selaku dosen wali dan seluruh Bapak-Ibu dosen Statistika atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan, serta seluruh staf dan

karyawan Departemen Statistika ITS atas pelayanannya selama perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.

6. Bapak Benny Ismanto selaku pembimbing di Departemen *Quality Assurance* yang telah memberikan izin, informasi, nasihat, serta masukan mengenai data yang digunakan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat tercinta Winantri Nurbuwah Insyroh, Kinanthi Sukma Wening, Rizky Amalia Putri, Thalia Marda Santika, Cahya Idznii, dan Erika Adhistry Iskandar yang telah menemani dalam suka maupun duka selama perkuliahan ini hingga memberikan semangat dalam pengerjaan Tugas Akhir penulis.
8. Sabat Al'awwa Prima Nadia, Rivi Monica, Marita, dan Rezki yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan teman bertukar cerita selama ini.
9. Naufal Abdillah yang selama ini membantu dan mengoreksi penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini
10. Adam Bayu Aji yang selalu memberikan dukungan, semangat, perhatian, dan tempat berkeluh kesah selama ini.
11. Teman-teman TR16GER yang memberikan bantuan, semangat, dan mengajarkan arti kebersamaan selama penulis berkuliah di ITS.
12. Teman-teman HIMASTA-ITS 18/19 yang telah memberikan semangat dan pengalaman luar biasa selama perkuliahan
13. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materiil yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini, besar harapan bagi Penulis untuk dapat menerima saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis, pembaca, dan semua pihak.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR LAMPIRAN	i
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	7
1.4 Manfaat.....	7
1.5 Batasan Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Pengendalian Kualitas.....	9
2.2 Uji Dependensi Antar Variabel.....	11
2.3 Uji Normal Multivariat.....	11
2.4 Diagram Kendali <i>Maximum Multivariate Cumulative Sum</i> (<i>Max CUSUM</i>).....	12
2.5 Diagram Kendali <i>Maximum Multivariate Cumulative Sum</i> untuk <i>Mean Vector</i>	12
2.6 Diagram Kendali <i>Maximum Multivariate Cumulative Sum</i> untuk Matriks Kovarian.....	12
2.7 Penentuan Interval Keputusan	12
2.8 Proses produksi Semen.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Sumber Data.....	23
3.2 Variabel Penelitian	23
3.3 Struktur Data	24
3.4 Langkah Analisis.....	24
3.5 Diagram Alir.....	26
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Karakteristik Variabel Kualitas Semen.....	29

4.2	Pengujian Dependensi antar Variabel	30
4.3	Pengujian Distribusi Normal Multivariat.....	31
4.4	Peta Kendali <i>Maximum Multivariate Cumulative Sum</i> (<i>Max MCUSUM</i>)	32
4.4.1	Penentuan Interval Keputusan (<i>h</i>).....	Error!
	Bookmark not defined.	
4.4.2	Pengendalian Kualitas Produksi Semen.....	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 4.1 Diagram Kendali <i>Max MCUSUM</i>	40

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	23
Tabel 3.2 Struktur Data Karakteristik Kualitas Semen	24
Tabel 4.1 Karakteristik Kualitas Semen.....	32

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Data Pengendalian Kualitas Semen
- Lampiran 2** Nilai C_i^- , C_i^+ , S_i^- , S_i^+ , dan M_i
- Lampiran 3** Output Pengujian Asumsi Dependensi dan Asumsi Normalitas
- Lampiran 4** Syntax R Diagram Kendali *Max MCUSUM*
- Lampiran 5** Surat Pernyataan Data Tugas Akhir

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sustainable Development Goals atau disingkat dengan *SDGs* merupakan program pembangunan berkelanjutan yang mengimplementasikan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan secara serentak. *SDGs* merupakan program lanjutan *MDGs* (*Millenium Development Goals*) yang berakhir pada tahun 2015. *SDGs* disahkan pada sidang PBB pada tanggal 21 Oktober 2015 dan akan berakhir pada tahun 2030. *SDGs* memuat 17 tujuan dengan 169 capaian, salah satu tujuan dari *SDGs* yaitu membangun infrastruktur yang tangguh, mendukung industrialisasi yang inklusif dan berkelanjutan dan membantu perkembangan inovasi. Infrastruktur merupakan wujud dari *public capital* (modal publik) yang dibentuk dari investasi yang dilakukan pemerintah. Infrastruktur dalam hal tersebut meliputi jalan, jembatan, pengairan, dan lainnya (Mankiw, 2006). Indonesia merupakan salah satu negara yang terus menerus melakukan pembangunan infrastruktur di berbagai bidang. Sejak tahun 2015, pemerintah mengalihkan belanja subsidi menjadi belanja produktif, yakni pembangunan infrastruktur, kesehatan, dan pendidikan. Fokus anggaran belanja pemerintah ada 4, yaitu anggaran pendidikan, anggaran kesehatan, anggaran perlindungan sosial, dan anggaran infrastruktur. Pada tahun 2020 pemerintah menaikkan anggaran infrastruktur sebesar 4,9 persen dari angka Rp. 399,7 triliun menjadi Rp. 419,2 triliun dalam Rencana Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (RAPBN) tahun 2020 (Kementerian Keuangan Republik Indonesia, 2019). Selain itu, pada periode pemerintahan sekarang Kementerian PUPR memprogramkan pembangunan 2.500 km jalan tol, kemudian di bidang perumahan akan membangun sebanyak 50.000 unit rumah susun, 25.000 unit rumah khusus, 1.500.000 unit rumah swadaya, serta 500.000 unit perumahan yang tersebar di Indonesia (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020). Berdasarkan hal tersebut maka dapat dikatakan bahwa semakin masifnya keberlanjutan pembangunan infrastruktur di Indonesia.

Dalam pembangunan infrastruktur dibutuhkan bahan baku yang berkualitas agar hasil yang dihasilkan dari pembangunan bisa maksimal. Salah satu bahan baku dalam melakukan pembangunan yaitu semen. Semen merupakan suatu produk yang sangat berperan dalam pembangunan infrastruktur, oleh karena itu dibutuhkan semen yang berkualitas baik. Hal ini memungkinkan produsen untuk memproduksi semen yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Di Indonesia cukup banyak berdiri industri yang memproduksi semen, salah satu industri tersebut adalah PT Semen "X". PT Semen "X" merupakan jenis perusahaan manufaktur dimana perusahaan tersebut bergerak dibidang produksi semen dan merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN). Perusahaan ini termasuk BUMN dikarenakan saham yang dimiliki oleh pemerintah lebih besar dibandingkan dengan saham yang dimiliki oleh publik, yaitu sebesar 51,01% milik pemerintah dan 48,99% milik publik. PT Semen "X" memiliki beberapa anak perusahaan yang bergerak sebagai penghasil semen dan penghasil non semen yang memainkan peranan penting sebagai *strategic partner*, maupun sebagai pendukung *community development*.

PT Semen "X" merupakan salah satu *holding company* penghasil semen terbesar di Indonesia yang menguasai 43% pangsa pasar dalam negeri. Berdasarkan tingginya permintaan pasar, PT Semen "X" 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. Untuk menjamin kualitas semen yang baik maka diperlukan suatu aktivitas pengendalian kualitas sebagai wujud komitmen perusahaan sebagai produsen berkualitas di Indonesia. Faktor mutu dan kualitas merupakan salah satu kekuatan terpenting dalam menunjang keberhasilan pencapaian tujuan PT Semen "X". Peningkatan kualitas perlu dilakukan untuk membantu perusahaan dalam meningkatkan penjualan dan mengurangi biaya karena adanya peningkatan

produktivitas, penurunan *rework*, bahan yang terbuang, dan biaya garansi (Heizer & Render, 2009).

Pengendalian kualitas secara statistik sangat diperlukan untuk membantu perusahaan memonitor stabilitas proses produksi melalui variabilitas dan rata-rata proses. Proses produksi yang stabil akan mencerminkan kualitas barang yang dihasilkan. Pengendalian kualitas statistik merupakan alat statistika yang mampu mengontrol dan memonitor suatu produk atau proses produksi. Tujuan utama dari pengendalian kualitas adalah untuk mendeteksi secara cepat terjadinya penyebab *out of control* sehingga penyelidikan proses dan tindakan korektif dapat dilakukan sebelum banyak unit yang tidak sesuai diproduksi. Untuk mencapai tujuan tersebut, salah satunya dengan menggunakan diagram kontrol. Diagram kontrol adalah suatu alat yang secara grafis digunakan untuk memonitor dan mengevaluasi apakah suatu aktivitas atau proses berada dalam pengendalian kualitas secara statistika atau tidak, sehingga dapat memecahkan masalah dan menghasilkan perbaikan kualitas (Montgomery, 2013).

Proses produksi di PT Semen “X” memiliki lima tahapan diantaranya proses penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan, proses pembakaran, proses penggilingan akhir (*finish mill*) serta proses pengemasan (Gemert, Czarnecki, Lukowski, & Krapen, 2004). Penting sekali untuk melakukan pengendalian kualitas pada tahap penggilingan akhir, karena pada tahap ini merupakan tahap terakhir dari proses produksi semen sebelum dilakukan proses pengemasan semen. Semen memiliki 12 variabel yang merupakan komposisi kimia dari semen, dan 2 variabel yang merupakan parameter fisika dari semen. Komposisi kimia di dalam semen adalah SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF , FCaO , dan LOI , sedangkan untuk komposisi fisika semen yaitu *blaine* dan residu 45 mikron. Salah satu karakteristik yang dapat digunakan sebagai parameter semen berkualitas adalah melalui kuat tekan semen yang diukur pada tahap penggilingan akhir, dimana pada PT Semen “X” kuat tekan diukur dalam hari ke-7, hari ke-14, dan hari ke-28. Secara teoritis menurut Departemen *Quality Assurance* pada PT Semen “X”,

kuat tekan semen dipengaruhi oleh senyawa C_3S , C_2S , C_3A , dimana senyawa-senyawa yang mempengaruhi kuat tekan tersebut dominan tersusun atas senyawa kimia CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 yang saling berikatan. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa senyawa kimia CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen. Menurut Departemen *Quality Assurance* ketiga variabel tersebut saling berkorelasi, dimana apabila variabel CaO dinaikkan maka variabel SiO_2 dan variabel Al_2O_3 juga akan naik dengan tujuan untuk membentuk senyawa potensial penyusun semen yang tepat. Disisi lain, apabila hanya senyawa Al_2O_3 yang dinaikkan, maka titik leleh senyawa CaO dan SiO_2 akan menurun. Pada PT Semen "X" pengujian kualitas semen dilakukan di laboratorium kimia dan fisika dibawah naungan *Department of Quality Assurance*.

Hotelling (1947) memperkenalkan diagram kendali multivariat yang cukup populer dan pertama kali yaitu diagram kendali T^2 Hotelling. Diagram kendali T^2 Hotelling mudah untuk diaplikasikan, namun diagram ini kurang sensitif terhadap pergeseran *mean* proses yang kecil. Kemudian Lowry dkk (1992) mengusulkan diagram kendali multivariat yang sensitif terhadap pergeseran kecil yaitu *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA), akan tetapi peta kendali ini hanya mampu untuk memonitor pergeseran pada rata-rata saja, sedangkan pergeseran proses dapat terjadi pada variabilitas juga. Selanjutnya, Cheng and Thaga (2005) mengembangkan diagram kontrol *Maximum Multivariate Cumulative Sum* (*Max MCUSUM*), dimana metode ini dapat memonitor pergeseran pada rata-rata proses dan varians secara simultan dalam satu diagram. Sehingga, pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian kualitas semen dengan menggunakan diagram kontrol *Max MCUSUM* karena variabel yang digunakan secara teoritis saling mempengaruhi sehingga dipilih diagram kendali multivariat.

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan kualitas semen telah dilakukan oleh Rochmaturiza (2018) untuk pengendalian kualitas produk *portland pozzoland cement* (Ppc) Dengan Pendekatan *Regression Adjustment Control Chart*. Variabel yang

digunakan yaitu *blaine*, *mesh*, dan LOI sebagai variabel prediktor, sedangkan kuat tekan sebagai variabel respon. Residual yang diperoleh dari model tersebut dikendalikan menggunakan diagram kendali MEWMV untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses dan diagram kendali MEWMA untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses. Hasil yang didapatkan yaitu baik fase satu maupun dua, variabilitas telah terkendali secara statistik, sedangkan rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, pengendalian kualitas produksi semen juga pernah dilakukan oleh Ashari (2017). Hasil analisis dalam penelitian tersebut yakni dengan menggunakan 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 diagram kendali multivariat, *Generalized Variance* dan T^2 Hotelling didapatkan hasil *out of control* pada fase kedua sehingga diketahui bahwa proses belum terkendali secara statistik.

Penelitian menggunakan metode peta kendali *Max MCUSUM* pernah dilakukan oleh Aisyah (2018) untuk pengendalian kualitas pupuk NPK di PT PUSRI Palembang yang terdiri dari 2 fase, dimana proses produksi pupuk NPK fase I telah terkendali secara statistik setelah dilakukan identifikasi terhadap penyebab titik yang keluar batas interval dan dilakukan perbaikan, sedangkan proses produksi pupuk NPK fase II belum terkendali secara statistik karena terdapat titik pengamatan yang berada di atas batas interval (h).

