



TUGAS AKHIR - KS184822

**PENGENDALIAN KUALITAS SEMEN DENGAN
DIAGRAM KENDALI *MULTIVARIATE
EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING
COVARIANCE MATRIX (MEWMC) BASED ON
REGRESSION ADJUSTED VARIABLES* (STUDI
KASUS PT SEMEN “X”)**

**MARITA QORI'ATUNNADYAH
NRP 062116 4000 0001**

**Dosen Pembimbing
Wibawati, S.Si., M.Si.**

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



TUGAS AKHIR - KS184822

**PENGENDALIAN KUALITAS SEMEN DENGAN
DIAGRAM KENDALI *MULTIVARIATE
EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING
COVARIANCE MATRIX (MEWMC) BASED ON
REGRESSION ADJUSTED VARIABLES (STUDI
KASUS PT SEMEN “X”)***

**MARITA QORI'ATUNNADYAH
NRP 062116 4000 0001**

**Dosen Pembimbing
Wibawati, S.Si., M.Si.**

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



FINAL PROJECT - KS184822

***QUALITY CONTROL OF CEMENT USING
MULTIVARIATE EXPONENTIALLY WEIGHTED
MOVING COVARIANCE MATRIX (MEWMC)
CONTROL CHART BASED ON REGRESSION
ADJUSTED VARIABLES (STUDY CASE OF PT
SEMEN “X”)***

**MARITA QORI’ATUNNADYAH
NRP 062116 4000 0001**

**Supervisor
Wibawati, S.Si., M.Si.**

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN KUALITAS SEMEN DENGAN
DIAGRAM KENDALI *MULTIVARIATE
EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING
COVARIANCE MATRIX (MEWMC) BASED ON
REGRESSION ADJUSTED VARIABLES (STUDI
KASUS PT SEMEN "X")***

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 :

Marita Qori'atunnadyah
NRP. 062116 4000 0001

Disetujui oleh Pembimbing:
Wibawati, S.Si., M.Si.
NIP. 19741213 199802 2 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Statistika



Dr. Dra Kartika Fithriasari, M.Si.
NIP. 19691212 199303 2 002

SURABAYA, JANUARI 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGENDALIAN KUALITAS SEMEN DENGAN
DIAGRAM KENDALI *MULTIVARIATE EXPONENTIALLY
WEIGHTED MOVING COVARIANCE MATRIX (MEWMC)*
BASED ON REGRESSION ADJUSTED VARIABLES (STUDI
KASUS PT SEMEN “X”)**

Nama Mahasiswa : Marita Qori’atunnadyah
NRP : 062116 4000 0001
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Wibawati, S.Si., M.Si.

Abstrak

PT Semen “X” merupakan Badan Usaha yang bergerak pada bidang pembuatan semen. Secara umum, kualitas semen ditentukan oleh kuat tekan semen yang diukur pada hari ke-3, ke-7 dan ke-28. Sementara itu, kuat tekan semen dipengaruhi oleh beberapa variabel yang merupakan komposisi kimia dan sifat fisika dari semen, diantaranya: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF , FCaO , LOI , R45 , dan Blaine . Dalam penelitian ini digunakan analisis faktor untuk mengetahui variabel yang berpengaruh secara dominan terhadap kuat tekan semen dan diperoleh variabel Al_2O_3 , Fe_2O_3 , C_3A , LOI , dan Blaine . Selanjutnya, dilakukan pengendalian variabilitas proses menggunakan diagram kendali MEWMC based on Regression Adjusted Variables. Terdapat dua skenario dalam penelitian ini. Skenario pertama untuk diagram kendali MEWMC based on Regression Adjusted pada variabel hasil analisis faktor dan skenario kedua untuk diagram kendali MEWMC based on Regression Adjusted pada seluruh variabel. Pada kedua skenario didapatkan nilai pembobot optimum yang sama yaitu $\lambda = 0,1$, dan didapatkan hasil bahwa telah terkendali secara statistik atau tidak terjadi pergeseran proses.

Kata kunci: *Analisis Faktor, Kuat Tekan Semen, Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC), Regression Adjusted.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**QUALITY CONTROL OF CEMENT USING
MULTIVARIATE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING
COVARIANCE MATRIX (MEWMC) CONTROL CHART
BASED ON REGRESSION ADJUSTED VARIABLES
(STUDY CASE OF PT SEMEN "X")**

Name : Marita Qori'atunnadyah
Student Number : 062116 4000 0001
Department : Statistics
Supervisor : Wibawati, S.Si., M.Si.

Abstract

PT Semen "X" is a business entity that is engaged in manufacturing cement. In general, the quality of cement is determined by the compressive strength of cement measured on the 3rd, 7th and 28th days. Meanwhile, the compressive strength of cement is influenced by several variables which are the chemical composition and physical properties of cement, including: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF, FCaO, LOI, R₄₅, and Blaine . In this research, factor analysis is used to determine the variables that have a dominant influence on the compressive strength of cement and the variables Al₂O₃, Fe₂O₃, C₃A, LOI, and Blaine are obtained. Next, process variability is controlled using a MEWMC control chart based on Regression Adjusted Variables. There are two scenarios in this final project. The first scenario for the MEWMC control chart based on Regression Adjusted on the variable of the result of factor analysis and the second scenario for the MEWMC control chart based on Regression Adjusted on all variables. In both scenarios have the same optimum weighting value is $\lambda = 0.1$ and the results show that there has been controlled statistically or no process shift occurs.

Keywords: *Cement Compressive Strength, Factor Analysis, Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC), Regression Adjusted.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul : **“Pengendalian Kualitas Semen dengan Diagram Kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC) based on Regression Adjusted Variables (Studi Kasus PT Semen “X”)*”**. Selama proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, penulis dapat menyelesaikan dengan baik dan lancar tidak lepas dari adanya bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh hormat, ketulusan, dan rendah hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah tercinta Bakhtiar Zaenal Arifin dan Ibu tersayang Suriyah Purwaningsih atas doa, nasehat, kasih sayang, dan dukungan yang selalu diberikan kepada penulis sehingga termotivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si. selaku Kepala Departemen Statistika FSAD dan Dr. Santi Wulan, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Departemen Bidang Akademik yang telah menyediakan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Wibawati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, mengarahkan, membimbing dengan sabar dan memberikan dukungan yang sangat besar bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S. dan Ibu Erma Oktania Permatasari, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi dan saran-saran untuk kesempurnaan Tugas Akhir.
5. Ibu Dr. Dra. Agnes Tuti Rumiati, M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberikan nasehat, motivasi dan bimbingan selama ini.
6. Seluruh dosen Statistika ITS yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan, serta segenap karyawan Departemen

Statistika ITS, khususnya Bapak Umam dan Bapak Pendi yang selalu siap siaga membantu dalam administrasi.

7. Bapak Benny Ismanto dan Bapak Heri Purnomo selaku pembimbing di Departemen *Quality Assurance* yang telah memberikan izin, informasi, motivasi, nasehat, kemudahan pengambilan data selama pelaksanaan Kerja Praktik hingga Tugas Akhir.
8. Adik-adik tercinta, Yuniar Putri Ayu Maulidia, Jihadul Akbar Fisabilillah, Nighta Rizka Aprilia Rahma P, dan Ayunindya Az-zahra Ramadhani yang selalu menghibur, memotivasi dan memberikan semangat ketika penulis mengalami hambatan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Keluarga yang selalu mendoakan dan memberikan kasih sayang sehingga penulis dapat mengerjakan laporan Tugas Akhir ini dengan lancar.
10. Sahabat tercinta Rezkiana Sunjadeva, Nurul Rizqiyah, dan Herni Anggi Riski yang selalu ada saat suka dan duka sehingga penulis menjadi bersemangat dalam mengerjakan Tugas Akhir.
11. Adam Fahmi Fandisyah yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir, serta menjadi teman berbagi cerita dalam suka maupun duka.
12. Rivi Monica Pratiwi dan Kinanthi Sukma Wening yang selalu memberi dukungan, semangat dan menghibur serta bertukar cerita selama ini.
13. Niam Zuhdi Yulianto, Mirza Romi Setiawan, Al'awwa Prima Nadia Putri, Ni Luh Putu Ika Candrawengi, Syarifah Widya Eka Putri, teman seperjuangan NRP 1 yang telah menemani selama 3,5 tahun perkuliahan
14. Rizky Amalia Putri yang telah memotivasi untuk lulus 3,5 tahun, menemani berjuang di tahun-tahun terakhir perkuliahan, pembuatan proposal hingga laporan Tugas Akhir ini.
15. M. Naufal Abdullah, M. Abid As-Sarofi, M. Jefry Nudin, Ronny Sugiarto Putra, Reza Agni P, Nur Sofiyulloh Naf'an,

Asva Abadila Rouhan, Rifqi Rabbanie, Fadhli Azhar dan teman-teman belajar kontrakan yang telah banyak membantu dalam proses belajar.

16. Teman-teman TR16GER yang memberikan bantuan, semangat dan mengajarkan arti kebersamaan, kekeluargaan selama 3,5 tahun ini.
17. Teman-teman PH dan Medfo HIMASTA-ITS 18/19 yang telah memberikan semangat dan pengalaman luar biasa selama perkuliahan.
18. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan membantu dalam keberhasilan penulis baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga laporan yang penulis susun dapat bermanfaat dan mampu digunakan sebagaimana mestinya. Penulis menyadari apabila pembuatan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, besar harapan dari penulis untuk menerima kritik dan saran yang berguna untuk perbaikan di masa mendatang. Serta tidak lupa penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam laporan yang telah penulis susun. Atas perhatian dan dukungannya penulis sampaikan ucapan terima kasih.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Manfaat.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Uji Normal Multivariat.....	9
2.2 Uji Kecukupan Data.....	11
2.3 Uji <i>Bartlett</i>	12
2.4 Analisis Faktor.....	12
2.5 <i>Regression Adjusted Control Chart</i>	14
2.6 Pengujian Asumsi Residual.....	15
2.6.1 Pengujian Asumsi Residual Identik.....	16
2.6.2 Pengujian Asumsi Residual Independen.....	17
2.6.3 Pengujian Asumsi Residual Normal Multivariat....	17
2.7 Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC).....	17
2.8 Proses Produksi Semen.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Sumber Data.....	23
3.2 Variabel Penelitian.....	23
3.3 Struktur Data.....	26
3.4 Langkah Analisis.....	27
3.5 Diagram Alir.....	28

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Karakteristik Kualitas Semen PT Semen “X”	31
4.1.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Penyusun Semen	31
4.1.2 Deskripsi Data Kuat Tekan Semen.....	32
4.2 Analisis Faktor terhadap Variabel Kualitas Semen	32
4.2.1 Uji Normal Multivariat	33
4.2.2 Uji Kecukupan Data.....	33
4.2.3 Uji <i>Bartlett</i>	34
4.2.4 Penentuan Variabel yang Berpengaruh Dominan terhadap Kuat Tekan Semen	35
4.3 <i>Monitoring</i> Kuat Tekan Semen dengan Pendekatan <i>Regression Adjusted</i>	36
4.3.1 <i>Regression Adjusted</i> Kuat Tekan Semen dengan Variabel Hasil Analisis Faktor	37
4.3.2 <i>Regression Adjusted</i> Kuat Tekan Semen dengan Seluruh Variabel	40
4.4 Pengendalian Kualitas Semen dengan Diagram Kendali MEWMC	44
4.4.1 Pengendalian Kualitas Semen berdasarkan Variabel Hasil Analisis Faktor	45
4.4.2 Pengendalian Kualitas Semen untuk Seluruh Variabel.....	52
4.4.3 Perbandingan Hasil Diagram Kendali MEWMC ...	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	63
BIODATA PENULIS	97

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian.....	23
Tabel 3. 2 Struktur Data Mentah.....	26
Tabel 3. 3 Struktur Data MEWMC.....	26
Tabel 4. 1 Deskripsi Karakteristik Kualitas	31
Tabel 4. 2 Deskripsi Karakteristik Kuat Tekan Semen (kg/cm ²).....	32
Tabel 4. 3 Rotated Component Matrix.....	36
Tabel 4. 4 Parameter Regresi Adjusted.....	37
Tabel 4. 5 Parameter Regresi Adjusted.....	41
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Nilai |Max(Cj)-h| untuk MEWMC.....	50
Tabel 4. 7 Perbandingan Diagram Kendali MEWMC	57

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir	29
Gambar 3. 1 Diagram Alir (Lanjutan).....	30
Gambar 4. 1 Boxplot Residual	39
Gambar 4. 2 Boxplot Residual	43
Gambar 4. 3 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,1$	48
Gambar 4. 4 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,2$	49
Gambar 4. 5 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,3$	49
Gambar 4. 6 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu Perbaikan dengan $\lambda = 0,1$	51
Gambar 4. 7 Diagram Kendali MEWMC Fase Dua.....	52
Gambar 4. 8 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,1$	53
Gambar 4. 9 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,2$	53
Gambar 4. 10 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,3$	54
Gambar 4. 11 Diagram Kendali MEWMC Fase Dua.....	56

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Komposisi Kimia dan Sifat Fisika Semen.....	63
Lampiran 2	Data Kuat Tekan Semen.....	64
Lampiran 3	Output Uji Dependensi Kuat Tekan Semen.....	64
Lampiran 4	Macro Minitab Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat	65
Lampiran 5	Output Uji Normal Multivariat untuk Analisis Faktor.....	66
Lampiran 6	Tabel Critical Point dari Normal Probability Plot Correlation Coefficient (PPCC) Distribution	67
Lampiran 7	Output Uji Kecukupan Data dan Uji Bartlett untuk Analisis Faktor	68
Lampiran 8	Regresi Variabel Hasil Analisis Faktor	69
Lampiran 9	Regresi Seluruh Variabel.....	72
Lampiran 10	Residual Regresi Variabel Hasil Analisis Faktor.	77
Lampiran 11	Residual Regresi Seluruh Variabel.....	80
Lampiran 12	Syntax Matriks A	82
Lampiran 13	Output Matriks A	83
Lampiran 14	Syntax MEWMC.....	84
Lampiran 15	Statistik Uji C_j	86
Lampiran 16	Program Batas Kendali MEWMC (h)	94
Lampiran 17	Output Batas Kendali MEWMC.....	94
Lampiran 18	Surat Keterangan	96

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang 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. Anggaran infrastruktur terus meningkat dari Rp 155 triliun pada tahun 2014 menjadi sekitar Rp 410 triliun pada tahun 2018. Kebutuhan masyarakat akan ketersediaan infrastruktur masih sangat besar. Pemerintah menargetkan daya saing Indonesia bisa berada pada peringkat ke-40 dunia. Pada tahun 2019, fokus Pemerintah ada pada pengembangan SDM Indonesia dengan tetap melanjutkan pembangunan infrastruktur (Kementerian Keuangan Republik Indonesia, 2018). Anggaran infrastruktur pada tahun 2019 ini meningkat sebesar 1,04% menjadi Rp 415 triliun dengan sasaran target pembangunan/rekonstruksi/pelebaran jalan sebesar 2.007 km, pembangunan dan rehabilitasi jembatan sebesar 27.067 m, pembangunan 4 unit bandara baru, pembangunan/ penyelesaian rel kereta api sebesar 415,2 km², jaringan irigasi sebesar 162 ribu hektar dan 48 unit bendungan (Kementerian Keuangan Republik Indonesia, 2019).

Pembangunan infrastruktur yang maksimal dihasilkan dari bahan baku yang berkualitas. Salah satu bahan baku yang digunakan dalam pembangunan adalah semen. PT Semen “X” merupakan badan usaha yang bergerak pada bidang pembuatan semen. Tingginya permintaan akan kebutuhan semen mendorong PT Semen “X” untuk selalu meningkatkan kualitas sesuai standar yang telah ditetapkan. Kualitas semen yang baik akan menambah nilai kepercayaan dari masyarakat kepada PT Semen “X”.

Proses produksi semen memiliki lima tahapan diantaranya proses penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan, proses pembakaran, proses penggilingan akhir serta proses pengemasan (Gemert, et al., 2004). Kualitas semen ditentukan oleh kuat tekan

semen yang berada pada tahap penggilingan akhir (*finish mill*). Kuat tekan semen adalah kemampuan semen dalam menerima tekanan. Apabila kuat tekan semen tinggi, maka komponen yang terbuat dari semen tersebut akan semakin kokoh dan kuat untuk menopang beban berat sehingga tidak mudah rusak. Kuat tekan semen dibedakan menjadi tiga yaitu kuat tekan semen yang diukur pada hari ke-3, ke-7 dan ke-28. Ketiga variabel yang merupakan variabel respon ini saling berhubungan, semakin lama usia semen maka kuat tekannya akan semakin tinggi. Oleh karena itu, sangat penting dilakukan pengujian kualitas di tahap penggilingan akhir sebelum semen masuk ke tahap pengemasan. Sementara itu, kuat tekan semen dipengaruhi oleh empat belas variabel yang merupakan variabel prediktor yaitu komposisi kimia dan sifat 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 , LOI . Sedangkan sifat fisika dari semen antara lain *Blaine* dan Residu 45 Mikron. Kualitas semen tersebut diuji di laboratorium kimia dan fisika dibawah *Department of Quality Assurance* PT Semen “X”.

Selanjutnya untuk memonitoring kuat tekan semen yang dipengaruhi oleh komposisi kimia dan sifat fisika semen, maka digunakan metode *Statistical Process Control (SPC)*. Tujuan utama dari metode ini 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. Diagram kendali (*control chart*) merupakan salah satu alat *Statistical Process Control* yang efektif dalam mengurangi variabilitas dalam proses (Montgomery, 2013). Diagram kendali multivariat yang cukup populer dan pertama kali yaitu T^2 Hotelling yang dikenalkan oleh Harold Hotelling pada tahun 1947. Kelebihan dari diagram ini adalah mudah digunakan dalam aplikasinya. Akan tetapi diagram ini kurang sensitif terhadap pergeseran mean proses yang kecil. Oleh karena itu salah satu diagram kendali multivariat yang sensitif terhadap pergeseran kecil adalah diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)* yang diusulkan oleh Lowry dkk pada tahun 1992. Sedangkan

diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) digunakan ketika pergeseran terjadi untuk variabilitas. Hawkins dan Maboudou-Tchao pada tahun 2008 mengkaji diagram kendali yang digunakan untuk *monitoring* pergeseran variabilitas menggunakan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC). Disisi lain, variabel prediktor merupakan variabel yang saling mempengaruhi variabel respon, sehingga kurang tepat jika diagram kendali hanya digunakan untuk *monitoring* variabel respon atau variabel prediktor saja. Untuk mengatasi hal tersebut, Hawkins pada tahun 1991 dan 1993 mengusulkan penggunaan variabel yang disesuaikan dengan regresi (*regression adjusted variables*) sehingga meningkatkan kinerja diagram kendali dalam banyak kasus. Kemudian pada tahun 2017, Kwon dan Cho mengkaji *Multivariate Control Charts based on Regression-Adjusted Variables for Covariance Matrix*. Dikarenakan kuat tekan semen pada hari ke-3, ke-7 dan ke-28 memiliki korelasi yang tinggi dan masing-masing dipengaruhi oleh komposisi kimia dan sifat fisika dari semen, maka diagram kendali yang sesuai untuk permasalahan ini adalah diagram kendali multivariat dengan pendekatan *Regression Adjusted*.

