



TUGAS AKHIR - SS141501

PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI PUPUK UREA DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

**MUHAMMAD ALIFIAN NURIMAN
NRP 062114 4000 0041**

**Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, M.T**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI
PUPUK UREA DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA
PALEMBANG**

**MUHAMMAD ALIFIAN NURIMAN
NRP 062114 4000 0041**

**Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, M.T**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT - SS141501

**QUALITY CONTROL OF UREA PRILL PRODUCTION
PROCESS IN PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG**

**MUHAMMAD ALIFIAN NURIMAN
SN 062114 4000 0041**

**Supervisor
Dr. Muhammad Mashuri, M.T**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI PUPUK UREA DI PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Muhammad Alifian Nuriman
NRP. 062114 4000 0041

Disetujui oleh Pembimbing:

Dr. Muhammad Mashuri, M.T

NIP : 19620408 198701 1 001

()



Mengetahui,
Kepala Departemen


Dr. Suhartono

NIP: 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2018

PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI PUPUK UREA DI PT PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

Nama : Muhammad Alifian Nuriman
NRP : 062114 4000 0041
Departemen : Statistika
Pembimbing : Dr. Muhammad Mashuri, M.T

Abstrak

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang merupakan salah satu perusahaan produsen pupuk urea di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan konsumen, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang sangat mengutamakan kualitas pupuk urea yang baik sesuai dengan standar yang ditetapkan perusahaan. Beberapa karakteristik kualitas yang sangat diperhatikan konsumen dan perusahaan adalah Nitrogen, Biuret, Moisture, dan Mesh -6+18. Oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian kualitas pupuk urea dengan memonitor proses produksi. Pada penelitian ini digunakan diagram kontrol kombinasi MEWMA yaitu dengan diagram kontrol M_2Z^2 untuk memonitor variabilitas proses dan diagram kontrol MZ untuk memonitor target proses. Hasil monitoring fase I pabrik 1B menunjukkan bahwa variabilitas proses dan target proses sudah terkendali secara statistik baik menggunakan batas kontrol dengan kriteria ATS maupun ARL, dan pada fase II menunjukkan variabilitas proses dan target proses belum terkendali statistik atau belum stabil baik menggunakan batas kontrol dengan kriteria ATS maupun ARL. Pada pabrik 3 fase I, variabilitas proses dan target proses sudah terkendali secara statistik, serta pada fase II variabilitas proses dan target proses belum terkendali secara statistik jika menggunakan batas kontrol dengan kriteria ARL. Sedangkan jika menggunakan kriteria ATS, proses belum stabil dari segi variabilitas dan sudah stabil dari segi target proses. Kapabilitas proses secara multivariat pada pabrik 1B dan pabrik 3 menunjukkan bahwa akurasi dan presisi proses belum kapabel karena nilai indeks proses MPP dan MPpk kurang dari 1.

Kata Kunci : Biuret, Kapabilitas, Kombinasi MEWMA, Mesh -6+18, Moisture, MZ, M_2Z_2 , Nitrogen

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

QUALITY CONTROL OF UREA PRILL PRODUCTION PROCESS IN PT. PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

Name : Muhammad Alifian Nuriman
Student Number : 062114 4000 0041
Department : Statistics
Supervisor : Dr. Muhammad Mashuri, M.T

Abstract

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang is one of the company that produce urea prill in Indonesia. In order to meet consumer needs, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang give priority for quality of urea prill that is appropriate with company's specifications. Some of characteristic qualities of urea prill are Nitrogen, Biuret, Moisture, and Mesh -6+18. So, it is necessary to control the quality of urea prill with monitor the production process. In this study used M_2Z^2 control chart to detect changes in process variability. While the process target if production process is monitored by using MZ control chart. Both of these control chart are types of combination MEWMA. At factory 1B, the result of both process variability and target in phase I have been statistically controlled using control limit with ATS and ARL criteria, while in phase II both process variability and target have not been statistically controlled using control limit with ATS and ARL criteria. At factory 3, both process variability and target in phase I have been statistically controlled, in phase II both process variability and target have not been statistically controlled using control limit with ARL criteria. While using ATS criteria, process variability is not stable or have not been statistically controlled and process target have been controlled statistically or stable. The process capability analysis multivariately using MPp and $MPpk$ shows the process has not been good capability both factory 1B and factory 3. MPp and $MPpk$ value less than 1 indicates that the precision and accuracy of the process has not been good.

Keywords : Biuret, Capability, Combination MEWMA, Mesh -6+18, Moisture, MZ, M_2Z_2 , Nitrogen

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang tak pernah henti diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul

“PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI PUPUK UREA DI PT PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG”

dengan baik dan tepat pada waktunya. Penyusunan Tugas Akhir ini tak luput dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibunda tercinta Lilian Pelitasari, S.Pd, M.Si, Ayahanda tersayang Drs. Endro Setyo Cahyono, M.Si, atas doa, nasehat, cinta, dan kasih sayang yang sangat besar yang telah diberikan untuk penulis sehingga dapat menjadi motivasi bagi penulis dalam menghadapi kesulitan serta dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Suhartono, M.Sc selaku Ketua Departemen Statistika dan Bapak Dr. Sutikno, M.Si selaku Koordinator Program Studi S1 yang telah menyediakan fasilitas guna kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T selaku dosen pembimbing yang telah sabar dan memberikan waktunya untuk membimbing dan memberikan masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Ibu Diaz Fitra Aksioma, S.Si, M.Si dan Ibu Ni Luh Putu Satyaning Pradnya Paramitha, S.Si, M.Sc selaku dosen penguji atas segala kritikan dan saran yang sangat membangun.
5. Seluruh dosen Statistika ITS yang telah memberikan segala ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
6. Pihak PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, khususnya untuk Bapak Riezky Nugraha Utama, S.T selaku pembimbing

lapangan yang sangat ramah dan mau membagi ilmu kepada penulis.

7. Pengurus Harian HIMASTA-ITS 2016/2017 BIMASAKTI selaku teman seperjuangan dalam meneruskan tongkat estafet kepengurusan HIMASTA-ITS yang memberikan semangat, motivasi, dan menghibur penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. PSDM HIMASTA-ITS 2016/2017 yang telah memberikan semangat, dan menghibur selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman seperjuangan Pak Mash *Squad*, Kesa, Zizi, Fatchi, Hepta, dan Dwita yang selalu tolong-menolong dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan PW 118, serta teman-teman Statistika ITS Σ 25 RESPECT 2014 yang memberikan hangatnya sebuah kebersamaan dan rasa kekeluargaan selama 4 tahun ini.
11. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materiil yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini, besar harapan bagi penulis untuk dapat menerima saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
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	
2.1 Analisis Multivariat	9
2.2 Pengujian Dependensi Antar Karakteristik Kualitas	9
2.3 Pengujian Distribusi Normal Multivariat.....	10
2.4 Diagram Kontrol <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)</i>	11
2.5 Diagram Kontrol Kombinasi <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)</i>	12
2.6 Penentuan Batas Kontrol Kombinasi MEWMA	16
2.7 Identifikasi Variabel Penyebab Terjadinya Sinyal <i>Out of Contro</i>	17
2.8 Diagram Sebab Akibat (<i>Ishikawa</i>)	18

2.9 Analisis Kapabilitas Proses.....	18
2.10 Pupuk Urea (<i>Urea Prill</i>).....	21
2.11 Proses Pembuatan Pupuk Urea.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	25
3.2 Variabel Penelitian	25
3.3 Struktur Data	27
3.4 Langkah Analisis	27
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Kualitas Pupuk Urea	31
4.2 Uji Dependensi Antar Variabel	34
4.3 Pengujian Distribusi Normal Multivariat	35
4.4 Penentuan Batas Kontrol (<i>Upper Control Limit</i>).....	36
4.5 Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses pada Produksi Pupuk Urea di Pabrik 1B Fase I	37
4.5.1 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase I Batas Kontrol 101,113 dan 18,225	39
4.5.2 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase I Batas Kontrol 65,234 dan 18,125	41
4.6 Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses pada Produksi Pupuk Urea di Pabrik 1B Fase II.....	46
4.6.1 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II Batas Kontrol 101,113 dan 18,225	46
4.6.2 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II Batas Kontrol 65,234 dan 18,125	48
4.7 Identifikasi Penyebab <i>Out Of Control</i> di Pabrik 1B Fase II	49

4.8 Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses pada Produksi Pupuk Urea di Pabrik 3 Fase I.....	51
4.8.1 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase I Batas Kontrol 101,113 dan 18,225.....	52
4.8.2 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II Batas Kontrol 75,175 dan 11,213.....	57
4.9 Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses pada Produksi Pupuk Urea di Pabrik 3 Fase II.....	60
4.9.1 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II Batas Kontrol 101,113 dan 18,225	61
4.9.2 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II Batas Kontrol 75,175 dan 11,213.....	62
4.10 Identifikasi Penyebab <i>Out Of Control</i> di Pabrik 3 Fase II.....	63
4.11 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk Urea di Pabrik 1B.....	64
4.12 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk Urea di Pabrik 3.....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA	15
Gambar 2.2 Diagram Sebab Akibat (<i>Ishikawa</i>)	18
Gambar 2.3 Proses Produksi Pupuk Urea	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225).....	39
Gambar 4.2 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I Pengontrolan 1 (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)	40
Gambar 4.3 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125).....	42
Gambar 4.4 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I Pengontrolan 1 (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)	43
Gambar 4.5 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I Pengontrolan 2 (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)	44
Gambar 4.6 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I Pengontrolan 3 (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)	45
Gambar 4.7 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase II (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)	47
Gambar 4.8 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase II (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)	48
Gambar 4.9 Diagram <i>Ishikawa</i> Variabilitas dan Target Proses Tidak Terkontrol Pabrik 1B Fase II	50
Gambar 4.10 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225).....	53
Gambar 4.11 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I Pengontrolan 1 (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225).....	54

Gambar 4.12	Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I Pengontrolan 2 (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225).....	55
Gambar 4.13	Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I Pengontrolan 3 (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225).....	56
Gambar 4.14	Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I (Batas Kontrol 75,175 dan 11,213).....	58
Gambar 4.15	Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I Pengontrolan 1 (Batas Kontrol 75,175 dan 11,213).....	59
Gambar 4.16	Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase II (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)...	61
Gambar 4.17	Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase II (Batas Kontrol 75,175 dan 11,213).....	62
Gambar 4.18	Diagram <i>Ishikawa</i> Variabilitas dan Target Proses Tidak Terkontrol Pabrik 3 Fase II.....	63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Batas Kontrol Diagram Kombinasi MEWMA	16
Tabel 3.1 Variabel Penelitian Kualitas Pupuk Urea	25
Tabel 3.2 Struktur Data Karakteristik Kualitas Pupuk Urea ..	27
Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Pupuk Urea di Pabrik 1B Fase I.....	32
Tabel 4.2 Deskripsi Karakteristik Kualitas Pupuk Urea di Pabrik 1B Fase II.....	32
Tabel 4.3 Deskripsi Karakteristik Kualitas Pupuk Urea di Pabrik 3 Fase I.....	33
Tabel 4.4 Deskripsi Karakteristik Kualitas Pupuk Urea di Pabrik 3 Fase II	34
Tabel 4.5 Uji Dependensi Variabel	35
Tabel 4.6 Pengujian Normal Multivariat Shapiro Wilk's	35
Tabel 4.7 Titik <i>out of control</i> Pada Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase II (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)	47
Tabel 4.8 Titik <i>out of control</i> Pada Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase II (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125).....	49
Tabel 4.9 Kapabilitas Proses Secara Univariat Pabrik 1B	65
Tabel 4.10 Kapabilitas Proses Multivariat Pabrik 1B.....	65
Tabel 4.11 Kapabilitas Proses Secara Univariat Pabrik 3.....	66
Tabel 4.12 Kapabilitas Proses Multivariat Pabrik 3	66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Data Karakteristik Pupuk Urea Pabrik 1B Fase I	73
Lampiran B Data Karakteristik Pupuk Urea Pabrik 1B Fase II	73
Lampiran C Data Karakteristik Pupuk Urea Pabrik 3 Fase I	74
Lampiran D Data Karakteristik Pupuk Urea Pabrik 3 Fase II	74
Lampiran E Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat	75
Lampiran F Pengujian Dependensi Antar Variabel	76
Lampiran G Program Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA.....	77
Lampiran H Program Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA (lanjutan)	78
Lampiran I Program Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA (lanjutan)	79
Lampiran J Kapabilitas Proses Univariat Pabrik 1B	80
Lampiran K Kapabilitas Proses Univariat Pabrik 3	82
Lampiran L Nilai Kontribusi Relatif masing-masing Variabel Pabrik 1B	84
Lampiran M Nilai Kontribusi Relatif masing-masing Variabel Pabrik 3	84
Lampiran N Surat Keterangan Penelitian di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang.....	85
Lampiran O Surat Keterangan Penelitian di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang (Lanjutan).....	86
Lampiran P Surat Keterangan Validasi Data dan Publikasi	87

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat berdasarkan data pada bulan Februari 2017, penduduk Indonesia paling banyak bekerja pada sektor pertanian yaitu sebesar 39,68 juta orang atau 31,86% dari jumlah penduduk bekerja yang berjumlah 124,54 juta orang. Jumlah ini meningkat sebesar 0,12% dari periode sebelumnya, Februari 2016. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia masih menjadi negara agraris karena setidaknya lebih dari 30% penduduknya bekerja pada sektor pertanian, walaupun di era yang sedang berkembang ini terjadi transformasi struktural yang berarti proses perubahan struktur perekonomian dari sektor pertanian ke sektor industri atau jasa sebagai motor utama penggerak pertumbuhan ekonomi. Usaha pertanian modern yang termasuk juga dalam usaha kehutanan sekarang semakin bergantung pada pemakaian pupuk. Hal ini sejalan dengan usaha peningkatan produksi pertanian menggunakan varietas unggul yang membutuhkan pupuk lebih banyak lagi. Sehingga sebagai negara agraris, ketersediaan pupuk berkualitas tentunya sangat dibutuhkan untuk membantu para petani untuk meningkatkan hasil produksi pertanian.

PT Pupuk Sriwidjaja Palembang (Persero) merupakan perusahaan sebagai pelopor produsen pupuk urea di Indonesia pada tanggal 24 Desember 1959 di Palembang Sumatera Selatan, dengan nama PT Pupuk Sriwidjaja (Persero). Namun sejak tanggal 18 April 2012, PT Pupuk Sriwidjaja (Persero) diganti menjadi PT Pupuk Indonesia Holding Company (PIHC) sebagai nama induk perusahaan pupuk yang baru. Hingga kini PT Pupuk Sriwidjaja Palembang menjadi salah satu anak perusahaan PT Pupuk Indonesia Holding Company (PIHC). PT Pupuk Sriwidjaja Palembang memegang tanggung jawab untuk mendistribusikan pupuk subsidi ke wilayah Sumatera Selatan hingga Lampung,

Kalimantan Barat, DIY, dan Jawa Tengah dimana daerah-daerah tersebut merupakan daerah mayoritas petani.

Beberapa produk yang dihasilkan oleh PT Pupuk Sriwidjaja Palembang terdiri dari produk utama dan produk inovasi. Salah satu produk utama yang dihasilkan oleh PT Pupuk Sriwidjaja Palembang adalah pupuk kimia yang mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi atau yang biasa disebut Pupuk Urea. Berdasarkan data dari departemen pengendalian dan perencanaan pemasaran PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, penjualan pupuk urea subsidi pada tahun 2016 meningkat sebesar 82.041 ton dari tahun 2015 dan selama tahun 2017, PT Pupuk Sriwidjaja telah menyalurkan sebanyak 1,3 juta ton pupuk urea yang tersebar di seluruh wilayah pemasaran perusahaan. Hal ini menunjukkan masih banyak yang menggunakan pupuk urea untuk membantu aktivitas pertanian atau perkebunan mereka. Oleh karena itu, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang senantiasa berupaya untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan menghasilkan produk pupuk urea berkualitas baik yang sesuai dengan standar kualitas perusahaan. Pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian kualitas pada proses produksi produk utama PT Pupuk Sriwidjaja Palembang yaitu pupuk urea.