Dalam penelitian ini, dilakukan monitoring terhadap *mean* dan variabilitas secara simultan terhadap variabel yang digunakan dimana variabel tersebut saling berkorelasi, sehingga peta kendali multivariat yang digunakan adalah peta kendali *Max MCUSUM*. Dari 14 variabel yang ada hanya akan digunakan 3 variabel saja, yaitu variabel CaO, SiO₂, dan Al₂O₃ yang merupakan senyawa pembentuk C₃S, C₂S, C₃A, yang dapat mempengaruhi kuat tekan semen. Selain itu, ketiga variabel tersebut merupakan senyawa

yang paling dominan pada semen, karena ketiga senyawa tersebut memiliki persentase cukup tinggi dalam pembentuk semen.

Diagram kontrol *Max MCUSUM* merupakan perkembangan dari diagram kontrol *CUSUM* dan *MCUSUM*, dimana dalam penggunaannya diagram kontrol *Max MCUSUM* lebih efektif dikarenakan secara simultan memonitor rata-rata dan varians dalam satu diagram kontrol (Cheng & Thaga, 2005). Selain itu, Cheng dan Thaga (2005) pernah melakukan penelitian mengenai perbandingan antara diagram kontrol *Max MEWMA* dan *Max MCUSUM*, didapatkan hasil bahwa dalam mendeteksi pergeseran kecil pada matriks kovarians dan *mean* vektor, diagram kontrol *Max MCUSUM* lebih unggul, namun apabila untuk mendeteksi pergeseran pada matriks kovarians, peta kendali *Max MEWMA* lebih unggul. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui bahwa peta kendali *Max MCUSUM* lebih unggul dan lebih cepat dalam mendeteksi adanya pergeseran kecil. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi *early warning system* untuk PT Semen “X” dalam memonitor dan meningkatkan kualitas produk semen kedepannya.

1.2 Rumusan Masalah

PT Semen “X” selama ini telah melakukan pengendalian kualitas pada produksi semen. Pengendalian kualitas tersebut tidak diikuti dengan pengendalian secara statistik menggunakan *control chart*, namun hanya sebatas analisa deskriptif dan perhitungan secara manual. Semen memiliki 12 variabel yang merupakan komposisi kimia dari semen, dan 2 variabel yang merupakan parameter fisika dari semen. Komposisi kimia di dalam semen adalah SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF , FCaO , dan LOI . Untuk komposisi fisika semen yaitu *blaine* dan residu 45 mikron. Dari 14 variabel komposisi kimia di dalam semen, akan digunakan 3 variabel yang merupakan senyawa pembentuk C_3S , C_2S , C_3A , yang dapat mempengaruhi kuat tekan semen. Selain itu ketiga variabel tersebut merupakan senyawa yang paling dominan pada semen, karena ketiga senyawa tersebut memiliki persentase cukup tinggi

dalam pembentuk semen. Apabila takaran komposisi tidak memenuhi spesifikasi maka kemungkinan besar dapat mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengendalian kualitas terhadap variabel-variabel tersebut. Berdasarkan uraian tersebut maka rumusan masalah yang muncul sebagai acuan untuk analisis pada penelitian ini adalah bagaimana hasil monitoring kualitas dan pergeseran proses produksi semen di PT Semen “X” menggunakan diagram kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max MCUSUM)*.

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang diambil yaitu untuk mengetahui pengendalian kualitas semen PT Semen “X” menggunakan diagram kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max MCUSUM)*.

1.4 Manfaat

Penelitian ini bermanfaat sebagai informasi penerapan ilmu statistika bagi PT Semen “X” mengenai pengendalian kualitas statistik menggunakan diagram kendali multivariat terutama diagram kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max MCUSUM)* yang dapat diaplikasikan untuk proses pengendalian kualitas semen, sehingga hasilnya dapat meningkatkan kualitas semen dan agar dapat memenuhi kebutuhan masyarakat.

1.5 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data yang didapatkan dari Departemen *Quality Assurance* PT Semen “X”. Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan merupakan data kualitas semen yang diambil pada produk yang sama dalam satu periode produksi.
2. Variabel yang digunakan hanya 3 variabel dari 12 variabel senyawa kimia dan 2 variabel parameter fisika penyusun semen, yaitu variabel CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 .

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini akan membahas mengenai beberapa kajian pustaka yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan mengenai pengendalian kualitas produk Semen di PT Semen “X”.

2.1 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas proses merupakan alat penyelesaian sebuah masalah untuk mencapai proses yang stabil serta mampu mengurangi variabilitas (Montgomery, 2013). Menurut (Iriawan, 2006), tujuan dari *Statistical Process Control* (SPC) yaitu untuk menggambarkan variabilitas yang dapat dikendalikan atau tidak dapat dikendalikan. Salah satu alat SPC adalah Grafik kendali (*control chart*). Grafik kendali merupakan metode statistik yang membedakan adanya variasi atau penyimpangan karena sebab umum dan sebab khusus.

Grafik kendali terdiri dari tiga bagian yaitu batas kendali atas (*upper center line*), garis tengah (*center line*), dan batas kendali bawah (*lower center line*). Proses dikatakan dalam keadaan terkendali jika titik-titik pengamatan terletak didalam batas kendali, sebaliknya jika titik-titik pengamatan berada diluar batas kendali maka proses dikatakan tidak terkendali (Montgomery, 2013). Berdasarkan karakteristik kualitas, Grafik kendali dibedakan menjadi Grafik kendali atribut dan Grafik kendali variabel. Grafik kendali variabel adalah grafik kendali yang digunakan untuk mengukur *mean* dan variabilitas proses dari suatu karakteristik kualitas, seperti dimensi, berat, atau volume. Grafik kendali variabel dibagi menjadi grafik kendali univariat dan grafik kendali multivariat. Grafik kendali univariat digunakan untuk satu karakteristik kualitas, sedangkan grafik kendali multivariat digunakan untuk dua atau lebih karakteristik kualitas (Heizer & Render, 2009). Manfaat yang didapat dari peta kendali adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi apakah suatu proses produksi masih berada di dalam batas-batas kendali kualitas atau tidak terkendali.
2. Memantau proses produksi secara terus-menerus agar tetap stabil.
3. Menentukan kemampuan proses (*capability process*).
4. Mengevaluasi *performance* dan kebijaksanaan dari proses produksi.
5. Membantu menentukan kriteria batas penerimaan kualitas produk sebelum dipasarkan.

Aplikasi peta kendali dapat dilakukan terhadap data univariat maupun data multivariat dengan menggunakan dua fase di mana fase satu digunakan untuk mengumpulkan informasi dari data yang diteliti ketika proses berjalan saat keadaan normal. Pada fase ini batas kendali didapatkan dari data yang telah diambil. Data yang keluar dari batas kendali harus dicari penyebabnya dan data tersebut harus dihapus dari pengamatan dan kemudian batas kendali dihitung ulang dengan data yang sudah seluruhnya berada di dalam batas kendali. Pada fase dua, dilakukan pengamatan dengan menggunakan hasil perhitungan batas kendali pada fase satu di mana data sudah seluruhnya masuk ke dalam batas kendali. Jika data pada fase dua memiliki data yang keluar dari batas kendali tersebut harus dihapus dari pengamatan dan kemudian batas kendali dihitung ulang dengan data yang sudah seluruhnya berada di dalam batas kendali. Pada fase dua, dilakukan pengamatan dengan menggunakan hasil perhitungan batas kendali pada fase satu di mana data sudah seluruhnya masuk ke dalam batas kendali. Jika data pada fase dua memiliki data yang keluar dari batas kendali hasil perhitungan fase satu, maka hal ini menunjukkan bahwa terdapat keragaman yang signifikan pada proses yang mungkin akan mengakibatkan penurunan kualitas atau meningkatkan produk yang cacat (Montgomery, 2013).

2.2 Uji Dependensi Antar Variabel

Uji dependensi antar variabel merupakan salah satu uji statistik yang bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antar variabel karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian. Metode *Bartlett test* akan digunakan untuk menguji korelasi antar karakteristik kualitas pada penelitian ini. Uji *Bartlett Sphericity* merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui apakah matriks korelasi sama dengan matriks identitas, serta untuk mengetahui apakah terdapat hubungan (korelasi) antar variabel. Misalkan X_1, X_2, \dots, X_k merupakan variabel karakteristik kualitas, Maka variabel-variabel tersebut dikatakan saling bebas atau tidak berhubungan jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas. Hipotesis dan statistik uji dari pengujian korelasi yang digunakan adalah sebagai berikut (Morrison, 1990).
Hipotesis :

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (tidak ada korelasi antar karakteristik kualitas)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (terdapat korelasi antar karakteristik kualitas)

Statistik uji:

$$\chi^2 = -\left(m - 1 - \frac{2p+5}{6}\right) \ln|\mathbf{R}| \quad (2.1)$$

Keterangan:

m : jumlah observasi ($i=1,2,\dots,m$)

p : jumlah karakteristik kualitas ($j=1,2,\dots,p$)

\mathbf{R} : matrik korelasi dari masing-masing karakteristik kualitas

$|\mathbf{R}|$: determinan matrik korelasi

Dari hipotesis dan statistik uji diatas, dapat diketahui bahwa daerah penolakan H_0 yaitu apabila nilai $\chi^2 \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$ pada taraf signifikansi α atau p -value kurang dari α , sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antar variabel karakteristik kualitas.

2.3 Uji Normal Multivariat

Sebelum melakukan pemodelan statistik, penting untuk mengetahui apakah data yang sedang diamati memenuhi asumsi di bawah distribusi tertentu. Uji normal multivariat merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui apakah data berdistribusi

normal secara multivariat atau tidak. Analisis normal multivariat merupakan perluasan dari distribusi normal univariat dengan $p \geq 2$. Terdapat beberapa pengujian yang dapat digunakan untuk mendeteksi apakah data yang digunakan berdistribusi normal multivariat atau tidak, salah satu uji yang dapat digunakan yaitu uji *Shapiro-Wilk*. Dalam pengujian *Shapiro-Wilk* menggunakan hipotesis seperti berikut.

Hipotesis:

H_0 : $\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_n$ merupakan sampel yang berasal dari populasi berdistribusi normal multivariat

H_1 : $\mathbf{X}_1, \dots, \mathbf{X}_n$ merupakan sampel yang berasal dari populasi berdistribusi normal multivariat

Taraf signifikan: α

Statistik uji:

$$W^* = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p W_{Zi}, \quad (2.3)$$

Dengan menggunakan taraf signifikansi α , nilai $W^* > C_{\alpha;n,p}$ atau nilai *P-value* $< \alpha$ maka gagal tolak H_0 atau dapat dikatakan sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal multivariate (Alva & Estrada, 2009).

Langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi ketidaknormalan data adalah dengan membuat data tampak lebih normal dengan menerapkan beberapa metode normalisasi. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan melakukan transformasi pada data mentah. Setelah data diubah dan hasilnya mendekati normal, analisis selanjutnya dapat dilakukan. Banyak transformasi telah diusulkan, namun yang paling populer yaitu sebagai berikut (Raykov & Marcoulides, 2006).

- a. Transformasi *power*, seperti kuadrat atau akar kuadrat maupun transformasi timbal balik (*reciprocal transformations*)
- b. Transformasi logaritma.

2.4 Diagram Kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max MCUSUM)*

Diagram kendali *CUSUM* pertama kali diteliti oleh Page pada tahun 1954 (Page, 1954). *CUSUM* dibentuk dengan tujuan

untuk observasi individu dan rata-ratanya dari rasional subgroup (Montgomery, 2013). Diagram kontrol *CUSUM* lebih efisien digunakan untuk mendeteksi pergeseran kecil pada rata-rata atau varians dalam proses yang disebabkan adanya penyebab khusus. Selanjutnya, diagram ini dikembangkan menjadi diagram kontrol *Max CUSUM* yang digunakan untuk mengendalikan kualitas produk berdasarkan rata-rata dan variansnya dalam satu diagram. Pada diagram kontrol *Max CUSUM*, nilai $X_i = X_{i1}, \dots, X_{in}, i = 1, 2, \dots, n$ menunjukkan urutan sampel dengan ukuran n yang diambil dari karakteristik kualitas X . Variabel X diasumsikan independen dan berdistribusi normal multivariat. Nilai rata-rata proses dan standar deviasi yang telah ditetapkan sebelumnya disimbolkan dengan μ_0 dan σ_0 . Parameter μ dan σ didapatkan melalui rumus $\mu = \mu_0 + a\sigma_0$ dan $\sigma = b\sigma_0$, dimana $a = 0$ dan $b = 1$ apabila proses terkendali. Sementara itu, apabila proses tidak terkendali maka a merepresentasikan pergeseran rata-rata proses dan b merepresentasikan pergeseran varians dengan ketentuan $b > 0$ (Cheng & Thaga, 2005). Selanjutnya Cheng & Thaga (2005) mengembangkan diagram kendali yang dapat secara multivariat memonitor pergeseran rata-rata proses maupun variabilitas proses, yaitu digram kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max MCUSUM)*.

Diagram kendali *Max MCUSUM* mampu untuk mendeteksi pergeseran rata-rata maupun variabilitas proses yang kecil, dimana pergeseran proses dapat digunakan untuk mendeteksi apakah proses produksi sudah stabil atau belum. Diagram kendali ini hanya menggunakan batas kendali dalam memantau proses secara multivariat. Menurut Cheng & Thaga (2005), diagram kendali *Max MCUSUM* dikembangkan berdasarkan nilai maksimum dari jumlah kumulatif yang telah dihitung. Proses dikatakan terkendali apabila titik pengamatan berada didalam batas kendali, sebaliknya apabila titik pengamatan berada diatas batas kendali maka dapat dikatakan bahwa proses tidak terkendali secara statistik.