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan kualitas semen telah dilakukan oleh Ashari (2017) dalam tugas akhirnya yang berjudul “*Monitoring Variabilitas Proses dan Mean Proses Tahap Penggilingan Akhir Produk Semen Ordinary Portland Cement (OPC) di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk*”. 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 sebelumnya yang juga berkaitan dengan kualitas semen dan *Regression Adjusted* telah dilakukan oleh Putri (2017) dalam tugas akhirnya yang berjudul “Penerapan Diagram Kontrol Multivariat *Regression Adjusted* pada Proses Penggilingan Akhir Produk Semen PPC di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk”. Hasil analisis dalam penelitian tersebut yakni apabila masih terdapat kandungan dari karakteristik kualitas yang melebihi batas spesifikasi atas yang telah ditetapkan perusahaan sehingga menyebabkan terjadinya proses yang di luar batas kendali. Proses produksi semen PPC di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk pada fase satu yaitu periode bulan Januari 2014 – Juni 2014, variabilitas proses produksi dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV dan mean proses dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA telah terkendali secara statistik. Pembobot optimum untuk diagram MEWMV adalah $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,9$, sedangkan MEWMA dengan $\lambda = 0,9$.

Pada penelitian sebelumnya dapat diketahui bahwa proses *monitoring* variabilitas telah dilakukan menggunakan diagram kendali *Generalized Variance* dan MEWMV. Oleh karena itu, diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC) dipilih karena diagram kendali ini efektif memonitor perubahan dalam matriks kovarians, dimana diagram kendali ini unggul ketika ada dalam kasus di mana varians atau korelasi mengalami perubahan. Selain itu, diagram kendali MEWMC *robust* terhadap distribusi tidak normal multivariat dan adanya autokorelasi. Pada penelitian ini pengendalian variabilitas menggunakan seluruh variabel yang mempengaruhi kuat tekan semen. Karena kuat tekan semen dipengaruhi oleh beberapa variabel yang merupakan komposisi kimia dan sifat fisika dari semen maka untuk kasus ini digunakan diagram kendali dengan pendekatan *Regression Adjusted Variables*. Seperti yang telah diketahui sebelumnya, bahwa kuat tekan semen dipengaruhi oleh banyak variabel baik secara kimia maupun fisika. Oleh karena itu, untuk mendapatkan variabel yang berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen digunakan analisis faktor. Selanjutnya, dalam

proses *monitoring* variabilitas dibandingkan hasil dari dua skenario dimana skenario pertama untuk diagram kendali MEWMC *based on Regression Adjusted* pada variabel hasil analisis faktor dan skenario kedua untuk MEWMC *based on Regression Adjusted* pada seluruh variabel. Hal ini dilakukan karena pada proses produksi semen, tidaklah mungkin variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kualitas semen (kuat tekan semen) tersebut dihilangkan. Oleh karena itu, tujuan analisis faktor pada penelitian ini untuk mengetahui variabel manakah yang berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen secara statistik sehingga dapat dibandingkan dengan keadaan secara teknis di lapangan. Apabila terjadi perbedaan di antara keduanya maka penyelidikan proses dan tindakan korektif dapat dilakukan untuk mengetahui penyebabnya.

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. Pada proses produksi semen, kualitas semen secara umum ditentukan oleh kuat tekan semen, dimana pada PT Semen “X” kuat tekan semen diukur pada hari ke-3, ke-7, dan ke-28. Ketiga variabel tersebut saling memengaruhi satu sama lain, sehingga kurang tepat jika pengendalian kualitas hanya dilakukan secara univariat. Sementara itu, terdapat empat belas variabel yang memiliki pengaruh terhadap kuat tekan semen, yaitu: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , SO_3 , C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF , FCaO , LOI , Residu 45 Mikron, dan *Blaine*.

Dalam penelitian ini dilakukan pengendalian kualitas secara multivariat dengan diagram kendali yang dapat digunakan untuk variabel-variabel yang saling berhubungan serta dalam proses pengendalian digunakan proses penyesuaian (*adjustment*) sehingga dapat mengurangi keragaman atau penyimpangan dari karakteristik kualitas agar sesuai dengan nilai target yang telah ditentukan oleh perusahaan. Data yang digunakan merupakan *individual*

observation dan diagram kendali yang digunakan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC) based on Regression Adjusted Variables*. Sebelum melakukan pengendalian kualitas, variabel-variabel yang merupakan komposisi kimia dan sifat fisika semen ditentukan terlebih dahulu manakah yang berpengaruh dominan terhadap kualitas semen (kuat tekan semen) menggunakan analisis faktor. Selanjutnya, dibandingkan hasil antara dua skenario yang telah ditentukan dimana skenario pertama untuk diagram kendali MEWMC *based on Regression Adjusted* pada variabel hasil analisis faktor dan skenario kedua untuk MEWMC *based on Regression Adjusted* pada seluruh variabel. Dengan mengendalikan residual yang telah diperoleh, maka variabel prediktor dan variabel respon yang diteliti sudah bisa dikendalikan.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui variabel yang berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen menggunakan analisis faktor.
2. Mengetahui pengendalian kuat tekan semen PT Semen “X” menggunakan Diagram Kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC) based on Regression Adjusted Variables*.
3. Membandingkan hasil antara pengendalian kuat tekan semen dengan dua skenario dimana skenario pertama untuk diagram kendali MEWMC *based on Regression Adjusted* pada variabel hasil analisis faktor dan skenario kedua untuk MEWMC *based on Regression Adjusted* pada seluruh variabel.

1.4 Manfaat

Penelitian ini bermanfaat sebagai informasi penerapan ilmu statistik bagi PT Semen “X” mengenai variabel yang dominan mempengaruhi kuat tekan semen menggunakan analisis faktor

dan pengendalian kualitas statistik menggunakan Diagram Kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC) based on Regression Adjusted Variables* yang dapat diaplikasikan untuk proses pengendalian kualitas semen. Pada penelitian ini digunakan dua skenario yaitu skenario pertama untuk diagram kendali MEWMC *based on Regression Adjusted* pada variabel hasil analisis faktor dan skenario kedua untuk MEWMC *based on Regression Adjusted* pada seluruh variabel. Selain itu, manfaat bagi peneliti adalah dapat menerapkan ilmu statistik dan terlibat dalam menangani permasalahan nyata di dunia industri.

1.5 Batasan Masalah

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 dalam pengendalian kualitas menggunakan pendekatan *Regression Adjusted Variables* adalah variabel hasil analisis faktor dan seluruh variabel.
3. Variabel yang terpilih berdasarkan hasil analisis faktor merupakan variabel yang terdapat pada faktor pertama saja.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini diuraikan tinjauan pustaka terkait dengan metode yang digunakan untuk pengendalian kuat tekan semen, yaitu sebagai berikut.

2.1 Uji Normal Multivariat

Analisis normal multivariat merupakan perluasan dari distribusi normal univariat dengan $p \geq 2$. Distribusi normal univariat mempunyai fungsi distribusi probabilitas

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (2.1)$$

Sesuai dengan notasi fungsi distribusi normal dengan mean μ dan varians σ^2 didapatkan

$$\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2 = (x-\mu)^T (\sigma^2)(x-\mu). \quad (2.2)$$

Berdasarkan eksponen dari fungsi distribusi univariat, dapat digeneralisasi menjadi vektor $p \times 1$ yaitu sebagai berikut

$$(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu}). \quad (2.3)$$

Vektor $\boldsymbol{\mu}_{(p \times 1)}$ mewakili nilai yang diharapkan dari vektor \mathbf{X} , dan matriks $\boldsymbol{\Sigma}_{(p \times p)}$ merupakan matriks varians-kovarians dari matriks \mathbf{X} , dimana p merupakan banyaknya variabel pengamatan, sehingga

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\boldsymbol{\Sigma}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})}. \quad (2.4)$$

Jika X_1, X_2, \dots, X_p berdistribusi normal multivariat, maka $(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})$ berdistribusi χ_p^2 . Uji normal multivariat dapat dilakukan dengan menggunakan uji koefisien korelasi. Berikut

merupakan uji koefisien korelasi untuk melihat apakah data memenuhi asumsi distribusi normal multivariat atau tidak.

Hipotesis :

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik uji :

$$r_q = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{(j)} - \bar{x})(q_{(j)} - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{(j)} - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_{(j)} - \bar{q})^2}}, \quad (2.5)$$

dimana $q_j = \frac{j - \frac{1}{2}}{n}$, $j = 1, 2, \dots, n$.

Daerah Kritis:

Tolak H_0 jika $r_q < r_{(\alpha, n)}$.

Jika hasil dari statistik uji memiliki hasil yang kurang dari tabel normal probabilitas koefisien korelasi $r_{(\alpha, n)}$, maka dapat disimpulkan bahwa data tidak berdistribusi normal multivariat, begitu pun sebaliknya (Johnson & Wichern, 2007).

Langkah yang dapat dilakukan untuk mengatasi ketidaknormalan data adalah membuat data tampak lebih normal dengan 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 timbal balik (*reciprocal transformations*).
- b. Transformasi logaritma.

2.2 Uji Kecukupan Data

Identifikasi kecukupan data bertujuan untuk mengetahui kelayakan data dalam melakukan analisis faktor. Pengujian dilakukan menggunakan uji *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) dengan hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis :

H_0 : Data memenuhi asumsi kecukupan data

H_1 : Data tidak memenuhi asumsi kecukupan data

Statistik uji :

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p r_{ij}^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_{ij}^2} \quad (2.6)$$

Daerah Kritis:

Tolak H_0 jika $KMO < 0,5$.

Keterangan :

$i = 1, 2, 3, \dots, p$ dan $j = 1, 2, 3, \dots, p$

r_{ij} = koefisien korelasi antara variabel i dan j

a_{ij} = koefisien korelasi parsial antara variabel i dan j

Jika nilai KMO lebih besar dari 0,5 maka memenuhi asumsi kecukupan data yang berarti terdapat korelasi parsial yang cukup pada data untuk dilakukan analisis faktor. Apabila nilai KMO kurang dari 0,5 maka yang harus dilakukan adalah mengumpulkan lebih banyak data atau memilih variabel yang akan dimasukkan (Field, 2013).

Measures of Sampling Adequacy (MSA) atau ukuran kecukupan sampling, merupakan indeks yang dimiliki setiap variabel yang menjelaskan apakah sampel yang diambil dalam penelitian cukup untuk membuat variabel-variabel yang ada saling terkait secara parsial. Nilai MSA berkisar antara 0 sampai 1. Dengan syarat-syarat sebagai berikut :

1. $MSA = 1$, variabel tersebut dapat diprediksi tanpa kesalahan oleh variabel lain.

2. $MSA > 0.5$, variabel masih bisa diprediksi dan bisa dianalisis lebih lanjut.
3. $MSA < 0.5$, variabel tidak bisa diprediksi dan tidak bisa dianalisis lebih lanjut, variabel dikeluarkan dari analisis.

Hanya variabel yang memiliki ukuran kecukupan sampling (MSA) diatas (> 0.5) yang akan diterima dan dimasukkan kedalam analisis (Field, 2013).

2.3 Uji Bartlett

Uji *Bartlett* bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat homogenitas varians antar variabel dalam kasus multivariat. Jika variabel X_1, X_2, \dots, X_p bersifat saling bebas, maka matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas. Untuk menguji kebebasan antarvariabel, dapat dilakukan uji *Bartlett sphericity* (Morrison, 2005). Uji *Bartlett sphericity* dapat dinyatakan dalam hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I} \text{ (tidak terdapat korelasi antar variabel)}$$

$$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I} \text{ (terdapat korelasi antar variabel)}$$

Statistik Uji :

$$\chi_{hitung}^2 = - \left[n - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right] \ln |\mathbf{R}|, \quad (2.7)$$

dimana n adalah jumlah observasi, sedangkan p adalah jumlah variabel, dan \mathbf{R} adalah matriks korelasi dari masing-masing variabel, serta $\chi_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}^2$ adalah nilai distribusi *chi-square*. Jika

ditetapkan tingkat signifikansi α sebesar 0,05, maka H_0 ditolak jika nilai $\chi_{hitung}^2 > \chi_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}^2$ atau dapat disimpulkan bahwa

matriks korelasi tidak sama dengan matriks identitas atau terdapat korelasi antar variabel (Morrison, 2005).

2.4 Analisis Faktor

Tujuan utama dari analisis faktor adalah untuk mendeskripsikan hubungan antar kovarians dari banyak variabel

dalam kuantitas random yang disebut faktor. Variabel random teramati X dengan p komponen, memiliki rata-rata μ dan matriks kovarians Σ . Model faktor dari X yang merupakan kombinasi linier beberapa variabel saling bebas yang tidak teramati adalah F_1, F_2, \dots, F_m yang disebut *common factors* dan ditambahkan dengan $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$ yang disebut *specific factor*, sehingga secara khusus dapat ditulis sebagai berikut (Johnson & Wichern, 2007)

$$\begin{aligned} X_1 - \mu_1 &= l_{11}F_1 + l_{12}F_2 + \dots + l_{1m}F_m + \varepsilon_1 \\ X_2 - \mu_2 &= l_{21}F_1 + l_{22}F_2 + \dots + l_{2m}F_m + \varepsilon_2 \\ &\vdots \\ X_p - \mu_p &= l_{p1}F_1 + l_{p2}F_2 + \dots + l_{pm}F_m + \varepsilon_p \end{aligned} \quad (2.8)$$

atau dapat ditulis dalam notasi matriks sebagai berikut

$$\mathbf{X}_{p \times 1} - \boldsymbol{\mu}_{(p \times 1)} = \mathbf{l}_{(p \times m)} \mathbf{F}_{(m \times 1)} + \boldsymbol{\varepsilon}_{p \times 1} \quad (2.9)$$

Keterangan :

- μ_i = rata-rata variabel i
- ε_i = faktor spesifik ke- i
- F_i = *common faktor* ke- j
- ℓ_{ij} = *loading* dari variabel ke- i pada faktor ke- j

Metode penentuan banyak faktor yang terbentuk didasarkan pada hal-hal berikut.

1. Banyaknya faktor dipilih sesuai dengan banyaknya *eigenvalue* yang lebih besar dari satu. Dikarenakan nilai *eigenvalue* yang berada dibawah 1 atau mendekati 0 biasanya tidak dipergunakan sebab dalam menerangkan keragaman data sangat kecil.
2. Jumlah faktor yang terbentuk adalah yang mampu memberikan kumulatif persen varians 80%-90%.
3. Melalui *scree plot*, jika garis yang terbentuk pada *scree plot* memiliki range yang cukup besar maka jumlah faktor yang terbentuk sejumlah garis tersebut.
Langkah selanjutnya setelah penentuan banyaknya faktor

yang terbentuk yaitu mengelompokkan variabel ke dalam faktor menggunakan *rotated component matrix*. Hasil dari ekstraksi faktor dalam matriks faktor mengidentifikasi hubungan antar faktor dan variabel individual, namun dalam faktor-faktor tersebut banyak variabel yang berkorelasi sehingga sulit diinterpretasikan. Melalui rotasi faktor matriks, faktor matriks ditransformasikan ke dalam matriks yang lebih sederhana sehingga mudah diinterpretasikan. Rotasi faktor menggunakan prosedur varimax. Rotasi varimax menghendaki varians yang maksimum dalam matriks faktor yang terbentuk, sehingga menjadikan setiap peubah asal hanya akan mempunyai korelasi yang kuat dengan faktor tertentu saja (Johnson & Wichern, 2007).

2.5 *Regression Adjusted Control Chart*

Regression Adjusted Control Chart atau diagram kendali dengan penyesuaian regresi sangat berguna untuk pengukuran individu, dimana digunakan ketika terdapat variabel yang dipengaruhi dan mempengaruhi. Hawkins (1991) mengembangkan metode ini untuk merencanakan pengendalian secara univariat dari residual pada masing-masing variabel yang diperoleh. *Regression adjusted control chart* dapat dilakukan apabila terdapat perbedaan variabel secara hierarki seperti variabel independen dan variabel dependen. Residual diperoleh dari hasil pengurangan antara nilai percobaan model regresi berganda dari masing-masing pengamatan sesuai pada y atau dengan persamaan sebagai berikut

$$\varepsilon_j = y_j - \hat{y}_j. \quad (2.10)$$

Model regresi dari variabel y dan x dapat mewakili proses yang ingin dikendalikan. Jika variabel respon yang digunakan lebih dari satu maka digunakan regresi multivariat dalam melakukan pemodelan untuk memperoleh nilai residual. Analisis regresi multivariat digunakan untuk menggambarkan hubungan antara lebih dari satu variabel respon dengan variabel prediktor dan diantara variabel respon terdapat hubungan. Model linear multivariat respon ke- q adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
Y_1 &= \beta_{01} + \beta_{11}X_1 + \dots + \beta_{p1}X_p \\
Y_2 &= \beta_{02} + \beta_{12}X_1 + \dots + \beta_{p2}X_p \\
&\vdots \\
Y_q &= \beta_{0q} + \beta_{1q}X_1 + \dots + \beta_{pq}X_p
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Model regresi multivariat yang terdiri dari q persamaan model linear secara simultan dapat ditunjukkan dalam bentuk matriks sebagai berikut

$$\mathbf{Y}_{(n \times q)} = \mathbf{X}_{n \times (p+1)} \boldsymbol{\beta}_{(p+1) \times q} + \boldsymbol{\varepsilon}_{(n \times q)}, \tag{2.12}$$

dengan $E(\varepsilon_i) = 0$ dan $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_i) = \sigma_{ii} I$.

Untuk mendapatkan residual, langkah pertama yang harus dilakukan adalah dengan membuat model yang didapatkan dari melakukan estimasi parameter. Estimasi parameter dengan menggunakan *least square* adalah sebagai berikut (Johnson & Wichern, 2007)

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}, \tag{2.13}$$

dimana

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11} & \hat{\beta}_{12} & \dots & \hat{\beta}_{1q} \\ \hat{\beta}_{21} & \hat{\beta}_{22} & \dots & \hat{\beta}_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{\beta}_{n1} & \hat{\beta}_{n2} & \dots & \hat{\beta}_{np} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1q} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{np} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix}.$$

2.6 Pengujian Asumsi Residual

Model regresi multivariat dikatakan sebagai model yang sesuai atau layak dan dapat digunakan untuk proses pengendalian kualitas apabila model tersebut telah memenuhi asumsi dari analisis regresi yaitu IIDN. Asumsi IIDN dalam analisis regresi yaitu asumsi residual identik (homogen), asumsi residual independen

(saling bebas antara residual yang satu dengan yang lain), dan asumsi residual berdistribusi normal multivariat.

2.6.1 Pengujian Asumsi Residual Identik

Pengujian asumsi residual identik digunakan untuk mengetahui kehomogenan matriks varians kovarians yang dapat dilakukan dengan menggunakan Uji Box's M dalam kasus multivariat. Pengujian hipotesis kehomogenan matriks varians kovarians dari residual model regresi adalah sebagai berikut.

Hipotesis :

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_j = \Sigma$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_i \neq \Sigma_m \text{ untuk } i \neq m$$

Statistik uji :

$$\chi_{hitung}^2 = -2(1 - c_1) \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m v_i \ln |S_i| - \frac{1}{2} \ln |S_{pool}| - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m v_i \right] \quad (2.14)$$

dimana

$$S_{pool} = \frac{\sum_{i=1}^m v_i S_i}{\sum_{i=1}^m v_i},$$

$$c_1 = \left[\sum_{i=1}^k \frac{1}{v_i} - \frac{1}{\sum_{i=1}^m v_i} \right] \left[\frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(k-1)} \right], \quad (2.15)$$

$$v_i = n_i - 1.$$

Keterangan :

k = jumlah subgroup sebanyak m

p = banyaknya karakteristik kualitas

Jika ditetapkan tingkat signifikansi α sebesar 0,05 maka gagal tolak H_0 jika nilai $\chi_{hitung}^2 \leq \chi_{\frac{1}{2}(k-1)p(p+1)}^2$ atau $p\text{-value} > 0,05$

artinya matriks varians kovarians bersifat homogen (Johnson & Wichern, 2007). Salah satu cara dalam mengatasi asumsi identik

apabila tidak terpenuhi adalah transformasi residual menggunakan *Weighted Least Square* (WLS).