PT Pupuk Sriwidjaja Palembang memiliki empat pabrik untuk memproduksi pupuk urea yaitu pabrik 1B, pabrik 2B, pabrik 3, dan pabrik 4. Pabrik 1B dan 2B merupakan pabrik baru di PT Pupuk Sriwidjaja, sedangkan pabrik 3 dan pabrik 4 merupakan pabrik yang paling lama berdiri di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. Proses produksi yang dilakukan di pabrik 1B menggunakan teknologi *Advance Cost Energy and Energy Saving* (ACES), pada pabrik 2B menggunakan teknologi *Total Recycle C-Improved* (TRCI) dengan seksi sintesis nya menggunakan ACES, sedangkan pada pabrik 3 dan pabrik 4 menggunakan teknologi *Total Recycle C-Improved* (TRCI). Perbedaan dari kedua jenis proses ini adalah dengan menggunakan teknologi *Advance Cost Energy and Energy Saving* (ACES) lebih hemat energi dibandingkan dengan menggunakan

teknologi *Total Recycle C-Improved* (TRCI). Sedangkan persamaan dari kedua jenis proses ini adalah jumlah tahapan yang dilakukan sama. Namun pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian kualitas proses produksi pupuk urea pada pabrik 1B dan pabrik 3, dimana akan dilihat perbandingan kualitas pupuk urea yang dihasilkan dari jenis teknologi proses yang berbeda.

Proses produksi pupuk urea di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang terdiri dari lima tahapan yaitu proses sintesis, proses dekomposisi/purifikasi, proses *recovery*, proses *prilling*, proses kristalisasi serta proses pengantongan pupuk (PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, 2013). Kualitas pupuk urea ditinjau dari sisi proses produksi adalah terpenuhinya parameter operasi maupun komposisi dari sifat fisik dari butiran urea yang sesuai dengan batasan yang telah ditetapkan perusahaan. Proses sintesa, kristalisasi, dan *prilling* merupakan proses yang sangat diperhatikan, karena realita di lapangan pada proses ini kondisi operasinya dapat menyebabkan proses belum stabil yang mempengaruhi kualitas pupuk urea. Beberapa parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas pupuk urea antara lain kandungan Nitrogen, *Moisture* (air), Biuret, Ammonia, *Iron*, *Crushing Strength*, *Oil Content*, dan *Size Distribution*.

Pada proses produksi di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, kualitas pupuk urea dapat dijaga dengan proses produksi yang stabil. Sehingga sangat diperlukan adanya pengendalian pada proses produksi agar produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi. Metode statistika yang sering digunakan untuk melakukan pengendalian kualitas adalah SPC (*Statistical Process Control*). SPC merupakan metode statistika yang memisahkan variasi hasil dari sebab-akibat dan variasi ilmiah untuk menghilangkan sebab khusus, membangun dan mempertahankan konsistensi dalam suatu proses serta menampilkan proses perbaikan (Gasperz, 2002). Salah satu metode SPC yang sering digunakan untuk pemecahan masalah terhadap pengendalian kualitas proses produksi adalah diagram kontrol. Diagram kontrol terbagi menjadi dua yaitu diagram kontrol univariat dan diagram

kontrol multivariat. Diagram kontrol univariat digunakan ketika terdapat satu karakteristik kualitas, sedangkan diagram kontrol multivariat digunakan ketika terdapat lebih dari satu karakteristik kualitas (Heizer & Render, 2006). Selama ini PT Pupuk Sriwidjaja Palembang telah melakukan pengendalian kualitas pada produksi pupuk urea. Akan tetapi, pengendalian kualitas tersebut tidak dilakukan dengan pengendalian kualitas secara statistik melainkan hanya sebatas analisa deskriptif dari mekanisme grafik monitoring individual atau hanya melihat batas spesifikasi secara manual. Padahal ketika terdapat produk yang memiliki lebih dari satu karakteristik kualitas yang saling berhubungan akan lebih baik jika menggunakan teknik multivariat yaitu menggunakan diagram kontrol multivariat (Montgomery, 2009). Pada keempat karakteristik kualitas pupuk urea, ketika kandungan *moisture* meningkat maka cenderung akan meningkatkan ukuran partikel (*mesh* -6+18) dan cenderung akan mengurangi kandungan nitrogen dan biuret sehingga antar variabel teridentifikasi saling berhubungan. Salah satu diagram kontrol multivariat yang dapat digunakan adalah diagram kontrol kombinasi *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA). Menurut Reynolds & Cho (2006) dalam penelitiannya dengan judul “*Multivariate Control Chart for Monitoring the Mean Vector and Covariance Matrix*”, diagram kontrol kombinasi MEWMA memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan diagram MEWMA standar dan diagram T^2 Hotelling berdasarkan *Average Time to Signal* (ATS). Selain itu, kelebihan diagram kontrol ini adalah sensitif untuk mendeteksi pergeseran proses yang kecil pada variabilitas proses dan target proses, sehingga lebih cepat mendeteksi data yang tidak terkontrol (*out of control*) pada pengamatan individual (Reynolds & Stoumbos, 2008). Berdasarkan data dari perusahaan menunjukkan bahwa adanya pergeseran proses yang relatif kecil pada proses produksi pupuk di pabrik 1B dan 3 PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. Secara univariat, kandungan nitrogen, biuret, *moisture* (air), dan ukuran partikel (*mesh*) -6+18 pupuk urea di pabrik 1B berturut-turut

mengalami pergeseran sebesar $0,3\sigma$, $0,62\sigma$, $1,28\sigma$, dan $0,19\sigma$. Sedangkan di pabrik 3 berturut-turut mengalami pergeseran sebesar $1,3\sigma$, $0,12\sigma$, $0,16\sigma$, dan $0,13\sigma$. Dan secara multivariat pada pabrik 1B terjadi pergeseran sebesar $1,5\sigma$, sedangkan pada pabrik 3 terjadi pergeseran sebesar $1,8\sigma$. Sehubungan dengan adanya pergeseran proses yang relatif kecil dan antar karakteristik saling berhubungan, maka diagram kontrol kombinasi *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) dapat digunakan dalam penelitian ini yang merupakan pengembangan dari diagram kontrol MEWMA. Diagram MZ dan diagram M_2Z^2 merupakan salah satu bentuk diagram kombinasi MEWMA. Diagram MZ digunakan untuk memonitor target proses dan diagram M_2Z^2 digunakan untuk memonitor variabilitas proses. Selanjutnya akan dilakukan analisis kapabilitas proses untuk mengukur kinerja proses produksi pupuk urea di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang.

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pengendalian kualitas pupuk urea di pabrik 3 PT Pupuk Sriwidjaja Palembang telah dilakukan oleh Reza Septian (2012) dengan menggunakan diagram kontrol X-MR terhadap kandungan nitrogen, biuret, dan *moisture* (air) pada pupuk urea. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses produksi pupuk urea belum terkontrol secara statistik. Selain itu dilakukan analisis kapabilitas proses yang menunjukkan proses produksi pupuk urea bisa dikatakan baik karena nilai C_p melebihi 1 serta nilai C_{pk} melebihi 1 yang menunjukkan bahwa proses menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang telah melakukan pengendalian kualitas pada proses produksi pupuk urea. Akan tetapi pengendalian kualitas tidak dilakukan dengan pengendalian kualitas secara statistik melainkan sebatas analisis deskriptif dari mekanisme grafik monitoring individual atau hanya melihat batas

spesifikasi secara manual. Sedangkan karakteristik kualitas pupuk urea yang sangat diperhatikan oleh perusahaan maupun konsumen teridentifikasi saling berkorelasi yaitu ketika kandungan *moisture* meningkat maka cenderung akan meningkatkan ukuran partikel (*mesh* -6+18) dan cenderung akan mengurangi kandungan nitrogen dan biuret. Selain itu berdasarkan data dari perusahaan, teridentifikasi adanya pergeseran proses yang relatif kecil. Secara univariat, kandungan nitrogen, biuret, *moisture* (air), dan ukuran partikel (*mesh*) -6+18 pupuk urea di pabrik 1B berturut-turut mengalami pergeseran sebesar $0,3\sigma$, $0,62\sigma$, $1,28\sigma$, dan $0,19\sigma$. Sedangkan di pabrik 3 berturut-turut mengalami pergeseran sebesar $1,3\sigma$, $0,12\sigma$, $0,16\sigma$, dan $0,13\sigma$. Dan secara multivariat pada pabrik 1B terjadi pergeseran sebesar $1,5\sigma$, sedangkan pada pabrik 3 terjadi pergeseran sebesar $1,8\sigma$ sehingga kurang tepat jika hanya dilakukan analisis deskriptif dengan melihat spesifikasi secara manual maupun secara univariat. Oleh karena itu permasalahan ini lebih tepat diselesaikan dengan pengendalian kualitas menggunakan teknik multivariat dengan diagram kontrol kombinasi MEWMA yaitu Diagram MZ dan diagram M_2Z^2 .

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengendalian kualitas pupuk urea yaitu monitoring variabilitas proses dan target proses di pabrik 1B dan pabrik 3 apakah sudah terkontrol secara statistik dengan menggunakan diagram kontrol kombinasi MEWMA yaitu Diagram MZ dan diagram M_2Z^2 .
2. Mengukur kinerja proses produksi pupuk urea dengan analisis kapabilitas proses.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi peneliti maupun PT Pupuk Sriwidjaja Palembang dalam memahami metode statistika untuk melakukan pengendalian kualitas pupuk urea hasil produksinya, sehingga pupuk urea yang

dihasilkan sesuai dengan kebutuhan konsumen. Selain itu, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang dapat mengukur kinerja proses produksi yang telah dilakukan dalam kurun waktu tertentu, sehingga dapat menjadi bahan evaluasi dan *continuous improvement* untuk proses produksi selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Produk pupuk urea yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupuk urea yang diproduksi di pabrik 1B dan 3 PT Pupuk Sriwidjaja Palembang
2. Karakteristik kualitas pupuk urea yang digunakan yaitu kandungan Nitrogen, biuret, *moisture* (air), dan *size distribution* (Mesh -6+18). Hal ini dikarenakan keempat parameter ini sangat diperhatikan oleh perusahaan dan konsumen mengingat pengaruh nya yang cukup besar terhadap kualitas pupuk urea.
3. Pembobot pengamatan yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,11989.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Multivariat

Analisis multivariat adalah analisis yang digunakan ketika beberapa pengukuran karakteristik kualitas dilakukan terhadap satu individu atau objek. Analisis multivariat merupakan pengembangan dari analisis univariat. Pada beberapa kasus, analisis univariat harus dilakukan terlebih dahulu sebelum analisis multivariat. Pada umumnya, variabel diukur secara simultan setiap *sampling unit* dimana variabel yang digunakan harus berkorelasi (Rencher, 2002)

2.2 Pengujian Dependensi Antar Karakteristik Kualitas

Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi apakah antar variabel karakteristik kualitas saling berhubungan atau tidak. Variabel X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan saling bebas atau tidak berhubungan (*independent*) jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas. Uji *Bartlett* digunakan untuk menguji kebebasan antar variabel. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut (Morrison, 1990).

Hipotesis :

$H_0 : \boldsymbol{\rho} = \mathbf{I}$ (matriks korelasi sama dengan matriks identitas atau tidak ada korelasi)

$H_1 : \boldsymbol{\rho} \neq \mathbf{I}$ (matriks korelasi tidak sama dengan matriks identitas atau ada korelasi)

Statistik Uji :

$$x^2_{hitung} = -\left\{n-1 - \frac{2p+5}{6}\right\} \ln |R| \quad (2.1)$$

Keterangan :

n : jumlah observasi

p : jumlah variabel

R : matrik korelasi dari masing-masing variabel

|R| : determinan matrik korelasi

Jika ditetapkan tingkat signifikansi α sebesar 0,05, maka H_0 ditolak jika nilai $x^2_{hitung} > x^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$. Hal ini dapat disimpulkan bahwa

antar variabel saling berhubungan (Morrison, 1990).

2.3 Pengujian Distribusi Normal Multivariat

Asumsi sampel harus berasal dari populasi yang berdistribusi normal multivariat merupakan salah satu asumsi yang harus dipenuhi untuk melakukan pengendalian kualitas menggunakan diagram kontrol multivariat. Suatu pengamatan x_1, x_2, \dots, x_p memiliki distribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ jika memiliki fungsi kepadatan peluang sebagai berikut.

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)' \Sigma^{-1}(x-\mu)} \quad (2.2)$$

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengujian distribusi normal multivariat ini adalah *Shapiro-Wilk*. Hipotesis pengujian *Shapiro-Wilk* adalah sebagai berikut.

Hipotesis :

H_0 : $F(x) = F_0(x)$ (sampel berdistribusi normal multivariat)

H_1 : $F(x) \neq F_0(x)$ (sampel tidak berdistribusi normal multivariat)

Tahap pertama yang dilakukan adalah menghitung statistik uji *Shapiro-Wilk* secara univariat menggunakan rumus W_k . Langkah-langkah dalam menghitung W_k

(i) Mengurutkan data pengamatan $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$.

(ii) Menghitung nilai S^2

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.3)$$

(iii) (a) Jika n genap, $m=n/2$, maka

$$b = \sum_{i=1}^m a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_{ik}) \quad (2.4)$$

(b) Jika n ganjil, $m=(n-1)/2$, maka

$$b = a_n (x_n - x_1) + \dots + a_{m+2} (x_{m+2} - x_m) \quad (2.5)$$

dimana nilai x_{m+1} adalah median dan nilai a adalah koefisien tabel *normality test*.

(iv) Menghitung nilai W

$$W_k = \frac{b^2}{S^2} \quad (2.6)$$

Tahap selanjutnya menghitung statistik uji secara multivariat W^*

$$W^* = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p W_k \quad (2.7)$$

Jika pada tingkat signifikansi α , nilai $W^* > C_{\alpha,n,p}$ dimana $C_{\alpha,n,p}$ merupakan nilai quantil statistik *shapiro wilk's* atau $P_{value} > \alpha$ maka dapat dikatakan sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal multivariat (Alva & Estrada, 2009).

2.4 Diagram Kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA)

Diagram kontrol MEWMA digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan rata-rata proses. Kelebihan diagram kontrol ini adalah *robust* terhadap asumsi distribusi normal, sehingga ketika data tidak memenuhi asumsi distribusi normal maka diagram kontrol ini masih bisa digunakan. Diagram kontrol MEWMA merupakan generalisasi dari proses untuk data univariat EWMA dengan persamaan berikut.

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda) Z_{i-1} \quad (2.8)$$

dimana \mathbf{X}_i merupakan vektor rata-rata sampel, λ adalah pembobot observasi yang bernilai $0 \leq \lambda \leq 1$ dan $\mathbf{Z}_0 = \mathbf{0}$. Pada diagram kontrol ini dapat digunakan pembobot observasi yang sama atau tidak untuk masing-masing karakteristik kualitas. Apabila tidak ada alasan pemilihan pembobot observasi yang berbeda untuk masing-masing karakteristik kualitas maka pembobot observasi $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_p = \lambda$. Titik pengamatan yang diplotkan pada diagram kontrol ini adalah sebagai berikut.

$$T_i^2 = \mathbf{Z}_i^T \Sigma_{Z_i}^{-1} \mathbf{Z}_i \quad (2.9)$$

$$\Sigma_{Z_i} = \frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}] \Sigma \quad (2.10)$$

dimana matrik kovarian Σ analog dengan varians pada data univariat EWMA.

Data dikatakan *out of control* ketika nilai T_i^2 lebih besar dari h_4 . Nilai h_4 merupakan batas kontrol atas (UCL) yang didapatkan dari hasil simulasi yang disesuaikan dengan besarnya ARL hingga didapatkan nilai batas kontrol atas yang konvergen. Batas kontrol bawah (LCL) untuk diagram kontrol ini sama dengan 0 karena nilai titik pengamatan (T_i^2) selalu positif sehingga batas kontrol bawah yang paling minimum dari suatu nilai yang positif adalah 0 (Montgomery D.C.,2009).