2.5 Diagram Kendali Max *MCUSUM* untuk Mean Vector

Asumsikan terdapat barisan variabel \mathbf{X} yang independen dan berdistribusi normal multivariat dimana $\mathbf{X}_i = (X_{i1}, \dots, X_{ip})'$ merupakan vektor observasi yang berukuran $px1$. Vektor $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_{m-1}$ pertama memiliki fungsi distribusi F_G , tetapi untuk $\mathbf{X}_m, \mathbf{X}_{m+1}, \dots$, berikutnya memiliki fungsi distribusi yang berbeda. F_B menunjukkan pergeseran pada vektor rata-rata. Diasumsikan bahwa pergeseran proses produksi yang terjadi pada waktu yang tidak diketahui m , tujuannya untuk mendeteksi pergeseran yang telah terjadi serta waktu pergeseran (Cheng & Thaga, 2005). Prosedur *CUSUM* menandakan bahwa pergeseran rata-rata vektor terjadi segera setelah persamaan berikut.

$$S_i = \max \left(0, S_{i-1} + \log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} \right) > L, \quad (2.7)$$

dimana f_G dan f_B adalah densitas yang sesuai dengan F_G dan F_B , serta L adalah konstanta yang menentukan karakteristik operasi prosedur *CUSUM* (Healy, 1987).

Seperti yang akan ditunjukkan, dilakukan *rescaling* pada persamaan (2.7) dengan membagi $\log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)}$ dan L oleh nilai konstanta yang sama seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2.11). Nilai awal diagram kontrol *CUSUM* yang ditentukan adalah $S_0 = 0$. Pada setiap periode waktu, statistik *CUSUM* dibandingkan dengan interval keputusan tetap L dan jika lebih dari L dapat diartikan terjadi pergeseran proses. Setelah pendeteksian pergeseran dan tindakan perbaikan dilakukan, statistik *CUSUM* diatur ulang kembali ke nilai awal S_0 .

Diasumsikan bahwa \mathbf{X}_i berasal dari distribusi normal multivariat dengan rata-rata yang telah ditentukan $\boldsymbol{\mu}_G$ yaitu ketika proses terkendali, dan rata-rata buruk $\boldsymbol{\mu}_B$ yaitu ketika proses tidak terkendali dimana $\boldsymbol{\mu}_B = \boldsymbol{\mu}_G + \boldsymbol{\delta}$ dan dengan matriks kovarians umum yang diketahui Σ . Jika setiap variabel random normal independen \mathbf{X}_i , dapat dihitung karakteristik kualitas sebanyak p , sebuah vektor berukuran $px1$ terbentuk dan sebuah matriks varians kovarians dengan ukuran pxp juga terbentuk. Untuk

distribusi normal multivariat, diagram kontrol *CUSUM* dikembangkan melalui persamaan rasio *likelihood*, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = \frac{(2\pi)^{-p/2} |\Sigma|^{-1/2} \exp\left\{-0.5(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_B)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_B)\right\}}{(2\pi)^{-p/2} |\Sigma|^{-1/2} \exp\left\{-0.5(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G)\right\}}, \quad (2.8)$$

$$\frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = \frac{\exp\left\{-0.5(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_B)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_B)\right\}}{\exp\left\{-0.5(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G)\right\}} \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan logaritma, maka didapatkan sebagai berikut,

$$\log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} \mathbf{X}_i - 0.5(\boldsymbol{\mu}_B + \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G) \quad (2.10)$$

Diagram kontrol *CUSUM* untuk proses multivariat dihitung dengan mensubstitusikan persamaan (2.10) ke dalam persamaan (2.7). Kemudian, persamaan baru dihilangkan dengan cara membagi kedua sisi dari persamaan dengan suatu konstanta. Nilai h merupakan batas atas yang diperoleh dengan melakukan simulasi, sedangkan nilai k sebesar 0,5 didapatkan berdasarkan referensi dari Cheng & Thaga (2005). Sehingga, prosedur *CUSUM* untuk proses multivariat ditunjukkan sebagai berikut,

$$S_i = \max(0, S_{i-1} + \mathbf{a}' \mathbf{X}_i - k) > h, \quad (2.11)$$

dimana

$$\mathbf{a}' = \frac{(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1}}{[(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)]^{1/2}}, \quad (2.12)$$

dan

$$k = 0.5 \frac{(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)}{[(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)]^{1/2}}, \quad (2.13)$$

Parameter *noncentrality* yang merupakan nilai jarak dari titik tengah ditentukan sebagai berikut,

$$D = \sqrt{(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)}, \quad (2.14)$$

dan

$$Z_i = \mathbf{a}' (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G) \quad (2.15)$$

Peta kendali *CUSUM* untuk mendeteksi pergeseran pada vektor *mean* proses normal multivariat dapat ditulis sebagai berikut.

$$C_i = \max(0, C_{i-1} + Z_i - 0.5D) > h \quad (2.16)$$

Persamaan Z_i memiliki distribusi normal univariat ketika \mathbf{X}_i memiliki rata-rata sama dengan $\boldsymbol{\mu}_G$. Jika rata-rata bergeser ke $\boldsymbol{\mu}_B$ maka $\mathbf{a}'(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G)$ memiliki distribusi normal univariat dengan rata-rata D dan variansi 1.

2.6 Diagram Kendali *Max MCUSUM* untuk Matriks Kovarians

Seperti *mean* proses, variansi proses biasanya diproses dari matriks kovarians pada kasus multivariat. Hal ini penting untuk menilai apakah proses terkendali atau tidak. Prosedur dibawah ini menunjukkan diagram kontrol yang menunjukkan perubahan pada variabilitas proses dengan mengamsusikan bahwa rata-rata proses tetap konstan selama proses produksi berlangsung. Dengan menggunakan *likelihood ratio test* seperti yang diatas dan mengasumsikan bahwa terdapat dua kondisi produksi, yaitu kondisi baik dan kondisi buruk, Healy (1987) mengembangkan suatu diagram kontrol *CUSUM* untuk proses variabilitas. Ketika proses dalam keadaan baik, maka data berdistribusi normal multivariat dengan rata-rata $\boldsymbol{\mu}$ dan matriks kovarians Σ . Sedangkan, jika variabilitas proses mengalami pergeseran, rata rata yang digunakan tetap $\boldsymbol{\mu}$, tetapi matriks kovarians bergeser ke $b\Sigma$ dengan $b>0$. Asumsi ini berlaku ketika terjadi pergeseran, semua varians bergeser secara proporsional dan korelasi antar variabel tetap sama. Pergeseran tipe ini dapat muncul ketika sesuatu terjadi pada proses manufaktur yang mempengaruhi semua variabel pada proses (Cheng & Thaga, 2005). Rasio *likelihood* yang diberikan adalah sebagai berikut.

$$\frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = \frac{(2\pi)^{-p/2} |b\Sigma|^{-1/2} \exp\{-0.5(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})'(b\Sigma^{-1})(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})\}}{(2\pi)^{-p/2} |\Sigma|^{-1/2} \exp\{-0.5(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})'\Sigma^{-1}(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})\}}, \quad (2.17)$$

sehingga didapatkan

$$\log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = -\frac{1}{2} \log b + 0.5(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})'\Sigma^{-1}(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}) \left(1 - \frac{1}{b}\right) \quad (2.18)$$

Diagram kontrol *CUSUM* untuk mendeteksi suatu pergeseran pada variabilitas dari suatu proses yang normal multivariat dapat ditulis sebagai berikut.

$$S_i = \max(S_{i-1} + (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}) - v, 0) > h, \quad (2.19)$$

dimana

$$v = \log(b) \left(\frac{b}{b-2} \right) \quad (2.20)$$

Sebagaimana yang telah ditunjukkan oleh Muirhead (1982) bahwa $(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})$ mengikuti distribusi *chi-square* dengan derajat bebas p . Jika populasi matriks kovarians tidak diketahui, maka diestimasi dengan matriks kovarians \mathbf{S} dari sampel. Maka $(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})$ akan mengikuti distribusi F dengan derajat bebas p dan $n-p$. Untuk mengembangkan suatu diagram kontrol *CUSUM* multivariat yang dapat memonitor vektor *mean* dan matriks kovarians, dibuat transformasi sebagai berikut.

$$Y_i = \Phi^{-1}\{H[(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}); p]\}, \quad (2.21)$$

dimana $\Phi(z) = P(Z \leq z)$, dengan $Z \sim N(0,1)$, berdistribusi normal standar. Fungsi Φ^{-1} adalah invers dari fungsi distribusi kumulatif normal standar dan $H(w; p) = P(W \leq w | p)$ untuk $W \sim \chi_p^2$, distribusi *chi-square* dengan derajat bebas p . Fungsi Z_i dan Y_i pada persamaan (2.13) dan (2.19) adalah independen dan ketika rata-rata proses dan variabilitas proses terkendali maka $\boldsymbol{\delta} = \mathbf{0}$ dan $b=1$, keduanya mengikuti distribusi normal standar univariat dan distribusi tersebut tidak tergantung pada ukuran sampel. Karena Z_i dan Y_i memiliki distribusi yang sama, dapat dibuat suatu diagram kontrol *CUSUM* yang dapat memonitor secara simultan baik rata-rata proses maupun variabilitas proses dalam satu diagram kontrol. Statistik *CUSUM* berdasarkan independensi dan distribusi normal variabel Z_i dan Y_i , diberikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_i^+ &= \max(0, Z_i - 0.5D + C_{i-1}^+) \\ C_i^- &= \max(0, -0.5D - Z_i + C_{i-1}^-), \end{aligned} \quad (2.22)$$

untuk memonitor rata-rata proses

$$\begin{aligned}
 S_i^+ &= \max(0, Y_i - k + S_{(i-1)}^+) \\
 S_i^- &= \max(0, -k - Y_i + S_{(i-1)}^-),
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

untuk memonitor variabilitas proses, dengan C_0 dan S_0 bernilai 0. Karena pada prosedur pengendalian kualitas multivariat dilakukan *monitoring* pada besarnya pergeseran bukan arahnya, statistik *CUSUM* diatas akan ditransformasi ke statistik berikut ini.

$$\begin{aligned}
 C_i &= \max(C_i^+, C_i^-) \\
 S_i^- &= \max(S_i^+, S_i^-)
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

Karena Z_i dan Y_i mengikuti distribusi yang sama, statistik untuk diagram kontrol multivariat dapat dikembangkan menjadi sebagai berikut.

$$M_i = \max(C_i, S_i) \tag{2.25}$$

Karena digunakan nilai maksimum *CUSUM* untuk mengembangkan diagram kontrol, maka disebut diagram kontrol *Maximum Multivariate Cumulative SUM (Max MCUSUM)*. Statistik M_i akan bernilai besar ketika vektor *mean* proses jauh dari nilai μ_G atau ketika variabilitas proses jauh dari nilai Σ . Nilai M_i yang kecil menunjukkan bahwa proses berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Karena $M_i \geq 0$, maka hanya digunakan batas kontrol atas atau *upper control limit* (Cheng & Thaga, 2005).

2.7 Penentuan Interval Keputusan

Penentuan Interval keputusan (h) atau biasanya dikenal dengan batas kendali atas didapatkan melalui pendekatan dengan kriteria nilai *Average Run Length* atau *ARL*. *Average Run Length* (*ARL*) merupakan rata-rata jumlah titik yang harus diplotkan hingga didapatkan titik *out of control* pertama (Montgomery, 2013). Untuk peta kendali *Max MCUSUM*, tidak ada cara langsung dalam menghitung *ARL*, sehingga setiap nilai *ARL* didapatkan melalui simulasi (Cheng & Thaga, 2005). Dalam penelitian, *ARL* yang digunakan adalah sebesar 370 dengan

menggunakan α sebesar 0,0027. Simulasi dilakukan dengan algoritma sebagai berikut (Khusna, Mashuri, Ahsan, Suhartono, & Prasetyo, 2018).

1. Menentukan nilai signifikansi α , jumlah data n , jumlah variabel p , dan nilai koefisien korelasi Σ .
2. Menentukan nilai k yang akan digunakan.
3. Untuk N replikasi, berikut merupakan langkah yang dapat dilakukan:
 - i. Membangkitkan 10.000 data secara random berdistribusi normal multivariat dengan *mean* dan matriks kovarians bernilai sama dengan sampel yang digunakan.
 - ii. Melakukan pengambilan sampel secara random sebanyak 1.000 dari total 10.000 data. Kemudian dihitung nilai statistik M_i yang akan menjadi angka simulasi dengan $i=1,2,\dots,1000$.
 - iii. Mengurutkan nilai M_i dari nilai terkecil ke nilai terbesar, kemudian menghitung data ke- $[100 \times (1-\alpha)]$ dari masing-masing 1000 sampel sebanyak N replikasi, sehingga akan didapatkan N data.
 - iv. Menghitung rata-rata N data, sehingga akan didapatkan nilai h .
4. Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai ARL (*Average Run Length*), karena α yang digunakan yaitu 0,27% maka nilai ARL yang diinginkan sebesar 370. Apabila rata-rata yang didapatkan kurang dari 370 maka batas kendali atas yang telah ditentukan diawal nilainya dapat dinaikkan, sebaliknya jika nilai ARL yang didapatkn lebih besar dari 370 maka nilai batas kendali atas yang telah ditentukan diawal diturunkan. Nilai batas kendali atas yang terpilih ketika nilai ARL yang dihasilkan mendekati 370.