2.6.2 Pengujian Asumsi Residual Independen

Untuk mengetahui asumsi independen, bisa dilakukan dengan mengecek adanya autokorelasi. Autokorelasi adalah korelasi antara anggota serangkaian observasi yang diurutkan menurut waktu (seperti data deretan waktu) atau ruang (seperti data *cross-section*). Untuk mengetahui autokorelasi dapat menggunakan grafik *Multivariate Auto-corellation Function* (MACF). Apabila terjadi *cut off lag* maka residual tidak independen (Montgomery, 2013). Apabila terdapat autokorelasi maka dilakukan deteksi *outlier* pada masing-masing residual yang dihasilkan.

2.6.3 Pengujian Asumsi Residual Normal Multivariat

Pengujian asumsi residual berdistribusi normal multivariat dapat dilakukan dengan menggunakan uji koefisien korelasi seperti pada uraian poin 2.1. Berikut merupakan hipotesis uji koefisien korelasi untuk melihat apakah data memenuhi asumsi distribusi normal multivariat atau tidak.

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Dengan menggunakan statistik uji seperti persamaan 2.5, maka jika hasil dari statistik uji memiliki hasil yang kurang dari tabel normal probabilitas koefisien korelasi $r_{(\alpha,n)}$, maka dapat disimpulkan bahwa data tidak berdistribusi normal multivariat, begitu pun sebaliknya (Johnson & Wichern, 2007).

2.7 *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC)

Residual yang telah didapatkan dari proses regresi sebelumnya yaitu $\varepsilon_{jk} \sim N(\boldsymbol{\mu}_0, \boldsymbol{\Sigma}_0)$ dengan $j=1,2,\dots,n$ dan $k=1,2,\dots,p$. Penggunaan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC) lebih mudah jika menggunakan vektor data yang telah distandarisasi dibandingkan

jika menggunakan data mentah. Oleh karena itu, dihitung matriks \mathbf{A} dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\Sigma}_0\mathbf{A}^T = \mathbf{I}_p. \quad (2.16)$$

Kemudian ditransformasi menggunakan rumus sebagai berikut

$$\mathbf{U}_j = \mathbf{A}(\boldsymbol{\varepsilon}_j - \boldsymbol{\mu}_0), \quad (2.17)$$

dimana saat berada dalam kendali $\mathbf{U}_j \sim N(0, \mathbf{I}_p)$.

Matriks \mathbf{A} merupakan matriks segitiga bawah yang sesuai dengan penyesuaian regresi Hawkins (1993). Dengan menggunakan hal tersebut, setiap elemen ε_j adalah residual dari regresi Y_j pada X_1, X_2, \dots, X_p . Notasi \mathbf{S} adalah standar untuk matriks kovarians, yang kemudian didefinisikan untuk *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC) dengan $\mathbf{S}_0 = \mathbf{I}_p$, untuk $j = 1, 2, \dots, n$ maka persamaan \mathbf{S}_j adalah sebagai berikut

$$\mathbf{S}_j = (1 - \lambda)\mathbf{S}_{j-1} + \lambda\mathbf{U}_j\mathbf{U}_j', \quad (2.18)$$

dimana ketika proses terkendali, maka ekspektasi $E(\mathbf{S}_j) = \mathbf{I}_p$.

Statistik uji yang digunakan dalam diagram kendali MEWMC yaitu sebagai berikut

$$c_j = \text{tr}(\mathbf{S}_j) - \log|\mathbf{S}_j| - p. \quad (2.19)$$

Batas kendali h dipilih berdasarkan nilai pembobot, *Average Run Length* (ARL), banyak dimensi dan panjang simulasi. Setelah didapatkan nilai c_j dan h maka diagram kendali dapat terbentuk dimana menampilkan plot c_j terhadap j , dan menandakan *out of control* jika nilai $c_j > h$ (Hawkins & Maboudou-Tchao, 2008).

2.8 Proses Produksi Semen

Proses produksi semen di PT Semen “X” untuk menghasilkan semen melewati lima tahap yaitu proses penyiapan bahan baku, proses pengolahan bahan, proses pembakaran, proses penggilingan akhir, dan proses pengemasan. Berikut ini merupakan tahapan dari proses pembuatan semen.

1. Penyediaan Bahan Mentah

Penyediaan bahan mentah ini yakni batu kapur dan tanah liat. Bahan-bahan tersebut akan dipecah menggunakan mesin *Crusher* sebagai alat utama untuk menghasilkan bebatuan kapur dengan ukuran yang sesuai persyaratan. 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 bahan baku akan dikenakan proses *preblending* dan pra-homogen yang bertujuan untuk memperoleh material yang lebih homogen di *Reclamer Scrapper*, kemudian bahan baku akan diletakkan di *Pile Storage*.

2. Pengolahan Bahan

Dalam proses ini, semua bahan baku akan masuk ke *raw mill* melalui feeder-feeder untuk kemudian digiling menjadi bentuk serbuk halus dengan ukuran maksimum 90 mikron dengan kadar air 1% dan dikenal sebagai produk *raw mill/kiln feed*. Proses pengeringan bahan baku dilakukan dengan memakai gas sisa pembakaran dari kiln. Selanjutnya, produk dari *raw mill* akan dimasukkan ke *blending silo*, silo ini selain digunakan untuk menyimpan produk dari *raw mill* juga digunakan untuk mencampur produk *raw mill* hingga homogen sebelum dibakar dalam *kiln*. Jadi ketika produk *raw mill* diisikan ke dalam silo, produk *raw mill* akan masuk dan membentuk lapisan-lapisan dengan komposisi kimia yang kurang seragam sehingga material yang terdapat di dalam silo ini harus dihomogenkan (*blending*). 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. Pemanasan awal produk *raw mill* ini diperlukan untuk menghemat panas saat pembakaran di *kiln*. Proses

pemanasan awal di *preheater* ini memiliki empat *cyclone* bertingkat yang suhunya bertingkat pula mulai dari $\pm 3300^{\circ}\text{C}$, $\pm 5400^{\circ}\text{C}$, $\pm 7200^{\circ}\text{C}$, dan $\pm 8400^{\circ}\text{C}$.

Setelah melewati *preheater*, produk *raw mill* akan masuk ke *rotary kiln*, di dalam *kiln* ini terjadi proses kimia, produk *raw mill* atau *clinkerisasi* yang terjadi melalui pembakaran pada suhu 14500°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 *clinker* atau yang lebih dikenal dengan terak. *Clinker* yang masih panas ini selanjutnya akan didinginkan secara mendadak dalam *cooler*. Pendinginan ini bertujuan untuk menjaga kualitas *clinker* dengan menghindari disosiasi C_3S menjadi C_2S serta untuk *safety* ketika pemindahan maupun penyimpanan.

4. Penggilingan Akhir

Setelah keluar dari *cooler*, *clinker* ini disimpan di *clinker storage* atau dijual ke pabrik semen yang lain sebagai bahan baku semen. Untuk *clinker* yang disimpan, selanjutnya *clinker* dibawa menuju *cement mill* untuk dilakukan penggilingan dengan *gypsum* serta material tambahan lainnya. Proses pencampuran bahan di *cement mill* ini yang nantinya akan menentukan jenis semen yang di produksi. 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. Pengantongan

Semen yang akan di *release* ke konsumen dapat berupa dalam kemasan *bag/sak* atau curah. Untuk semen dalam bentuk *bag/sak*, pengantongan atau pengemasan dilakukan dengan mesin yang bernama *packing machine*. Setelah dikemas dalam kantong, semen akan diangkut menggunakan truk untuk dikirim langsung ke gudang penyangga atau distributor. 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*. Selanjutnya masuk pada *bin central* untuk dilakukan pengadukan agar bercampur dengan merata. Setelah melewati *bin central* akan masuk dalam *packing machine* atau *roto packer* pada proses ini, sebuah mesin yang digunakan untuk pengantong semen secara otomatis. 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 pesannya. Apabila ada yang cacat atau sobek, semen akan dikembalikan dan diganti yang baru.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari Departemen *Quality Assurance* PT Semen “X”. Data yang digunakan terdiri atas 320 data dengan 14 variabel prediktor dan 3 variabel respon.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kelompok pengujian kimia dan kelompok pengujian fisika pada kualitas semen, dimana variabel dibagi menjadi dua yaitu variabel respon dan variabel prediktor. Berikut merupakan variabel yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan
Variabel Respon		
Y ₁	Kuat Tekan Semen 3 Hari	kg/cm ²
Y ₂	Kuat Tekan Semen 7 Hari	kg/cm ²
Y ₃	Kuat Tekan Semen 28 Hari	kg/cm ²
Variabel Prediktor		
X ₁	Freelime (FCaO)	%
X ₂	C ₃ S	%
X ₃	C ₂ S	%
X ₄	C ₃ A	%
X ₅	C ₄ AF	%
X ₆	MgO	%
X ₇	<i>Blaine</i>	m ² /kg
X ₈	SO ₃	%
X ₉	Residu 45 Mikron (R45)	%
X ₁₀	<i>Loss on Ignation</i> (LOI)	%
X ₁₁	SiO ₂	%
X ₁₂	Al ₂ O ₃	%
X ₁₃	Fe ₂ O ₃	%
X ₁₄	CaO	%

Pengukuran variabel-variabel yang ada di PT Semen “X” didasarkan pada pemeriksaan yang dilakukan oleh bagian laboratorium *Quality Assurance*. Di tahap penggilingan terdiri dari dua puluh variabel yang diukur yaitu sebagai berikut.

1. Kuat tekan semen adalah kemampuan semen dalam menahan suatu beban tekan. Kuat tekan semen merupakan parameter utama untuk mengukur kualitas dari semen. Analisa dilakukan dengan membuat semen yang dicetak dan dibiarkan dikamar lembab selama 3 hari, 7 hari dan 28 hari.
2. Oksida silica (SiO_2) adalah senyawa yang diperoleh dari peruraian mineral-mineral kelompok montmorillonite yang berasal dari tanah liat. Dalam semen, SiO_2 selali terikat dengan CaO .
3. Oksida Alumunium (Al_2O_3) adalah 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.
4. Oksida ferum (Fe_2O_3), dikenal juga dengan nama bijih besi adalah senyawa oksida dari besi yang mempunyai sifat paramagnetik. Fe_2O_3 juga terdapat dalam tanah liat yaitu dalam kelompok mineral kaolonit. Bersama dengan CaO dan Al_2O_3 , Fe_2O_3 akan bereaksi membentuk senyawa alumina ferrit. Selain berperan dalam reaksi pembentuk mineral potensial, Fe_2O_3 juga berperan sebagai fluks.
5. Kalsium Oksida (CaO) adalah hasil pembakaran kapur mentah (kalsium karbonat atau CaCO_3) pada suhu kurang lebih 90 derajat Celcius. Jika disiram dengan air, maka kapur tersebut akan menghasilkan panas dan berubah menjadi kapur padam (kalsium hidroksida, CaOH). Kalsium oksida adalah bahan penting dalam pembuatan semen karena CaO merupakan senyawa dengan jumlah terbesar yang bereaksi dengan senyawa-senyawa silikat, aluminat dan besi yang membentuk senyawa potensial penyusun semen.

6. Magnesium Oksida (MgO) adalah senyawa yang diperoleh dari peruraian dolomite ($CaCO_3$) yang juga bisa berasal dari mineral-mineral tanah liat. MgO tidak berfungsi sebagai salah satu mineral potensial dalam proses pembuatan semen, tetapi peranannya hanya sebagai fluks dan pewarna serta MgO tidak bereaksi dengan oksida-oksida lainnya.
7. Sulfur trioksida (SO_3) adalah senyawa yang diperoleh dari penambahan senyawa $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. SO_3 juga berasal dari bahan bakar yang digunakan dalam proses pembuatan semen. Sulfur trioksida tidak berpengaruh dalam pembentukan mineral potensial penyusun semen, tetapi fungsinya ada pada pemakaian semen.
8. Trikalsium silikat (C_3S) atau alite adalah merupakan senyawa utama yang dapat mengakibatkan bersifat semen (perekat). Hal ini disebabkan karena jumlah yang besar dan reaksi hidrasinya berlangsung cepat.
9. Dikalsium silikat (C_2S) atau belite adalah senyawa yang berfungsi sebagai pencair (fluk) pada waktu pembakaran sehingga pembentukan C_2S cukup dengan suhu $1300 - 1450^\circ C$.
10. Trikalsium aluminat (C_3A) adalah senyawa yang sangat menentukan ketahanan semen terhadap senyawa-senyawa sulfat. Makin rendah kadarnya dalam semen, maka semen akan semakin tahan terhadap sulfat.
11. Tetrakalsium aluminoferrite (C_4AF) adalah senyawa yang jumlahnya sedikit, hampir tidak berpengaruh terhadap kekuatan semen, tetapi berfungsi sebagai penentu warna semen dan untuk mempercepat hidrasi senyawa *silicate*.
12. Frelime ($FCaO$) adalah CaO dalam batu kapur yang tidak berikatan dalam membentuk mineral potensial atau senyawa lain. Frelime merupakan kalsium oksida bebas yang dihasilkan terpisah dari proses pembakaran.
13. *Lost of Ignition* (LOI) atau hilang pijar adalah berat yang hilang dalam persentase (%) dari suatu sampel pada saat dipijarkan pada suhu dan waktu tertentu.

14. Residu 45 Mikron adalah kehalusan semen berdasarkan ayakan 45 mikron, artinya semakin halus semen maka yang lolos ayakan tersebut makin banyak.
15. *Blaine* adalah kehalusan semen berdasarkan luas permukaan m^2/kg , artinya semakin tinggi nilai *blaine* maka semakin luas permukaan partikelnya sehingga semakin halus semen.

3.3 Struktur Data

Struktur data yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu struktur data mentah dan struktur data untuk *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC). Berikut ini merupakan struktur data mentah dari data yang diteliti.

Tabel 3. 2 Struktur Data Mentah

No	X_1	X_2	...	X_i	...	X_p	Y_1	Y_2	Y_3
1	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	...	$X_{i,1}$	...	$X_{p,1}$	$Y_{1,1}$	$Y_{2,1}$	$Y_{3,1}$
2	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	...	$X_{i,2}$	...	$X_{p,2}$	$Y_{1,2}$	$Y_{2,2}$	$Y_{3,2}$
3	$X_{1,3}$	$X_{2,3}$	...	$X_{i,3}$	...	$X_{p,3}$	$Y_{1,3}$	$Y_{2,3}$	$Y_{3,3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
j	$X_{1,j}$	$X_{2,j}$	...	$X_{i,j}$	...	$X_{p,j}$	$Y_{1,j}$	$Y_{2,j}$	$Y_{3,j}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	$X_{1,n}$	$X_{2,n}$	...	$X_{i,n}$	...	$X_{p,n}$	$Y_{1,n}$	$Y_{2,n}$	$Y_{3,n}$

Struktur data yang digunakan untuk *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC) adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Struktur Data MEWMC

No	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3
1	$\epsilon_{1,1}$	$\epsilon_{2,1}$	$\epsilon_{3,1}$
2	$\epsilon_{1,2}$	$\epsilon_{2,2}$	$\epsilon_{3,2}$
⋮	⋮	⋮	⋮
j	$\epsilon_{1,j}$	$\epsilon_{2,j}$	$\epsilon_{3,j}$
⋮	⋮	⋮	⋮
n	$\epsilon_{1,n}$	$\epsilon_{2,n}$	$\epsilon_{3,n}$

Keterangan :

- j = pengamatan ke- j ($j=1,2,\dots,n$)
 n = jumlah pengamatan
 i = variabel ke- i ($i=1,2,\dots,p$)
 ε = residual dari regresi

3.4 Langkah Analisis

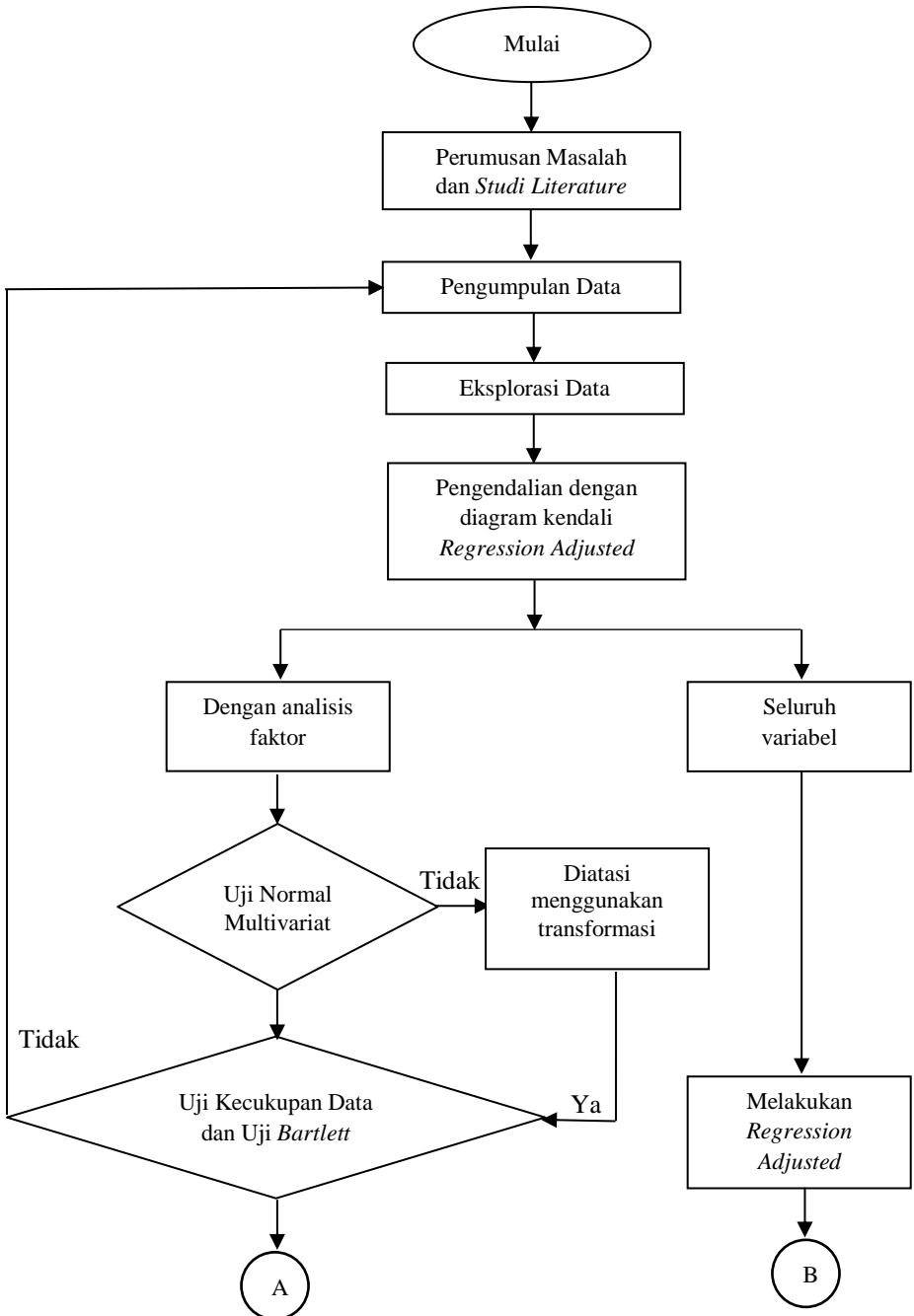
Langkah analisis digunakan untuk menggambarkan langkah-langkah penelitian yang dilakukan secara urut. Langkah analisis yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Merumuskan masalah dan *studi literature*.
2. Mengumpulkan data.
3. Melakukan eksplorasi data untuk mengetahui karakteristik dari data semen.
4. Melakukan pengendalian kualitas statistik secara multivariat menggunakan *Regression Adjusted*.
 - a. Melakukan *Regression Adjusted* pada variabel respon kuat tekan semen dan variabel prediktor hasil analisis faktor.
 1. Melakukan pengujian distribusi normal multivariat untuk mengetahui apakah data dari variabel yang diamati telah mengikuti pola distribusi normal multivariat.
 2. Melakukan pengujian kecukupan data menggunakan uji *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) dan pengujian *Bartlett* antar variabel untuk mengetahui apakah data variabel kualitas semen saling berhubungan antar variabel.
 3. Melakukan analisis faktor pada variabel prediktor kualitas semen (komposisi kimia dan sifat fisika dari semen).
 4. Melakukan *Regression Adjusted* pada variabel kuat tekan semen dengan variabel hasil analisis faktor.
 - b. Melakukan *Regression Adjusted* pada variabel kuat tekan semen dengan seluruh variabel prediktor.