2.5 Diagram Kontrol Kombinasi *Multivariate*

Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)

Diagram kontrol kombinasi MEWMA pada penelitian digunakan yaitu dengan pengamatan individual dan merupakan pengembangan dari diagram kontrol MEWMA. Sebelumnya pada penelitian yang dilakukan Reynold dan Stoumbus (2008) yaitu investigasi terhadap kombinasi antara diagram kontrol multivariat Shewhart dengan diagram kontrol MEWMA untuk monitoring *mean vector* dan *covariance matrix* tidak menemukan kesensitifan dalam melakukan monitoring pergeseran proses, oleh karena itu dikembangkan diagram kontrol kombinasi MEWMA yang lebih

sensitif terhadap pergeseran proses. Perbedaan diagram kontrol kombinasi MEWMA untuk monitoring variabilitas proses dan target proses dengan diagram kontrol MEWMA standar untuk monitoring target proses dan diagram kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) adalah dari titik pengamatan. Titik pengamatan diagram kontrol kombinasi MEWMA menggunakan *standardized* pengamatan.

Istilah dalam distribusi normal multivariat, σ adalah vektor simpangan kuadrat dari p variabel dan μ_0 , Σ_0 , dan σ_0 merupakan nilai *in-control* untuk μ , Σ , dan σ . Reynolds & Cho (2006) mengemukakan, andaikan proses akan dimonitor dengan mengambil sampel vektor pengamatan independen $n \geq 1$, pada titik sampling. Misalkan, X_{kij} merupakan pengamatan j ($j = 1, 2, \dots, n$) untuk variabel i ($i = 1, 2, \dots, p$) pada titik sampling k ($k = 1, 2, \dots$), maka *standardized* dari pengamatan yaitu $Z_{kij} = (X_{kij} - \mu_{0i}) / \sigma_{0i}$ dimana μ_{0i} adalah komponen ke- i dari μ_0 dan σ_{0i} adalah komponen ke- i dari σ_0 .

Jika $z_{kj} = (Z_{k1j}, Z_{k2j}, \dots, Z_{kpj})$ dimana $j=1, 2, \dots, n$, merupakan suatu vektor dari *standardized observations* untuk vektor pengamatan j pada titik sampling ke k dengan Σ_Z merupakan matriks kovarian dari Z_{kj} dan Σ_{Z0} merupakan matriks kovarians *in-control* dari Σ_Z . Σ_Z digunakan dalam pengontrolan proses pada fase I, sedangkan Σ_{Z0} digunakan dalam pengontrolan proses pada fase II. Matriks kovarians *in-control* Σ_{Z0} diperoleh berdasarkan data pada proses yang terkontrol dalam fase I.

Menurut Reynold dan Stoumbos (2008), diagram T^2 Hotelling yang diperkenalkan oleh Hotelling pada tahun 1947 merupakan diagram kontrol tipe Shewhart yang digunakan untuk memonitor μ dengan Σ_{Z0} tidak diketahui. Andaikan Σ_{Z0} diagram kontrol tersebut ekuivalen dengan diagram kontrol berdasarkan statistik

$$(Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kp}) \Sigma_{Z0}^{-1} (Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kp})^T \quad (2.11)$$

dengan Σ_{Z0}^{-1} merupakan invers dari Σ_{Z0} .

Untuk data pada variabel ke- i titik sampling ke- k , sampel *standardized* yaitu $Z_{ki} = \sqrt{n} \left(\frac{X_{ki} - \mu_i}{\sigma_i} \right)$ dimana n adalah ukuran

subgrup yang dalam penelitian ini $n = 1$ karena pengamatan individual, dan rata-rata *standardized* yaitu

$$E_{ki}^Z = (1 - \lambda)E_{k-1,i}^Z + \lambda Z_{ki} \quad (2.12)$$

dimana, $i = 1, 2, \dots, p$ dengan $E_{0i}^Z = 0$ dan $0 < \lambda \leq 1$.

$\lim_{k \rightarrow \infty} \text{Var}(E_{ki}^Z)$ dengan $c_\infty = \lambda / (2 - \lambda)$.

Diagram kontrol MEWMA untuk mendeteksi pergeseran target proses berdasarkan pada $\{E_{ki}^Z\}$ disebut dengan diagram MZ, digunakan statistik pada persamaan (2.13) dan (2.14) dimana i adalah variabel atau karakteristik kualitas dan k adalah titik sampling. Untuk monitoring target proses pada fase I digunakan statistik MZ berdasarkan persamaan (2.13).

$$M_k^Z = c_\infty^{-1} (E_{k1}^Z, E_{k2}^Z, \dots, E_{kp}^Z) \sum_Z^{-1} (E_{k1}^Z, E_{k2}^Z, \dots, E_{kp}^Z)^T \quad (2.13)$$

dimana \sum_Z^{-1} merupakan nilai dari invers matriks varians kovarians pengamatan saat proses masih belum stabil atau proses belum terkendali secara statistik. Sedangkan untuk monitoring target proses pada fase II digunakan statistik MZ berdasarkan persamaan (2.14).

$$M_k^Z = c_\infty^{-1} (E_{k1}^Z, E_{k2}^Z, \dots, E_{kp}^Z) \sum_{Z0}^{-1} (E_{k1}^Z, E_{k2}^Z, \dots, E_{kp}^Z)^T \quad (2.14)$$

dimana \sum_{Z0}^{-1} merupakan nilai dari invers matriks varian kovarians pengamatan saat proses sudah terkendali secara statistik atau sudah stabil. Dalam perhitungan mendapatkan nilai MZ, terlebih dahulu mendapatkan nilai rata-rata tiap variabel (Z_{ki}). Selanjutnya menghitung E_{ki}^Z dan M_k^Z untuk masing-masing variabel. Sehingga, diperoleh E_{ki}^Z dan M_k^Z sebanyak k pengamatan.

Untuk mendeteksi simpangan kuadrat (*squared deviations chart*), diberikan statistik EWMA untuk simpangan *standardized* kuadrat dari target, yaitu

$$E_{ki}^{Z^2} = (1 - \lambda)E_{k-1,i}^{Z^2} + \lambda \sum_{j=1}^n \frac{Z_{kij}^2}{n} \quad (2.15)$$

dimana $E_{0i}^{Z^2} = 1$, $0 < \lambda \leq 1$, dan $i = 1, 2, \dots, p$

λ : Pembobot observasi

Bentuk pertama dari statistik MEWMA berdasarkan pada $E_{ki}^{Z^2}$ disebut diagram M_1Z^2 adalah

$$M_{1k}^{Z^2} = n(2c_\infty)^{-1}(E_{k1}^{Z^2} - 1, E_{k2}^{Z^2} - 1, E_{kp}^{Z^2} - 1)(\Sigma_{Z0}^{(2)})^{-1}(E_{k1}^{Z^2} - 1, E_{k2}^{Z^2} - 1, E_{kp}^{Z^2} - 1)^T \quad (2.16)$$

dan untuk meningkatkan kemampuan pendeteksian variabilitas proses, bentuk kedua dari statistik MEWMA didasarkan pada $E_{ki}^{Z^2}$ disebut diagram M_2Z^2 untuk monitoring variabilitas proses fase I adalah

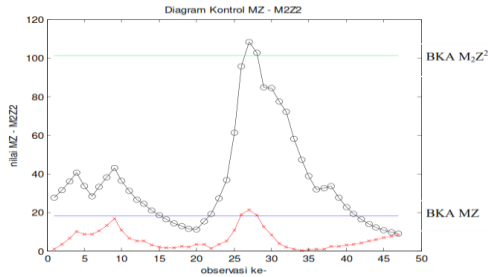
$$M_{2k}^{Z^2} = n(2c_\infty)^{-1}(E_{k1}^{Z^2}, E_{k2}^{Z^2}, E_{kp}^{Z^2})(\Sigma_Z^{(2)})^{-1}(E_{k1}^{Z^2}, E_{k2}^{Z^2}, E_{kp}^{Z^2})^T \quad (2.17)$$

Sedangkan untuk monitoring variabilitas proses fase II digunakan statistik MEWMA seperti persamaan (2.18)

$$M_{2k}^{Z^2} = n(2c_\infty)^{-1}(E_{k1}^{Z^2}, E_{k2}^{Z^2}, E_{kp}^{Z^2})(\Sigma_{Z0}^{(2)})^{-1}(E_{k1}^{Z^2}, E_{k2}^{Z^2}, E_{kp}^{Z^2})^T \quad (2.18)$$

(Reynold dan Stoumbus, 2008)

Langkah perhitungan untuk diagram M_2Z^2 sama seperti diagram MZ, hanya saja digunakan data yang telah dikuadratkan, seperti persamaan (2.14). Berikut contoh diagram kontrol kombinasi MEWMA.



Gambar 2.1 Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA

Sumber : Penelitian Dimas Nugroho Dwi Seputro (2014)

2.6 Penentuan Batas Kontrol Kombinasi MEWMA

Penentuan batas kontrol atas kombinasi MEWMA pada penelitian ini menggunakan dua pendekatan yaitu kriteria *Average Time To Signal (ATS)* dan kriteria *Average Run Length (ARL)*.

Reynold dan Stoumbus (2008) menetapkan batas kontrol atas (UCL) sedemikian hingga didapatkan nilai *in control* ATS yang sama untuk masing-masing kombinasi pembobot yaitu sebesar 800. Batas kontrol atas (UCL) untuk diagram kontrol MZ dan diagram kontrol M_2Z^2 dengan p (variabel) sebanyak 4 dan n (pengamatan) sebanyak 1, dapat dilihat pada Tabel 2.1. Sebagai contoh untuk kombinasi pembobot 0,11989 untuk diagram kontrol MZ dan 0,11989 untuk diagram kontrol M_2Z^2 batas kontrol atas (UCL) yang digunakan adalah sebesar 18,225 dan 101,113.

Tabel 2.1 Batas Kontrol Diagram Kombinasi MEWMA

λ MZ	0,11989	0,11989	0,11989	0,11989
λ M_2Z^2	0,11989	0,1591	0,20473	0,24788
UCL MZ	18,225	18,2357	18,2484	18,2574
UCL M_2Z^2	101,113	94,3174	91,3618	90,8875

Pendekatan kedua yaitu dengan melakukan simulasi *Average Run Length (ARL)*. *Average Run Length (ARL)* merupakan rata-rata jumlah titik yang harus diplotkan hingga didapatkan titik *out*

of control pertama (Montgomery, 2009). Peneliti menetapkan batas kontrol atas sedemikian hingga mendapatkan *In Control* ARL sebesar 370. Sedangkan untuk nilai batas kontrol bawah adalah sebesar 0. Algoritma untuk mendapatkan ARL_0 adalah sebagai berikut.

1. Membangkitkan data simulasi sebanyak n sampel sesuai dengan parameter data pengamatan asli
2. Mengambil sampel random sebanyak m dari n sampel yang telah dibangkitkan
3. Menghitung statistik M_k^Z dan statistik $M_{2k}^{Z^2}$ yang akan dibandingkan dengan batas kontrol atas (UCL)
4. Menetapkan batas kontrol atas untuk M_k^Z dan $M_{2k}^{Z^2}$
5. Menentukan *Run Length* (RL), jumlah titik pengamatan yang harus diplotkan sampai titik pertama melewati batas kontrol atas
6. Menghitung ARL_0 yaitu rata-rata RL untuk N iterasi.
7. Simulasi berhenti sampai $ARL_0 = 370$

Sedangkan untuk batas kontrol bawah (LCL) adalah 0 dikarenakan bentuk M_k^Z dan $M_{2k}^{Z^2}$ merupakan bentuk kuadratik, dimana E_{ij}^Z berdistribusi normal $(0, c_{\infty} \sigma_i^2)$, sehingga M_j^Z dan $M_{2j}^{Z^2}$ akan memiliki distribusi Chi-Square dengan derajat bebas p (Johnson and Wichern, 2007).

2.7 Identifikasi Variabel Penyebab Terjadinya Sinyal *Out of Control*

Jika dalam diagram kontrol terdapat satu atau beberapa pengamatan yang tidak terkontrol atau berada diluar batas kontrol, maka perlu dilakukan identifikasi variabel penyebab terjadinya sinyal *out of control* tersebut. Dalam Montgomery (2009), dijelaskan bahwa salah satu pendekatan yang dapat digunakan dalam mendiagnosis sinyal *out of control* adalah menguraikan statistik M^Z ke dalam komponen-komponen yang menunjukkan kontribusi masing-masing variabel. Jika M^Z adalah sebuah nilai

statistik, dan M_j^Z adalah sebuah nilai statistik untuk semua variabel proses tanpa variabel ke-j, maka

$$d_j = M^Z - M_j^Z \quad (2.19)$$

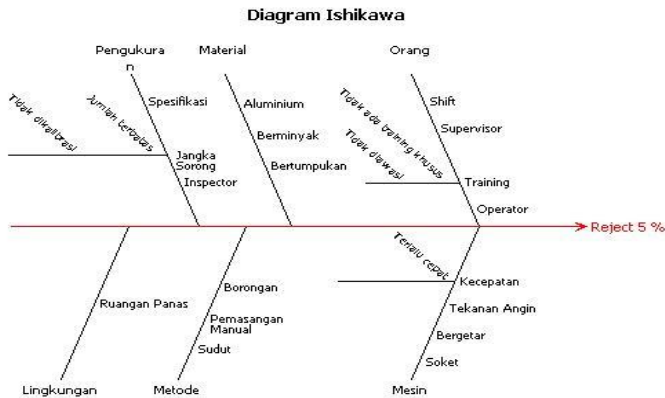
Jika d_j merupakan indikator kontribusi realtif dari variabel ke-j untuk keseluruhan statistik. Perbaikan proses difokuskan pada variabel yang memiliki nilai d_j yang lebih besar dari $\chi^2_{(\alpha,1)}$

2.8 Diagram Sebab Akibat (Ishikawa)

Diagram sebab akibat atau diagram ishikawa adalah suatu grafik yang menggambarkan suatu hubungan antara masalah atau akibat dengan faktor-faktor penyebabnya. Diagram sebab akibat atau *ishikawa* juga sering disebut diagram tulang ikan karena bentuknya yang mirip dengan tulang ikan (*fishbone*). Diagram sebab akibat disusun dengan suatu urutan yang mengacu pada berlangsungnya suatu proses dengan tujuan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang menjadi penyebab terjadinya suatu masalah. Penyebab terjadinya suatu masalah dirumuskan dengan 5M + 1E yaitu *man, machine, material, method, measurement* dan *environment*. Setiap kategori dirumuskan dengan melakukan sesi *brainstorming*. (Montgomery, 2009).

Langkah-langkah pembuatan diagram sebab akibat (*Isihikawa*) adalah sebagai berikut.

1. Identifikasi faktor utama yang mempengaruhi masalah kualitas, dan arahkan panah cabang ke panah utama
2. Definisikan faktor utama, seperti manusia, material, metode, mesin, dan lingkungan
3. Definisikan pula penyebab untuk masing-masing faktor utama yang mempengaruhi masalah kualitas



Gambar 2.2 Diagram Sebab Akibat (*Ishikawa*)

2.9 Analisis Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses merupakan studi untuk menaksir kemampuan proses, yaitu produk yang diproduksi sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan atau belum. Untuk melihat kapabilitas proses diperlukan suatu ukuran kuantitatif proses yaitu indeks kapabilitas proses. Indeks kapabilitas yang disarankan oleh *Automotive Industry Action Group* (AIAG) adalah saat kondisi proses *in control* atau berada di dalam batas kontrol. Indeks kapabilitas tersebut adalah C_p dan C_{pk} . Perbedaan indeks C_p dan C_{pk} adalah indeks C_p tidak memperhitungkan perbedaan rata-rata proses terhadap rata-rata spesifikasi, sedangkan C_{pk} merupakan perbaikan dari indeks C_p yang memperhitungkan perbedaan rata-rata proses terhadap rata-rata spesifikasi. Berikut rumus untuk menghitung indeks C_p .

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.19)$$

sedangkan untuk menghitung indeks C_{pk} digunakan rumus sebagai berikut.