2.8 Proses Produksi Semen

Proses produksi semen di PT Semen “X” melewati lima tahap yaitu proses penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan, proses pembakaran, proses penggilingan akhir, dan proses

pengemasan. Dalam penelitian ini dikhususkan pada satu tahapan proses yaitu tahap penggilingan akhir. Berikut ini merupakan tahapan dari proses pembuatan semen.

1. Penyediaan Bahan Mentah

Bahan baku utama dalam pembuatan semen yaitu batu kapur dan tanah liat yang didapatkan melalui proses pertambangan. Batu kapur dan tanah liat tersebut selanjutnya dihancurkan dengan tujuan untuk memperkecil ukuran sehingga memudahkan dalam proses penggilingan. *Crusher* merupakan alat utama untuk menghasilkan bebatuan kapur dengan ukuran yang sesuai persyaratan, sedangkan tanah liat diproses dalam *Clay Cutter* untuk mendapatkan ukuran yang sesuai persyaratan. Hasil produk dalam tahap ini adalah *Mix Pile* yang merupakan campuran batu kapur dan tanah liat. Selanjutnya dilakukan proses *preblending* dan prahomogen yang bertujuan untuk memperoleh material yang lebih homogen di *Reclamer Scrapper*, kemudian bahan baku akan diletakkan di *Pile Storage*.

2. Pengolahan Bahan

Seluruh bahan baku akan masuk kedalam *vertical roller mill* (*Raw Mill*) melalui *feedel r-feeder* pada bagian tengah. Material yang sudah tergiling halus akan terbawa udara panas keluar *raw mill* melalui bagian atas alat tersebut. Material kemudian digiling menjadi bentuk serbuk halus dengan ukuran maksimum 90 mikron dengan kadar air 1% dan dikenal sebagai produk *raw mill* atau *kiln feed*. Proses pengeringan bahan baku dilakukan dengan memakai gas sisa pembakaran dari *kiln*. Selanjutnya, produk dari *raw mill* akan dimasukkan ke *blending silo*, dalam silo selain digunakan untuk menyimpan produk dari *raw mill* juga digunakan untuk melakukan proses *blending* atau pencampuran dan homogenisasi sebelum dibakar dalam *kiln*. Jika produk *raw mill* tidak homogen, maka akan berpengaruh pada operasi *kiln* yaitu proses pembakaran yang terjadi tidak stabil, pembentukan *ring* (cincin) di *kiln*, kebutuhan bahan bakar tinggi, pembentukan *coating* menjadi tidak stabil, *life time brick* akan rendah dan mengurangi *output kiln*.

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 $\pm 330^{\circ}\text{C}$, $\pm 540^{\circ}\text{C}$, $\pm 720^{\circ}\text{C}$, dan $\pm 840^{\circ}\text{C}$. Setelah melewati *preheater*, produk *raw mill* akan masuk ke *rotary kiln*, di dalam *kiln* ini terjadi proses kimia, produk *raw mill* atau klinkerisasi yang terjadi melalui pembakaran pada suhu 1450°C . Pembakaran dilakukan dengan *fire burner* yang berbahan bakar batu bara, *industrial diesel oil* cair (IDO), atau bahan bakar alternatif. Produk keluaran *kiln* ini disebut dengan terak. Selanjutnya terak akan didinginkan secara mendadak dalam *cooler* agar kualitas terak dapat terjaga untuk menghindari disosiasi C_3S menjadi C_2S serta untuk keselamatan ketika pemindahan maupun penyimpanan.

4. Penggilingan Akhir

Setelah keluar dari *cooler*, terak ini disimpan di *clinker storage* atau dijual ke pabrik semen yang lain sebagai bahan baku semen. Untuk terak yang disimpan, selanjutnya dibawa menuju *cement mill* untuk dilakukan penggilingan dengan *gypsum* serta material tambahan lainnya. Proses pencampuran bahan di *cement mill* ini yang nantinya akan menentukan jenis semen yang di produksi. Proses penggilingan terak secara garis besar dibagi menjadi sistem penggilingan *open circuit* dan sistem penggilingan *closed circuit*. Dalam *open circuit*, panjang *shell* sekitar 4-5 kali dari diameter untuk mendapatkan kehalusan yang diinginkan. Sedangkan dalam *closed circuit* panjang *shell* sekitar 3 kali diameter atau kurang untuk mempercepat produk yang lewat. *Separator* bekerja sebagai pemisah sekaligus pendingin produk semen. Material yang telah mengalami penggilingan kemudian diangkut oleh *bucket elevator* menuju *separator*. Dalam proses ini *separator* berfungsi untuk memisahkan semen yang ukurannya telah cukup halus dengan ukuran yang kurang halus. Setelah

proses di *cement mill* berakhir semen akan dibawa menuju silo sesuai dengan jenisnya. *Silo* ini merupakan tempat penyimpanan semen jadi yang siap dikemas dalam *bag* maupun curah/*bulk*.

5. Pengemasan (*Bagging*)

Dalam proses pengemasan semen dibagi menjadi dua, yaitu pengemasan dengan menggunakan sak dan pengemasan dalam bentuk semen curah. 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. Namun dapat juga diangkut menggunakan truk lalu dibawa ke pelabuhan untuk selanjutnya dimuat menggunakan kapal menuju daerah pemasaran yang cukup jauh atau luar pulau. Pada proses pengantongan *bag/sak* semen dilakukan setelah semen yang berada di silo dimasukkan ke *bucket elevator*, dalam *bucket elevator* dilakukan *vibrating screen* digunakan sebagai alat saring untuk membuang material kasar yang bercampur semen sebelum masuk ke *air slide*. Semen yang sudah dikemas kemudian disortir dan dicari penyebab cacat. Semen yang cacat akan diarahkan ke mesin *cutter* sehingga semen jatuh di *air slide* dan kembali ke *bucket elevator*. Selanjutnya semen yang sudah terisi dilanjutkan dengan alat transportasi terbentuk sabuk dan digerakkan oleh motor yaitu *belt conveyor*. Setelah semen per sak jatuh di truk, para sopir memeriksa semen pesanannya. Apabila ada yang cacat atau sobek, semen akan dikembalikan dan diganti yang baru.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari Departemen *Quality Assurance* pabrik semen PT Semen “X”. Unit penelitian adalah semen dengan jenis yang sama dalam satu periode produksi. Data yang tersedia terdiri atas 12 variabel yang merupakan senyawa kimia penyusun semen, dan 2 variabel yang merupakan parameter fisikan semen. Pada penelitian ini hanya menggunakan 3 aspek yang dianggap paling dominan terhadap komposisi semen. Objek yang diteliti yaitu Calsium Oksida atau kapur tohor (CaO), Pasir Silika (SiO_2), dan Oksida Alumunium (Al_2O_3). Pengukuran dilakukan pada tahap akhir sebelum pengantongan (*bagging*) kemudian dilakukan pengujian di laboratorium kimia dibawah pengawasan Departemen *Quality Assurance*.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 variabel yang paling dominan (utama) dalam pembuatan semen di PT Semen “X” sebagai berikut.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan
X_1	Calsium Oksida (CaO)	Persen (%)
X_2	Pasir Silika (SiO_2)	Persen (%)
X_3	Oksida Alumunium (Al_2O_3)	Persen (%)

Pengukuran variabel-variabel yang ada di PT Semen “X” didasarkan pada pemeriksaan yang dilakukan oleh bagian laboratorium *Quality Assurance* pada tahap penggilingan akhir dengan penjelasan variabel sebagai berikut.

1. Kalsium Oksida atau kapur tohor (CaO) adalah 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 karena CaO merupakan senyawa dengan jumlah terbesar yang bereaksi dengan senyawa-senyawa silikat, aluminat dan besi yang membentuk senyawa potensial penyusun semen.

2. Oksida silica atau pasir silika (SiO_2) adalah senyawa yang diperoleh dari peruraian mineral-mineral kelompok *montmorillonite* yang berasal dari tanah liat. Dalam semen, SiO_2 selalu terikat dengan CaO.
3. Oksida Alumunium (Al_2O_3) bahan baku yang mempunyai morfologi sebagai bentuk bubuk putih yang diperoleh dari bauksit melalui proses Bayer. Al_2O_3 berperan sebagai *fluks* (penurunan titik leleh) campuran bahan-bahan baku.

3.3 Struktur Data

Stuktur dari data yang akan digunakan pada penelitian ini di mana jumlah observasi yaitu sebanyak 90 observasi seperti berikut:

Tabel 3.2 Struktur Data Karakteristik Kualitas Semen

Observasi ke-	Karakteristik Kualitas		
	X_1	X_2	X_3
1	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$
2	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
90	$X_{1,90}$	$X_{2,90}$	$X_{3,90}$

Dimana X_1 merupakan Kalsium Oksida atau kapur tohor (CaO), X_2 merupakan Oksida silica atau pasir silika (SiO_2), dan X_3 merupakan Oksida Alumunium (Al_2O_3). Satuan dari ketiga variabel tersebut adalah persen (%).

3.4 Langkah Analisis

Berikut ini adalah langkah analisis yang digunakan dalam melakukan penelitian

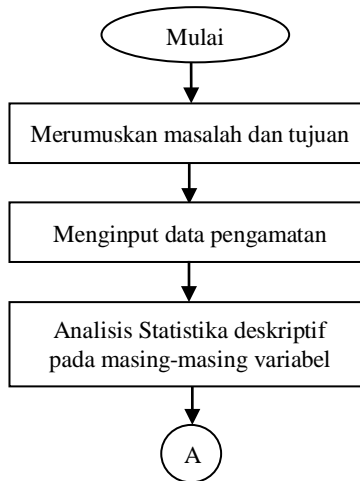
1. Merumuskan masalah dan tujuan penelitian.
2. Menginput data pengamatan pada PT Semen “X”.

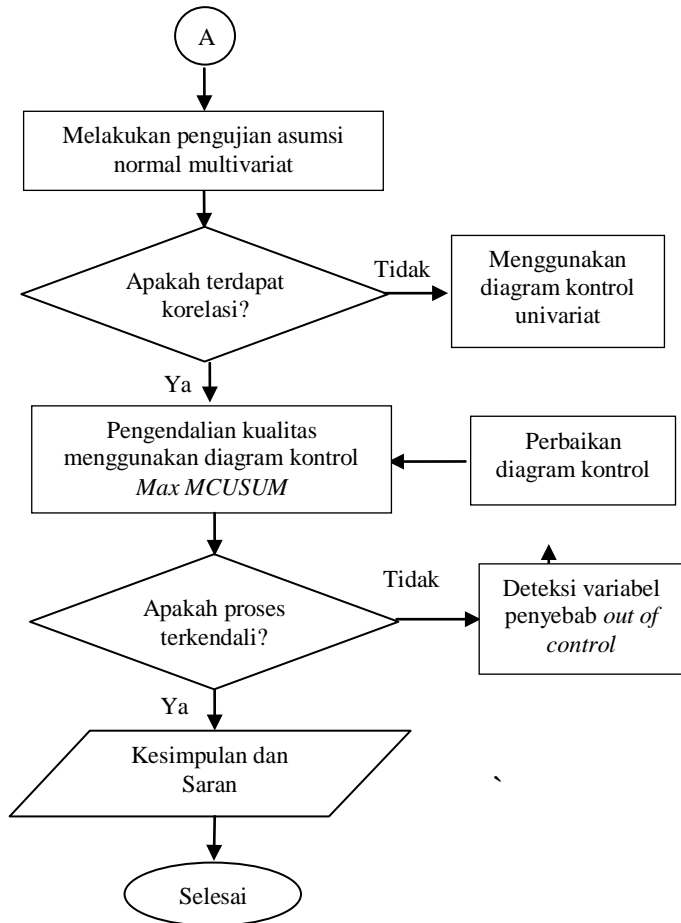
3. Mendeskriptifkan data pada masing-masing variabel yaitu variabel Calsium Oksida atau kapur (CaO), Pasir Silika (SiO_2), dan Oksida Alumunium (Al_2O_3) dengan menggunakan statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik setiap variabel.
4. Melakukan pengujian normal multivariat serta pengujian korelasi antar pengamatan pada data komposisi penyusun semen pada pabrik semen PT Semen "X".
5. Melakukan pengontrolan rata-rata dan variabilitas proses dengan menggunakan diagram kontrol *Max MCUSUM*. Nilai *CUSUM* berturut-turut adalah M_i yang diplotkan terhadap titik sampel dengan simbol berupa titik. Langkah-langkah pembuatan diagram kontrol *Max MCUSUM* adalah sebagai berikut.
 - a. Menentukan paramater p , rata-rata vektor *good* μ_G , rata-rata vektor *bad* μ_B , dan nilai target matriks kovarians Σ . Parameter p adalah banyaknya variabel pengamatan, vektor rata-rata μ_G merupakan nilai target yang ditentukan oleh perusahaan untuk suatu karakteristik kualitas, sedangkan vektor rata-rata μ_B didapatkan dari rata-rata sampel yang digunakan.
 - b. Jika μ_B tidak diketahui, maka didapatkan melalui vektor *mean* sampel yaitu \bar{X} yang berukuran p dari suatu rata-rata sampel. Sedangkan, apabila nilai target matriks kovarians tidak diketahui, maka digunakan sampel matriks kovarians S untuk mengestimasi matriks kovarians.
 - c. Untuk setiap sampel, dihitung nilai Z_i dan Y_i dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.15) dan persamaan (2.21).
 - d. Untuk mendeteksi perubahan pada vektor rata-rata proses dan matriks kovarians, menghitung nilai k jumlah kumulatif C_i^+ , C_i^- menggunakan rumus pada persamaan (2.22) S_i^+ dan S_i^- seperti rumus pada persamaan (2.23) dan transformasi ke nilai C_i dan S_i .
 - e. Menghitung nilai M_i dan membandingkan dengan h (interval keputusan seperti persamaan (2.25)).