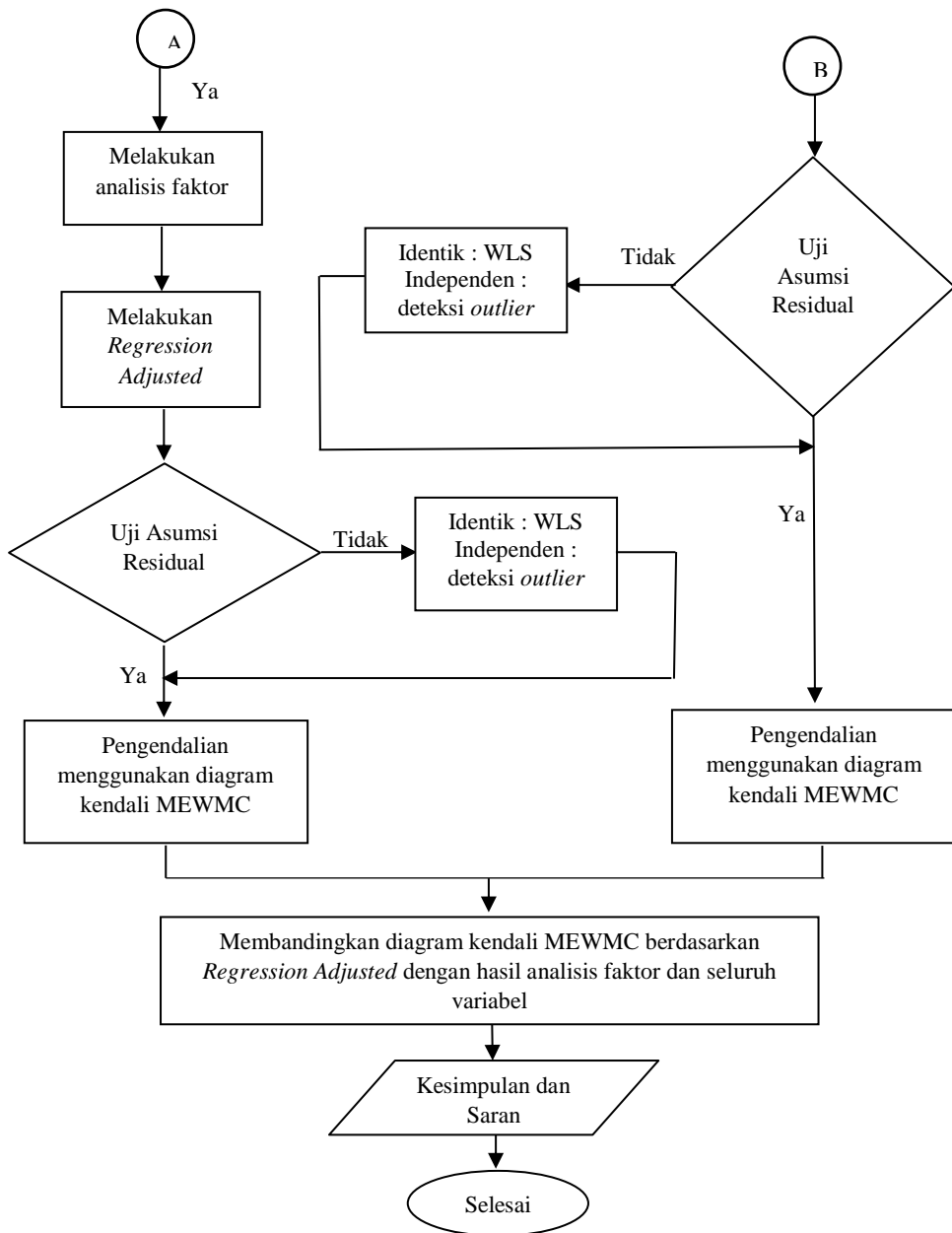
5. Melakukan pengendalian kualitas statistik secara multivariat.
 - a. Mengendalikan kualitas semen dengan *Regression Adjusted Control Charts* untuk variabel hasil analisis faktor dan seluruh variabel.
 - b. Melakukan pengujian asumsi residual untuk *Regression Adjusted Control Charts* untuk variabel hasil analisis faktor dan seluruh variabel.
 1. Pengujian asumsi residual identik.
 2. Pengujian asumsi residual independen, apabila tidak memenuhi asumsi maka dilakukan deteksi *outlier*.
 3. Pengujian asumsi residual berdistribusi normal multivariat, apabila tidak memenuhi asumsi maka dapat dilanjutkan karena diagram kendali MEWMC robust terhadap distribusi normal.
 - c. Residual yang diperoleh digunakan untuk pengendalian menggunakan diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC).
6. Membandingkan hasil pengendalian kuat tekan semen dengan diagram kendali MEWMC berdasarkan *Regression Adjusted* menggunakan variabel hasil analisis faktor seluruh variabel.
7. Menarik kesimpulan dan saran.

3.5 Diagram Alir

Diagram alir menggambarkan alur perjalanan pembuatan laporan ini, mulai dari proses perumusan masalah dan *studi literature*, pengumpulan data hingga penarikan kesimpulan dan saran. Diagram alir dari langkah analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir (Lanjutan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Kualitas Semen PT Semen “X”

Karakteristik dari kualitas semen yang disajikan berupa ukuran pemusatan dan penyebaran data yaitu mean, median, nilai minimum dan maksimum serta varians.

4.1.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Penyusun Semen

Sebelum melakukan tahap pengendalian kualitas proses produksi semen, terlebih dahulu dilakukan analisa secara deskriptif masing-masing variabel penyusun semen dan sifat semen. Analisis secara deskriptif berguna sebagai informasi awal dari data. Berikut merupakan hasil statistika deskriptif dari variabel penyusun dan sifat semen yang digunakan.

Tabel 4. 1 Deskripsi Karakteristik Kualitas

Variabel	Mean	Varians	Minimum	Maksimum
F-Lime	1,098	0,059	0,550	2,060
C ₃ S	49,039	6,560	41,900	60,390
C ₂ S	16,111	5,647	5,010	22,500
C ₃ A	7,746	0,513	5,730	9,460
C ₄ AF	9,497	0,096	8,610	10,270
MgO	0,889	0,013	0,690	1,360
Blaine	350,170	82,400	322,120	386,420
SO ₃	1,790	0,032	1,320	2,040
45 μ	8,794	3,498	4,000	13,350
LOI	4,115	0,232	2,580	4,910
SiO ₂	21,446	0,181	20,390	22,350
Al ₂ O ₃	5,688	0,043	5,110	6,170
Fe ₂ O ₃	3,025	0,024	2,560	3,290
CaO	61,081	0,199	60,000	62,640

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa rata-rata, varians, minimum dan maksimum dari masing-masing variabel penyusun semen dan sifat fisika semen. *Blaine* merupakan variabel dengan nilai varians terbesar yaitu sebesar 82,40 dimana menunjukkan persebaran nilai hasil pengukuran terhadap rata-rata.

Sedangkan, MgO merupakan variabel dengan nilai varians terkecil yaitu sebesar 0,01288.

4.1.2 Deskripsi Data Kuat Tekan Semen

Setelah mengetahui analisa secara deskriptif masing-masing variabel penyusun dan sifat semen, maka dilakukan analisa secara deskriptif terhadap variabel kuat tekan semen yang merupakan ukuran dari kualitas semen secara umum. Berikut merupakan hasil statistika deskriptif dari variabel kuat tekan semen yang digunakan.

Tabel 4. 2 Deskripsi Karakteristik Kuat Tekan Semen (kg/cm^2)

Variabel	Mean	Varians	Minimum	Maksimum
Kuat Tekan Semen 3 Hari	203,120	174,220	163,000	240,000
Kuat Tekan Semen 7 Hari	269,380	297,710	230,000	319,000
Kuat Tekan Semen 28 Hari	360,990	531,970	302,000	424,000

Rata-rata dari kuat tekan semen 3 hari, 7 hari dan 28 hari masing-masing adalah sebesar $203,12 \text{ kg/cm}^2$; $269,38 \text{ kg/cm}^2$ dan $360,99 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan median dari masing-masing kuat tekan semen adalah 254 kg/cm^2 ; $323,5 \text{ kg/cm}^2$ dan 415 kg/cm^2 . Data kuat tekan semen 3 hari, 7 hari dan 28 hari memiliki nilai varians masing-masing sebesar 174,22; 297,71 dan 531,97 yang menunjukkan persebaran nilai hasil pengukuran terhadap rata-rata.

4.2 Analisis Faktor terhadap Variabel Kualitas Semen

Pada penelitian ini, variabel kualitas semen yang digunakan berjumlah empat belas variabel yang terdiri dari variabel komposisi kimia dan sifat fisika semen. Karena banyaknya variabel yang mempengaruhi kuat tekan semen baik secara kimia maupun fisika, digunakan analisis faktor untuk mendapatkan variabel yang berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen. Terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi untuk melakukan analisis faktor, yaitu uji normal multivariat, uji kecukupan data, dan uji *Bartlett*.

4.2.1 Uji Normal Multivariat

Pengujian normal multivariat digunakan untuk mengetahui apakah data penelitian berdistribusi normal multivariat atau tidak. Pada uji normal multivariat, pengujian dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang digunakan. Berikut merupakan hipotesis dari uji normal multivariat.

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Nilai korelasi antara d_j^2 dan q_j adalah 0,996 yang terdapat pada Lampiran 5 merupakan statistik uji dari pengujian normal multivariat. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan *critical point* dari *normal probability plot correlation coefficient (PPCC) distribution*. Untuk nilai *critical point* dengan menggunakan *alpha* 5% didapatkan *critical point* sebesar 0,9955 yang terdapat pada Lampiran 6. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh lebih besar dari *critical point*, sehingga keputusan yang diambil adalah gagal tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa data mengikuti distribusi normal multivariat.

4.2.2 Uji Kecukupan Data

Asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis faktor selain asumsi normal multivariat adalah asumsi kecukupan data. Pengujian untuk identifikasi kecukupan data kualitas semen dilakukan dengan uji *Kaiser-Mayer-Olkin (KMO)*. Data dikatakan memenuhi asumsi kecukupan data dan layak untuk difaktorkan jika memiliki nilai KMO lebih besar dari 0,5. Adapun hasil identifikasi kecukupan data menggunakan uji KMO didapatkan nilai KMO sebesar 0,490 yang terdapat pada Lampiran 7. Nilai KMO yang didapatkan kurang dari 0,5, sehingga dilakukan pemilihan variabel yang dimasukkan untuk mengatasi asumsi kecukupan data yang tidak terpenuhi yaitu dengan menghilangkan variabel FCaO dari

analisis. Variabel FCaO dihilangkan dari analisis karena nilai *Measures of Sampling Adequacy* (MSA) yang dimiliki variabel tersebut merupakan nilai yang paling kecil. Nilai MSA digunakan untuk mengetahui kecukupan data dan digunakan dalam menentukan sebuah variabel dapat dianalisis lebih lanjut atau tidak. Dimana jika nilai MSA > 0,5 maka variabel tersebut masih bisa diprediksi dan dapat dianalisis lebih lanjut.

Setelah variabel FCaO dihilangkan dari analisis, dilakukan pengujian kecukupan data pada data kualitas semen yang baru. Didapatkan nilai KMO sebesar 0,527. Nilai KMO tersebut lebih besar dari 0,5. Sehingga dapat dinyatakan bahwa data kualitas semen telah memenuhi asumsi kecukupan data.

4.2.3 Uji *Bartlett*

Pengujian *Bartlett* dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat korelasi antara variabel yang digunakan pada kasus multivariat. Pada pengujian ini didapatkan nilai χ^2_{hitung} sebesar 2974,516 yang terdapat pada Lampiran 6. Untuk nilai $\chi^2_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}$ dengan menggunakan *alpha* 5% dan derajat bebas sebesar 78 didapatkan sebesar 99,61693. Nilai χ^2_{hitung} yang diperoleh lebih dari $\chi^2_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}$. Selain itu, nilai signifikansi yang dihasilkan sebesar 0 lebih kecil dari α (0,05), sehingga keputusan yang dapat diambil adalah tolak H_0 . Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa matriks korelasi pada variabel bukan merupakan matriks identitas atau terdapat korelasi antar variabel yang digunakan.

4.2.4 Penentuan Variabel yang Berpengaruh Dominan terhadap Kuat Tekan Semen

Analisis faktor adalah analisis multivariat yang digunakan untuk menganalisis satu set variabel asal yang diduga memiliki interdependensi atau keterkaitan satu sama lain sehingga dari keterkaitan tersebut dapat dikelompokkan kedalam satu set faktor yang berdimensi lebih kecil. Namun, pada penelitian kali ini analisis faktor digunakan untuk seleksi variabel komposisi kimia dan sifat fisika semen yang berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen dengan memilih variabel yang merupakan faktor pertama dari analisis faktor. Hal ini dikarenakan variabel-variabel yang terdapat pada faktor pertama memberikan kontribusi variabilitas yang paling tinggi.

Sebelum variabel penelitian dikelompokkan menjadi faktor, perlu dilakukan uji kecukupan data untuk setiap variabel, dimana variabel yang memiliki nilai $MSA < 0,5$ akan dihilangkan dari analisis. Variabel C_2S , C_3A , MgO , *Blaine*, SO_3 , LOI , SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 merupakan variabel yang terpilih dari empat belas variabel yang digunakan. Pada penelitian ini terdapat tiga faktor yang terbentuk dimana banyaknya faktor dipilih sesuai dengan banyaknya *eigenvalue* yang lebih dari satu. Selanjutnya dilihat dari nilai *rotated component matrix* untuk mengetahui pengelompokan masing-masing variabel kedalam *common* faktor yang terbentuk. Rotasi faktor yang dipilih adalah dengan menggunakan prosedur varimax karena prosedur ini menghendaki varians yang maksimum dalam matriks faktor yang terbentuk, sehingga variabel dalam satu faktor memiliki korelasi yang cukup kuat. Hasil dari *rotated component matrix* yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3 *Rotated Component Matrix*

	<i>Component</i>		
	1	2	3
C ₂ S	-0,178	0,541	0,608
C ₃ A	-0,857	0,188	0,074
MgO	0,105	-0,346	0,788
<i>Blaine</i>	0,593	-0,182	0,232
SO ₃	0,081	-0,866	0,079
LOI	0,775	-0,085	-0,223
SiO ₂	-0,236	0,863	-0,127
Al ₂ O ₃	-0,822	0,267	0,087
Fe ₂ O ₃	0,809	0,051	0,243

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat ditentukan kelompok-kelompok variabel kedalam tiga kelompok faktor. Pengelompokan ini berdasarkan nilai mutlak dari *component* terbesar masing-masing variabel, terletak pada faktor pertama, faktor kedua atau faktor ketiga. Hasil pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa variabel yang terpilih merupakan variabel yang terdapat pada faktor 1 yaitu C₃A, *Blaine*, LOI, Al₂O₃, Fe₂O₃.

4.3 Monitoring Kuat Tekan Semen dengan Pendekatan Regression Adjusted

Pengendalian kualitas dilakukan dengan pendekatan *regression adjusted* menggunakan regresi multivariat. Pada penelitian ini dibagi menjadi dua skenario. Skenario pertama yaitu variabel Kuat Tekan Semen 3 Hari (Y_1), Kuat Tekan Semen 7 Hari (Y_2), Kuat Tekan Semen 28 Hari (Y_3) dengan variabel hasil analisis faktor (C₃A, *Blaine*, LOI, Al₂O₃, Fe₂O₃). Skenario kedua yaitu variabel Kuat Tekan Semen 3 Hari (Y_1), Kuat Tekan Semen 7 Hari (Y_2), Kuat Tekan Semen 28 Hari (Y_3) dengan seluruh variabel kualitas semen (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF, FCaO, LOI, R₄₅, *Blaine*).

4.3.1 *Regression Adjusted* Kuat Tekan Semen dengan Variabel Hasil Analisis Faktor

Langkah awal dalam analisis regresi multivariat adalah mengestimasi parameter menggunakan rumus pada persamaan 2.13 yang bertujuan untuk mendapatkan model. Berikut ini merupakan estimasi parameter regresi multivariat yang diperoleh.

Tabel 4. 4 Parameter Regresi *Adjusted*

	Y_1	Y_2	Y_3
β_0	78,5	140,1	398,7
β_1	-0,14	1,16	0,93
β_2	0,359	0,432	0,307
β_3	0,66	-6,22	-13,18
β_4	-0,97	-1,23	-9,34
β_5	0,92	0,48	-14,9

Model yang terbentuk setelah dilakukan estimasi parameter adalah sebagai berikut.

$$Y_{1j} = 78,5 - 0,14X_{1j} + 0,359X_{2j} + 0,66X_{3j} - 0,97X_{4j} + 0,92X_{5j}$$

$$Y_{2j} = 140,1 - 1,16X_{1j} + 0,432X_{2j} - 6,22X_{3j} - 1,23X_{4j} + 0,48X_{5j}$$

$$Y_{3j} = 398,7 + 0,93X_{1j} + 0,307X_{2j} - 13,18X_{3j} - 0,97X_{4j} - 14,9X_{5j}$$

dengan $j = 1, 2, \dots, n$

Berdasarkan analisis regresi multivariat, telah didapatkan model regresi multivariat untuk kuat tekan semen yang diukur dari variabel C_3A (X_1), *Blaine* (X_2), LOI (X_3), Al_2O_3 (X_4), Fe_2O_3 (X_5). Setiap penambahan satu unit C_3A dan Al_2O_3 akan menurunkan kuat tekan semen selama 3 hari sebesar 0,14 dan 0,97 apabila nilai dari variabel *Blaine*, LOI dan Fe_2O_3 tetap namun berbeda dengan variabel *Blaine*, LOI dan Fe_2O_3 saat dilakukan penambahan satu unit pada variabel tersebut akan menaikkan kuat tekan semen selama 3 hari sebesar 0,359, 0,66 dan 0,92 dengan nilai C_3A dan Al_2O_3 tetap. Begitu juga pada kuat tekan semen selama 7 hari dan

28 hari, saat penambahan satu unit Al_2O_3 akan menurunkan kuat tekan semen namun tidak berlaku juga pada variabel C_3A dan LOI, dimana variabel C_3A yang cenderung meningkatkan kuat tekan semen selama 7 hari dan 28 hari dan variabel LOI yang cenderung menurunkan kuat tekan semen selama 7 hari dan 28 hari.