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \right\} \quad (2.20)$$

Jika proses tidak dalam keadaan *in control*, AIAG merekomendasikan indeks P_p dan P_{pk} untuk menghitung kapabilitas proses (Montgomery D.C., 2009). Saat proses *out of control*, indeks P_p dan P_{pk} tidak memiliki makna yang berarti dalam menginterpretasikan kapabilitas proses dimasa mendatang atau tidak bisa memprediksi kapabilitas proses. Akan tetapi indeks P_p dan P_{pk} hanya menginterpretasikan performa proses yang telah terjadi sebelumnya. Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} untuk data univariat adalah sebagai berikut.

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (2.21)$$

$$P_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{USL - \bar{X}}{3s}, \frac{\bar{X} - LSL}{3s} \right\} \quad (2.22)$$

Keterangan :

USL : *Upper Spesification Limit* (Batas Spesifikasi Atas)

LSL : *Lower Spesification Limit* (Batas Spesifikasi Bawah)

\bar{X} : Rata-Rata Proses

s : Standar deviasi Sampel Proses

Dalam penelitian ini, digunakan tiga karakteristik kualitas, sehingga perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat lebih cocok untuk digunakan terutama dengan mempertimbangkan tidak diketahuinya nilai pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas. Perhitungan indeks C_p dan C_{pk} serta P_p dan

P_{pk} untuk data multivariat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$MC_{pk} = \sum_{k=1}^p W_k C_{pk}(X_k) \quad (2.23)$$

$$MC_p = \sum_{k=1}^p W_k C_p(X_k) \quad (2.24)$$

$$MP_{pk} = \sum_{k=1}^p W_k P_{pk}(X_k) \quad (2.25)$$

$$MP_p = \sum_{k=1}^p W_k P_p(X_k) \quad (2.26)$$

MP_p dan MP_{pk} serta MP_p dan MP_{pk} berturut-turut merupakan bentuk C_p dan C_{pk} serta P_p dan P_{pk} dalam keadaan multivariat dengan W_i merupakan pembobot berdasarkan kepentingan dengan $\sum_{k=1}^p W_k = 1$. Nilai pembobot W_i disesuaikan dengan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas yang ditentukan oleh perusahaan, jika tidak ada maka pembobot dianggap sama (Raissi, 2009).

2.10 Pupuk Urea (*Urea Prill*)

Pupuk merupakan suatu bahan yang mengandung lebih dari satu unsur hara bagi tanaman. Bahan-bahan tersebut berupa mineral atau organik yang dihasilkan oleh kegiatan alam atau diolah oleh manusia di pabrik. Pupuk urea adalah pupuk kimia yang mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Unsur nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan tanaman. Pupuk urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih, dengan rumus kimia NH_2CONH_2 merupakan pupuk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis). Oleh karena itu sebaiknya disimpan di tempat kering dan tertutup rapat dengan

suhu ruangan. Pupuk urea mengandung unsur hara N sebesar 46% dengan pengertian setiap 100 kg urea mengandung 46 kg Nitrogen.

Unsur hara nitrogen yang terkandung dalam pupuk urea memiliki kegunaan di antara lain membuat daun lebih banyak mengandung butir hijau daun (klorofil) yang dapat mempercepat pertumbuhan tanaman, menambah kandungan protein tanaman dan dapat dipakai untuk semua jenis tanaman, baik tanaman pangan, hortikultura, tanaman perkebunan, usaha peternakan dan usaha perikanan (PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, 2013).

2.11 Proses Pembuatan Pupuk Urea

Bahan baku dari pembuatan urea adalah karbondioksida dan ammonia. Tahap-tahap dari produksi urea adalah sebagai berikut:

a. Tahap Sintesa Urea

Pereaksian urea dari bahan bakunya dilakukan dalam fasa cair. Umpan berupa amoniak cair, gas CO₂ dan larutan karbamat hasil *recycle* proses terdahulu atau dari unit *recovery* dimasukkan ke dalam reaktor sedangkan kondisi operasi dijaga pada temperatur 190⁰C – 200⁰C serta tekanan 200 kg/cm² karena pada kondisi *temperature* dan tekanan tersebut merupakan hal utama yang mempengaruhi reaksi. Produk hasil reaktor merupakan campuran yang terdiri atas urea, ammonium karbamat, biuret, air, dan kelebihan ammonia.

b. Tahap Dekomposisi

Pada tahap ini ammonium karbamat yang terdapat di keluaran reaktor dikondisikan kembali sehingga terdekomposisi menjadi ammonia dan CO₂. Proses dekomposisi dilakukan di dalam 3 unit terpisah yaitu *high pressure decomposer* (HPD), *low pressure decomposer* (LPD) dan Gas Separator (GS). Larutan hasil reaktor masuk ke dalam HPD yang memiliki tekanan 17 kg/cm² dan mengalami proses *flashing* sehingga sebagian amoniak dan karbamat menguap kemudian larutan produk reaktor mendapat pemanasan dari *steam reboiler* sehingga temperatur larutan naik dan terjadi dekomposisi dari karbamat. Larutan keluaran dari HPD kemudian menuju LPD pada tekanan 2,5 kg/cm² untuk

dekomposisi lebih lanjut. Proses dekomposisi dilakukan dengan memanaskan larutan menggunakan larutan keluaran HPD dan kukus bertekanan. Larutan urea yang sudah mulai pekat keluar dari LPD kemudian menuju Gas Separator pada tekanan $0,3 \text{ kg/cm}^2$ yang akan memisahkan gas-gas inertnya. Gas-gas hasil dekomposisi dikirim ke unit *recovery* untuk dilakukan penyerapan kembali, sedangkan larutan urea akan dikirim ke unit kristalisasi untuk dikristalkan dan selanjutnya dibuat butiran di unit pемbutiran. Pemisahan dilakukan dengan dua tahap yaitu *flashing* dan pengontakan dengan udara yang sedikit mengandung amoniak dan uap air.

c. Tahap Recovery

Tahapan proses penyerapan gas-gas hasil dekomposisi dilakukan dengan kontak langsung dengan larutan di unit *recovery* dimana gas yang keluar dari bagian atas gas separator diserap menggunakan air kondensat di *Off Gas Absorber* (OGA). Gas yang keluar dari bagian atas LPD di *Low Pressure Absorber* (LPA), sedangkan gas yang keluar dari bagian atas HPD diserap menggunakan larutan ammonium karbamat dari bagian bawah LPA serta larutan ammonia di *High Pressure Absorber* (HPA) dan *High Pressure Absorber Cooler* (HPAC). Larutan ammonium karbamat hasil proses penyerapan yang keluar dari bagian bawah HPAC selanjutnya dikirim ke *reactor unit* sintesa sebagai larutan daur ulang (*recycle carbamate*).

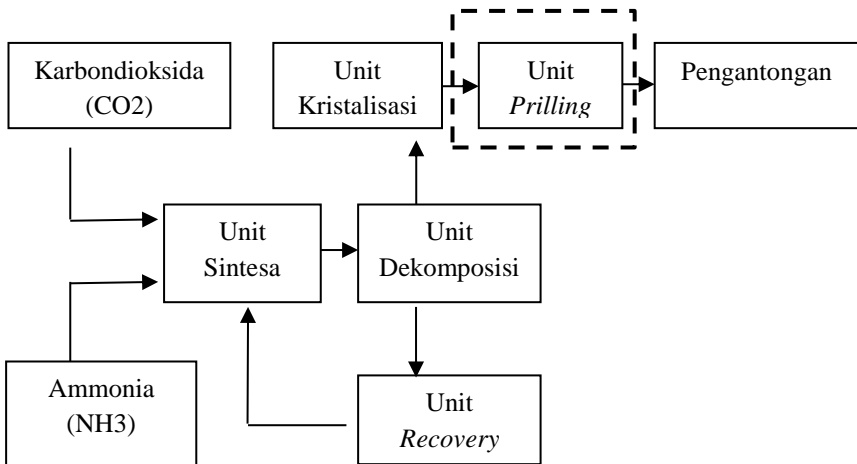
d. Tahap Pengkristalan

Larutan urea pekat yang telah keluar dari Gas Separator akan menuju ke unit *crystallizer* dan vakum *crystallizer* untuk membentuk butiran-butiran kristal. Kristal urea yang terbentuk ini kemudian dipisahkan dari larutan induknya menggunakan pemisah sentrifugal.

e. Tahap Prilling

Setelah melalui pemisah sentrifugal, kristal urea dikeringkan dengan media pemanas udara dan yang kemudian dikirim ke siklon. Langkah berikutnya adalah pelelehan kristal urea didalam *melter*. Pemanas yang digunakan pada *melter* ini

adalah kukus bertekanan sedang. Lelehan urea ini kemudian ditampung didalam *head tank* dan dilewatkan ke dalam acoustic granulator sebagai wadah untuk membentuk butiran urea standar dan jatuh ke bagian bawah *Prilling tower* seperti hujan. Udara dihembuskan dari bawah *prilling tower* untuk membantu pembentukan butiran urea.



Gambar 2.3 Proses Produksi Pupuk Urea

Gambar 2.3 merupakan alur dari proses produksi pupuk urea di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. Proses pengukuran sampel untuk diuji kualitas nya dilakukan setelah melewati proses di unit kristalisasi yaitu setelah butiran pupuk urea jatuh di *prilling tower*. *Prilling tower* merupakan wadah untuk meletakkan butiran pupuk urea yang berada di unit *prilling*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Penelitian ini akan menggunakan data sekunder dari data kualitas pupuk urea periode Januari 2017 sampai Desember 2017 yang didapatkan dari Departemen Perencanaan dan Pengendalian Produksi PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dan data primer dengan wawancara kepada pihak perusahaan. Penelitian ini dibagi menjadi dua fase untuk membedakan sebelum dan sesudah dilakukan *maintenance* mesin. Pada pabrik 1B fase I digunakan data periode Januari hingga April 2017 sedangkan fase II mulai Mei hingga Desember 2017 dengan pengamatan individual sebanyak 91 pengamatan. Pada pabrik 3 fase I digunakan data periode Januari hingga Juli 2017 sedangkan fase II mulai Agustus hingga Desember 2017 dengan pengamatan individual sebanyak 99 pengamatan. Kualitas pupuk urea diuji menggunakan sampel yang diukur satu kali setiap pagi pada Hari Senin dan Hari Kamis. Sampel yang diambil dari *prilling tower* di unit *prilling* pabrik 1B dan pabrik 3 adalah sebanyak 1 Kg butiran urea dan diuji kualitasnya di Laboratorium.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu Kandungan Nitrogen, Biuret, *Moisture* (air), dan *Size Distribution* (Mesh -6+18). Keempat variabel ini sangat diperhatikan oleh perusahaan maupun konsumen karena sangat mempengaruhi kualitas pupuk urea yang di produksi.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian Kualitas Pupuk Urea

Variabel	Nama Variabel	Batas Spesifikasi
x_1	Nitrogen (% wt)	46,2 – 46,55
x_2	Biuret (% wt)	0,26 – 0,5
x_3	<i>Moisture</i> (% wt)	0,36 – 0,5
x_4	Mesh -6+18 (% wt)	> 97,78%

Tabel 3.1 menunjukkan variabel penelitian beserta batas spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan. Berikut deskripsi dari masing-masing variabel.

1. Nitrogen

Nitrogen merupakan senyawa zat hara yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Tanaman yang kekurangan nitrogen akan menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak normal atau kerdil. Sedangkan kelebihan nitrogen pada tanaman juga akan menyebabkan jaringan tanaman akan mengering dan mati. Sehingga takaran nitrogen dalam pupuk urea harus sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditetapkan. Batas spesifikasi yang ditetapkan perusahaan sebesar 46,2 – 46,55%.

2. Biuret

Biuret merupakan senyawa yang sangat berbahaya bagi tanaman. Kandungan biuret yang terlalu tinggi pada pupuk urea tidak layak digunakan karena biuret merupakan zat yang dapat menyebabkan tanaman rentan terhadap penyakit (Pupuksiklopedia, 2014). Oleh karena itu batas spesifikasi yang ditetapkan sebesar 0,26% - 0,5%.

3. Moisture (Air)

Air merupakan variabel yang mempengaruhi mudah hancur atau tidaknya butiran pupuk urea. Jika kandungan *moisture* (air) melebihi batas spesifikasi maksimum maka pupuk urea akan membentuk bongkahan (*caking process*) atau membentuk endapan yang sulit diserap oleh tanaman, begitu pula jika kandungan *moisture* (air) kurang dari batas spesifikasi maksimum maka pupuk urea tersebut mudah hancur (Bahman ZareNezhad, 2007). Batas spesifikasi yang ditoleransi adalah sebesar 0,36% - 0,5%

4. Mesh -6+18

Mesh merupakan satuan ukuran partikel. Ukuran partikel sangat mempengaruhi laju reaksi. Semakin kecil ukuran partikel maka akan memperbesar luas permukaan bidang yang menyebabkan laju reaksi akan semakin cepat (Mark

S Fellice dan Mark B Freilich, 2978). Jika dikonvensikan kedalam ukuran mm maka Mesh 6 sama dengan 3,36 mm sedangkan Mesh 18 sama dengan 1 mm. Semakin besar Mesh maka ukuran partikel semakin halus. Mesh -6+18 memiliki arti bahwa ukuran partikel kurang dari 3,36 mm dan lebih dari 1 mm. Batas spesifikasi yang ditetapkan perusahaan adalah $> 97,78\%$.

3.3 Struktur Data

Struktur data penelitian untuk membuat diagram kontrol kombinasi *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) yang digunakan dalam monitoring variabilitas proses dan target proses produksi pupuk urea di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang sebagai berikut.

Tabel 3.2 Struktur Data Karakteristik Kualitas Pupuk Urea

Observasi ke-	Karakteristik Kualitas			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	$x_{(1)1}$	$x_{(1)2}$	$x_{(1)3}$	$x_{(1)4}$
2	$x_{(2)1}$	$x_{(2)2}$	$x_{(2)3}$	$x_{(2)4}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
i	$x_{(i)1}$	$x_{(i)2}$	$x_{(i)3}$	$x_{(i)4}$

Keterangan :

$x_{(i)k}$ = nilai untuk karakteristik kualitas ke-k pada observasi ke - i , dimana $i = 1, 2, \dots, t$, dimana t = banyak observasi, dan $k = 1, 2, 3, 4$

X_1 merupakan kandungan nitrogen, X_2 merupakan kandungan biuret, X_3 merupakan kandungan *moisture* (air), X_4 merupakan ukuran partikel Mesh -6+18.