- f. Melakukan *plotting* terhadap titik pengamatan dengan simbol titik terhadap sampel jika $M_i \leq h$.
- g. Jika nilai M_i lebih dari interval keputusan (h), karakter plottingan berikut harus digunakan untuk menunjukkan statistik bahwa diagram kontrol berada di atas interval.
 - i) Jika $C_i \geq h$, plotkan C^+ yang menunjukkan pergeseran proses pada vektor rata-rata.
 - ii) Apabila $S_i \geq h$, plotkan S^+ yang menunjukkan pergeseran proses pada matriks kovarians.
 - iii) Sedangkan, jika baik $C_i \geq h$ dan $S_i \geq h$, plotkan B^{++} yang menunjukkan pergeseran proses, baik pada rata-rata maupun varians.
6. Melakukan pengendalian kualitas produksi semen.
7. Menarik kesimpulan dan saran.

3.5 Diagram Alir

Selanjutnya berdasarkan langkah analisis di atas maka diperoleh diagram alir yang menggambarkan alur perjalanan pembuatan penelitian. Berikut adalah diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

PT Semen “X” secara umum memproduksi dua jenis semen dengan senyawa penyusun semen terdiri dari 12 senyawa kimia dan 2 parameter fisika. Dalam hal ini, kualitas semen dapat dilihat melalui kuat tekan dari semen. Secara teoritis menurut Departemen *Quality Assurance* pada PT Semen “X”, kuat tekan semen dipengaruhi oleh senyawa C_3S , C_2S , C_3A , dimana senyawa-senyawa yang mempengaruhi kuat tekan tersebut dominan tersusun atas senyawa kimia CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 yang saling berikatan, sehingga dapat dikatakan bahwa senyawa kimia CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen. PT Semen “X” selama ini telah melakukan pengendalian kualitas pada produksi semen. Pengendalian kualitas tersebut tidak diikuti dengan pengendalian secara statistik menggunakan *control chart*, namun hanya sebatas analisa deskriptif dan perhitungan secara manual. Oleh karena itu, diperlukan suatu monitoring kualitas proses produksi secara statistik agar dapat memonitoring proses produksi dan terjadinya pergeseran proses dapat terdeteksi lebih ketat. Apabila monitoring proses semakin ketat dilakukan maka dapat meminimalisir kerugian perusahaan.

4.1 Karakteristik Variabel Kualitas Semen

Kualitas dari semen dapat dilihat melalui kuat tekan. Senyawa kalsium oksida (CaO), pasir silika (SiO_2), dan oksida aluminium (Al_2O_3) merupakan tiga senyawa penyusun semen dengan kandungan paling banyak, selain itu ketiga senyawa tersebut merupakan senyawa penyusun semen yang dapat mempengaruhi kuat tekan dari semen.. Pada sub bab ini akan dibahas karakteristik atau gambaran variabel kualitas produksi semen dengan tiga variabel utama yang digunakan, yaitu variabel CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 . Karakteristik setiap variabel digambarkan menggunakan ukuran pemusatan dan ukuran penyebaran data baik secara keseluruhan maupun pada masing-masing fase. Gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas dari variabel CaO , SiO_2 , dan Al_2O_3 ditunjukkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Karakteristik Kualitas Semen

Variabel	Mean (%)	Varians (%)	Min (%)	Max (%)	Target (%)
CaO	64,67	0,24	63,49	65,67	64%
SiO₂	19,66	0,70	17,42	21,31	19,8%
Al₂O₃	5,66	0,05	5,20	6,14	5,5%

Pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa secara keseluruhan dari variabel kalsium oksida (CaO), pasir silika (SiO₂), dan oksida alumunium (Al₂O₃) masing-masing variabel memiliki nilai rata-rata sebesar 64,67, 19,66%, dan 5,66%. Hal tersebut menunjukkan bahwa rata-rata kandungan senyawa kalsium oksida (CaO) dan senyawa oksida alumunium (Al₂O₃) lebih tinggi dibandingkan dengan target yang telah ditetapkan oleh perusahaan, sebaliknya kandungan dari senyawa pasir silika (SiO₂) lebih rendah dibandingkan target perusahaan. Namun, perbedaan yang ada pada senyawa kalsium oksida (CaO), senyawa pasir silika (SiO₂), dan senyawa oksida alumunium (Al₂O₃) tidak terlalu signifikan. Apabila ditinjau berdasarkan nilai maksimum dan nilai minimum secara keseluruhan pada masing-masing variabel, maka dapat dikatakan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan target yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Berdasarkan Tabel 4.1 diatas, juga dapat diketahui bahwa secara keseluruhan nilai varians terkecil adalah pada variabel oksida alumunium (Al₂O₃), yaitu sebesar 0,05%. Nilai ini dapat dikatakan kecil jika dibandingkan dengan varians pada variabel lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa persentase kandungan senyawa oksida alumunium (Al₂O₃) pada semen cenderung homogen, karena jarak antar data relatif kecil.

4.2 Pengujian Dependensi antar Variabel

Pengendalian kualitas pada produksi semen dengan menggunakan peta kendali *Max MCUSUM* dengan variabel yang digunakan yaitu variabel kalsium oksida (CaO), pasir silika (SiO₂), dan oksida alumunium (Al₂O₃) sebelumnya harus memenuhi asumsi dependensi. Pengujian dependensi pada

penelitian ini menggunakan uji *Bartlett Sphericity* dengan hasil sebagai berikut.

Hipotesis :

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (tidak ada korelasi antar variabel CaO, SiO₂, dan Al₂O₃ atau independen)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (terdapat korelasi antar variabel CaO, SiO₂, dan Al₂O₃ atau tidak independen)

Berdasarkan hasil pengujian dengan taraf signifikansi sebesar 5% dengan daerah penolakan jika $P\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak. Berdasarkan hasil pengujian, nilai *Chi-square* yang didapatkan yaitu sebesar 190,907, dimana nilai tersebut lebih besar jika dibandingkan nilai *Chi-square* tabel dengan derajat bebas 3 yaitu sebesar 7,815, sehingga menghasilkan keputusan tolak H_0 . Keputusan tolak H_0 juga diperkuat dengan nilai $P\text{-value}$ yang dihasilkan yaitu sebesar 0,00 yang berarti bahwa nilai $P\text{-value} < 0,05$. Berdasarkan keputusan tersebut, maka kesimpulan yang didapatkan berdasarkan uji *Bartlett Sphericity* bahwa ketiga variabel saling dependen atau dengan kata lain bahwa variabel kalsium oksida (CaO), pasir silika (SiO₂), dan oksida aluminium (Al₂O₃) saling berhubungan.

4.3 Pengujian Distribusi Normal Multivariat

Pengujian distribusi normal multivariat dilakukan terhadap ketiga variabel, yaitu variabel kalsium oksida (CaO), pasir silika (SiO₂), dan oksida aluminium (Al₂O₃) dengan menggunakan uji *Shapiro-Wilk*. Dengan menggunakan taraf signifikansi sebesar 5% data dikatakan mengikuti distribusi normal multivariat apabila nilai $P\text{-value} > \alpha$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai statistik uji W^* sebesar 0,97442 dengan $P\text{-value}$ sebesar 0,0727. Berdasarkan hasil tersebut maka didapatkan keputusan gagal tolak hipotesis nol karena nilai $P\text{-value} > 0,05$. Selanjutnya, berdasarkan keputusan yang diperoleh, maka didapatkan kesimpulan bahwa asumsi distribusi normal multivariat dalam penelitian ini terpenuhi, sehingga dapat dilanjutkan untuk analisis selanjutnya.

4.4 Peta Kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max MCUSUM)*

Diagram kontrol *Max MCUSUM* merupakan perkembangan dari diagram kontrol *CUSUM* dan *MCUSUM*, dimana dalam penggunaannya diagram kontrol *Max MCUSUM* lebih efektif dikarenakan secara simultan memonitor rata-rata dan varians dalam satu diagram kontrol. Pada pengendalian kualitas menggunakan peta kendali *Max MCUSUM*, hanya digunakan batas kontrol atas atau interval keputusan (h) dalam memonitoring proses secara multivariat. Jika vektor rata-rata proses atau matriks kovarians telah bergeser dari nilai target, maka besarnya pergeseran akan tinggi dan titik titik yang diplot pada grafik kendali akan berada diluar batas kendali atas. Sebaliknya, jika proses telah terkendali secara statistik, maka pergeseran proses akan kecil sehingga titik yang diplot pada grafik kendali akan berada dibawah batas kendali atas. Pada metode peta kendali *Max MCUSUM* batas kendali atas atau interval keputusan (h) diperoleh dengan melakukan simulasi pada 10.000 bangkitan data random berdistribusi normal multivariat yang memiliki nilai rata-rata dan matriks kovarians bernilai sama dengan data karakteristik kualitas produksi semen pada fase I. Penentuan batas kendali atas dilakukan dengan menggunakan simulasi karena belum terdapat referensi untuk pengendalian kualitas produksi semen berdasarkan variabel kalsium oksida (CaO), pasir silika (SiO_2), dan oksida alumunium (Al_2O_3). Penentuan dilakukan dengan cara sebagai berikut.

4.4.1 Penentuan Interval Keputusan (h)

Interval keputusan (h) atau biasanya dikenal dengan batas kendali atas didapatkan melalui simulasi dengan menggunakan nilai α sebesar 0,0027 sehingga nilai ARL atau *Average Run Length* sebesar 370. Berikut merupakan algoritma yang digunakan dalam melakukan simulasi.

1. Menentukan nilai signifikansi α , jumlah data n , jumlah variabel p , dan nilai koefisien korelasi Σ .
2. Menentukan nilai k yang akan digunakan.

3. Untuk 500 replikasi, berikut merupakan langkah yang dapat dilakukan:

- i. Membangkitkan 10.000 data secara random berdistribusi normal multivariat dengan *mean* dan matriks kovarians bernilai sama dengan sampel yang digunakan, yaitu sebagai berikut.

$$\boldsymbol{\mu} = \begin{bmatrix} 64,67 \\ 19,66 \\ 5,66 \end{bmatrix}, \boldsymbol{\Sigma} = \begin{bmatrix} 0,237 & 0,334 & 0,077 \\ 0,334 & 0,695 & 0,153 \\ 0,077 & 0,153 & 0,052 \end{bmatrix}$$

- ii. Melakukan pengambilan sampel secara random sebanyak 1.000 dari total 10.000 data. Kemudian dihitung nilai statistik M_i yang akan menjadi angka simulasi dengan $i=1,2,\dots,1000$.
 - iii. Mengurutkan nilai M_i dari nilai terkecil ke nilai terbesar, kemudian menghitung data ke-[100 x (1- α)] dari masing-masing 1000 sampel sebanyak 500 replikasi, sehingga akan didapatkan 500 data.
 - iv. Menghitung rata-rata 500 data, sehingga akan didapatkan nilai h .
4. Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai ARL (*Average Run Length*), karena α yang digunakan yaitu 0,27% maka nilai ARL yang diinginkan sebesar 370. Apabila rata-rata yang didapatkan kurang dari 370 maka batas kendali atas yang telah ditentukan diawal nilainya dapat dinaikkan, sebaliknya jika nilai ARL yang didapatkn lebih besar dari 370 maka nilai batas kendali atas yang telah ditentukan diawal diturunkan. Nilai batas kendali atas yang terpilih ketika nilai ARL yang dihasilkan mendekati 370.

Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan algoritma diatas maka didapatkan nilai batas kendali atas (h) sebesar 168,1329. Sehingga, interval keputusan (h) yang akan digunakan pada pengendalian kualitas produksi semen menggunakan peta kendali *Max MCUSUM* adalah sebesar 168,1329.