Setelah didapatkan model regresi dan residual pada Lampiran 10, maka selanjutnya dilakukan pengujian asumsi residual yang telah didapatkan. Pengujian yang dilakukan ada tiga yaitu uji residual identik, uji residual independen dan uji residual berdistribusi normal multivariat. Berikut ini merupakan pengujian residual yang dilakukan.

a. Uji Residual Identik

Uji asumsi residual identik digunakan untuk mengetahui apakah matriks varian kovarian dari residual hasil analisis regresi multivariat antara variabel kuat tekan semen 3 hari, 7 hari, dan 28 hari telah bersifat identik (homogen). Berikut ini merupakan hipotesis pada pengujian homogenitas dengan uji Box's M.

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_j = \Sigma$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_i \neq \Sigma_m \text{ untuk } i \neq m$$

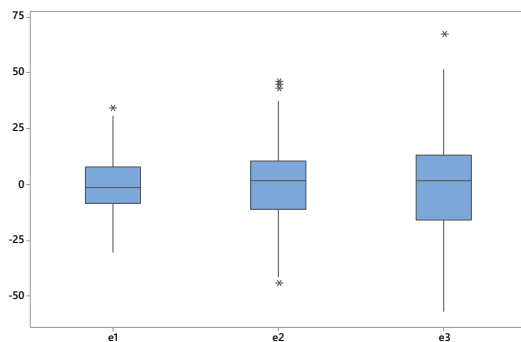
Berdasarkan pengujian dengan menggunakan tingkat signifikansi 5%, maka matriks varians kovarians dapat dinyatakan identik apabila nilai $p\text{-value} > 0,05$. Pada hasil pengujian didapatkan nilai signifikansi sebesar $0,371 > 0,05$ yang dapat dilihat pada Lampiran 10. Selain itu, pada pengujian ini didapatkan nilai χ_{hitung}^2 sebesar 6,558. Untuk nilai $\chi_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}^2$ dengan menggunakan α 5% dan derajat bebas sebesar 6 didapatkan sebesar 12,59159. Nilai χ_{hitung}^2 yang diperoleh kurang dari

$\chi^2_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}$, maka dapat disimpulkan apabila matriks varians

kovarians dari data residual hasil analisis regresi multivariat tersebut identik.

b. Uji Residual Independen

Uji asumsi residual independen digunakan untuk mengetahui apakah antara residual terdapat korelasi. Dengan menggunakan plot macf di Lampiran 10 diketahui bahwa pada ketiga residual terdapat lag yang keluar batas yaitu lag 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 pada residual 1 dan residual 3, lag 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan 10 pada residual 2. Artinya pada ketiga residual terjadi *autocorrelation* dengan dirinya sendiri. Pada kasus ketiga residual ini, asumsi residual independen tidak terpenuhi karena terdapat *autocorrelation* sehingga perlu dilakukan deteksi *outlier* untuk mengetahui apakah didalam data residual terdapat *outlier*. Berikut ini merupakan *boxplot* residual.



Gambar 4.1 *Boxplot* Residual

Gambar 4.1 merupakan *boxplot* untuk ketiga residual. Pada residual 1 dan 3 terdapat satu data residual yang terjadi *outlier*, pada residual 2 terdapat tiga data residual yang terjadi *outlier*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penyebab asumsi residual independen tidak terpenuhi adalah adanya data *outlier*. Oleh karena itu, langkah selanjutnya dilakukan pengendalian kualitas dengan

menggunakan diagram kendali MEWMC dimana diagram kendali ini dapat digunakan meskipun residual yang dihasilkan tidak memenuhi asumsi independen atau terjadi autokorelasi.

c. Uji Residual Berdistribusi Normal

Pengujian normal multivariat digunakan untuk mengetahui apakah data penelitian berdistribusi normal multivariat atau tidak. Pada uji normal multivariat, pengujian dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang digunakan. Berikut merupakan hipotesis dari uji normal multivariat.

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Nilai korelasi antara d_j^2 dan q_j adalah sebesar 0.9931 yang terdapat pada Lampiran 10. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan *critical point* dari *normal probability plot correlation coefficient (PPCC) distribution*. Untuk nilai *critical point* dengan menggunakan *alpha 5%* didapatkan *critical point* sebesar 0,9955 yang terdapat pada Lampiran 6. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh kurang dari *critical point*, sehingga dapat diputuskan Tolak H_0 dan disimpulkan bahwa residual tidak mengikuti distribusi normal multivariat. Pada penelitian ini digunakan diagram kendali MEWMC yang *robust* terhadap distribusi tidak normal multivariat, sehingga analisis dapat dilanjutkan.

4.3.2 Regression Adjusted Kuat Tekan Semen dengan Seluruh Variabel

Dengan menggunakan langkah-langkah yang sama seperti yang telah dilakukan pada 4.3.1 maka didapatkan estimasi parameter dari regresi multivariat antara kuat tekan semen 3 hari, 7 hari, dan 28 hari dengan seluruh variabel yaitu sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Parameter Regresi *Adjusted*

	Y₁	Y₂	Y₃
β₀	-491	-928	-1684
β₁	-6,75	-3,44	-8,19
β₂	0,06	-0,86	-4,59
β₃	-0,92	-2,36	-5,33
β₄	2,82	1,32	-1,57
β₅	12,03	12,99	10,86
β₆	3,70	5,2	-2,8
β₇	0,4076	0,549	0,5
β₈	-1,95	-7,47	27,7
β₉	-0,445	-1,951	-1,353
β₁₀	6,03	0,91	-12,32
β₁₁	4,43	9,62	25,46
β₁₂	5,33	15,95	19,1
β₁₃	-0,97	-3,7	-2,1
β₁₄	4,78	11,32	23,99

Setelah estimasi parameter dilakukan, didapatkan model regresi multivariat yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Y_{1j} = & -491 - 6,75X_{1j} + 0,06X_{2j} - 0,92X_{3j} + 2,82X_{4j} + 12,03X_{5j} \\
 & + 3,70X_{6j} + 0,4076X_{7j} - 1,95X_{8j} - 0,445X_{9j} + 6,03X_{10j} \\
 & + 4,43X_{11j} + 5,33X_{12j} - 0,97X_{13j} + 4,78X_{14j}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{2j} = & -928 - 3,44X_{1j} - 0,86X_{2j} - 2,36X_{3j} + 1,32X_{4j} + 12,99X_{5j} \\
 & + 5,2X_{6j} + 0,549X_{7j} - 7,47X_{8j} - 1,951X_{9j} + 0,91X_{10j} \\
 & + 9,62X_{11j} + 15,95X_{12j} - 3,7X_{13j} + 11,32X_{14j}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{3j} = & -1684 - 8,19X_{1j} - 4,59X_{2j} - 5,33X_{3j} - 1,57X_{4j} + 10,86X_{5j} \\
 & - 2,8X_{6j} + 0,5X_{7j} + 27,7X_{8j} - 1,353X_{9j} - 12,32X_{10j} \\
 & + 25,46X_{11j} + 19,1X_{12j} - 2,1X_{13j} + 23,99X_{14j}
 \end{aligned}$$

dengan $j = 1, 2, \dots, n$

Berdasarkan analisis regresi yang dilakukan, telah didapatkan model regresi multivariat untuk kuat tekan semen yang diukur dari variabel FCaO, C₃S, C₂S, C₃A, C₄AF, MgO, *Blaine*, SO₃, R45, LOI, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO. Setiap penambahan satu unit FCaO, C₂S, SO₃, R45 dan Fe₂O₃ akan menurunkan kuat tekan semen selama 3 hari apabila nilai dari variabel C₃S, C₃A, C₄AF, MgO, *Blaine*, LOI, SiO₂, Al₂O₃ dan CaO tetap. Namun berbeda dengan variabel C₃S, C₃A, C₄AF, MgO, *Blaine*, LOI, SiO₂, Al₂O₃ dan CaO saat dilakukan penambahan satu unit pada variabel tersebut akan menaikkan kuat tekan semen selama 3 hari sebesar masing-masing koefisien variabel tersebut dengan nilai FCaO, C₂S, SO₃, R45 dan Fe₂O₃ tetap. Begitu juga pada kuat tekan selama 7 hari dan 28 hari, saat penambahan satu unit FCaO, C₃S, C₂S, R45, dan Fe₂O₃ akan menurunkan kuat tekan semen jika variabel yang lainnya tetap.

a. Uji Residual Identik

Uji asumsi residual identik digunakan untuk mengetahui apakah matriks varian kovarian dari residual hasil analisis regresi multivariat antara variabel kuat tekan 3 hari, 7 hari, dan 28 hari telah bersifat identik (homogen). Berikut ini merupakan hipotesis pada pengujian homogenitas dengan uji Box's M.

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_j = \Sigma$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_i \neq \Sigma_m \text{ untuk } i \neq m$$

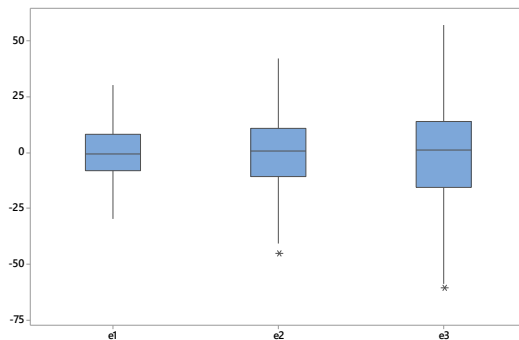
Berdasarkan pengujian dengan menggunakan tingkat signifikansi 5%, maka matriks varians kovarians dapat dinyatakan identik apabila nilai *p-value* > 0,05. Pada hasil pengujian didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,357 > 0,05 pada Lampiran 11. Selain itu, pada pengujian ini didapatkan nilai χ^2_{hitung} sebesar

6,697. Untuk nilai $\chi^2_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}$ dengan menggunakan *alpha* 5% dan derajat bebas sebesar 6 didapatkan sebesar 12,59159. Nilai χ^2_{hitung} yang diperoleh kurang dari $\chi^2_{\left(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)\right)}$, maka dapat disimpulkan

apabila matriks varians kovarians dari data residual hasil analisis regresi multivariat tersebut identik.

b. Uji Residual Independen

Uji asumsi residual independen digunakan untuk mengetahui apakah antara residual terdapat korelasi. Dengan menggunakan plot *macf* di Lampiran 11 diketahui bahwa pada ketiga residual terdapat lag yang keluar batas yaitu lag 1, 2, 3, 4, 6, dan 7 pada residual 1, lag 1, 2, 3, 4, 6, dan 10 pada residual 2, dan lag 1 pada residual 3. Artinya pada ketiga residual terjadi *autocorrelation* atau terjadi korelasi dengan dirinya sendiri. Pada kasus ketiga residual ini, asumsi residual independen tidak terpenuhi karena terdapat *autocorrelation* sehingga perlu dilakukan deteksi *outlier* untuk mengetahui apakah didalam data residual terdapat *outlier*. Berikut ini merupakan *boxplot* residual.



Gambar 4. 2 *Boxplot* Residual

Gambar 4.2 merupakan *boxplot* untuk ketiga residual . Pada residual 1 tidak terdapat data residual yang terjadi *outlier*, pada

residual 2 dan 3 terdapat satu data residual yang terjadi *outlier*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penyebab asumsi residual independen tidak terpenuhi adalah adanya data *outlier*. Oleh karena itu, langkah selanjutnya dilakukan pengendalian kualitas dengan menggunakan diagram kendali MEWMC.

c. Uji Residual Berdistribusi Normal

Pengujian normal multivariat digunakan untuk mengetahui apakah data penelitian berdistribusi normal multivariat atau tidak. Pada uji normal multivariat, pengujian dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang digunakan. Berikut merupakan hipotesis dari uji normal multivariat.

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Nilai korelasi antara d_j^2 dan q_j adalah sebesar 0.994 pada Lampiran 11. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan *critical point* dari *normal probability plot correlation coefficient (PPCC) distribution*. Untuk nilai *critical point* dengan menggunakan *alpha* 5% didapatkan *critical point* sebesar 0,9955 yang terdapat pada Lampiran 6. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh kurang dari *critical point*, sehingga keputusan yang diperoleh adalah Tolak H_0 dan dapat disimpulkan bahwa residual tidak mengikuti distribusi normal multivariat. Analisis dapat dilanjutkan karena diagram kendali yang digunakan untuk pengendalian kuat tekan semen merupakan diagram kendali yang *robust* terhadap distribusi tidak normal multivariat.

4.4 Pengendalian Kualitas Semen dengan Diagram Kendali MEWMC

Setelah dilakukan pengujian asumsi residual, tahapan selanjutnya adalah pengendalian kuat tekan semen berdasarkan residual yang telah didapatkan dengan menggunakan diagram kendali. Jenis diagram kendali yang digunakan dalam penelitian ini

adalah diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix* (MEWMC) dimana diagram kendali ini dapat digunakan ketika data yang digunakan tidak mengikuti distribusi normal multivariat dan terdapat autokorelasi.

4.4.1 Pengendalian Kualitas Semen berdasarkan Variabel Hasil Analisis Faktor

Pengendalian kualitas semen berdasarkan variabel hasil analisis faktor pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua fase. Fase satu dilakukan untuk mendapatkan nilai pembobot yang optimum. Sedangkan fase dua dilakukan untuk *monitoring* kualitas semen pada saat terjadi permintaan produksi ALM rendah untuk kemudahan pembakaran yang kemudian ALM dinaikkan kembali untuk menghemat pemakaian *iron sand* (Fe).

a. Pengendalian Fase Satu

Untuk mengendalikan variabilitas proses fase satu dilakukan dengan menggunakan diagram kendali MEWMC pada data residual yang terdapat pada Lampiran 10. Dalam penelitian ini data produksi ke-1 hingga ke-255 merupakan data yang menjadi fase satu. Pengendalian variabilitas proses pada fase satu dilakukan untuk mendapatkan nilai pembobot yang optimum. Selanjutnya, pembobot yang telah optimum digunakan untuk memonitoring proses pada fase dua.

Dalam penelitian ini digunakan nilai pembobot λ yaitu 0,1, 0,2 dan 0,3 yang dipilih karena lebih direkomendasikan daripada menggunakan nilai pembobot besar yang dapat memberikan hasil yang bias (Hawkins & Maboudou-Tchao, 2008). C_j merupakan statistik uji dari diagram kendali MEWMC. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat diagram kendali MEWMC.

1. Menghitung matriks **A** dari residual yang terdapat pada Lampiran 10 dimana residual didapatkan dari analisis regresi kuat tekan semen dengan variabel hasil analisis faktor yang dilakukan sebelumnya. Matriks **A** dihitung dengan

menggunakan persamaan 2.16, dan didapatkan matriks \mathbf{A} sebagai berikut

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0,0853 & 0 & 0 \\ -0,0844 & 0,0922 & 0 \\ -0,0131 & -0,0491 & 0,0643 \end{bmatrix}.$$

2. Mentransformasi data menggunakan rumus pada persamaan 2.17. Perhitungan \mathbf{U}_j untuk data produksi ke-1 dan ke-2 yaitu sebagai berikut

Untuk $j=1$, maka

$$\mathbf{U}_1 = \mathbf{A}(\boldsymbol{\varepsilon}_1 - \boldsymbol{\mu}_0)$$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} 0,0853 & 0 & 0 \\ -0,0844 & 0,0922 & 0 \\ -0,0131 & -0,0491 & 0,0643 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} -7,6741 \\ -6,8335 \\ 7,0888 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1,2050 \\ 1,6198 \\ -0,2142 \end{bmatrix} \right) \\ &= \begin{bmatrix} -0,7574 \\ -0,0298 \\ 1,0008 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Untuk $j=2$, maka

$$\mathbf{U}_2 = \mathbf{A}(\boldsymbol{\varepsilon}_2 - \boldsymbol{\mu}_0)$$

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} 0,0853 & 0 & 0 \\ -0,0844 & 0,0922 & 0 \\ -0,0131 & -0,0491 & 0,0643 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} -13,5378 \\ -15,8478 \\ 2,2807 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1,2050 \\ 1,6198 \\ -0,2142 \end{bmatrix} \right) \\ &= \begin{bmatrix} 1,0520 \\ 0,2711 \\ -0,6998 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Untuk \mathbf{U}_j dimana $j=3,4,\dots,255$ dihitung dengan cara yang sama seperti \mathbf{U}_1 dan \mathbf{U}_2 .

3. Menghitung nilai S_j menggunakan rumus pada persamaan 2.18. Perhitungan S_j untuk data produksi ke-1 dan ke-2 dengan menggunakan $\lambda = 0,1$ yaitu sebagai berikut

Untuk $j=1$, maka

$$\begin{aligned} S_1 &= (1-\lambda)S_0 + \lambda U_1 U_1' \\ &= (1-0,1) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + 0,1 \begin{bmatrix} -0,7574 \\ -0,0298 \\ 1,0008 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,7574 & -0,0298 & 1,0008 \end{bmatrix} \\ S_1 &= \begin{bmatrix} 0,9574 & 0,0023 & -0,0758 \\ 0,0023 & 0,9001 & -0,0030 \\ -0,0758 & -0,0030 & 1,0002 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Untuk $j=2$, maka

$$\begin{aligned} S_2 &= (1-\lambda)S_1 + \lambda U_2 U_2' \\ &= (1-0,1) \begin{bmatrix} 0,9574 & 0,0023 & -0,0758 \\ 0,0023 & 0,9001 & -0,0030 \\ -0,0758 & -0,0030 & 1,0002 \end{bmatrix} + 0,1 \begin{bmatrix} 1,0520 \\ 0,2711 \\ -0,6998 \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} 1,0520 & 0,2711 & -0,6998 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0,9723 & 0,0306 & -0,1418 \\ 0,0306 & 0,8174 & -0,0217 \\ -0,1418 & -0,0217 & 0,9491 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

dan seterusnya hingga didapatkan S_{255} .

4. Menghitung statistik uji dari diagram kendali MEWMC yaitu c_j . Perhitungan c_j untuk data produksi ke-1 dan ke-2 dengan menggunakan $\lambda = 0,1$ yaitu sebagai berikut

Untuk $j=1$, maka

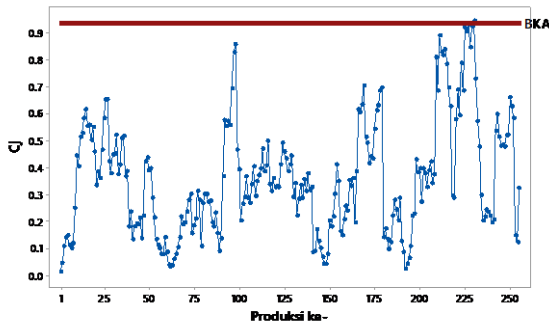
$$\begin{aligned} c_1 &= tr(S_1) - \log|S_1| - p \\ &= (0,9574 + 0,9001 + 1,0002) - \log \begin{vmatrix} 0,9574 & 0,0023 & -0,0758 \\ 0,0023 & 0,9001 & -0,0030 \\ -0,0758 & -0,0030 & 1,0002 \end{vmatrix} - 3 \\ &= 2,8577 - \log(0,8567) - 3 \\ &= 0,0123 \end{aligned}$$

Untuk $j=2$, maka

$$\begin{aligned}
 c_2 &= \text{tr}(\mathbf{S}_2) - \log|\mathbf{S}_2| - p \\
 &= (0,9723 + 0,8174 + 0,9491) - \log \begin{vmatrix} 0,9723 & 0,0306 & -0,1418 \\ 0,0306 & 0,8174 & -0,0217 \\ -0,1418 & -0,0217 & 0,9491 \end{vmatrix} - 3 \\
 &= 2,7389 - \log(0,73675) - 3 \\
 &= 0,0444
 \end{aligned}$$

dengan cara yang sama untuk $j=3,4,\dots,255$ hingga semua nilai c_j didapatkan.