3.4 Langkah Analisis

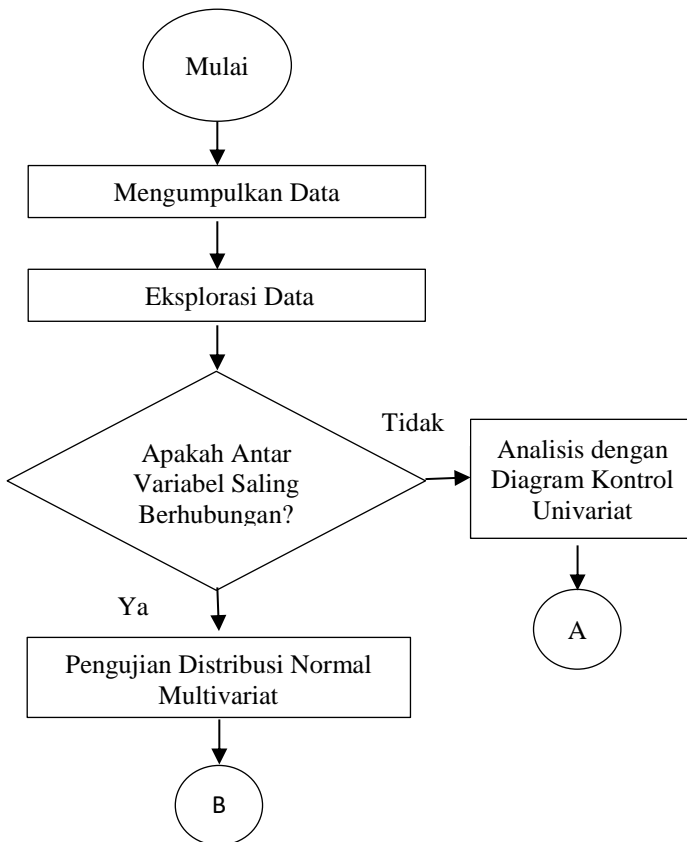
Langkah-langkah analisis yang dilakukan guna mencapai tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

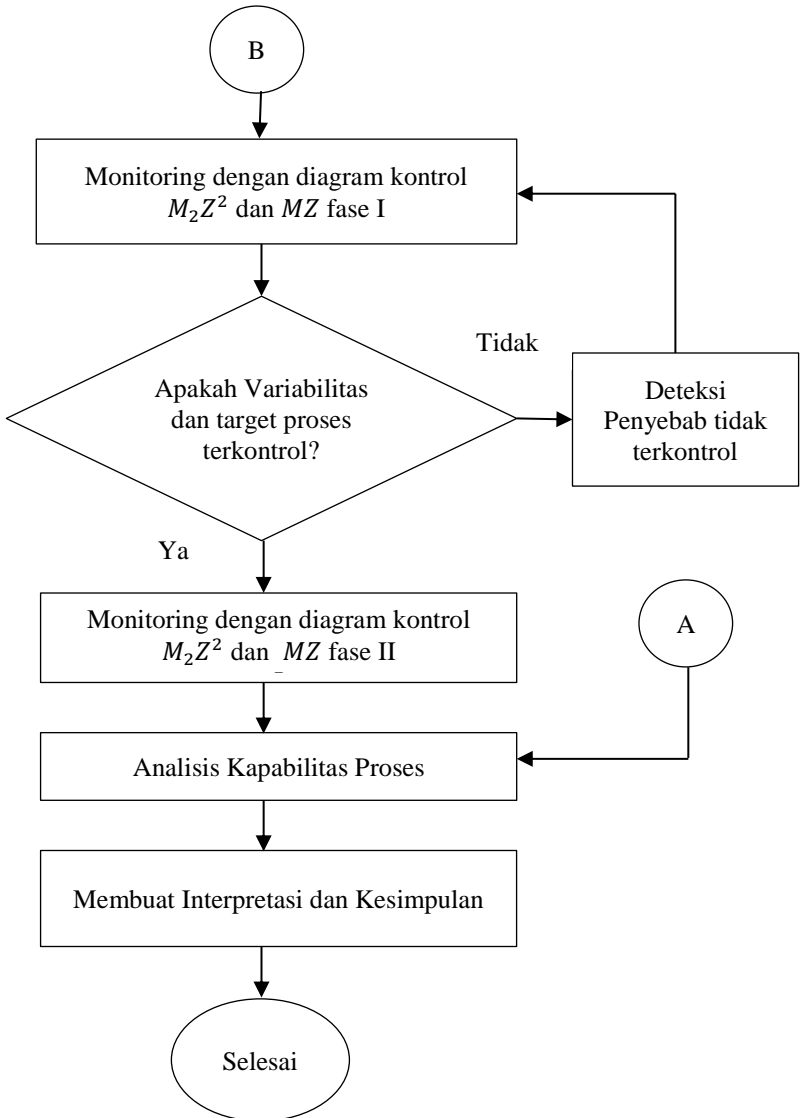
1. Mengumpulkan data

2. Melakukan eksplorasi data untuk mengetahui karakteristik masing-masing variabel nitrogen, biuret, *moisture* (air), dan Mesh -6+18.
3. Melakukan pengujian dependensi variabel dengan menggunakan uji *Bartlett*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah antar variabel kualitas saling berhubungan.
4. Melakukan pengujian distribusi normal multivariat untuk mengetahui apakah data karakteristik kualitas berdistribusi normal multivariat atau tidak.
5. Melakukan monitoring variabilitas proses dan target proses dengan diagram kontrol kombinasi MEWMA yaitu diagram kontrol M_2Z^2 dan diagram kontrol MZ.
 - a. Data dibagi menjadi dua bagian. Pada Pabrik 1B, data pengukuran bulan Januari 2017 hingga April 2017 digunakan sebagai fase I dan bulan Mei 2017 hingga Desember 2017 digunakan sebagai fase II. Sedangkan pada Pabrik 3, data pengukuran bulan Januari 2017 hingga Juli 2017 digunakan sebagai fase I dan bulan Agustus 2017 hingga Desember 2017 digunakan sebagai fase II.
 - b. Membuat diagram kontrol $M_2Z^2 - MZ$ menggunakan data fase I.
 - c. Jika diagram menunjukkan ada pengamatan yang diluar batas kontrol (*out of control*) maka akan dilakukan penelusuran penyebab-penyebab *out of control* dengan melakukan *brainstorming* dengan perusahaan. Penyebab *out of control* tersebut akan ditampilkan dalam diagram *ishikawa*.
 - d. Setelah penyebab diketahui, pengamatan *out of control* dikeluarkan dari perhitungan dan dibuat diagram kontrol baru. Pengamatan *out of control* pada diagram M_2Z^2 dikeluarkan terlebih dahulu.

- e. Jika diagram kontrol menunjukkan target proses dan variabilitas proses yang terkontrol, maka selanjutnya dilakukan pengendalian untuk fase II.
 - f. Parameter *in-control* pada fase I, yaitu Σz_0 dan Σz_0^2 akan digunakan dalam pengendalian fase II untuk mengetahui kestabilan proses fase II.
6. Melakukan analisis kapabilitas proses untuk mengetahui apakah proses yang dilakukan sudah menghasilkan produk sesuai dengan spesifikasi.
 7. Melakukan Interpretasi dan Menarik Kesimpulan.

Tahapan analisis dirangkum dan ditampilkan dalam bentuk diagram alir berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Persero) adalah satu anak perusahaan PT. Pupuk Indonesia Holding Company (PIHC) sebagai pelopor produsen pupuk urea di Indonesia yang terletak di Palembang Sumatera Selatan. PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang bertanggung jawab untuk mendistribusikan pupuk subsidi ke wilayah Sumatera Selatan hingga Lampung, Kalimantan Barat, DIY, dan Jawa Tengah. Dalam memenuhi kebutuhan konsumen, PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang tentunya sangat mengutamakan kualitas pupuk urea yang baik sesuai dengan standar yang ditetapkan perusahaan.

Penilaian kualitas pupuk urea yang dilakukan oleh perusahaan selama ini yaitu dengan analisis deskriptif dengan melihat apakah karakteristik untuk mengukur kualitas pupuk urea sesuai dengan batas spesifikasi yang ditetapkan perusahaan. Karakteristik tersebut antara lain kandungan Nitrogen, *Moisture* (air), Biuret, Ammonia, *Iron*, *Crushing Strength*, *Oil Content*, dan *Size Distribution*. Namun empat karakteristik yang sangat diperhatikan oleh konsumen dan perusahaan adalah Nitrogen, biuret, *moisture* (air), dan *size distribution* (Mesh -6+18). Hal ini dikarenakan keempat karakteristik ini sangat besar pengaruhnya terhadap kualitas pupuk urea. Seiring dengan meningkatnya penjualan pada tahun 2016 dan 2017, perusahaan tentunya harus melakukan pengendalian kualitas dengan memonitor proses produksi pupuk urea agar dapat meminimalisir kecacatan.

4.1 Karakteristik Kualitas Pupuk Urea

Pupuk urea merupakan suatu bahan yang mengandung lebih dari satu unsur hara bagi tanaman. Pupuk urea yang berkualitas baik adalah pupuk urea yang telah memenuhi standar kualitas yang telah ditentukan. Pupuk urea dikatakan baik jika kandungan Nitrogen, Biuret, *Moisture* (air), dan Mesh -6+18 berada pada batas spesifikasi yang ditetapkan perusahaan.

Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Pupuk Urea di Pabrik 1B Fase I

Variabel	Rata-Rata	Variansi	Min	Maks	CV
Nitrogen	46,445	0,0048	46,33	46,76	0,0015
Biuret	0,4635	0,00299	0,36	0,57	0,118
<i>Moisture</i>	0,3874	0,00256	0,25	0,46	0,1306
Mesh -6+18	98,497	1,125	95,4	99,81	0,0108

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa secara umum rata-rata kandungan nitrogen, biuret, *moisture*, dan Mesh -6+18 pada fase I pabrik 1B berada didalam batas spesifikasi perusahaan. Namun di beberapa pengamatan masih berada di luar batas spesifikasi perusahaan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai maksimum pada variabel nitrogen dan biuret. Nilai maksimum nitrogen yaitu sebesar 46,76 lebih besar dari batas spesifikasi atas perusahaan yaitu 46,55 sedangkan nilai maksimum biuret juga lebih besar yaitu 0,57 lebih besar dari batas spesifikasi perusahaan. Nilai minimum dari variabel *moisture* dan Mesh -6+18 berturut-turut adalah sebesar 0,25 lebih kecil dari batas spesifikasi bawah *moisture* yaitu 0,36 dan 95,4 lebih kecil dari batas spesifikasi bawah Mesh -6+18 yaitu sebesar 97,78. Tabel 4.1 juga menunjukkan bahwa *moisture* memiliki nilai koefisien variasi yang lebih besar dibanding karakteristik kualitas pupuk urea lainnya yaitu sebesar 0,1306. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan *moisture* pada fase I atau sebelum dilakukan *maintenance* mesin memiliki variasi yang paling heterogen dibanding karakteristik kualitas pupuk urea lainnya.

Tabel 4.2 Deskripsi Karakteristik Kualitas Pupuk Urea di Pabrik 1B Fase II

Variabel	Rata-Rata	Variansi	Min	Maks	CV
Nitrogen	46,445	0,00137	46,250	46,480	0,0008
Biuret	0,3988	0,00354	0,29	0,62	0,1492
<i>Moisture</i>	0,3755	0,00101	0,3	0,48	0,0846
Mesh -6+18	98,855	0,329	96,9	99,75	0,0058

Sama halnya dengan fase I pabrik 1B, Berdasarkan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa secara umum rata-rata kandungan nitrogen, biuret, *moisture*, dan Mesh -6+18 pada fase II pabrik 1B berada didalam batas

spesifikasi perusahaan. Namun di beberapa pengamatan masih berada di luar batas spesifikasi perusahaan. Nilai maksimum biuret yaitu sebesar 0,62 lebih besar dari batas spesifikasi atas perusahaan yaitu 0,5. Jika dilihat dari nilai minimum dari variabel *moisture* dan Mesh -6+18 berturut-turut adalah sebesar 0,3 lebih kecil dari batas spesifikasi bawah *moisture* yaitu 0,36 dan 96,9 lebih kecil dari batas spesifikasi bawah Mesh -6+18 yaitu sebesar 97,78. Pada fase II pabrik 1B kandungan biuret memiliki nilai koefisien variasi yang lebih besar dibanding karakteristik kualitas pupuk urea lainnya yaitu sebesar 0,1492. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan biuret pada fase II atau sebelum dilakukan *maintenance* mesin memiliki variasi yang paling heterogen dibanding karakteristik kualitas pupuk urea lainnya.

Tabel 4.3 Deskripsi Karakteristik Kualitas Pupuk Urea di Pabrik 3 Fase I

Variabel	Rata-Rata	Variansi	Min	Maks	CV
Nitrogen	46,434	0,00215	46,25	46,57	0,001
Biuret	0,3771	0,00244	0,30	0,54	0,131
<i>Moisture</i>	0,4118	0,00286	0,32	0,55	0,1299
Mesh -6+18	98,883	1,537	90,3	99,69	0,0125

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa secara umum rata-rata kandungan nitrogen, biuret, *moisture*, dan Mesh -6+18 pada fase 1 pabrik 3 berada didalam batas spesifikasi perusahaan. Namun di beberapa pengamatan masih berada di luar batas spesifikasi perusahaan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai maksimum pada variabel nitrogen dan biuret, dan *moisture*. Nilai maksimum nitrogen yaitu sebesar 46,57 lebih besar dari batas spesifikasi atas perusahaan yaitu 46,55, nilai maksimum biuret juga lebih besar yaitu 0,54 lebih besar dari batas spesifikasi perusahaan yaitu 0,5, dan nilai maksimum *moisture* 0,55 lebih besar dari batas spesifikasi perusahaan yaitu 0,5. Nilai minimum dari variabel *moisture* dan Mesh -6+18 berturut-turut adalah sebesar 0,32 lebih kecil dari batas spesifikasi bawah *moisture* yaitu 0,36 dan 90,3 lebih kecil dari batas spesifikasi bawah Mesh -6+18 yaitu sebesar 97,78. Berdasarkan Tabel 4.3 variabel biuret memiliki nilai koefisien variasi yang lebih besar dibanding karakteristik kualitas pupuk urea lainnya yaitu sebesar 0,1310. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan biuret

pada fase I atau sebelum dilakukan *maintenance* mesin memiliki variasi yang paling heterogen dibanding karakteristik kualitas pupuk urea lainnya.

Tabel 4.4 Deskripsi Karakteristik Kualitas Pupuk Urea di Pabrik 3 Fase II

Variabel	Rata-Rata	Variansi	Min	Maks	CV
Nitrogen	46,424	0,00111	46,27	46,48	0,0007
Biuret	0,4019	0,00339	0,3	0,56	0,1449
<i>Moisture</i>	0,4325	0,0051	0,33	0,76	0,1654
Mesh -6+18	98,515	0,635	95,53	99,41	0,0081

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa secara umum rata-rata kandungan nitrogen, biuret, *moisture*, dan Mesh -6+18 pada fase II pabrik 3 berada didalam batas spesifikasi perusahaan. Namun di beberapa pengamatan masih berada di luar batas spesifikasi perusahaan. Nilai maksimum biuret yaitu sebesar 0,56 lebih besar dari batas spesifikasi atas perusahaan yaitu 0,5. Dan nilai maksimum *moisture* juga sebesar 0,76 lebih besar dari batas spesifikasi atas perusahaan yaitu 0,5. Jika dilihat dari nilai minimum dari variabel *moisture* dan Mesh -6+18 berturut-turut adalah sebesar 0,33 lebih kecil dari batas spesifikasi bawah *moisture* yaitu 0,36 dan 95,53 lebih kecil dari batas spesifikasi bawah Mesh -6+18 yaitu sebesar 97,78. Pada fase II pabrik 3 kandungan *moisture* memiliki nilai koefisien variasi yang lebih besar dibanding karakteristik kualitas pupuk urea lainnya yaitu sebesar 0,1654. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan *moisture* pada fase II atau sebelum dilakukan *maintenance* mesin memiliki variasi yang paling heterogen dibanding karakteristik kualitas pupuk urea lainnya.

4.2 Uji Dependensi antar Karakteristik Kualitas

Variabel karakteristik kualitas pupuk urea di pabrik 1B dan pabrik 3 yang digunakan dalam penelitian ini ada empat yaitu kandungan nitrogen, biuret, *moisture* (air), dan Mesh -6+18 sehingga untuk memeriksa apakah antar variabel tersebut saling dependen digunakan uji Barlett. Didapatkan nilai *chi-square* tabel atau $\chi^2_{0,05,6}$ sebesar 12,59 dengan derajat bebas sebesar 6 dan *alpha* 5% dan hasil

perhitungan berdasarkan persamaan (2.1) yang dijelaskan pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Uji Dependensi Variabel

Pabrik	<i>Chi-Square</i>	Df	<i>P-value</i>
1B	22.415	6	0.001
3	64.075	6	0.000

Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai *Chi-square* pada pabrik 1B dan pabrik 3 yang dihasilkan lebih besar dari nilai *Chi-Square* tabel sebesar 12.59, sehingga dapat disimpulkan bahwa keempat variabel yang mengukur kualitas tersebut saling dependen. Selain itu, dilihat dari *p-value* sebesar 0,001 dan 0,000 dimana nilai tersebut kurang dari *alpha*, sehingga didapatkan kesimpulan yang sama bahwa variabel nitrogen, biuret, *moisture* (air), dan Mesh -6+18 saling dependen atau saling berhubungan. Hasil ini menguatkan secara teori di lapangan bahwa keempat variabel utama yang sangat mempengaruhi kualitas pupuk urea dependen atau saling berhubungan.