4.4.2 Pengendalian Kualitas Produksi Semen

Pada subbab sebelumnya telah dilakukan simulasi untuk mendapatkan batas kendali atas dan diperoleh nilai sebesar

168,1329. Selanjutnya, dilakukan pengendalian pada data karakteristik kualitas produksi semen PT Semen “X”. Pada penelitian ini data yang digunakan sejumlah 90 data. Sebelumnya dilakukan penentuan parameter, agar nilai *mean* dan varians dapat diplotkan terhadap batas kendali atas atau interval keputusan (*h*). Pada penelitian ini diketahui bahwa karakteristik yang digunakan atau *p* adalah sebanyak 3 variabel, yaitu kalsium oksida (CaO), pasir silika (SiO₂), dan oksida alumunium (Al₂O₃). Selanjutnya diketahui juga bahwa μ_G adalah nilai target yang telah ditentukan oleh perusahaan atau dalam hal ini μ_G pada masing-masing variabel kalsium oksida (CaO), pasir silika (SiO₂), dan oksida alumunium (Al₂O₃) adalah 64%, 19,8%, dan 5,5%. Kemudian, untuk μ_B didapatkan dari nilai rata-rata dari data sampel yang digunakan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa nilai *mean* sebesar 64,67% untuk variabel kalsium oksida, 19,66% untuk variabel pasir silika, dan 5,66% untuk variabel oksida alumunium. Parameter lainnya yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah *sigma good*, karena perusahaan tidak memiliki nilai standar *sigma good*, maka nilai *sigma good* didapatkan dari perhitungan matriks *variance covariance* dari sampel yang digunakan. Langkah-langkah pembuatan grafik kendali *Max MCUSUM* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai *mean vector good* (μ_G) dan *mean vector bad* (μ_B) tiap variabel, serta menentukan matriks kovarians Σ . Berikut adalah nilai *mean vector good* (μ_G) dan *mean vector bad* (μ_B) pada data karakteristik kualitas produksi semen PT. Semen “X”.

$$\mu_G = \begin{bmatrix} 64 \\ 19,8 \\ 5,5 \end{bmatrix}, \mu_B = \begin{bmatrix} 64,67 \\ 19,66 \\ 5,66 \end{bmatrix}$$

Setelah mendapatkan nilai μ_G dan μ_B , selanjutnya yaitu menghitung matriks varians kovarians dari data karakteristik kualitas produksi semen. Berikut merupakan hasil perhitungan matriks varians kovarians.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0,237 & 0,334 & 0,077 \\ 0,334 & 0,695 & 0,153 \\ 0,077 & 0,153 & 0,052 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya setelah didapatkan matriks varians kovarians diatas, maka dilakukan invers matriks terhadap matriks varians kovarians dengan hasil sebagai berikut ini.

$$\Sigma^{-1} = \begin{bmatrix} 13,142 & -5,872 & -2,021 \\ -5,872 & 6,747 & -11,261 \\ -2,021 & -11,261 & 55,416 \end{bmatrix}$$

2. Kemudian, pada langkah selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai $(\mu_B - \mu_G)$ dan $(\mu_B - \mu_G)^T$, dimana perhitungan tersebut nantinya akan digunakan untuk mencari nilai \mathbf{a}' sesuai dengan persamaan (2.12). Apabila nilai \mathbf{a}' telah didapatkan maka hasil yang didapatkan digunakan untuk menghitung nilai Z_i . Berikut merupakan hasil perhitungan dari $(\mu_B - \mu_G)$ dan $(\mu_B - \mu_G)'$.

$$(\mu_B - \mu_G) = \begin{bmatrix} 0,67 \\ -0,14 \\ 0,16 \end{bmatrix}$$

$$(\mu_B - \mu_G)^T = [0,67 \quad -0,14 \quad 0,16]$$

Hasil tersebut merupakan salah satu komponen pembilang pada rumus perhitungan nilai \mathbf{a}' . Kemudian, nilai tersebut dan hasil perhitungan invers matriks varians kovarians disubstitusikan untuk mendapatkan penyebut dari rumus \mathbf{a}' , dimana hasil dari perhitungannya adalah sebagai berikut ini.

$$(\mu_B - \mu_G)^T \Sigma^{-1} = [9,274 \quad -6,714 \quad 9,296]$$

$$[(\mu_B - \mu_G)^T \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)]^{1/2} = 2,943$$

Setelah didapatkan hasil dari seluruh komponen \mathbf{a}' . Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai \mathbf{a}' dengan menggunakan rumus yang terdapat pada persamaan (2.12) dengan hasil sebagai berikut.

$$\mathbf{a}' = \frac{(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1}}{[(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)]^{1/2}}$$

$$= [3,152 \quad -2,282 \quad 3,160]$$

Nilai dari hasil perhitungan \mathbf{a}' merupakan komponen dari rumus perhitungan nilai Z_i , dimana nilai Z_i merupakan pengendalian kualitas untuk *mean* vektor. Selanjutnya, menghitung nilai Z_1 dan Y_1 dengan mesubtitusikan data pengamatan pertama ke dalam persamaan. Data pengamatan pertama yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{X}' = [65,29 \quad 20,20 \quad 5,74]$$

Sebelum menghitung nilai Z_1 , terlebih dahulu menghitung nilai $(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G)$ yang merupakan komponen dalam rumus menghitung nilai Z_1 , maka hasil yang didapatkan sebagai berikut ini.

$$(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G) = \begin{bmatrix} 1,292 \\ 0,402 \\ 0,243 \end{bmatrix},$$

sehingga

$$Z_1 = \mathbf{a}'(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G)$$

$$= 3,922$$

Dari perhitungan diatas maka diperoleh nilai Z_1 sebesar 3,922, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai Y_1 .

- Perhitungan Y_1 menggunakan rumus pada persamaan (2.21), dengan langkah awal yaitu menghitung dahulu persamaan $(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}_G)$ dengan mensubtitusikan data pertama serta *mean vector good* sebagai berikut.

$$(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G) = \begin{bmatrix} 1,292 \\ 0,402 \\ 0,243 \end{bmatrix}, \boldsymbol{\Sigma}^{-1} = \begin{bmatrix} 13,142 & -5,872 & -2,021 \\ -5,872 & 6,747 & -11,261 \\ -2,021 & -11,261 & 55,416 \end{bmatrix}$$

dimana hasil perkalian antara $(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G)$ dengan $\boldsymbol{\Sigma}^{-1}$ adalah sebagai berikut.

$$(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G) \Sigma^{-1} = \begin{bmatrix} 14,128 \\ -7,611 \\ 6,329 \end{bmatrix},$$

sehingga

$$(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G) = 16,732$$

Didapatkan hasil perhitungan $(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G)$ sebesar 16,732, maka selanjutnya nilai 16,732 tersebut disubstitusikan pada persamaan (2.21). $H(w; p)$ menunjukkan distribusi *chi-square* dari persamaan yang dihitung sebelumnya dengan derajat bebas p berjumlah 3, sehingga peluang *chi-square* untuk 16,732 adalah 0,999. Karena mengacu pada fungsi Z_i dan Y_i pada persamaan (2.15) dan (2.21) mengikuti distribusi normal, maka peluang *chi-square* tersebut selanjutnya diubah ke nilai Y yang berdistribusi normal standar dan diperoleh hasil Y_1 sebesar 3,155.

4. Setelah diperoleh nilai Z_1 dan Y_1 dengan nilai masing-masing sebesar 3,922 dan 3,155, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai k dan D sesuai dengan persamaan (2.13) dan (2.14) dan didapatkan hasil sebagai berikut.

$$D = \sqrt{(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)} \\ = 2,942$$

5. Setelah didapatkan nilai parameter *noncentrality* (D) dan nilai k masing-masing sebesar 2,942 dan 0,5, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai C_i^+ , C_i^- , S_i^+ , S_i^- , dimana nilai inisiasi awal untuk C_0^+ , C_0^- , S_0^+ , dan S_0^- bernilai 0 (nol). Maka perhitungan nilai C_i^+ , C_i^- , S_i^+ , dan S_i^- untuk data pengamatan $i=1$ adalah sebagai berikut.

$$Z_1 = 3,922$$

$$D = 2,942$$

$$C_0^+ = 0$$

$$C_1^+ = \max(0, Z_1 - 0,5D + C_0^+)$$

$$C_1^+ = \max(0, 3,922 - 0,5(2,942) + 0)$$

$$C_1^+ = \max(0, 2,451)$$

$$C_1^+ = 2,451$$

dan

$$C_0^- = 0$$

$$C_1^- = \max(0, -0,5D - Z_1 + C_0^-)$$

$$C_1^- = \max(0, -0,5(2,942) - 3,922 + 0)$$

$$C_1^- = \max(0, -1,471 - 3,922 + 0)$$

$$C_1^- = \max(0, -5,393)$$

$$C_1^- = 0$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat diketahui bahwa nilai dari C_1^+ dan C_1^- masing-masing sebesar 2,451 dan 0. Kemudian, dari kedua nilai tersebut dicari nilai maksimal, sehingga didapatkan bahwa nilai C_1 sebesar 2,451. Berlaku rumus yang sama dengan nilai C_i pada data pengamatan selanjutnya. Nilai C_i dapat dilihat pada lampiran. Bentuk *cumulative sum* lainnya yaitu S_i^+ dan S_i^- yang menunjukkan keadaan variabilitas proses dari proses produksi. Perhitungan S_i^+ dan S_i^- untuk data pengamatan dengan $i=1$ adalah sebagai berikut.

$$Y_1 = 3,155$$

$$k = 0,5$$

$$S_0^+ = 0$$

$$S_1^+ = \max(0, Y_1 - k + S_0^+)$$

$$S_1^+ = \max(0, 3,155 - 0,5 + 0)$$

$$S_1^+ = \max(0, 2,655)$$

$$S_1^+ = 2,655$$

dan

$$S_1^- = \max(0, -k - Y_1 + S_0^-)$$

$$S_1^- = \max(0, -0,5 - 2,451 + 0)$$

$$S_1^- = \max(0, -2,951)$$

$$S_1^- = 0$$

Setelah didapatkan nilai S_1^+ dan S_1^- dimana masing-masing sebesar 2,655 dan 0, selanjutnya dihitung nilai

maksimal diantara S_1^+ dan S_1^- untuk mendapatkan nilai S_1 yaitu sebesar 2,655. Nilai S_i untuk pengamatan seterusnya dapat dihitung menggunakan rumus yang sama. Nilai S_i untuk semua pengamat dapat dilihat pada Lampiran 2.

6. Pada langkah sebelumnya telah didapatkan nilai C_1 dan S_1 , maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai M_i , dimana nilai M_i didapatkan dengan mencari nilai maksimum antara C_i dan S_i . Nilai M_i ini merupakan statistik uji yang nantinya akan diplot pada grafik kendali *Max MCUSUM*. Nilai M_i pada data pengamatan $i=1$ adalah sebagai berikut ini.

$$M_i = \max (C_i, S_i)$$

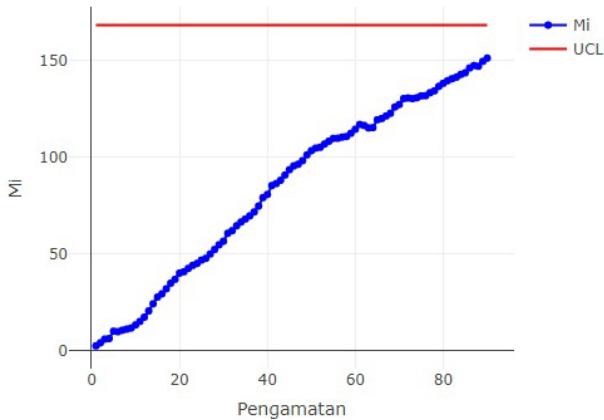
$$M_1 = \max (C_1, S_1)$$

$$M_1 = \max (2,655, 1,951)$$

$$M_1 = 2,655$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat diketahui bahwa nilai M_i untuk data pengamatan $i=1$ yaitu sebesar 2,451. Selanjutnya nilai M_i dihitung sebanyak data yang digunakan yaitu sebanyak 90 data pengamatan. Nilai M_i secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 2.

Nilai M_i yang kecil menunjukkan bahwa proses berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Pada setiap periode, statistik *CUSUM* dibandingkan dengan interval keputusan (h) dan jika nilai M_i lebih dari interval keputusan (h) maka dapat diartikan bahwa telah terjadi pergeseran proses. Setelah pendeteksian pergeseran dan tindakan perbaikan dilakukan, statistik *CUSUM* direset ke nilai awal S_0 maupun C_0 . Didapatkan peta kendali *Max MCUSUM* produksi semen pada PT Semen "X" adalah sebagai berikut.



Gambar 4.1 Diagram Kendali *Max MCUSUM*

Pada Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa secara visual pada garis horizontal menunjukkan banyak pengamatan yaitu sebanyak 90 pengamatan, sedangkan pada sumbu vertikal grafik kendali menunjukkan statistik titik yang diplot pada grafik kendali atau disimbolkan dengan M_i . Garis horizontal berwarna merah merupakan batas kendali atas atau interval keputusan (h) dengan nilai sebesar 168,1329 yang diperoleh melalui simulasi. Dapat diketahui bahwa grafik kendali pada Gambar 4.1 tidak terdapat titik plot (M_i) yang keluar dari batas kendali atau dapat dikatakan bahwa semua M_i memiliki nilai kurang dari h , dimana nilai M_i tertinggi yaitu sebesar 151,043, sehingga berdasarkan grafik kendali diatas dapat disimpulkan bahwa proses produksi semen dengan menggunakan grafik kendali *Max MCUSUM* dengan ARL 370 tidak terjadi pergeseran baik pada rata-rata maupun varians proses atau dengan kata lain telah terkendali secara statistik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan statistika deskriptif yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas produksi semen berdasarkan variabel kalsium oksida (CaO), senyawa pasir silika (SiO₂), dan oksida alumunium (Al₂O₃) secara keseluruhan menunjukkan bahwa rata-rata kandungan dari ketiga senyawa tersebut tidak tepat sesuai dengan target yang telah ditentukan oleh perusahaan, namun perbedaan yang ada tidak terlalu signifikan.

Kemudian, pada analisis dan perhitungan mengenai pengendalian kualitas semen menggunakan peta kendali *Max MCUSUM*, disimpulkan bahwa dengan menggunakan alpha 0,0027 dan diperoleh batas kendali atas atau interval keputusan (*h*) sebesar 168,1329 proses produksi semen telah terkendali secara statistik karena tidak terdapat nilai statistik M_i yang lebih besar dari batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa tidak adanya pergeseran proses pada proses produksi semen di PT Semen "X".