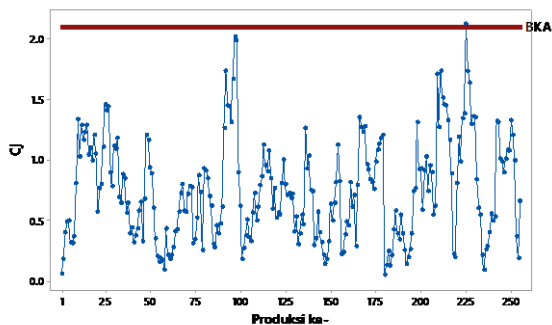
5. Batas kendali h didapatkan dengan menggunakan program yang telah disediakan untuk diagram kendali MEWMC dengan menggunakan masing-masing lambda, ARL sebesar 370, p yang merupakan jumlah dimensi yaitu 3, dan jumlah simulasi yaitu 1000.
6. Setelah didapatkan C_j dan batas kendali, maka diperoleh diagram kendali MEWMC.



Gambar 4. 3 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,1$

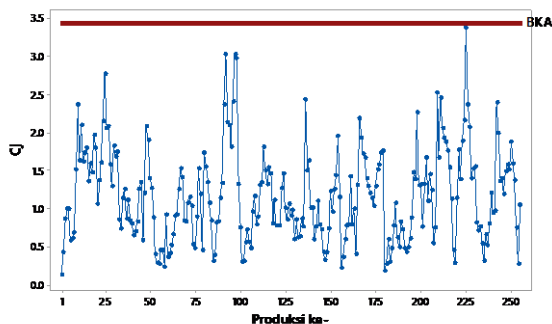
Gambar 4. 3 menunjukkan plot dari C_j untuk masing-masing data produksi dengan nilai batas kendali yang sama. Nilai batas kendali dipengaruhi oleh nilai pembobot $\lambda = 0,1$ sehingga didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 0,934 dengan batas kendali bawah sebesar 0. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, terdapat satu data produksi yang keluar dari batas kendali. Oleh

karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses belum terkendali secara statistik.



Gambar 4. 4 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,2$

Untuk nilai pembobot $\lambda = 0,2$ didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 2,0881 dengan batas kendali bawah sebesar 0. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, terdapat satu data produksi yang keluar dari batas kendali atas. Dari hasil diagram kendali MEWMC, dapat diketahui bahwa pengendalian variabilitas menggunakan nilai pembobot $\lambda = 0,2$ dan nilai pembobot $\lambda = 0,1$ memiliki kesamaan jumlah data produksi yang keluar batas kendali. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses belum terkendali secara statistik.



Gambar 4. 5 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,3$

Hasil pengendalian variabilitas dengan menggunakan nilai pembobot $\lambda = 0,3$ didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 3,4173 dengan batas kendali bawah sebesar 0. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, tidak terdapat data produksi yang keluar dari batas kendali atas. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik.

Langkah pertama yang digunakan untuk mendapatkan nilai pembobot optimum setelah membuat plot adalah dengan melihat diagram kendali dari masing-masing λ . Diagram kendali yang memiliki data *out of control* dipilih karena lebih sensitif jika dibandingkan dengan diagram kendali yang tidak memiliki data *out of control*. Pada $\lambda = 0,1$ dan $\lambda = 0,2$ memiliki data yang *out of control* sama yaitu 1. Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai pembobot yang paling optimum dalam mendeteksi adanya data produksi yang *out of control* yang menunjukkan error paling kecil, dihitung selisih yang paling minimum dari $|\text{Max}(C_j)-h|$. Semakin kecil selisihnya, maka kemungkinan suatu titik jatuh berada di luar batas kendali padahal tidak ada *assignable causes* akan lebih kecil, begitu pula sebaliknya. Selain itu, pemilihan pembobot juga didasarkan pada nilai batas kendali yang semakin sempit. Hal ini dikarenakan semakin sempit batas kendali, kemungkinan suatu proses yang seharusnya tidak terkendali namun diidentifikasi sebagai proses yang terkendali akan semakin kecil. Berikut adalah hasil perhitungan untuk menentukan pembobot yang paling optimum.

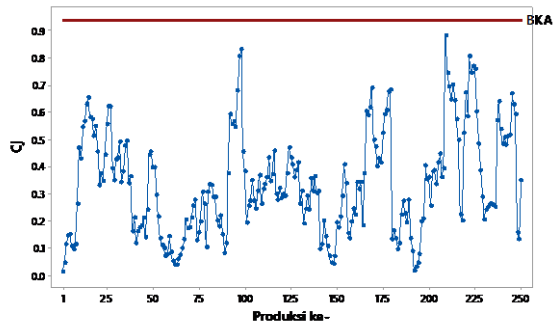
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Nilai $|\text{Max}(C_j)-h|$ untuk MEWMC

λ	Max(C_j)	h	|Max(C_j)-h|
0,1	0,9428	0,9340	0,0088
0,2	2,1170	2,0881	0,0289
0,3	3,3668	3,4173	0,0505

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat pada pengendalian variabilitas proses menggunakan pembobot $\lambda = 0,1$ yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3 memiliki nilai $|\text{Max}(C_j)-h|$ yang paling kecil sehingga dipilih sebagai pembobot yang paling optimum untuk diagram kendali MEWMC. Pembobot paling

optimum yang telah dihasilkan pada fase satu kemudian digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses pada fase dua yang terdapat pada data produksi ke-256 sampai dengan data produksi ke-320.

Untuk nilai pembobot $\lambda = 0,1$ dapat dilihat pada Gambar 4.5 bahwa masih terdapat 1 data produksi yang berada di luar batas kendali yaitu produksi ke-230. Titik yang keluar dari batas kendali harus dicari penyebabnya terlebih dahulu. Setelah diperiksa secara teknis pada produksi ke-230 terjadi peristiwa dimana ALM (*Alumina Modulus*) tidak positif terhadap kuat tekan semen. Selanjutnya, titik *out of control* tersebut dapat dibuang sampai dengan semua produksi *in control*, sehingga didapatkan seperti Gambar 4.6 dimana sudah tidak terdapat titik yang berada di luar batas kendali.

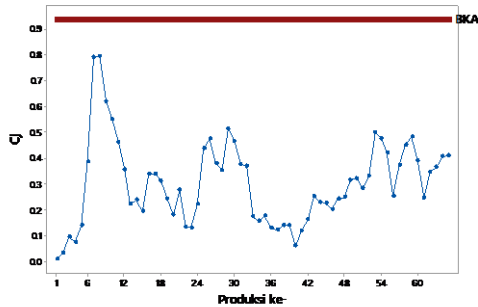


Gambar 4. 6 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu Perbaikan dengan $\lambda = 0,1$

b. Pengendalian Fase Dua

Setelah pengendalian pada fase satu selesai, dilakukan pengendalian variabilitas proses pada fase dua yang bertujuan untuk memonitoring proses produksi pada data produksi ke-256 sampai dengan data produksi ke-320. Dimana, pada data produksi tersebut terjadi permintaan produksi ALM rendah untuk kemudahan pembakaran yang kemudian ALM dinaikkan kembali untuk menghemat pemakaian *iron sand* (Fe). Nilai pembobot yang digunakan pada fase dua merupakan nilai pembobot optimum pada fase satu dan didapatkan nilai pembobot optimum $\lambda = 0,1$ yang

digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses pada fase dua yaitu sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Diagram Kendali MEWMC Fase Dua

Nilai pembobot $\lambda = 0,1$ dengan batas kendali 0,9340 yang ditunjukkan seperti Gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa pengendalian variabilitas proses untuk fase dua terkendali secara statistik, karena pada plot C_j tidak ada titik yang berada di luar batas kendali.

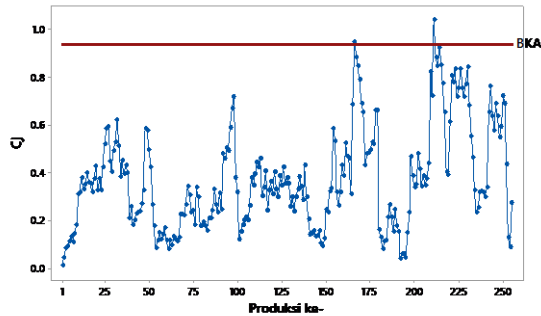
4.4.2 Pengendalian Kualitas Semen untuk Seluruh Variabel

Seperti halnya pengendalian kualitas semen berdasarkan variabel hasil analisis faktor, pada pengendalian kualitas semen untuk seluruh variabel dilakukan dengan menggunakan dua fase. Fase satu dilakukan untuk mendapatkan nilai pembobot yang optimum. Sedangkan fase dua dilakukan untuk *monitoring* kualitas semen pada saat terjadi permintaan produksi ALM rendah untuk kemudahan pembakaran yang kemudian ALM dinaikkan kembali untuk menghemat pemakaian *iron sand* (Fe).

a. Pengendalian Fase Satu

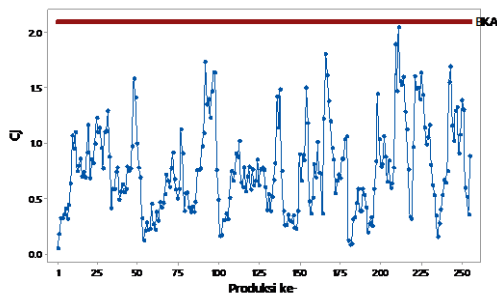
Pada pengendalian dari *Regression Adjusted* dengan seluruh variabel digunakan data produksi ke-1 hingga ke-255 sebagai data yang menjadi fase satu. Nilai pembobot λ yang digunakan yaitu 0,1; 0,2 dan 0,3 yang dipilih karena lebih direkomendasikan daripada menggunakan nilai pembobot besar yang dapat memberikan hasil yang bias (Hawkins & Maboudou-Tchao, 2008).

Dengan menggunakan langkah-langkah yang sama pada pengendalian dari *Regression Adjusted* dengan variabel hasil analisis faktor didapatkan hasil plot C_j dari diagram kendali MEWMC untuk pengendalian dari *Regression Adjusted* dengan seluruh variabel yaitu sebagai berikut.



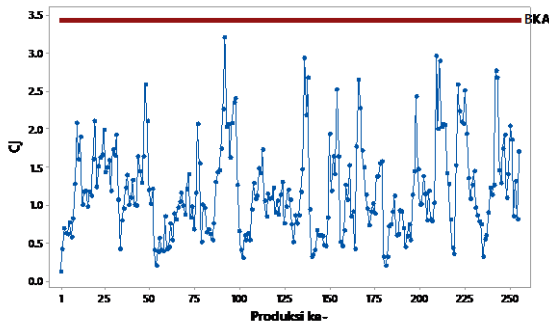
Gambar 4. 8 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,1$

Gambar 4. 8 menunjukkan plot dari C_j untuk masing-masing data produksi dengan nilai batas kendali yang sama. Nilai batas kendali dipengaruhi oleh nilai pembobot $\lambda = 0,1$ sehingga didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 0,934 dengan batas kendali bawah sebesar 0. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, terdapat dua data produksi yang keluar dari batas kendali atas. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses belum terkendali secara statistik.



Gambar 4. 9 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,2$

Untuk nilai pembobot $\lambda = 0,2$ didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 2,0881 dengan batas kendali bawah sebesar 0. Dari hasil diagram kendali MEWMC pada Gambar 4. 9, dapat diketahui bahwa pengendalian variabilitas dengan menggunakan nilai pembobot $\lambda = 0,2$ tidak terdapat data produksi yang keluar batas kendali. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik.

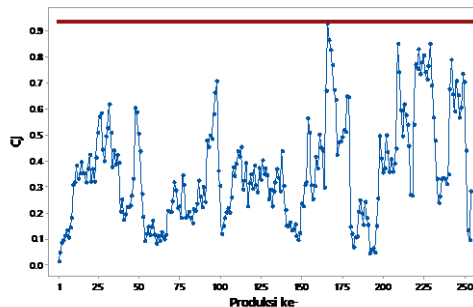


Gambar 4. 10 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu dengan $\lambda = 0,3$

Hasil pengendalian variabilitas dengan menggunakan nilai pembobot $\lambda = 0,3$ didapatkan nilai batas kendali atas sebesar 3,4173 dengan batas kendali bawah sebesar 0. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, dilihat dari Gambar 4.10 tidak terdapat data produksi yang keluar dari batas kendali atas. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik.

Pemilihan nilai pembobot optimum dilakukan dengan cara yang sama seperti pada analisis 4.4.1. Pada ketiga λ yang digunakan menunjukkan bahwa hanya pada $\lambda = 0,1$ yang memiliki data *out of control* sehingga dipilih untuk digunakan pada fase dua. Selain itu, $\lambda = 0,1$ yang terpilih menunjukkan apabila nilai pembobot tersebut memiliki sensitifitas yang tinggi untuk mendeteksi data *out of control*. Hal ini seiring dengan aturan sensitifitas untuk diagram kendali yang dikemukakan oleh Shewhart yaitu jika terdapat satu atau lebih titik berada di luar batas kendali. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa terdapat dua data

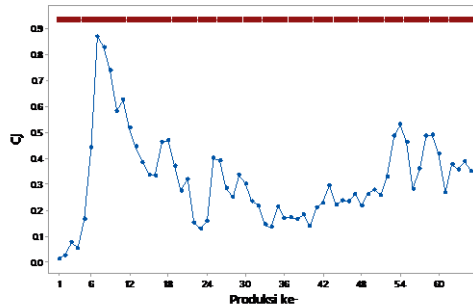
produksi yang *out of control* yaitu pada data ke-166 dan ke-211. Kemudian data yang memiliki titik *out of control* terjauh akan diperiksa secara teknis dan diketahui bahwa pada produksi ke-211 terjadi peristiwa dimana ALM (*Alumina Modulus*) tidak positif terhadap kuat tekan semen. Selanjutnya, titik *out of control* tersebut dapat dibuang sampai dengan semua produksi *in control*, sehingga didapatkan seperti Gambar 4.11 dimana sudah tidak terdapat titik yang berada di luar batas kendali.



Gambar 4. 11 Diagram Kendali MEWMC Fase Satu Perbaikan dengan $\lambda = 0,1$

b. Pengendalian Fase Dua

Setelah pengendalian pada fase satu selesai, dilakukan pengendalian variabilitas proses pada fase dua yang bertujuan untuk memonitoring proses produksi pada data produksi ke-256 sampai dengan data produksi ke-320. Pada data produksi tersebut terjadi permintaan produksi ALM rendah untuk kemudahan pembakaran yang kemudian ALM dinaikkan kembali untuk menghemat pemakaian *iron sand* (Fe). Nilai pembobot yang digunakan pada fase dua merupakan nilai pembobot pada fase satu yang optimum yaitu $\lambda = 0,1$ dimana kemudian digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses pada fase dua yaitu sebagai berikut.



Gambar 4.12 Diagram Kendali MEWMC Fase Dua

Diagram kendali dengan nilai pembobot $\lambda = 0,1$ dan batas kendali 0,934 pada Gambar 4.12 menunjukkan tidak terdapat data produksi yang *out of control* sehingga dapat disimpulkan bahwa pengendalian variabilitas proses untuk fase dua terkendali secara statistik dimana tidak terjadi pergeseran proses pada saat permintaan produksi ALM rendah untuk kemudahan pembakaran yang kemudian ALM dinaikkan kembali untuk menghemat pemakaian *iron sand* (Fe). ALM (*Alumina Modulus*) merupakan faktor yang digunakan untuk mengendalikan kualitas beberapa senyawa kareba pada proses pembuatan semen terjadi pencampuran senyawa. Sedangkan *iron sand* (Fe) merupakan senyawa pembentuk semen.

4.4.3 Perbandingan Hasil Diagram Kendali MEWMC

Pada pengolahan sebelumnya telah dilakukan pengendalian kuat tekan semen menggunakan diagram kendali MEWMC dengan dua skenario yaitu pada *Regression Adjusted* dengan variabel hasil analisis faktor dan pada *Regression Adjusted* dengan variabel secara keseluruhan. Kemudian hasil yang telah didapatkan dibandingkan yaitu sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Perbandingan Diagram Kendali MEWMC

	MEWMC pada variabel hasil analisis faktor	MEWMC pada seluruh variabel
λ optimum	0,1	0,1
Fase dua	Tidak terjadi pergeseran proses	Tidak terjadi pergeseran proses
Selisih terkecil antara data Max(Cj)-h	0.14023	0.063655

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa pengendalian pada kedua skenario yang digunakan yaitu *Regression Adjusted* dengan seluruh variabel kualitas semen yaitu dan *Regression Adjusted* dengan variabel hasil analisis faktor tidak terjadi pergeseran proses. Artinya pengendalian variabilitas proses pada fase satu dan fase dua tidak memiliki perbedaan. Untuk selisih terkecil antara data maksimum dengan batas kendali terdapat pada MEWMC untuk seluruh variabel yang menunjukkan bahwa kemungkinan data akan keluar dari batas kendali lebih besar daripada pada MEWMC untuk variabel hasil analisis faktor.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis dan pembahasan yang diuraikan pada Bab IV yaitu sebagai berikut.

1. Variabel yang berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen menggunakan analisis faktor yaitu Al_2O_3 , Fe_2O_3 , C_3A , *Blaine* dan *LOI*.
2. Pengendalian kuat tekan semen menggunakan diagram kendali MEWMC *based on Regression Adjusted Variables* dilakukan dengan dua skenario yaitu pada variabel hasil analisis faktor dan seluruh variabel. Pada skenario satu, didapatkan bahwa fase satu menggunakan λ sebesar 0,1 dan 0,2 menghasilkan proses yang belum terkendali secara statistik. Sedangkan dengan menggunakan λ sebesar 0,3 menghasilkan proses terkendali secara statistik. Pada skenario dua, diketahui bahwa fase satu menggunakan λ sebesar 0,1 menghasilkan proses belum terkendali secara statistik. Sedangkan dengan menggunakan λ sebesar 0,2 dan 0,3 proses di fase satu terkendali secara statistik.
3. Hasil pengendalian variabilitas menggunakan diagram kendali MEWMC didapatkan bahwa kedua skenario memiliki persamaan, dimana nilai pembobot optimum untuk kedua skenario yaitu $\lambda = 0,1$ yang menghasilkan bahwa tidak terjadi pergeseran proses.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang diberikan. Saran yang diberikan kepada Departemen *Quality Assurance* PT Semen “X” adalah perlu mempertimbangkan dan melakukan perbaikan proses pengendalian kualitas karena dalam proses produksi masih terdapat data *out of control* pada fase satu. Selain itu, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap komposisi kimia dan sifat fisika semen yang digunakan karena secara teknis

dan statistik hasil variabel yang berpengaruh dominan terhadap kuat tekan semen memiliki perbedaan.