4.3 Pengujian Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan asumsi normal multivariat dilakukan untuk keempat karakteristik kualitas pupuk urea yaitu kandungan nitrogen, biuret, *moisture* (air), dan Mesh -6+18. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sesuai dengan Persamaan (2.7) didapatkan nilai W^* dan *p-value* yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengujian Normal Multivariat Shapiro Wilk's

Perhitungan	Pabrik 1B	Pabrik 3
W^*	0,59208	0,53342
<i>P-value</i>	$1,6121 \times 10^{-14}$	$3,325 \times 10^{-16}$

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai wilks hitung untuk pabrik 1B adalah 0,59208 dan pabrik 3 adalah 0,53342. Nilai *wilks* hitung ini jauh dari 1 sehingga sehingga dapat disimpulkan bahwa data tidak berdistribusi normal multivariat *p-value* untuk uji normalitas multivariat pabrik 1B adalah sebesar $1,6121 \times 10^{-14} < 5\%$, sehingga dapat disimpulkan bahwa data tidak berdistribusi normal multivariat. Diketahui juga pada pabrik 3, nilai *p-value* untuk uji

normal multivariat adalah sebesar $3,325 \times 10^{-16} < 5\%$ sehingga dapat disimpulkan juga bahwa data tidak berdistribusi normal multivariat.

4.4 Penentuan Batas Kontrol (*Upper Control Limit*)

Batas kontrol yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dengan cara dua pendekatan. Pendekatan pertama menggunakan batas kontrol sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Reynolds dan Stoumbos (2008) yang menetapkan batas kontrol untuk jumlah karakteristik kualitas sebesar 4 dan ukuran subgrup sebesar 1 sedemikian hingga mendapatkan nilai *in control Average Time To Signal* sebesar 800. Pendekatan kedua dilakukan dengan simulasi untuk mendapatkan ARL (*Average Run Length*) sebesar 370. Nilai *in control* ARL sebesar 370 menghasilkan peluang terjadinya suatu titik pengamatan keluar dari batas kontrol sebesar 0,0027 atau biasa disebut dengan pengontrolan batas tiga sigma (Montgomery, 2005). Dalam simulasi untuk mendapatkan batas kontrol, pembobot yang digunakan sebesar 0,11989. Menurut Reynolds and Cho (2006), nilai bobot optimum (λ) yang dapat digunakan adalah 0,11989 dan 0,026. Berdasarkan penelitian Reynolds and Cho (2006) yang melakukan simulasi berdasarkan *Average Steady State Average Time To Signal* (*Average SSATS*) menunjukkan bahwa dengan bobot 0,11989 menghasilkan *Average Time To Signal* lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan bobot 0,026 untuk diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 . Sehingga pada penelitian ini peneliti akan menggunakan bobot 0,11989 untuk monitoring variabilitas proses dan target proses dengan diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 .

Sebagai awalnya, dilakukan pembangkitan data sebanyak 5.000 data dengan menggunakan parameter (matrik varian-kovarian) yang sesuai dengan data pengamatan dan dilakukan pengambilan sampel *random* sebanyak 1000 data dari total 5.000 data. Selanjutnya, ditetapkan batas kontrol untuk masing-masing diagram MZ dan M_2Z^2 . Setelah ditetapkan suatu batas kontrol, program ARL dijalankan (*running*). Jika pada diagram kontrol tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kontrol, maka dilakukan lagi pengambilan sampel *random* sebanyak 1000 dari 5.000 data. Kemudian program kembali dijalankan. Hal tersebut dilakukan hingga

100 kali *running*. Jika pada suatu *run* terdapat pengamatan yang keluar dari batas kontrol, maka dilakukan pencatatan terhadap jumlah titik yang harus diplotkan hingga muncul titik *out of control* pertama untuk sejumlah *run* dan selanjutnya dirata-rata. Hasil rata-rata tersebut dinamakan ARL. Apabila nilai ARL belum mencapai 370, maka dilakukan simulasi ulang.

Simulasi ulang dilakukan dengan cara yang sama seperti simulasi yang pertama yaitu dengan mengambil sampel random sebanyak 1000 dari 5.000 data. Akan tetapi, untuk simulasi kedua, nilai batas kontrol yang digunakan berbeda dari simulasi yang pertama. Setelah nilai batas kontrol yang baru ditetapkan, dilakukan *run* kembali sebanyak 100 kali *running* dan dilakukan pencatatan jumlah titik yang harus diplotkan hingga muncul titik *out of control* pertama pada suatu *running*. Selanjutnya hasil pengamatan *out of control* dirata-rata. Jika ARL masih belum mencapai 370 dilakukan simulasi kembali sebanyak 100 kali *running* dengan menetapkan batas kontrol yang baru. Nilai batas kontrol yang baru berbeda dengan simulasi pertama dan kedua. Begitu seterusnya sedemikian hingga ditetapkan batas kontrol sehingga diperoleh nilai ARL sebesar 370.

Dari beberapa simulasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai batas kontrol (UCL) untuk memonitor target proses adalah sebesar 18,125 untuk pabrik 1B dan 11,213 untuk pabrik 3. Sedangkan batas kontrol (UCL) untuk memonitor variabilitas proses adalah sebesar 65,234 untuk pabrik 1B dan 75,175 untuk pabrik 3.

4.5 Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses pada Produksi Pupuk Urea di Pabrik 1B Fase I

Monitoring proses pada fase I dilakukan untuk memperoleh taksiran parameter yang terkontrol, dalam hal ini parameter taksiran matrik varian-kovarian *in control*, sehingga fase I dilakukan pengontrolan sampai menunjukkan proses yang terkontrol. Selain itu juga digunakan untuk melihat apakah proses produksi sebelum dilakukan *maintenance* mesin terkendali secara statistik. Monitoring variabilitas proses dan target proses produksi pupuk urea di pabrik 1B fase I dilakukan dengan menggunakan batas kontrol sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Reynolds dan Stoumbus (2008) dan

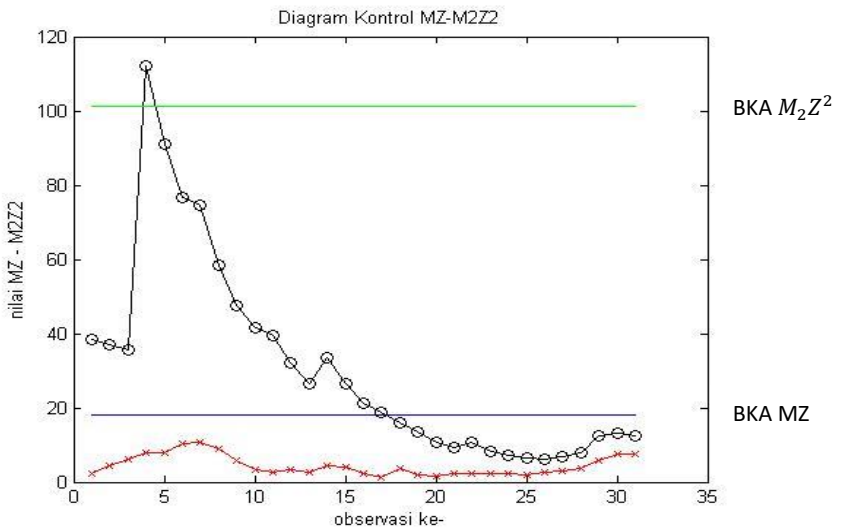
menggunakan batas kontrol hasil simulasi ARL. Dengan pembobot sebesar 0,11989 batas kontrol sesuai dengan penelitian Reynolds dan Stoumbus (2008) adalah sebesar 18,225 untuk monitoring target proses dan 101,113 untuk monitoring variabilitas proses. Sedangkan dengan simulasi ARL sebesar 370, batas kontrol yang digunakan sebesar 18,125 untuk monitoring target proses dan 65,234 untuk monitoring variabilitas proses. Dalam monitoring variabilitas proses, diperlukan perhitungan untuk mendapatkan nilai $M_2 Z^2$, sebagai contoh digunakan data observasi pertama pada fase I pabrik 1B yaitu $X_1 = [46,48 \ 0,37 \ 0,32 \ 95,4]$ kemudian nilai standardized kuadrat $Z_1^2 = [0,2612 \ 2,9265 \ 1,7756 \ 8,5281]$. Setelah itu dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.15 diperoleh nilai statistik EWMA yaitu $E_1^2 = [0,9114 \ 1,2309 \ 1,0930 \ 1,9025]$. Sehingga didapatkan nilai statistik MEWMA $M_{21}^{Z^2} = 38,4345$ sesuai persamaan 2.17, dengan nilai faktor koreksi nya adalah

$$(2C_\infty)^{-1} = \left(2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) \right)^{-1} = \left(2 \left(\frac{0,11989}{2-0,11989} \right) \right)^{-1} = 7,84098$$

Dan sebagai contoh perhitungan dalam monitoring target proses diperlukan perhitungan untuk mendapatkan nilai MZ. Sebagai contoh digunakan data observasi pertama pada fase I pabrik 1B yaitu $X_1 = [46,48 \ 0,37 \ 0,32 \ 95,4]$, kemudian didapatkan nilai yang sudah dilakukan standardized untuk observasi pertama didapat sebesar $Z_1 = [0,5111 \ -1,7107 \ -1,3325 \ -2,9203]$ dengan perhitungan sesuai pada persamaan 2.12 diperoleh statistik EWMA sebesar $E_1 = [0,0612 \ -0,2051 \ -0,1597 \ 0,3501]$. Sehingga seperti pada persamaan 2.13, didapatkan nilai $M_1^Z = 2,2081$ dengan nilai faktor koreksi nya adalah $(C_\infty)^{-1} = 15,682$.

4.5.1 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase I dengan Batas Kontrol 101,113 dan 18,225.

Monitoring proses pertama dilakukan dengan menggunakan batas kontrol sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Reynolds dan Stoumbus (2008). Hasil monitoring variabilitas proses dan target proses Fase I di Pabrik 1B dengan batas kontrol 101,113 dan 18,225 ditunjukkan pada Gambar 4.1.



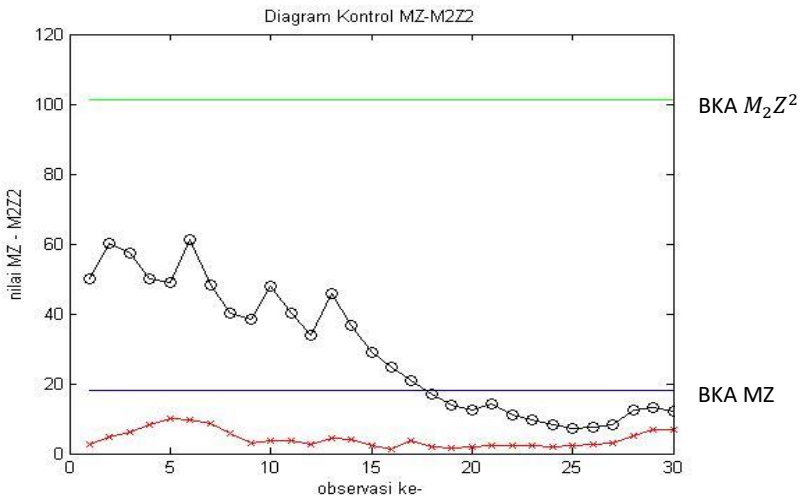
Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.1 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Berdasarkan diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa variabilitas proses belum terkontrol secara statistik. Hal ini ditunjukkan dengan terdapat satu pengamatan yang *out of control* yaitu titik keempat atau titik tersebut melebihi batas kendali atas (BKA) M_2Z^2 yaitu sebesar 101,113. Kondisi ini menyebabkan proses produksi pupuk urea di Pabrik 1B pada bulan Januari sampai dengan April 2017 belum stabil dari segi variabilitas proses. Sedangkan untuk target proses, berdasarkan diagram kontrol

MZ dan M_2Z^2 pada Gambar 4.1 menunjukkan target proses sudah terkontrol secara statistik. Hal ini dikarenakan tidak terdapat titik pengamatan yang *out of control* atau tidak ada titik yang melebihi batas kendali atas (BKA) MZ yaitu sebesar 18,225. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 1B pada bulan Januari hingga April 2017 belum stabil dari segi variabilitas proses dan sudah stabil dari segi target proses.

Untuk mendeteksi kestabilan proses pada fase II, proses produksi pada fase I harus terkontrol terlebih dahulu. Sehingga observasi *out of control* dihilangkan dari perhitungan untuk mendapatkan proses produksi yang terkontrol dan dilakukan perbaikan/*maintenance* setelah mengetahui penyebab titik pengamatan yang *out of control* di pabrik 1B. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan perusahaan, pada fase I pabrik 1B titik *out of control* disebabkan oleh kotornya *acoustic granulator* pada mesin *prilling tower* serta kotornya poridan pori urethane filter. Hasil pengontrolan setelah pengamatan *out of control* dihilangkan dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.2 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I Pengontrolan 1 (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa variabilitas proses dan target proses produksi pupuk urea di pabrik 1B fase I sudah terkontrol secara statistik setelah dilakukan pengontrolan dengan menghilangkan titik *out of control* dari perhitungan. Sehingga parameter *in control* pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 yang sudah terkontrol secara statistik yaitu matrik varian-kovarian dapat digunakan untuk membuat diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pabrik 1B pada fase II. Matrik varian-kovarian *in control* yang digunakan sebagai parameter untuk memonitor target proses pada fase II adalah sebagai berikut.

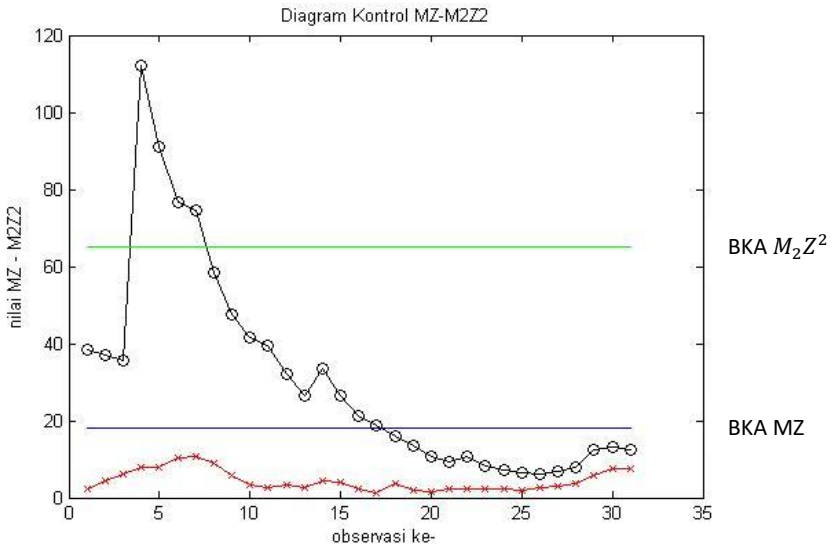
$$\Sigma_{z_0} = \begin{bmatrix} 1 & -0,25722 & -0,3231 & -0,1215 \\ -0,25722 & 1 & 0,6586 & 0,5161 \\ -0,3231 & 0,6586 & 1 & 0,2291 \\ -0,1215 & 0,5161 & 0,2291 & 1 \end{bmatrix}$$

Sedangkan matrik varian-kovarian yang digunakan untuk memonitor variabilitas proses pada fase II adalah sebagai berikut.

$$\Sigma_{z_0}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,0661 & 0,1043 & 0,0147 \\ 0,0661 & 1 & 0,4337 & 0,2663 \\ 0,1043 & 0,4337 & 1 & 0,0525 \\ 0,0147 & 0,2663 & 0,0525 & 1 \end{bmatrix}$$

4.5.2 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase I dengan Batas Kontrol 65,234 dan 18,125

Monitoring proses selanjutnya dilakukan dengan menggunakan batas kontrol pendekatan simulasi ARL. Pada simulasi dengan kriteria ARL, batas kontrol ditetapkan sedemikian hingga mendapatkan ARL 370 atau rata-rata titik yang harus diplotkan sehingga muncul titik *out of control* pertama. Setelah dilakukan simulasi didapatkan batas kontrol sebesar 18,125 untuk monitoring target proses dan 65,234 untuk monitoring variabilitas proses. Hasil monitoring variabilitas proses dan target proses Fase I di Pabrik 1B dengan batas kontrol 18,125 dan 65,234 ditunjukkan pada Gambar 4.3.