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, saran yang dapat diberikan untuk pihak PT Semen "X" yaitu perusahaan dapat mempertahankan dan meningkatkan monitoring kualitas produksi semen agar tetap sesuai dengan target perusahaan yang telah ditetapkan. Selain itu, untuk meminimalisir adanya kondisi *out of control*, maka perusahaan juga perlu untuk melakukan *maintenance* atau pergantian komponen tepat pada waktunya, sehingga tindakan yang dilakukan tidak perlu menunggu mesin rusak terlebih dahulu. Hal tersebut diharapkan akan mengurangi adanya proses produksi yang kurang stabil. Penerapan tersebut diharapkan dapat berguna dalam rangka meningkatkan kualitas produksi semen yang diproduksi kedepannya oleh perusahaan. Kemudian, saran untuk peneliti selanjutnya adalah penetapan batas kendali atas yang didapatkan dari hasil simulasi harus lebih tepat dengan mencoba berbagai macam ARL agar tidak terjadi

kekeliruan dalam penerapan pada diagram kendali *Max*
MCUSUM.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S. (2018). Pengendalian Kualitas Pupuk Npk di PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang Menggunakan Peta Kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum* (Max MCUSUM). Tugas Akhir Jurusan Statistika. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Alva, J., & Estrada, E. (2009). A Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality. *Communication in Statistics-Theory and Methods*, 1870- 1883.
- Cheng, S. W., & Thaga, K. (2005). Multivariate Max-CUSUM Chart. *Quality Technology & Quantitative Management*, 221-235.
- Gemert, V., Czarnecki, L., Lukowski, P., & Krapen, E. (2004). *Cement Concrete and Concrete Polymer Composites*. Brussels: Catholic Universiti Leuven.
- Healy, J. (1987). A Note on Multivariate CUSUM Procedures. *Technometrics* , 409-412.
- Heizer, Jay and Render, Barry. (2009). *Operation Management*. United States of America: Pearson Prentice Hall
- Hotelling, H. (1947). Multivariate Quality Control, Illustrated by The Air Testing of Sample Bombsights. *Techniques of Statistical Analysis*, 111-184.
- Iriawan, N. (2006). *Mengolah data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. United States of America: Prentice Hall.
- Kementrian Keuangan Republik Indonesia. (2019). *APBN 2019*. Retrieved 12 1, 2020, from <https://www.kemenkeu.go.id/apbn2019>
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2020). *Laksanakan Visi Presiden, Kementrian PUPR Lanjutkan Pembangunan Infrastruktur 2020-2024*. Retrieved 12 1, 2020, from <https://www.pu.go.id/berita/view/17643/laksanaan-visi-presiden-kementrian-pupr-lanjutkan-pembangunan-infrastruktur-2020-2024>

- Khusna, H., Mashuri, M., Ahsan, M., Suhartono, & Prasetyo, D. D. (2018). Bootstrap-Based Maximum Multivariate CUSUM Control. *Quality Technology & Quantitative Management*.
- Lowry, C. A., Woodal, W.H., Champ, C.W., & Rigdon S.E. (1992). A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Technometrics*, 46-53.
- Mankiw N, Gregory. (2006). *Makro Ekonomi*, Terjemahan: Fitri Liza, Imam Nurmawan. Jakarta:Penerbit Erlangga.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (Seventh Edition ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, F. (1990). *Multivariate Statistical Methods*. (Fourth Edition ed.). The Wharton School University of Pennsylvania.
- Muirhead, R. (1982). *Aspect of Multivariate Statistical Theory*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Page, E. S. (1954). Continuous Inspection Scemes. *Biometrika*, 100-115.
- PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. (2019). *Semen Indonesia*. Retrieved 10 6, 2019, dari <https://semenindonesia.com/semenindonesia/>
- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on the Presence of Priority for Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, 27-36.
- Raykov, T. & Marcoulides, G. A. (2006). *A first course in structural equation modeling*. 2nd ed. US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Rochmaturiza, A. (2018). Pengendalian Kualitas Produk *Portland Pozzoland Cement* (Ppc) dengan Pendekatan *Regression Adjusted Control Chart* di PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. Unit Gresik. Tugas Akhir Jurusan Statistika. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengendalian Kualitas Semen

No	CaO	SiO2	Al2O3	No	CaO	SiO2	Al2O3
1	65.292	20.202	5.743	26	64.588	19.363	5.622
2	64.663	20.46	6.027	27	64.93	20.279	5.674
3	65.137	20.474	5.904	28	64.968	19.666	5.534
4	64.642	20.001	5.661	29	65.39	20.567	5.663
5	64.721	19.469	5.994	30	65.399	20.63	5.617
6	64.578	20.132	5.685	31	65.094	20.686	6.012
7	64.489	19.943	5.806	32	65.206	19.973	6.055
8	64.53	19.926	5.763	33	63.972	18.544	5.439
9	64.939	20.918	5.918	34	65.349	20.36	5.711
10	64.855	20.713	6.064	35	64.3	19.093	5.696
11	64.831	20.907	6.143	36	64.59	19.27	5.44
12	65.039	20.501	6.021	37	64.688	19.534	5.637
13	65.164	20.009	5.925	38	64.342	18.985	5.628
14	65.116	19.657	5.862	39	65.459	20.565	5.952
15	65.058	19.602	5.82	40	65.336	19.658	5.839
16	65.033	20.247	5.784	41	65.377	21.071	5.729
17	65.177	20.047	5.763	42	64.339	17.719	5.373
18	64.874	19.623	5.834	43	65.253	21.216	5.896
19	64.878	20.131	5.911	44	65.415	21.306	5.997
20	64.981	19.592	5.812	45	65.674	21.109	5.868
21	64.853	20.391	5.805	46	65.531	20.706	5.832
22	65.069	20.157	5.591	47	65.412	20.941	5.906
23	64.905	19.907	5.618	48	64.915	20.798	5.95
24	65.098	20.657	5.67	49	65.169	20.535	5.884
25	65.292	20.202	5.743	50	65.142	20.326	6.035

Lampiran 1(Lanjutan). Data Pengendalian Kualitas Semen

No	CaO	SiO2	Al2O3	No	CaO	SiO2	Al2O3
51	64.591	19.745	5.769	76	63.98	19.383	5.653
52	64.555	19.707	5.445	77	64.155	19.095	5.692
53	64.528	19.296	5.623	78	64.548	19.663	5.683
54	64.466	19.384	5.68	79	64.612	19.272	5.685
55	64.543	19.235	5.375	80	64.328	18.855	5.43
56	64.21	19.651	5.702	81	63.87	18.276	5.297
57	64.398	19.443	5.574	82	63.849	18.443	5.376
58	63.7	18.516	5.354	83	63.785	18.456	5.371
59	64.605	19.235	5.422	84	64.147	18.616	5.346
60	64.705	19.255	5.353	85	64.176	18.936	5.451
61	64.196	18.789	5.679	86	63.487	17.417	5.196
62	64.191	19.771	5.68	87	64.217	18.776	5.369
63	64.25	19.913	5.636	88	64.117	19.248	5.461
64	64.172	19.127	5.415	89	64.515	18.714	5.255
65	64.12	17.497	5.199	90	64.416	18.901	5.321
66	64.312	19.176	5.43				
67	64.793	19.891	5.706				
68	64.475	19.422	5.68				
69	64.59	18.799	5.609				
70	64.807	20.015	5.766				
71	64.958	19.263	5.439				
72	63.824	18.813	5.479				
73	63.859	18.921	5.421				
74	64.147	18.95	5.333				
75	64.152	18.812	5.391				

Lampiran 2. Nilai C_i^- , C_i^+ , S_i^- , S_i^+ , dan M_i

No	C_i^-	C_i^+	C_i	S_i^-	S_i^+	S_i	M_i
1	0.000	2.451	2.451	0.000	2.655	2.655	2.655
2	0.000	3.228	3.228	0.000	4.187	4.187	4.187
3	0.000	5.079	5.079	0.000	6.143	6.143	6.143
4	0.000	5.681	5.681	0.000	6.431	6.431	6.431
5	0.000	8.797	8.797	0.000	10.221	10.221	10.221
6	0.000	8.975	8.975	0.000	9.981	9.981	9.981
7	0.000	9.685	9.685	0.000	10.714	10.714	10.714
8	0.000	10.427	10.427	0.000	11.310	11.310	11.310
9	0.000	10.685	10.685	0.000	11.832	11.832	11.832
10	0.000	11.607	11.607	0.000	13.443	13.443	13.443
11	0.000	12.260	12.260	0.000	15.255	15.255	15.255
12	0.000	14.110	14.110	0.000	17.448	17.448	17.448
13	0.000	17.173	17.173	0.000	20.685	20.685	20.685
14	0.000	20.689	20.689	0.000	24.371	24.371	24.371
15	0.000	24.014	24.014	0.000	27.832	27.832	27.832
16	0.000	25.676	25.676	0.000	29.486	29.486	29.486
17	0.000	28.181	28.181	0.000	32.084	32.084	32.084
18	0.000	30.923	30.923	0.000	34.963	34.963	34.963
19	0.000	32.762	32.762	0.000	36.951	36.951	36.951
20	0.000	35.843	35.843	0.000	40.151	40.151	40.151
21	0.000	36.675	36.675	0.000	40.880	40.880	40.880
22	0.000	38.046	38.046	0.000	42.598	42.598	42.598
23	0.000	39.555	39.555	0.000	44.137	44.137	44.137
24	0.000	40.126	40.126	0.000	45.171	45.171	45.171
25	0.000	41.890	41.890	0.000	46.863	46.863	46.863
26	0.000	42.807	42.807	0.000	47.785	47.785	47.785
27	0.000	2.451	44.799	0.000	50.042	50.042	50.042

Lampiran 2 (Lanjutan). Nilai C_i^- , C_i^+ , S_i^- , S_i^+ , dan M_i Fase I

No	C_i^-	C_i^+	C_i	S_i^-	S_i^+	S_i	M_i
28	0.000	44.799	44.799	0.000	52.388	52.388	52.388
29	0.000	46.473	46.473	0.000	54.744	54.744	54.744
30	0.000	47.887	47.887	0.000	56.629	56.629	56.629
31	0.000	49.459	49.459	0.000	60.724	60.724	60.724
32	0.000	53.147	53.147	0.000	62.058	62.058	62.058
33	0.000	54.261	54.261	0.000	64.584	64.584	64.584
34	0.000	56.430	56.430	0.000	66.532	66.532	66.532
35	0.000	58.136	58.136	0.000	68.073	68.073	68.073
36	0.000	59.544	59.544	0.000	69.718	69.718	69.718
37	0.000	61.281	61.281	0.000	71.718	71.718	71.718
38	0.000	63.151	63.151	0.000	74.762	74.762	74.762
39	0.000	65.961	65.961	0.000	79.091	79.091	79.091
40	0.000	70.095	70.095	0.000	80.738	80.738	80.738
41	0.000	70.787	70.787	0.000	85.321	85.321	85.321
42	0.000	74.730	74.730	0.000	86.370	86.370	86.370
43	0.000	75.228	75.228	0.000	88.061	88.061	88.061
44	0.000	76.350	76.350	0.000	90.728	90.728	90.728
45	0.000	78.331	78.331	0.000	93.465	93.465	93.465
46	0.000	80.666	80.666	0.000	95.477	95.477	95.477
47	0.000	82.324	82.324	0.000	96.306	96.306	96.306
48	0.000	82.881	82.881	0.000	98.162	98.162	98.162
49	0.000	84.630	84.630	0.000	101.119	101.119	101.119
50	0.000	87.248	87.248	0.000	103.310	103.310	103.310
51	0.000	89.400	89.400	0.000	104.639	104.639	104.639
52	0.000	90.767	90.767	0.000	105.054	105.054	105.054
53	0.000	91.083	91.083	0.000	106.726	106.726	106.726
54	0.000	92.814	92.814	0.000	108.204	108.204	108.204

Lampiran 2 (Lanjutan). Nilai C_i^- , C_i^+ , S_i^- , S_i^+ , dan M_i Fase I

No	C_i^-	C_i^+	C_i	S_i^-	S_i^+	S_i	M_i
55	0.000	95.464	95.464	0.000	109.631	109.631	109.725
56	0.000	95.632	95.632	0.000	109.725	109.725	110.281
57	0.000	96.464	96.464	0.000	110.281	110.281	110.600
58	0.000	96.515	96.515	0.000	110.600	110.600	112.279
59	0.000	97.993	97.993	0.000	112.279	112.279	114.358
60	0.000	99.523	99.523	0.000	114.358	114.358	116.830
61	0.000	101.542	101.542	0.000	116.830	116.830	116.311
62	0.000	101.307	101.307	0.000	116.311	116.311	115.062
63	0.000	100.795	100.795	0.000	115.062	115.062	115.193
64	0.000	101.133	101.133	0.248	115.193	115.193	119.258
65	0.000	104.344	104.344	0.000	119.258	119.258	119.863
66	0.000	105.058	105.058	0.616	119.863	119.863	121.203
67	0.000	106.529	106.529	0.000	121.203	121.203	122.598
68	0.000	107.986	107.986	0.000	122.598	122.598	125.819
69	0.000	111.003	111.003	0.000	125.819	125.819	127.130
70	0.000	112.424	112.424	0.000	127.130	127.130	130.182
71	0.000	115.005	115.005	0.000	130.182	130.182	130.475
72	0.000	115.164	115.164	0.000	130.475	130.475	130.149
73	0.000	115.005	115.005	0.000	130.149	130.149	130.618
74	0.000	115.408	115.408	0.000	130.618	130.618	131.569
75	0.000	116.326	116.326	0.000	131.569	131.569	131.649
76	0.000	116.227	116.227	0.000	131.649	131.649	133.219
77	0.000	117.459	117.459	0.000	133.219	133.219	134.174
78	0.000	118.605	118.605	0.000	134.174	134.174	136.469
79	0.000	120.852	120.852	0.000	136.469	136.469	138.045
80	0.000	122.349	122.349	0.000	138.045	138.045	139.391
81	0.000	123.304	123.304	0.000	139.391	139.391	109.725