Sedangkan saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebaiknya menggunakan *regression asjusted* dengan variabel yang signifikan terhadap model dan mengatasi adanya multikolinieritas sehingga dapat menghasilkan model yang lebih baik. Selain itu, dapat menggunakan beberapa metode lain sehingga didapatkan metode yang paling baik untuk pengendalian kualitas dan dapat menjadi pertimbangan bagi perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashari, M. A. (2017). *Monitoring Variabilitas Proses dan Mean Proses Tahap Penggilingan Akhir Produk Semen Ordinary Portland Cement (OPC) di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.* Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS : Surabaya.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (4th Revised edition ed.). London, United Kingdom: Sage Publications Ltd.
- Gemert, V., Czarnecki, L., Lukowski, P., & Krapen, E. (2004). *Cement Concrete and Concrete Polymer Composites*. Brussels: Catholic Universiti Leuven.
- Hawkins, D. M. (1991). Multivariate quality control based on regression-adjusted variables\ *Technometrics*, 33, 61-75.
- Hawkins, D. M. & Maboudou-Tchao, E. M., 2008. Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix. *Technometrics*, pp. 55-166.
- Johnson, R., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis Sixth Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kementrian Keuangan Republik Indonesia. (2018). *Ini Capaian Pembangunan Infrastruktur Indonesia*. Dipetik 10 6, 2019, dari <https://www.kemenkeu.go.id/publikasi/berita/ini-capaian-pembangunan-infrastruktur-indonesia/>
- Kementrian Keuangan Republik Indonesia. (2019). *APBN 2019*. Dipetik 10 6, 2019, dari <https://www.kemenkeu.go.id/apbn2019>
- Kwon, B. & Cho, G.-Y., 2017. *Multivariate control charts based on regression-adjusted variables for covariance matrix*. Journal of the Korean Data & Information Science Society, pp. 937-945.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (Seventh Edition ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

- Morrison, D. F. (2005). *Multivariate Statistical Methods* (Fourth Edition ed.). USA: McGraw-Hill, Inc.
- Putri, A. C. (2017). *Penerapan Diagram Kontrol Multivariat Regression Adjusted pada Proses Penggilingan Akhir Produk Semen PPC di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.* Laporan Tugas Akhir Jurusan Statistika ITS : Surabaya.
- Raykov, T., & Marcoulides, G. A. (2006). *A first course in structural equation modeling* (2nd ed ed.). US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Komposisi Kimia dan Sifat Fisika Semen

No	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
1	1,22	52,61	11,25	7,81	8,72	0,76	334,56	1,83	10,95	4,88	21,98	5,6	2,56	61,18
2	1,3	52,65	12,16	8,26	8,89	0,73	340,91	1,84	9,36	4,36	21,88	5,79	2,67	61,08
3	0,55	52,31	12,98	8,16	9	0,74	345,25	1,86	10,39	4,53	21,71	5,75	2,69	61,1
4	0,69	50,77	13,8	8,06	9,31	0,74	348,78	1,85	9,87	4,73	21,53	5,8	2,68	61,22
5	0,6	50,14	14,09	7,94	9,33	0,74	356,04	1,84	9,49	4,84	21,62	5,84	2,7	61,03
6	0,91	48,83	15,04	8	9,31	0,77	345,35	1,85	11,9	4,66	21,85	5,92	2,67	60,7
7	1,13	49,28	16,08	8,51	9,6	0,82	338,46	1,77	10,26	3,8	21,78	5,95	2,73	60,95
8	0,93	49,89	18,02	8,99	9,78	0,84	339,91	1,57	8,06	2,95	21,66	5,91	2,76	61,75
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
313	0,92	48,86	18,14	8,36	9,46	0,95	347,54	1,99	7,38	3,14	21,2	5,81	3,07	61,56
314	1,13	50,45	15,08	8,07	9,39	0,88	359,79	2	6,85	3,47	21,06	5,73	3,05	61,56
315	1,47	48,56	16,8	7,99	9,28	0,73	352,14	2,02	8,86	3,78	21,17	5,69	2,97	61,65
316	1,43	49,71	15,76	8,15	9,32	0,74	343,35	2,03	8,63	3,38	21,09	5,72	2,99	61,57
317	1,2	51,1	14,35	8,04	9,2	0,71	355,67	2,01	8,06	3,74	20,93	5,82	3,1	61,53
318	1,22	50,53	14,94	8,24	9,07	0,69	335,87	1,99	7,99	3,71	21,17	5,95	3,12	61,37
319	1,16	49,89	15,64	8,26	9,09	0,73	332,86	2	6,32	3,82	21,19	5,78	2,95	61,6
320	1,03	50,61	15,11	8,13	9,19	0,73	336,09	2,02	6,39	3,71	21,33	5,9	3,05	61,03

Lampiran 2 Data Kuat Tekan Semen

No	KT 3 Hari	KT 7 Hari	KT 28 Hari
1	190	251	361
2	213	280	362
3	220	293	375
4	210	271	348
5	212	287	377
6	205	255	375
7	213	285	396
8	213	285	396
⋮	⋮	⋮	⋮
313	190	255	339
314	193	275	401
315	191	247	360
316	185	230	360
317	201	281	409
318	201	272	395
319	194	260	381
320	202	271	373

Lampiran 3 *Output* Uji Dependensi Kuat Tekan Semen**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.630
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	422.507
	df	3
	Sig.	.000

Lampiran 4 Macro Minitab Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat

```

Macro
NormalMultivariate X.1-X.p qc dj22

MConstant i j n p Prop Tengah
MColumn x.1-x.p xj Kali d dj2 qc Prob dj22
MMatrix MCova MCoval xjxbar

#-- 1.1. Dapatkan Nilai dj2 --#
  let n=count(x.1)
  Covariance X.1-X.p MCova
print MCova
  invers MCova MCoval
  do i=1:n
    do j=1:p
      let xj(j)=x.j(i)-mean(x.j)
    enddo

    copy xj xjxbar
    mult MCoval xjxbar Kali
    let d=Kali*xj
    let dj2(i)=sum(d)
  enddo
  print dj2

#-- 1.2. Dapatkan Nilai qc --#
  do i=1:n
    let Prob(i)=1-(n-i+0.5)/n
  enddo
  INVCDF Prob qc;
  Chisquare p.

```

*Macro Minitab Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat
(Lanjutan)*

```
#-- 1.3 Buat Plot dj2 dengan qc --#
sort dj2 dj22
plot dj22*qc;
symbol.

#-- 2. Mencari Proporsi --#
INVCDF 0.5 Tengah;
Chisquare p.
let Prop=0
do i=1:n
  if dj2(i)<=Tengah
    let Prop=Prop+1
  endif
enddo
let Prop=Prop/n
print Prop

name qc 'qc'
name dj22 'dj2'
endmacro
```

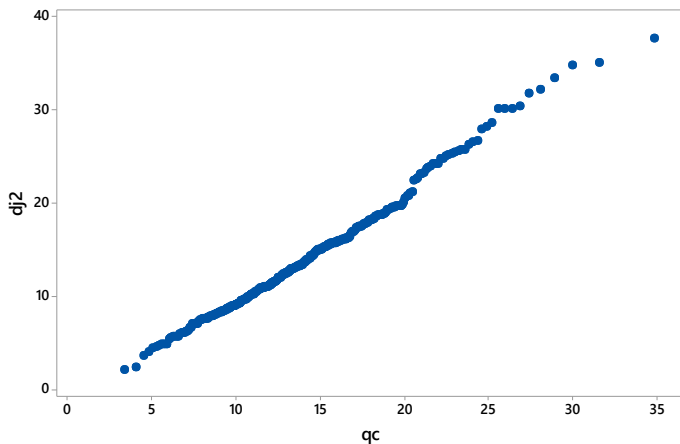
Lampiran 5 *Output Uji Normal Multivariat untuk Analisis Faktor*

MTB > %'E:/NormMultivar.txt' C1-C14 C18 C19

Executing from file: E:/NormMultivar.txt

Data Display

Prop 0.537500



MTB > Correlation 'qc' 'dj2'.

Correlation: qc, dj2

Pearson correlation 0.996

P-value 0.000

Lampiran 6 Tabel *Critical Point* dari *Normal Probability Plot Correlation Coefficient (PPCC) Distribution*

N	0,01	0,05
300	0,9933	0,9952
310	0,9936	0,9954
320	0,9937	0,9955
330	0,9939	0,9956
340	0,9941	0,9957
350	0,9942	0,9958

Lampiran 7 Output Uji Kecukupan Data dan Uji *Bartlett* untuk Analisis Faktor

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	.490	
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	3095.475
	Df	91
	Sig.	.000

Anti-image Matrices

	FCaO	C3S	C2S	C3A	C4AF	MgO	Blaine	SO3	R45	LOI	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	
Anti-image	.181 ^a	.417	.374	.237	.223	.210	-.036	.169	.159	.410	.193	-.087	-.108	-.093	
Correlation		.417	.333 ^a	.979	.421	.064	.278	-.110	.300	.293	.804	-.151	.000	.072	-.367
		.374	.979	.385 ^a	.350	-.011	.236	-.098	.293	.269	.776	-.185	.013	.063	-.345
		.237	.421	.350	.576 ^a	.493	.226	-.182	.288	.455	.539	.014	-.363	.203	-.213
		.223	.064	-.011	.493	.524 ^a	.156	-.002	.149	.190	.296	.196	-.099	-.222	.064
		.210	.278	.236	.226	.156	.360 ^a	-.147	.127	.095	.408	.325	.080	.031	.224
		-.036	-.110	-.098	-.182	-.002	-.147	.793 ^a	-.003	-.140	-.197	.145	.112	-.214	.086
		.169	.300	.293	.288	.149	.127	-.003	.488 ^a	.441	.274	.563	.051	.270	.157
		.159	.293	.269	.455	.190	.095	-.140	.441	.235 ^a	.204	.121	-.105	.315	-.034
		.410	.804	.776	.539	.296	.408	-.197	.274	.204	.386 ^a	.022	.186	.089	-.041
		.193	-.151	-.185	.014	.196	.325	.145	.563	.121	.022	.617 ^a	.097	.148	.603
		-.087	.000	.013	-.363	-.099	.080	.112	.051	-.105	.186	.097	.757 ^a	.364	.509
		-.108	.072	.063	.203	-.222	.031	-.214	.270	.315	.089	.148	.364	.721 ^a	.287
		-.093	-.367	-.345	-.213	.064	.224	.086	.157	-.034	-.041	.603	.509	.287	.412 ^a

a. Measures of Sampling Adequacy(MSA)

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.527
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	2974.516
	df	78
	Sig.	.000

Lampiran 8 Regresi Variabel Hasil Analisis Faktor**Variabel Y₁****Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	4161.7	832.33	5.08	0.000
C3A	1	1.1	1.07	0.01	0.936
Blaine	1	2499.3	2499.31	15.26	0.000
LOI	1	17.0	16.98	0.10	0.748
Al ₂ O ₃	1	5.3	5.27	0.03	0.858
Fe ₂ O ₃	1	3.4	3.37	0.02	0.886
Error	314	51416.0	163.75		
Total	319	55577.6			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12.7963	7.49%	6.01%	3.69%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	78.5	51.8	1.52	0.131	
C3A	-0.14	1.72	-0.08	0.936	2.97
Blaine	0.3590	0.0919	3.91	0.000	1.36
LOI	0.66	2.06	0.32	0.748	1.92
Al ₂ O ₃	-0.97	5.43	-0.18	0.858	2.44
Fe ₂ O ₃	0.92	6.41	0.14	0.886	1.88

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{KT 3} &= 78.5 - 0.14 \text{ C3A} + 0.3590 \text{ Blaine} + 0.66 \text{ LOI} \\ \text{H} &\quad - 0.97 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.92 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$

Variabel Y_2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	5071.8	1014.37	3.54	0.004
C3A	1	73.7	73.65	0.26	0.612
Blaine	1	3625.4	3625.38	12.66	0.000
LOI	1	1489.8	1489.79	5.20	0.023
Al ₂ O ₃	1	8.4	8.37	0.03	0.864
Fe ₂ O ₃	1	0.9	0.91	0.00	0.955
Error	314	89898.5	286.30		
Total	319	94970.3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
16.9204	5.34%	3.83%	1.45%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	140.1	68.5	2.05	0.042	
C3A	1.16	2.28	0.51	0.612	2.97
Blaine	0.432	0.122	3.56	0.000	1.36
LOI	-6.22	2.73	-2.28	0.023	1.92
Al ₂ O ₃	-1.23	7.17	-0.17	0.864	2.44
Fe ₂ O ₃	0.48	8.47	0.06	0.955	1.88

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{KT 7} &= 140.1 + 1.16 \text{ C3A} + 0.432 \text{ Blaine} - 6.22 \text{ LOI} \\ \text{H} &\quad - 1.23 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.48 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$

Variabel Y₃**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	12369	2473.90	4.94	0.000
C3A	1	47	47.12	0.09	0.759
Blaine	1	1823	1823.24	3.64	0.057
LOI	1	6694	6693.89	13.36	0.000
Al ₂ O ₃	1	485	485.10	0.97	0.326
Fe ₂ O ₃	1	880	880.44	1.76	0.186
Error	314	157330	501.05		
Total	319	169699			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
22.3841	7.29%	5.81%	3.47%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	398.7	90.6	4.40	0.000	
C3A	0.93	3.02	0.31	0.759	2.97
Blaine	0.307	0.161	1.91	0.057	1.36
LOI	-13.18	3.61	-3.66	0.000	1.92
Al ₂ O ₃	-9.34	9.49	-0.98	0.326	2.44
Fe ₂ O ₃	-14.9	11.2	-1.33	0.186	1.88

Regression Equation

$$\text{KT 28 H} = 398.7 + 0.93 \text{ C3A} + 0.307 \text{ Blaine} - 13.18 \text{ LOI} - 9.34 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 14.9 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

Lampiran 9 Regresi Seluruh Variabel**Variabel Y₁****Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	14	9478.0	677.00	4.48	0.000
F-Lime	1	576.3	576.29	3.81	0.052
C3S	1	0.2	0.16	0.00	0.974
C2S	1	41.7	41.69	0.28	0.600
C3A	1	213.3	213.33	1.41	0.236
C4AF	1	1981.1	1981.08	13.11	0.000
MgO	1	34.9	34.86	0.23	0.631
Blaine	1	2904.2	2904.16	19.21	0.000
SO ₃	1	13.2	13.24	0.09	0.767
45 μ	1	129.4	129.43	0.86	0.356
LOI	1	295.4	295.40	1.95	0.163
SiO ₂	1	246.5	246.47	1.63	0.203
Al ₂ O ₃	1	90.3	90.33	0.60	0.440
Fe ₂ O ₃	1	2.4	2.36	0.02	0.901
CaO	1	385.4	385.37	2.55	0.111
Error	305	46099.6	151.15		
Total	319	55577.6			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12.2942	17.05%	13.25%	8.48%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-491	281	-1.75	0.081	
F-Lime	-6.75	3.45	-1.95	0.052	1.49
C3S	0.06	1.69	0.03	0.974	39.36

C2S	-0.92	1.75	-0.53	0.600	36.69
C3A	2.82	2.38	1.19	0.236	6.11
C4AF	12.03	3.32	3.62	0.000	2.23
MgO	3.70	7.70	0.48	0.631	1.61
Blaine	0.4076	0.0930	4.38	0.000	1.50
SO3	-1.95	6.58	-0.30	0.767	2.88
45 μ	-0.445	0.481	-0.93	0.356	1.71
LOI	6.03	4.31	1.40	0.163	9.10
SiO2	4.43	3.47	1.28	0.203	4.61
Al2O3	5.33	6.90	0.77	0.440	4.27
Fe2O3	-0.97	7.74	-0.13	0.901	2.98
CaO	4.78	3.00	1.60	0.111	3.78

Regression Equation

$$\begin{aligned}
 \text{KT 3} &= -491 - 6.75 \text{ F-Lime} + 0.06 \text{ C3S} - 0.92 \text{ C2S} + 2.82 \text{ C3A} \\
 \text{H} &+ 12.03 \text{ C4AF} + 3.70 \text{ MgO} \\
 &+ 0.4076 \text{ Blaine} - 1.95 \text{ SO}_3 - 0.445 \text{ 45 } \mu + 6.03 \text{ LOI} \\
 &+ 4.43 \text{ SiO}_2 + 5.33 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\
 &- 0.97 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 4.78 \text{ CaO}
 \end{aligned}$$

Variabel Y₂

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	14	17113.6	1222.40	4.79	0.000
F-Lime	1	149.5	149.54	0.59	0.445
C3S	1	38.9	38.93	0.15	0.696
C2S	1	272.8	272.76	1.07	0.302
C3A	1	46.3	46.33	0.18	0.670
C4AF	1	2310.9	2310.87	9.05	0.003
MgO	1	70.2	70.19	0.27	0.600
Blaine	1	5262.8	5262.78	20.62	0.000
SO3	1	195.3	195.29	0.77	0.382

45 μ	1	2489.7	2489.71	9.75	0.002
LOI	1	6.8	6.76	0.03	0.871
SiO ₂	1	1162.7	1162.74	4.55	0.034
Al ₂ O ₃	1	808.2	808.19	3.17	0.076
Fe ₂ O ₃	1	34.1	34.15	0.13	0.715
CaO	1	2159.3	2159.34	8.46	0.004
Error	305	77856.7	255.27		
Total	319	94970.3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
15.9771	18.02%	14.26%	9.37%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-928	365	-2.54	0.012	
F-Lime	-3.44	4.49	-0.77	0.445	1.49
C3S	-0.86	2.19	-0.39	0.696	39.36
C2S	-2.36	2.28	-1.03	0.302	36.69
C3A	1.32	3.09	0.43	0.670	6.11
C4AF	12.99	4.32	3.01	0.003	2.23
MgO	5.2	10.0	0.52	0.600	1.61
Blaine	0.549	0.121	4.54	0.000	1.50
SO ₃	-7.47	8.55	-0.87	0.382	2.88
45 μ	-1.951	0.625	-3.12	0.002	1.71
LOI	0.91	5.61	0.16	0.871	9.10
SiO ₂	9.62	4.51	2.13	0.034	4.61
Al ₂ O ₃	15.95	8.96	1.78	0.076	4.27
Fe ₂ O ₃	-3.7	10.1	-0.37	0.715	2.98
CaO	11.32	3.89	2.91	0.004	3.78

Regression Equation

$$\begin{aligned}
 \text{KT 7} &= -928 - 3.44 \text{ F-Lime} - 0.86 \text{ C3S} - 2.36 \text{ C2S} + 1.32 \text{ C3A} \\
 \text{H} &+ 12.99 \text{ C4AF} + 5.2 \text{ MgO} \\
 &+ 0.549 \text{ Blaine} - 7.47 \text{ SO}_3 - 1.951 \text{ 45 } \mu + 0.91 \text{ LOI} \\
 &+ 9.62 \text{ SiO}_2 + 15.95 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\
 &- 3.7 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 11.32 \text{ CaO}
 \end{aligned}$$

Variabel Y₃

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	14	31211	2229.33	4.91	0.000
F-Lime	1	849	848.62	1.87	0.173
C3S	1	1122	1122.41	2.47	0.117
C2S	1	1392	1392.43	3.07	0.081
C3A	1	66	66.24	0.15	0.703
C4AF	1	1613	1612.83	3.55	0.060
MgO	1	20	19.89	0.04	0.834
Blaine	1	4366	4365.84	9.62	0.002
SO ₃	1	2682	2682.36	5.91	0.016
45 μ	1	1198	1197.53	2.64	0.105
LOI	1	1232	1232.29	2.71	0.101
SiO ₂	1	8137	8136.87	17.92	0.000
Al ₂ O ₃	1	1165	1165.06	2.57	0.110
Fe ₂ O ₃	1	11	10.81	0.02	0.878
CaO	1	9697	9697.49	21.36	0.000
Error	305	138488	454.06		
Total	319	169699			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
21.3087	18.39%	14.65%	9.25%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1684	487	-3.46	0.001	
F-Lime	-8.19	5.99	-1.37	0.173	1.49
C3S	-4.59	2.92	-1.57	0.117	39.36
C2S	-5.33	3.04	-1.75	0.081	36.69
C3A	-1.57	4.12	-0.38	0.703	6.11
C4AF	10.86	5.76	1.88	0.060	2.23
MgO	-2.8	13.3	-0.21	0.834	1.61
Blaine	0.500	0.161	3.10	0.002	1.50
SO3	27.7	11.4	2.43	0.016	2.88
45 μ	-1.353	0.833	-1.62	0.105	1.71
LOI	-12.32	7.48	-1.65	0.101	9.10
SiO2	25.46	6.01	4.23	0.000	4.61
Al2O3	19.1	12.0	1.60	0.110	4.27
Fe2O3	-2.1	13.4	-0.15	0.878	2.98
CaO	23.99	5.19	4.62	0.000	3.78