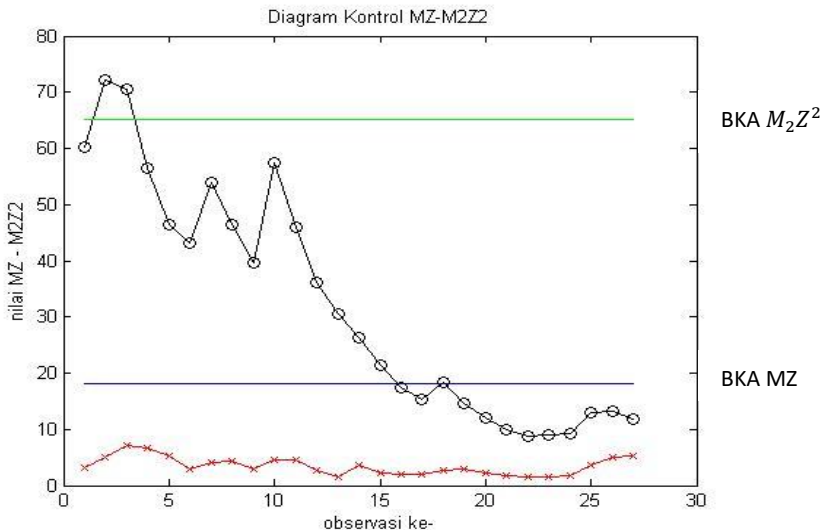


Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
 * titik nilai MZ

Gambar 4.3 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)

Diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa variabilitas proses belum terkontrol secara statistik. Hal ini ditunjukkan dengan terdapat beberapa pengamatan yang *out of control* atau titik tersebut melebihi batas kendali atas M_2Z^2 yaitu sebesar 65,234. Titik-titik tersebut yaitu titik ke- 4,5,6,7. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses produksi pupuk urea di Pabrik 1B pada bulan Januari sampai dengan April 2017 belum stabil dari segi variabilitas proses. Namun dari segi target proses, berdasarkan diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pada Gambar 4.3 menunjukkan target proses sudah terkontrol terkontrol secara statistik. Sehingga dapat disimpulkan dengan batas kontrol bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 1B pada bulan Januari hingga April 2017 belum stabil dari segi variabilitas proses dan sudah stabil dari segi target proses.

Untuk mendeteksi kestabilan proses pada fase II, proses produksi pada fase I harus terkontrol terlebih dahulu. Sehingga observasi *out of control* yang melewati batas M_2Z^2 dihilangkan dari perhitungan untuk mendapatkan proses produksi yang terkontrol dan dilakukan perbaikan/*maintenance* pada kondisi nyata setelah mengetahui penyebab titik pengamatan yang *out of control* di pabrik 1B. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan perusahaan, pada fase I pabrik 1B titik *out of control* disebabkan oleh kotornya *acoustic granulator* pada mesin *prilling tower* serta kotornya poridan pori urethane filter. Hasil pengontrolan pertama setelah pengamatan *out of control* dihilangkan dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.4

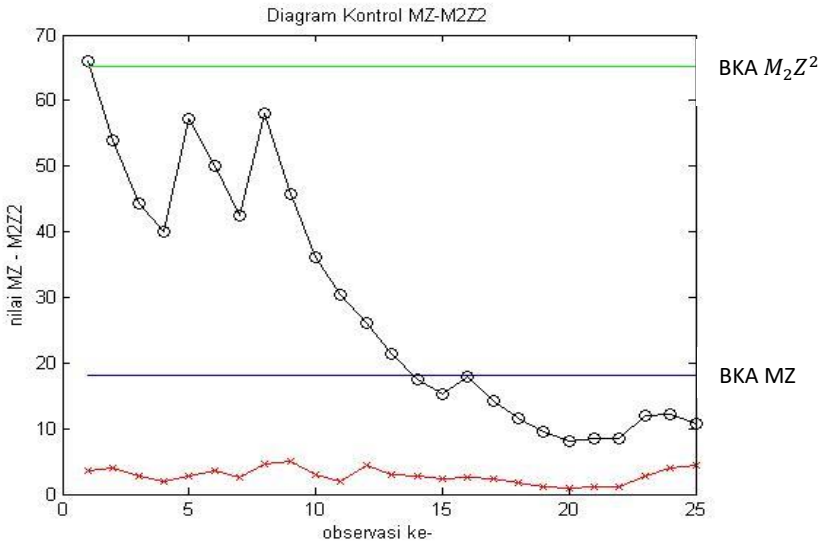


Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.4 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I Pengontrolan 1 (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)

Pada Gambar 4.4 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 menunjukkan variabilitas proses masih belum stabil atau belum terkontrol secara statistik karena terdapat dua titik yang melebihi batas kontrol M_2Z^2 dan target proses produksi pupuk urea di pabrik 1B fase I sudah

terkontrol secara statistik karena tidak terdapat pengamatan yang keluar batas MZ setelah dilakukan pengontrolan dengan mengidentifikasi penyebab *out of control*. Sehingga perlu dilakukan pengontrolan kembali untuk mendapatkan diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 yang sudah terkontrol secara statistik.

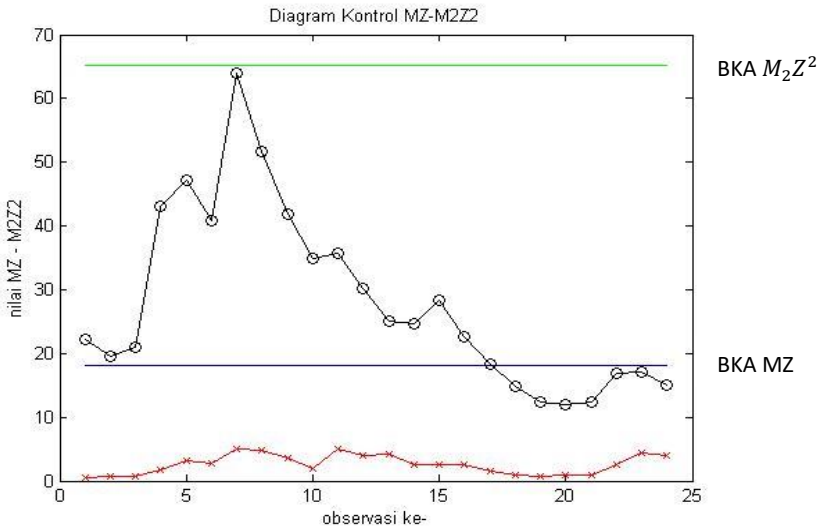


Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.5 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I Pengontrolan 2 (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)

Setelah dilakukan pengontrolan kedua, masih terdapat satu titik pengamatan yang melebihi batas kontrol M_2Z^2 . Hal ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 yang menyebabkan variabilitas proses pada pabrik 1B fase I belum terkontrol secara statistik. Sedangkan untuk target proses menunjukkan kondisi yang sangat stabil atau sudah terkontrol secara statistik. Namun parameter matrik varian-kovarian pada diagram kontrol ini belum bisa digunakan untuk memonitor proses pada fase II karena variabilitas proses belum

menunjukkan kondisi yang stabil, sehingga perlu dilakukan pengontrolan kembali terhadap variabilitas proses.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.6 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase I Pengontrolan 3
(Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa variabilitas proses dan target proses sudah terkontrol secara statistik pada pengontrolan ketiga, sehingga parameter *in control* pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 yang sudah terkontrol secara statistik yaitu matrik varian-kovarian dapat digunakan untuk membuat diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pabrik 1B pada fase II. Matrik variandan kovarian *in control* yang digunakan sebagai parameter untuk memonitor target proses pada fase II adalah sebagai berikut.

$$\Sigma_{z0} = \begin{bmatrix} 1 & -0,4248 & -0,3299 & -0,0074 \\ -0,4248 & 1 & 0,5040 & 0,4295 \\ -0,3299 & 0,5040 & 1 & -0,0218 \\ -0,0074 & 0,4295 & -0,0218 & 1 \end{bmatrix}$$

Sedangkan matrik varian-kovarian *in control* yang digunakan sebagai parameter untuk memonitor variabilitas proses pada fase II adalah sebagai berikut.

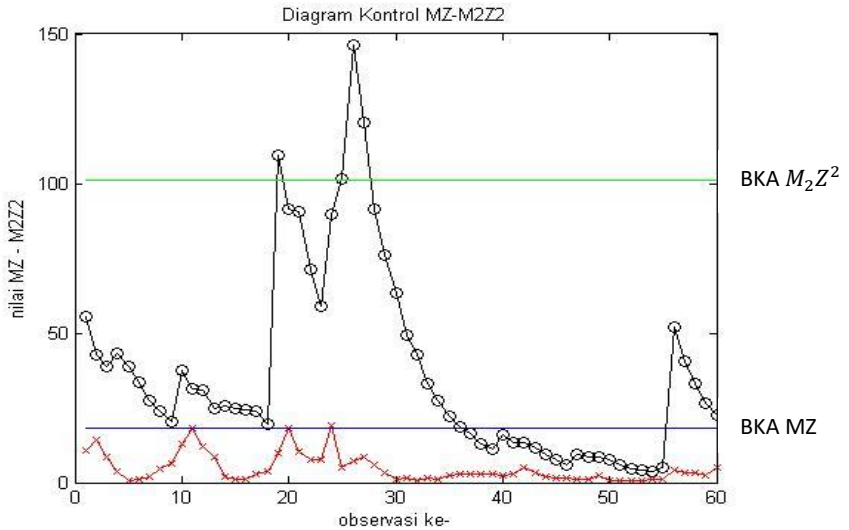
$$\Sigma_{Z_0}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,1805 & 0,1088 & 0,00005 \\ 0,1804 & 1 & 0,2541 & 0,1844 \\ 0,1088 & 0,2541 & 1 & 0,00047 \\ 0,00005 & 0,1844 & 0,00047 & 1 \end{bmatrix}$$

4.6 Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses pada Produksi Pupuk Urea di Pabrik 1B Fase II

Monitoring proses pada fase II dilakukan untuk melihat kestabilan proses setelah dilakukan *maintenance* mesin pada pabrik 1B yaitu proses produksi pada bulan April hingga Desember 2017. Pada monitoring proses fase II akan digunakan parameter dari fase I yaitu matrik varian-kovarian *in control*. Dengan menggunakan pembobot (λ) sebesar 0,11989, Batas kontrol yang digunakan sesuai dengan penelitian Reynolds dan Stoumbus (2008) untuk monitoring variabilitas proses atau batas kontrol atas M_2Z^2 adalah sebesar 101,113 dan batas kontrol yang digunakan untuk monitoring target proses atau batas kontrol MZ adalah sebesar 18,225. Selain itu akan digunakan batas kontrol dari hasil simulasi ARL yaitu sebesar 65,234 untuk monitoring variabilitas proses dan 21,925 untuk monitoring target proses.

4.6.1 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II dengan Batas Kontrol 101,113 dan 18,225.

Untuk melakukan monitoring proses pada fase II pabrik, digunakan parameter *in control* yaitu matriks varians - kovarians *in control*. Monitoring pertama dilakukan dengan menggunakan batas kontrol atas sesuai dengan penelitian Reynolds dan Stoumbus (2008) yaitu 101,113 untuk monitoring variabilitas proses dan 18,225 untuk monitoring target proses. Hasil monitoring variabilitas proses dan target proses Fase II di Pabrik 1B dengan batas kontrol 101,113 dan 18,225 ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.7 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase II (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 1B pada periode Mei sampai dengan Desember 2017 tidak stabil dari segi variabilitas proses dan target proses. Hal ini terlihat dari terdapat titik *out of control* berada diluar batas kendali atas pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 yang menunjukkan bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 1B pada periode April hingga Desember 2017 tidak terkontrol secara statistik. Titik *out of control* pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 ditunjukkan pada Tabel 4.7.

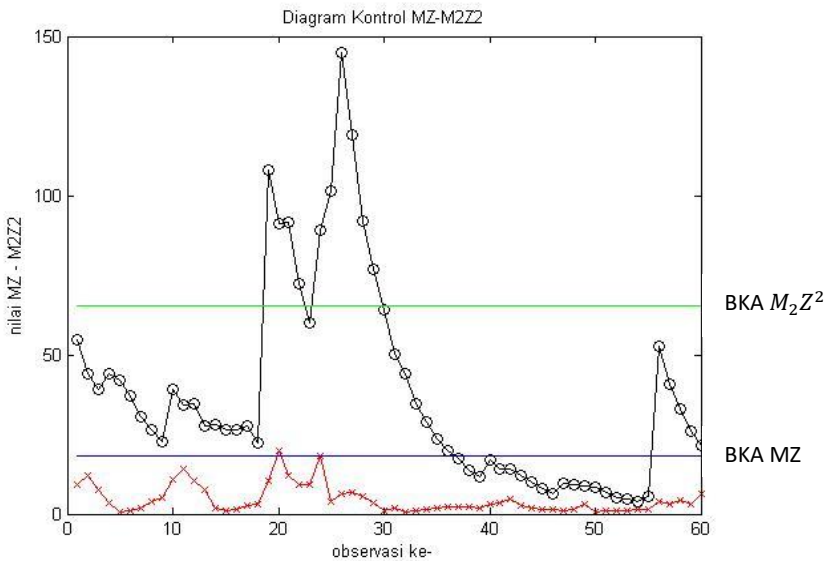
Tabel 4.7 Titik *out of control* Pada Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase II (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Diagram Kontrol	Titik <i>Out of Control</i>	Jumlah titik <i>out of control</i>
M_2Z^2	19,25,26,27	4
MZ	11,20,24	3

Tabel 4.7 menunjukkan terdapat banyak titik *out of control* yang berada diluar batas kendali atas M_2Z^2 dan batas kendali atas MZ. Sehingga menyebabkan proses pada fase II pabrik 1B belum stabil dari segi variabilitas proses dan target proses. Setelah melakukan *brainstorming* dengan perusahaan, penyebab ketidakstabilan proses pada fase II adalah faktor-faktor selain faktor mesin. Faktor-faktor ini akan dijelaskan pada Gambar 4.9.

4.6.2 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II dengan Batas Kontrol 65,234 dan 18,125.

Hasil monitoring variabilitas proses dan target proses Fase II di Pabrik 1B dengan batas kontrol 65,234 dan 18,125 ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.8 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase II (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 1B pada periode Mei sampai dengan Desember

2017 belum stabil dari segi variabilitas proses dan target proses. Hal ini terlihat dari terdapat titik *out of control* berada diluar batas kendali atas pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 yang menunjukkan bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 1B pada periode April hingga Desember 2017 tidak terkontrol secara statistik. Titik *out of control* pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Titik *out of control* Pada Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 1B Fase II (Batas Kontrol 65,234 dan 18,125)

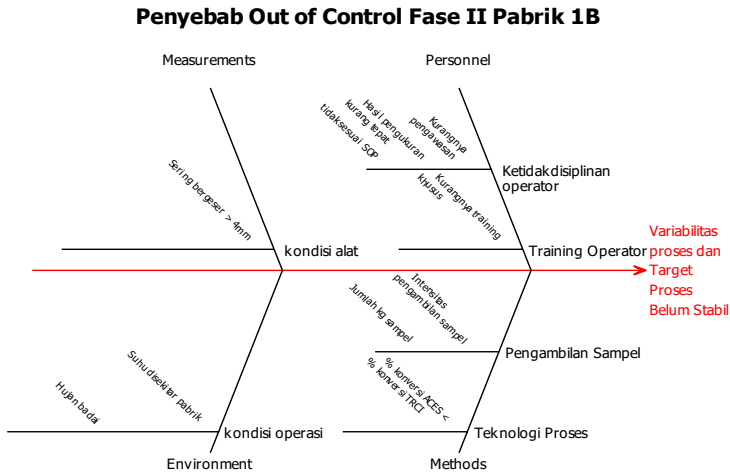
Diagram Kontrol	Titik <i>Out of Control</i>	Jumlah titik <i>out of control</i>
M_2Z^2	19,20,21,22,24,25,26,27,28,29	10
MZ	20	1

Tabel 4.8 menunjukkan terdapat 10 titik *out of control* yang berada diluar batas kendali atas M_2Z^2 dan satu titik berada diluar batas kendali atas MZ. Sehingga menyebabkan variabilitas proses dan target proses pada fase II pabrik 1B belum stabil.