Lampiran 2 (Lanjutan). Nilai C_i^- , C_i^+ , S_i^- , S_i^+ , dan M_i Fase I

No	C_i^-	C_i^+	C_i	S_i^-	S_i^+	S_i	M_i
82	0.000	124.061	124.061	0.000	140.423	140.423	140.423
83	0.000	124.572	124.572	0.000	141.218	141.218	141.218
84	0.000	125.778	125.778	0.000	142.627	142.627	142.627
85	0.000	126.678	126.678	0.000	143.456	143.456	143.456
86	0.000	128.067	128.067	0.000	145.950	145.950	145.950
87	0.000	129.202	129.202	0.000	147.209	147.209	147.209
88	0.000	129.236	129.236	0.000	146.821	146.821	146.821
89	0.000	131.091	131.091	0.000	149.353	149.353	149.353
90	0.000	132.417	132.417	0.000	151.043	151.043	151.043

Lampiran 3. Output Pengujian Asumsi Dependensi dan Asumsi Normalitas

a) Pengujian Dependensi Menggunakan Uji *Bartlett Sphericity*

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.711
Approx. Chi-Square	190.907
Bartlett's Test of Sphericity Df	3
Sig.	.000

b) Pengujian Distribusi Normal Menggunakan Uji *Shapiro Wilk*

```
library(MASS)
library(mvnormtest)
Data<- read.csv("D:/Data Fix.csv",sep=';',header=TRUE)
M<- t(Data[1:90,1:3])
mshapiro.test(M)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: Z

W = **0.97442**, p-value >0,07269

Lampiran 4. Syntax R Diagram Kendali *Max MCUSUM*

```

data3<- read.csv("D:/Data Fix.csv")
#INPUT MIU GOOD
miug <- c(64,19.8,5.5)
miug.matrix <- as.matrix(miug)
miug.matrix
#Menghitung MIU BAD
x1 <- (data3[1: 90,1])
x1.mean <- mean(x1)
x1.mean
x2 <- (data3[1: 90,2])
x2.mean <- mean(x2)
x2.mean
x3 <- (data3[1: 90,3])
x3.mean <- mean(x3)
x3.mean

#Mendapatkan vektor miu bad
miub <- c(x1.mean,x2.mean,x3.mean)
miub.matrix <- as.matrix(miub)
miub.matrix

#Menghitung (miub-miug)
miug.matrix <- as.matrix(miug)
miub.matrix <- as.matrix(miub)
miub.matrix-miug.matrix

#Menghitung (miub+miug)
miub.matrix+miug.matrix

#Menghitung Matriks Varians Kovarians
X <- data3[1: 90,1:3]
Mat.cov <- print(cov(X))
Mat.cov

```

Lampiran 4 (Lanjutan). Syntax R Diagram Kendali *Max*
MCUSUM

```

#Menghitung Invers Matriks Varians Kovarians
Inv.Mat.cov <- print(solve(Mat.cov))

#Menghitung Inv.Mat.cov*(miub-miug)
Inv.Mat.cov%*(miub.matrix-miug.matrix)

#Menghitung ((miub+miug)*Inv.Mat.cov*(miub-miug))
t(miub.matrix+miug.matrix)%*(miub.matrix-miug.matrix)

#Menghitung ((miub+miug)*Inv.Mat.cov
t(miub.matrix-miug.matrix)%*(miub.matrix-miug.matrix)

#Menghitung Inv.Mat.cov*(miub+miug)
Inv.Mat.cov%*(miub.matrix+miug.matrix)

#Menghitung (miub+miug)*Inv.Mat.cov*(miub+miug)
p<- t(miub.matrix-
miug.matrix)%*(miub.matrix-
miug.matrix)
p

#Menghitung Nilai D
D<-print(sqrt(t(miub.matrix-
miug.matrix)%*(miub.matrix-
miug.matrix)))

#Menghitung nilai a'
z<-print(t(miub.matrix-miug.matrix)%*(miub.matrix-miug.matrix))
D2 <- print(c(D,D,D))
print(z/D2)

#Menghitung nilai k
k<- 0.5

```

Lampiran 4 (Lanjutan). Syntax R Diagram Kendali *Max*
MCUSUM

```

#Nilai Inisial
S0 <- print(c(0))
S0_plus <- print(c(0))
S0_min <- print(c(0))
C0_plus <- print(c(0))
C0_min <- print(c(0))

#Menghitung (Xi-miub)
matrix_miub1 <- print(matrix(miub.matrix[1],90 ,1))
X1_miub <- print((data3[1: 90,1])-matrix_miub1)
matrix_miub2 <- print(matrix(miub.matrix[2], 90,1))
X2_miub <- print((data3[1: 90,2])-matrix_miub2)
matrix_miub3 <- print(matrix(miub.matrix[3], 90,1))
X3_miub <- print((data3[1: 90,3])-matrix_miub3)
Xi_miub <- as.matrix(cbind(X1_miub,X2_miub,X3_miub))
Xi_miub

#Menghitung (Xi-miug)
matrix_miug1 <- print(matrix(miug.matrix[1], 90,1))
X1_miug <- print((data3[1: 90,1])-matrix_miug1)
matrix_miug2 <- print(matrix(miug.matrix[2], 90,1))
X2_miug <- print((data3[1: 90,2])-matrix_miug2)
matrix_miug3 <- print(matrix(miug.matrix[3], 90,1))
X3_miug <- print((data3[1: 90,3])-matrix_miug3)
Xi_miug <- as.matrix(cbind(X1_miug,X2_miug,X3_miug))
Xi_miug

#Menghitung Transpose Xi
Xi_Trans <- print(t(data3[1: 90,1:3]))

#Membuat Inv.Mat.Cov*(Xi_miub)
s <- print(Inv.Mat.cov%*%t(Xi_miub))

```

Lampiran 4 (Lanjutan). Syntax R Penentuan Iterasi Awal Interval Keputusan (*h*)

```

#Membuat Inv.Mat.Cov*(Xi_miug)
t <- print(Inv.Mat.cov%%t(Xi_miug))

#Membuat Inv.Mat.Cov*Xi_Trans
u <- print(Inv.Mat.cov%%Xi_Trans)

#Menghitung (Xi_miub)*(Inv.Mat.Cov*(Xi_miub))
hasil=matrix(ncol = 1,nrow = 90)
for (i in 1: 90){
  hasil[i]=Xi_miub[i,]%%s[,i]
}
hasil

#Menghitung (Xi_miug)*(Inv.Mat.Cov*(Xi_miug))
hasil1=matrix(ncol = 1,nrow = 90)
for (i in 1: 90){
  hasil1[i]=Xi_miug[i,]%%t[,i]
}
hasil1

#Menghitung a*(Xi_miug)*Zi
hasil2=matrix(ncol = 1,nrow = 90)
for (i in 1: 90){
  hasil2[i]=Xi_miug[i,]%%t(z/D2)
}
hasil2

#Menghitung Hk
Hk=pchisq(hasil1,3,ncp=0, log=FALSE)
Hk

#Menghitung Yi
Yi=qnorm(Hk)
Yi

```

Lampiran 4 (Lanjutan). Syntax R Diagram Kendali *Max*
MCUSUM

```

#Menghitung Ci
#Ci+
Ci_plus = matrix(ncol=2,nrow=90)
Ci_plus[1,1]=hasil2[1,]-0.5*D+C0_plus
Ci_plus[1,2]=max(Ci_plus[1,1],C0_plus)
for (i in 1: 89) {
  Ci_plus[i+1,1]=hasil2[i+1,]-0.5*D+Ci_plus[i,2]
  Ci_plus[i+1,2]=max(Ci_plus[i+1,1],C0_plus)
}
#Ci-
Ci_min=matrix(ncol = 2,nrow = 90)
Ci_min[1,1]= -0.5*D-hasil2[1,]+C0_min
Ci_min[1,2]=max(Ci_min[1,1],C0_min)
for (i in 1: 89) {
  Ci_min[i+1,1]= -0.5*D-hasil2[i+1,]+Ci_min[i,2]
  Ci_min[i+1,2]=max(Ci_min[i+1,1],C0_min)
}
Ci=matrix(ncol = 1,nrow = 90)
for (i in 1: 90) {
  Ci[i]=max(Ci_plus[i,2],Ci_min[i,2])
}
Ci

#Menghitung Si
#Si+
Si_plus = matrix(ncol=2,nrow=90)
Si_plus[1,1]=Yi[1,]-k+S0_plus
Si_plus[1,2]=max(Si_plus[1,1],S0_plus)
for (i in 1: 89) {
  Si_plus[i+1,1]=Yi[i+1,]-k+Si_plus[i,2]
  Si_plus[i+1,2]=max(Si_plus[i+1,1],S0_plus)
}
#Si-
Si_min=matrix(ncol = 2,nrow = 90)

```

Lampiran 4 (Lanjutan). Syntax R Diagram Kendali *Max*
MCUSUM

```

Si_min[1,1]= -k-Yi[1,]+S0_min
Si_min[1,2]=max(Si_min[1,1],S0_min)
for (i in 1: 90) {
  Si_min[i+1,1]= -k-Yi[i+1,]+Si_min[i,2]
  Si_min[i+1,2]=max(Si_min[i+1,1],S0_min)
}
Si=matrix(ncol = 1,nrow = 90)
for (i in 1: 90) {
  Si[i]=max(Si_plus[i,2],Si_min[i,2])
}
Si

#Mendapatkan Mi
Mi=matrix(ncol = 1,nrow =90)
for (i in 1: 90) {
  Mi[i]=max(Ci[i],Si[i])
}
Mi
write.csv(Mi,file = "Nilai Mi.csv")

#MEMBUAT PLOT
library(plotly)
Pengamatan=as.matrix(c(1:nrow(Mi)))
data11=as.data.frame(cbind(Pengamatan,Mi,UCL1))
colnames(data11)=c("Pengamatan","Mi","UCL")
####PLOT DIAGRAM KONTROL####
plot_ly(data11,x=~Pengamatan)%>%
  add_lines(y=~Mi,color=I("blue"),name="Titik Mi",
marker=list(size=7))%>%
  add_lines(y=~UCL1,name="UCL", color=I("red"))

```

Lampiran 5. Surat Pernyataan Data Tugas Akhir**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa Departemen Statistika FSAD ITS:

Nama : Fransiska Yunitarani

NRP : 06211640000007

menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan data sekunder yang diambil dari penelitian/ buku/ Tugas Akhir/ Thesis/ publikasi lainnya yaitu:

Sumber : Data Kerja Praktik yang diperoleh dari
Divisi *Quality Assurance*

Keterangan : Data senyawa kimia dan senyawa fisika
semen dalam satu periode produksi

Surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya, apabila terdapat pemalsuan data maka saya siap menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Mengetahui
Pembimbing Tugas Akhir



(Dr.Drs. Agus Suharsono, M.S)
NIP.19580823 198401 1 003

Surabaya, Juni 2020



(Fransiska Yunitarani)
NRP. 0621 16 4000 0007

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fransiska Yunitarani yang biasa dipanggil Fransiska lahir di Jombang, 29 Juni 1998. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Sujoko dan Ibu Chanip Badrijah. Pendidikan formal yang telah diselesaikan adalah pendidikan di RA Perwanida Jombang, SDN Dukuharum (2004-2010), SMP Negeri 1 Tembelang (2010-2013), dan SMA Negeri 2 Jombang (2013-2016). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 06211640000007. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam beberapa organisasi dan kepanitiaan yang ada di ITS. Organisasi yang pernah diikuti penulis selama kuliah yaitu sebagai Staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Statistika (HIMASTA-ITS) periode 2017/2018, serta penulis pernah menjadi Wakil Ketua Tim Penelitian dan Pengembangan Himpunan Mahasiswa Statistika (HIMASTA-ITS) periode 2018/2019. Serta penulis pernah aktif menjadi panitia selama kuliah di beberapa kegiatan seperti menjadi Pemandu Integralistik GERIGI ITS 2018, *Junior Committee* Pekan Raya Statistika 2017, Sie Koordinator Sie *Public Relation* Pekan Raya Statistika 2018, dan Sie LO 3rd ISCO 2017, serta penulis ikut aktif dalam Pemandu ITS. Pengalaman lainnya yang dialami penulis selain mengikuti kegiatan kampus adalah menjadi Surveyor dalam beberapa survey diantaranya yaitu Surveyor “Survei Kepuasan Pelanggan PDAM Swa Sembada Surabaya” tahun 2017, Surveyor “Survei Wisatawan Nusantara oleh Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Jawa Timur” tahun 2019, Surveyor “Survei Konsumen Bank Indonesia” tahun 2020. Selain itu, penulis juga menjalani program *internship* di PT Sinar Mas Agro Resources & Technology (SMART) Tbk Surabaya di divisi *Process Engineering*. Segala kritik dan saran akan diterima oleh penulis untuk perbaikan kedepannya. Pengalaman tersebut memberikan

pelajaran hidup kepada penulis mengenai kondisi dunia pekerjaan. Jika ada keperluan atau ingin berdiskusi dengan penulis dapat dihubungi melalui nomor telepon 08968017078 atau melalui email:fransiskayunitarani@gmail.com.