Regression Equation

$$\begin{aligned}
 \text{KT} &= -1684 - 8.19 \text{ F-Lime} - 4.59 \text{ C3S} - 5.33 \text{ C2S} - 1.57 \text{ C3A} \\
 \text{28 H} &+ 10.86 \text{ C4AF} - 2.8 \text{ MgO} \\
 &+ 0.500 \text{ Blaine} + 27.7 \text{ SO}_3 - 1.353 \text{ 45 } \mu - 12.32 \text{ LOI} \\
 &+ 25.46 \text{ SiO}_2 + 19.1 \text{ Al}_2\text{O}_3 \\
 &- 2.1 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 23.99 \text{ CaO}
 \end{aligned}$$

Lampiran 10 Residual Regresi Variabel Hasil Analisis Faktor

No	e ₁	e ₂	e ₃
1	-7.67418	-6.83349	7.08876
2	13.53783	15.84781	2.280725
3	18.79567	28.0852	16.20633
4	7.439579	5.984043	-8.82959
5	6.764051	19.70708	20.17548
⋮	⋮	⋮	⋮
316	-15.0651	-41.4116	-9.18066
317	-3.74596	6.696753	43.45524
318	3.518352	5.989963	36.45712
319	-2.48065	-4.17491	20.69862
320	4.439675	4.99428	12.98479

Uji Box's

Box's Test of Equality of Covariance Matrices^a

Box's M	6.558
F	1.082
df1	6
df2	732672.000
Sig.	.371

Tests the null hypothesis
that the observed
covariance matrices of the
dependent variables are
equal across groups.

a. Design: Intercept +
VAR00008

Uji MACF

Syntax MACF

```

data ta;
input e1 e2 e3;
datalines;
-7.6742      -6.8335      7.0888
13.5378      15.8478      2.2807
18.7957      28.0852      16.2063
7.4396       5.9840       -8.8296
  ⋮           ⋮           ⋮
3.5184       5.9900       36.4571
-2.4806      -4.1749      20.6986
4.4397       4.9943       12.9848
;
proc statespace data=ta;
var e1 e2 e3;
run;

```

Output MACF

Schematic Representation of Correlations											
Name/Lag	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
e1	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
e2	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	..++
e3	+++	+++	+++	+++	..+	..+	+++	..+
+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between											
Schematic Representation of Partial Autocorrelations											
Name/Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
e1	..+	
e2	..+	
e3	..+	
+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between											

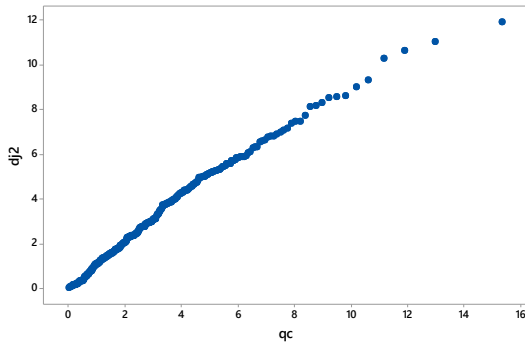
Uji Normal Multivariat

MTB > %'E:NormMultivar.txt' C9-C11 C12 C13

Executing from file: E:NormMultivar.txt

Data Display

Prop 0.490625



MTB > Correlation 'qc' 'dj2'.

Correlation: qc, dj2

Correlations

Pearson correlation 0.993

P-value 0.000

Lampiran 11 Residual Regresi Seluruh Variabel

No	e₁	e₂	e₃
1	-7.3742	-9.8782	3.4748
2	13.6730	12.3651	-1.5349
3	13.9031	24.8228	12.2271
4	-0.7072	-3.6469	-18.8598
5	-2.4089	7.9073	6.6809
⋮	⋮	⋮	⋮
316	-8.0680	-32.8150	-10.8079
317	-0.1429	9.5751	37.6400
318	8.8504	11.1856	31.2633
319	1.0744	-2.7576	14.6834
320	7.8131	8.2094	9.4087

Uji Box's**Box's Test of Equality of
Covariance Matrices^a**

Box's M	6.697
F	1.105
df1	6
df2	732672.000
Sig.	.357

Tests the null hypothesis
that the observed
covariance matrices of the
dependent variables are
equal across groups.

a. Design: Intercept +
VAR00008

Uji MACF

Syntax MACF

```

data ta;
input e1 e2 e3;
datalines;
-7.3742      -9.8782      3.4748
13.6730      12.3651      -1.5349
13.9031      24.8228      12.2271
:            :            :
8.8504      11.1856      31.2633
1.0744      -2.7576      14.6834
7.8131      8.2094      9.4087
;
proc statespace data=ta;
var e1 e2 e3;
run;

```

Output MACF

```

                                Schematic Representation of Correlations
Name/Lag      0      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
e1            +++     +++     +++     +++     +++     ...     +++     .++     ...     ...     ...
e2            +++     +++     +++     +++     +++     ...     +++     ...     ...     ...     .+
e3            +++     .++     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...

+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between

                                Schematic Representation of Partial Autocorrelations
Name/Lag      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
e1            .+     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...
e2            .+     ...     ...     ...     .-     ...     ...     ...     ...     ...
e3            .+     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...     ...

+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between

```

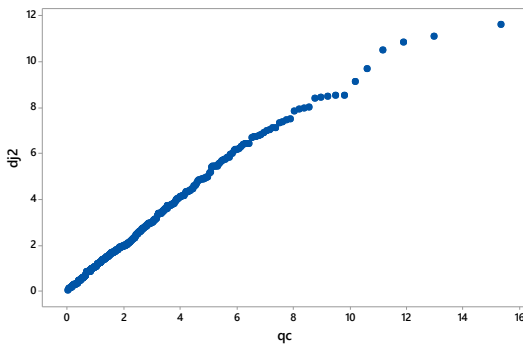
Uji Normal Multivariat

MTB > %'E:NormMultivar.txt' C18-C20 C21 C22

Executing from file: E:NormMultivar.txt

Data Display

Prop 0.506250



MTB > Correlation 'qc' 'dj2'.

Correlation: qc, dj2

Correlations

Pearson correlation 0.994

P-value 0.000

Lampiran 12 Syntax Matriks A

```
data = xlsread('E:TA/Anfak/Residual Fase
              1.xlsx');
S = cov(data)
C = chol(S, 'lower')
A = inv(C)
Atrans = transpose(A)
B = A*S*Atrans
```

Lampiran 13 *Output* Matriks A

1. Skenario Analisis Faktor

• Fase Satu

- Pengendalian pertama

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.0853 & 0 & 0 \\ -0.0844 & 0.0922 & 0 \\ -0.0131 & -0.0491 & 0.0643 \end{bmatrix}$$

- Pengendalian kedua

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.0855 & 0 & 0 \\ -0.0845 & 0.0921 & 0 \\ -0.0142 & -0.0489 & 0.0645 \end{bmatrix}$$

- Pengendalian ketiga

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.0861 & 0 & 0 \\ -0.0838 & 0.0921 & 0 \\ -0.0150 & -0.0496 & 0.0647 \end{bmatrix}$$

- Pengendalian keempat

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.0863 & 0 & 0 \\ -0.0850 & 0.0924 & 0 \\ -0.0156 & -0.0491 & 0.0646 \end{bmatrix}$$

- Pengendalian kelima

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.0868 & 0 & 0 \\ -0.0871 & 0.0931 & 0 \\ -0.0154 & -0.0491 & 0.0645 \end{bmatrix}$$

- Pengendalian keenam

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.0872 & 0 & 0 \\ -0.0865 & 0.0940 & 0 \\ -0.0156 & -0.0483 & 0.0645 \end{bmatrix}$$

- **Fase Dua**

$$A = \begin{bmatrix} 0.0659 & 0 & 0 \\ -0.1063 & 0.0914 & 0 \\ 0.0098 & -0.0495 & 0.0482 \end{bmatrix}$$

2. Skenario Seluruh Variabel

- **Fase Satu**

$$A = \begin{bmatrix} 0.0867 & 0 & 0 \\ -0.0893 & 0.0957 & 0 \\ -0.0110 & -0.0489 & 0.0652 \end{bmatrix}$$

- **Fase Dua**

$$A = \begin{bmatrix} 0.0753 & 0 & 0 \\ -0.0963 & 0.0952 & 0 \\ 0.0022 & -0.0473 & 0.0524 \end{bmatrix}$$

Lampiran 14 *Syntax* MEWMC

```
lambda=0.1
data=read.csv('E:/TA/Anfak/Residual Fase
1.csv',header = FALSE)
S <- list()
S[[1]] <-
matrix(c(1,0,0,0,1,0,0,0,1),nrow=3,ncol=3)
c <- list()
l <- list()
w <- list()
r <- list()
u <- list()
A <- matrix(c(0.0853, -0.0844, -0.0131, 0,
0.0922, -0.0491, 0, 0, 0.0643),ncol=3,nrow=3)
```

Syntax MEWMC (Lanjutan)

```
for (q in 1:255) {
  w[[q]] <- (t(data[q,])-t(data[256,]))
}
t = matrix(unlist(w), ncol=255, nrow=3)

for (e in 1:255) {
  r[[e]] <- A%*%t[,e]
}
x = matrix(unlist(r), ncol=255, nrow=3)

for (e in 1:255) {
  u[[e]] <- x[,e]%*%t(x[,e])
}

for (k in 2:256) {
  S[[k]] <- (1-lambda)*S[[k-1]]+lambda*u[[k-1]]
}

for (m in 2:256) {
  l[[m]] <- det(S[[m]])
}

for (m in 2:256) {
  c[[m]] <- sum(diag(S[[m]]))-log(l[[m]])-3
}
}
```

Lampiran 15 Statistik Uji C_j

1. Skenario Analisis Faktor

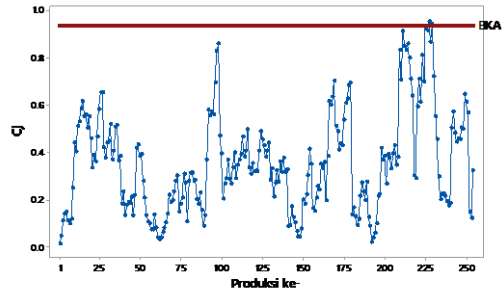
- Fase Satu $\lambda = 0,1$

- Pengendalian pertama

No	C_j
1	0.01232
2	0.04436
3	0.106122
4	0.138195
5	0.145616
⋮	⋮
251	0.625209
252	0.582699
253	0.147229
254	0.120929
255	0.322972

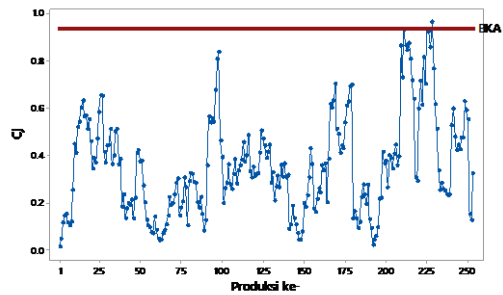
- Pengendalian kedua

No	C_j
1	0.012328
2	0.044809
3	0.107847
4	0.139882
5	0.146473
⋮	⋮
250	0.609739
251	0.565582
252	0.14878
253	0.121514
254	0.32205



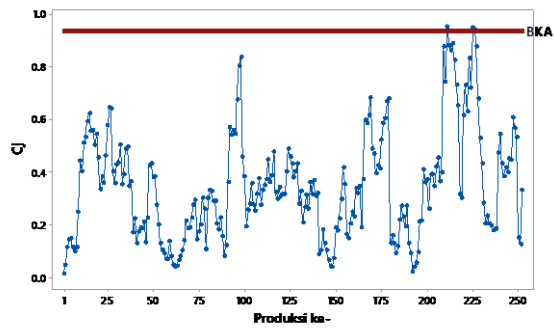
- Pengendalian ketiga

No	C_j
1	0.012388
2	0.045689
3	0.112863
4	0.1445
5	0.149939
⋮	⋮
249	0.588643
250	0.552235
251	0.149227
252	0.122244
253	0.32396



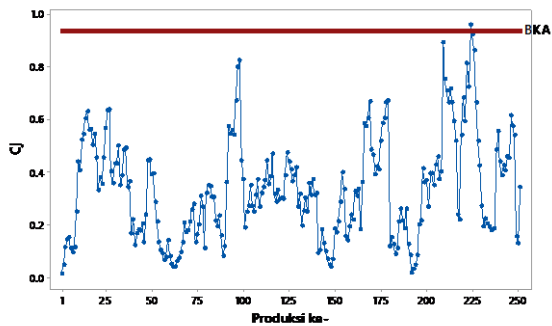
- Pengendalian keempat

No	C_j
1	0.012478
2	0.045666
3	0.111969
4	0.143805
5	0.148708
⋮	⋮
248	0.566342
249	0.533686
250	0.150581
251	0.123617
252	0.328717



- Pengendalian kelima

No	C_j
1	0.012423
2	0.045714
3	0.11218
4	0.144097
5	0.148547
⋮	⋮
247	0.573887
248	0.539949
249	0.154743
250	0.128697
251	0.340773



- Pengendalian keenam

No	C_j
1	0.012378
2	0.045464
3	0.113747
4	0.144711
5	0.149273
⋮	⋮
246	0.628448
247	0.591079
248	0.156157
249	0.132084
250	0.346615

- **Fase Satu $\lambda = 0,2$**

No	C_j
1	0.052458
2	0.180023
3	0.397634
4	0.489999
5	0.497233
⋮	⋮
251	1.199529
252	0.993544
253	0.363941
254	0.184184
255	0.655184

- **Fase Satu $\lambda = 0,3$**

No	C_j
1	0.126766
2	0.414541
3	0.85397
4	0.989369
5	0.989994
⋮	⋮
251	1.589157
252	1.358764
253	0.746569
254	0.267403
255	1.039245

- **Fase Dua**

No	C_j
1	0.010828
2	0.032608
3	0.094107
4	0.076333
5	0.139236
⋮	⋮
61	0.247922
62	0.347222
63	0.365252
64	0.407088
65	0.410109

2. Skenario Seluruh Variabel

- Fase Satu $\lambda = 0,1$

No	C _j
1	0.011344
2	0.043577
3	0.084708
4	0.092528
5	0.110247
⋮	⋮
251	0.688855
252	0.432181
253	0.126882
254	0.08731
255	0.27161

- Fase Satu $\lambda = 0,2$

No	C _j
1	0.048723
2	0.177774
3	0.318865
4	0.31823
5	0.348393
⋮	⋮
251	1.298316
252	0.59267
253	0.511197
254	0.354921
255	0.882546

- **Fase Satu $\lambda = 0,3$**

No	C_j
1	0.118709
2	0.411012
3	0.682365
4	0.618439
5	0.609903
⋮	⋮
251	1.847111
252	0.845265
253	1.30832
254	0.808161
255	1.694335

- **Fase Dua**

No	C_j
1	0.050405
2	0.1095
3	0.302088
4	0.185511
5	0.61915
⋮	⋮
61	0.584583
62	0.768453
63	0.539073
64	0.599207
65	0.471677

Lampiran 16 Program Batas Kendali MEWMC (h)

```
E:\Tugas Akhir\MEWMC\MEWMC_h.exe
Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims :
```

Lampiran 17 Output Batas Kendali MEWMC

1. Lambda = 0,1

```
Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims : 3,
0.1, 370, 1000

Starting run....
p, lambda, h 3 0.100 0.0087 ARL 1.00 0.00
p, lambda, h 3 0.100 0.0185 ARL 1.49 0.02
p, lambda, h 3 0.100 0.0282 ARL 1.69 0.02
                ⋮
p, lambda, h 3 0.100 0.9224 ARL 340.15 10.36
p, lambda, h 3 0.100 0.9322 ARL 363.27 11.00
p, lambda, h 3 0.100 0.9341 ARL 370.70 11.48
control limit, s.e. 0.9340 0.0051, s.e. of ARL 11.5
```

2. $\Lambda = 0,2$

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims : 3,
0.2, 370, 1000

Starting run....
p, lambda, h 3 0.200 0.0211 ARL 1.00 0.00
p, lambda, h 3 0.200 0.0445 ARL 1.00 0.00
p, lambda, h 3 0.200 0.0679 ARL 1.47 0.02
      :
p, lambda, h 3 0.200 2.0578 ARL 338.86 10.12
p, lambda, h 3 0.200 2.0812 ARL 362.13 10.76
p, lambda, h 3 0.200 2.0882 ARL 370.07 11.04
control limit, s.e. 2.0881 0.0112, s.e. of ARL 11.0

```

3. $\Lambda = 0,3$

```

Program for control limit of a MEWMC control chart
Enter dimensions, lambda, target ARL and # of sims : 3,
0.3, 370, 1000

Starting run....
p, lambda, h 3 0.300 0.0311 ARL 1.00 0.00
p, lambda, h 3 0.300 0.0657 ARL 1.00 0.00
p, lambda, h 3 0.300 0.1003 ARL 1.00 0.00
      :
p, lambda, h 3 0.300 3.3520 ARL 331.72 10.69
p, lambda, h 3 0.300 3.3865 ARL 350.43 11.39
p, lambda, h 3 0.300 3.4177 ARL 370.44 11.76
control limit, s.e. 3.4173 0.0196, s.e. of ARL 11.8

```

Lampiran 18 Surat Keterangan

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Marita Qori'atunnadyah

NRP : 0621164000001

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PT Semen

Divisi/ bagian : *Department of Quality Assurance*

sejak tanggal 1 Juli 2019 sampai dengan 31 Juli 2019 untuk keperluan

Tugas Akhir/ Thesis Semester Gasal/~~Genap~~* 2019/2020.

2. ~~Tidak Keberatan~~/Keberatan* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Gresik, 03 Januari 2020
SM of Quality Assurance



BENNY ISMANTO

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lumajang, 6 Maret 1998 dengan nama lengkap Marita Qori'atunnadyah namun biasa dipanggil Marita. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara oleh pasangan suami istri Bakhtiar Zaenal Arifin dan Suriyah Purwaningsih. Pendidikan formal yang ditempuh oleh penulis antara lain SDN Ditotrunan 1 Lumajang (2004-2010), SMPN 1 Lumajang (2010-2013), dan SMAN 2 Lumajang (2013-2016). Setelah lulus, penulis diterima sebagai mahasiswa Departemen Statistika ITS melalui jalur SNMPTN pada pilihan pertama dengan NRP 1316100001 yang kemudian berganti menjadi 06211640000001. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan organisasi, kepanitiaan, dan pelatihan. Organisasi kampus yang pernah di ikuti oleh penulis adalah Himpunan Mahasiswa Statistika ITS (HIMASTA-ITS) sebagai staf Departemen Kominfo periode 2017-2018 dan Ketua Departemen Media Infomasi (Medfo) pada periode 2018-2019. Selain itu, penulis menjadi staf Media FORSIS-ITS 38/39 dan Ketua Departemen Media FORSIS-ITS 39/40. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan yang diadakan oleh HIMASTA-ITS seperti Pekan Raya Statistika (PRS) 2018 dan 2019 sebagai Sie Medfo serta kepanitiaan dalam kegiatan yang diadakan oleh HIMASTA-ITS lainnya. Perlombaan yang pernah diikuti diantaranya National Statistics Competition (NSC) 2019 yang diadakan oleh Statistika Universitas Brawijaya, Sebelas Maret Writing Competition (SSWC) 2019 yang diadakan oleh Statistika Universitas Sebelas Maret dan Airlangga Paper Competition (APC) 2019 yang diadakan oleh Statistika Universitas Airlangga. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberikan saran, dan kritik mengenai Tugas Akhir ini untuk perbaikan kedepannya dapat disampaikan melalui *e-mail* mrtdyh23@gmail.com.