4.7 Identifikasi Penyebab *Out of Control* di Pabrik 1B Fase II

Berdasarkan perhitungan nilai kontribusi relatif masing-masing variabel pada persamaan (2.19), variabel nitrogen, biuret, moisture, dan mesh -6+18 merupakan penyebab tidak stabilnya proses pada pabrik 1B. Setelah dilakukan *brainstorming* adanya titik *out of control* setelah dilakukan *maintenance* mesin dikarenakan oleh beberapa aspek yang dapat digambarkan dengan diagram *ishikawa* yaitu suatu grafik yang menggambarkan suatu hubungan antara masalah atau akibat dengan faktor-faktor penyebabnya. Diagram sebab akibat disusun dengan suatu urutan yang mengacu pada berlangsungnya suatu proses dengan tujuan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang menjadi penyebab terjadinya suatu masalah. Masalah pada proses produksi di Pabrik 1B fase II ini adalah tidak terkontrolnya variabilitas proses dan target proses yang ditandai dengan adanya titik *out of control* pada diagram kontrol M_2Z^2 dan MZ. Sehingga pada Gambar 4.9 menunjukkan aspek-aspek yang menyebabkan variabilitas proses maupun target proses belum terkontrol secara statistik setelah dilakukan *maintenance* mesin di pabrik 1B. Faktor-faktor tersebut antara lain faktor pengukuran (*measurement*), faktor

manusia (*personal*), faktor metode (*methods*) yang digunakan, dan faktor lingkungan (*environment*).



Gambar 4.9 Diagram *Ishikawa* Variabilitas dan Target Proses Tidak Terkontrol Pabrik 1B Fase II

Gambar 4.9 menunjukkan diagram *ishikawa* yang menggambarkan identifikasi penyebab variabilitas proses dan target proses tidak stabil pabrik 1B fase II. Pada faktor *measurement* kondisi alat ukur flow (ag) sering bergeser > 4mm padahal untuk kondisi alat ukur ini harus memiliki mata pisau dengan ukuran 4mm. Ketika alat ukur ini > 4mm akan menyebabkan ukuran urea yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Faktor manusia juga menjadi indikasi penyebab tidak stabilnya variabilitas proses dan target proses. Hal ini disebabkan oleh operator tidak melakukan pengukuran terhadap kondisi operasi pabrik sesuai dengan SOP, kurangnya pengawasan, dan kadang hasil pengukuran yang kurang tepat sehingga akan menyebabkan kondisi operasi pabrik yang tidak sesuai dengan *settingan*. Selain itu kurangnya training khusus yang diberikan kepada operator menjadi penyebab pada faktor manusia. Faktor lingkungan disebabkan oleh hujan badai yang pada periode April hingga Desember 2017 terjadi hujan badai di Palembang yang akan

mempengaruhi kondisi operasi di pabrik. Proses pada pabrik 1B menggunakan teknologi *Advanced Cost Energy and Energy Saving* (ACES). Metode ini memiliki nilai konversi sebesar 68% lebih kecil daripada teknologi *Total Recycle Cdan Improved* (TRCI) yang digunakan pada pabrik 3 yaitu sebesar 69%. Nilai %konversi yang besar akan mempengaruhi kuantitas dan kualitas urea yang terbentuk. Selain itu metode pengambilan sampel diantaranya jumlah kg sampel yang diambil serta intensitas pengambilan sampel juga merupakan penyebab pada faktor metode. Hasil *brainstorming* dengan perusahaan, kondisi alat ukur dan metode proses merupakan faktor yang paling dominan mempengaruhi variabilitas dan target proses tidak terkontrol secara statistik.

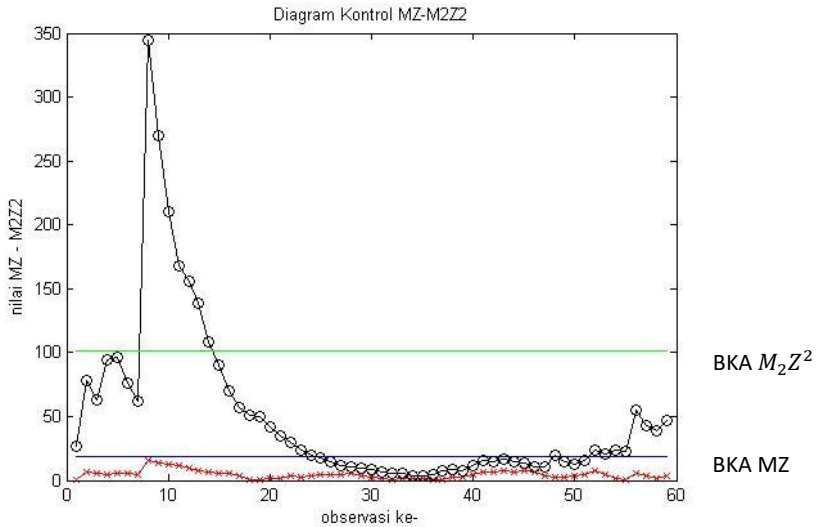
4.8 Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses pada Produksi Pupuk Urea di Pabrik 3 Fase I

Sama halnya dengan monitoring pada pabrik 1B fase I, pengontrolan pada pabrik 3 fase I dilakukan pengontrolan sampai menunjukkan proses yang terkontrol. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan parameter *in control* yaitu matrik varian-kovarian *in control* yang akan digunakan untuk melihat kestabilan proses pada fase II. Monitoring variabilitas proses dan target proses produksi pupuk urea di pabrik 3 fase I dilakukan dengan menggunakan batas kontrol sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Reynolds dan Stoumbus (2008) dan menggunakan batas kontrol hasil simulasi ARL. Dengan pembobot sebesar 0,11989 batas kontrol sesuai dengan penelitian Reynolds dan Stoumbus (2008) adalah sebesar 18,225 untuk monitoring target proses dan 101,113 untuk monitoring variabilitas proses. Sedangkan dengan simulasi ARL sebesar 370, batas kontrol yang digunakan sebesar 11,213 untuk monitoring target proses dan 75,175 untuk monitoring variabilitas proses. Pada monitoring variabilitas proses, diperlukan perhitungan untuk mendapatkan nilai M_2Z^2 . Sebagai contoh akan digunakan data pada observasi pertama fase I pabrik 3 untuk monitoring proses yaitu $X_1 = [46,49 \ 0,31 \ 0,42 \ 98,3]$ kemudian dapat nilai standardized kuadrat $Z_1^2 = [1,4492 \ 1,8451 \ 0,0231 \ 0,2214]$. Setelah itu dengan

menggunakan rumus pada persamaan 2.15 diperoleh nilai EWMA yaitu didapatkan $E_1^2 = [1,0538 \quad 1,1013 \quad 0,8828 \quad 0,9066]$ Sehingga didapatkan nilai statistik MEWMA $M_{21}^Z = 27,004$ sesuai persamaan 2.17, dimana nilai faktor koreksi untuk membuat statistik MEMWA $(2C_\infty)^{-1} = \left(2\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)\right)^{-1} = \left(2\left(\frac{0,11989}{2-0,11989}\right)\right)^{-1} = 7,84098$ dan sebagai contoh perhitungan dalam monitoring target proses diperlukan perhitungan untuk mendapatkan nilai MZ. Sebagai contoh digunakan data observasi pertama pada fase I pabrik 3 PT Pupuk Sriwidjaja Palembang yaitu $X_1 = [46,49 \quad 0,31 \quad 0,42 \quad 98,3]$, kemudian nilai setelah dilakukan standardized pada observasi pertama didapat sebesar $Z_1 = [1,2038 \quad -1,3583 \quad 0,1521 \quad -0,4706]$ dan sesuai pada persamaan 2.12 diperoleh statistik untuk mendapatkan titik EWMA yaitu sebesar $E_1 = [0,1443 \quad -0,1628 \quad 0,0182 \quad -0,0564]$. Sehingga seperti pada persamaan 2.13, didapatkan nilai $M_1^2 = 0,9499$ dan faktor koreksi nya sebesar $(C_\infty)^{-1} = 15,682$.

4.8.1 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase I dengan Batas Kontrol 101,113 dan 18,225.

Monitoring proses pertama dilakukan dengan menggunakan batas kontrol sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Reynolds dan Stoumbus (2008). Monitoring variabilitas proses produksi pupuk urea di Pabrik 3 fase I dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol M_2Z^2 , sedangkan monitoring target proses produksi pupuk urea di Pabrik 3 fase I dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol MZ. Monitoring proses pertama dilakukan dengan menggunakan batas kontrol 101,113 dan 18,225. Hasil monitoring variabilitas proses dan target proses Fase I di Pabrik 3 dengan batas kontrol 101,113 dan 18,225 ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

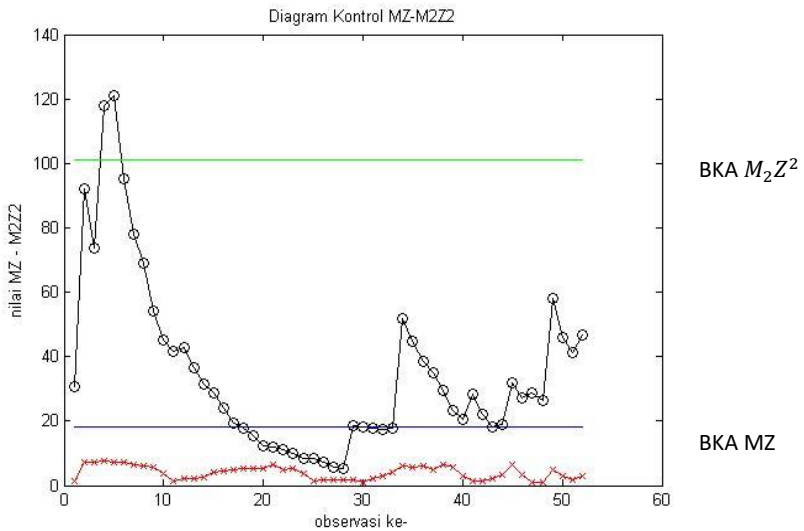
Gambar 4.10 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa terdapat titik yang *out of control* yang melewati batas kendali atas M_2Z^2 yaitu sebesar 101,113. Titik dan titik *out of control* tersebut yaitu pada titik ke-8, 9, 10, 11, 12, 13, 14. Hal ini menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pupuk urea di pabrik 3 periode Januari hingga Juni 2017 belum terkontrol secara statistik. Sedangkan untuk target proses produksi pupuk urea di pabrik 3 periode Januari hingga Juni 2017 sudah terkontrol secara statistik. Hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya titik yang *out of control* atau melebihi batas kendali atas MZ yaitu sebesar 18,225. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 3 belum stabil dari segi variabilitas proses dan sudah stabil dari segi target proses pada periode Januari sampai dengan Juni 2017.

Setelah mengetahui titik pengamatan yang keluar batas kendali atas M_2Z^2 , selanjutnya adalah mengidentifikasi penyebab *out of*

control yang menyebabkan variabilitas proses tidak terkendali secara statistik dan kemudian dilakukan perbaikan terhadap mesin yang menunjang proses produksi pupuk urea di pabrik 3. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan perusahaan, pada fase I pabrik 3 titik *out of control* disebabkan oleh adanya indikasi kebocoran pada air heater EC-301, kotornya poridan pori urethane filter, serta kotornya *acoustic granulator* pada *prilling tower* yang menyebabkan variabilitas proses tidak terkendali secara statistik.

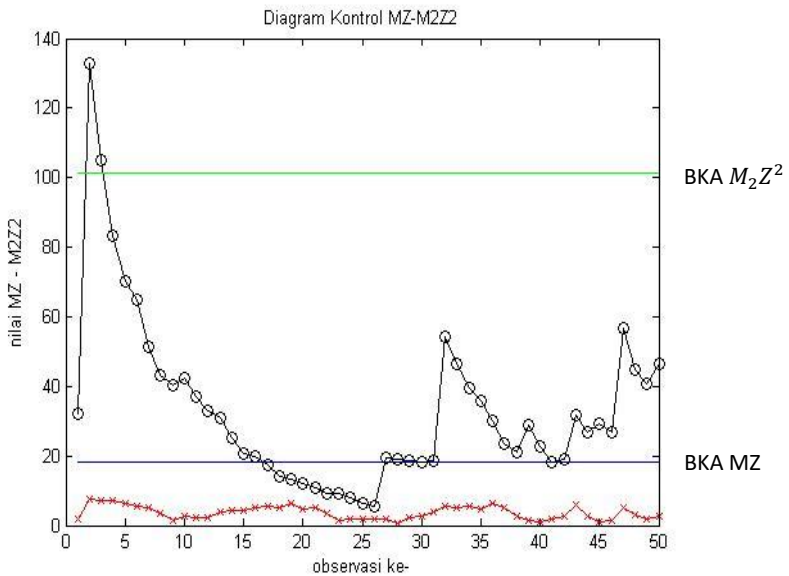
Untuk mengontrol kestabilan proses produksi fase II, proses produksi pada fase I harus terkontrol terlebih dahulu. Sehingga observasi *out of control* dihilangkan dari perhitungan untuk mendapatkan proses produksi yang terkontrol. Hasil pengontrolan setelah pengamtan *out of control* dihilangkan dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.11 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I Pengontrolan I (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa variabilitas proses di pabrik 3 fase I belum terkontrol secara statistik setelah dilakukan pengontrolan dengan mengidentifikasi penyebab *out of control*. Sedangkan untuk target proses sudah terkendali secara statistik. Sehingga perlu dilakukan pengontrolan kembali untuk mendapatkan parameter *in control*. Pengontrolan dilakukan dengan tidak mengikutsertakan titik pengamatan yang *out of control* atau titik yang melebihi batas kontrol atas M_2Z^2 dalam membuat diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 yang baru.

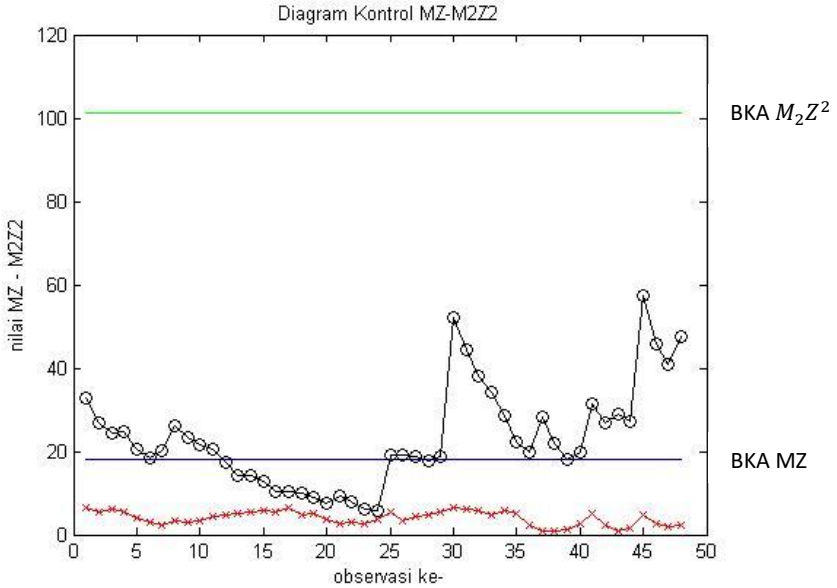


Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.12 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I Pengontrolan 2
(Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Setelah dilakukan pengontrolan kedua, variabilitas proses pada pabrik 3 fase I masih belum terkontrol secara statistik. Hal ini ditunjukkan terdapat titik yang melewati batas kendali atas M_2Z^2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12. Sedangkan pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa target proses sudah terkendali secara statistik.

Hal ini dapat ditunjukkan dengan tidak adanya titik pengamatan yang keluar batas kontrol MZ. Hasil ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan pengontrolan kembali untuk mendapatkan parameter *in control* yang dapat digunakan untuk memonitor proses pada fase II.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.13 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I Pengontrolan 3 (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa variabilitas proses dan target proses produksi pupuk urea di pabrik 3 fase I sudah terkontrol secara statistik setelah dilakukan pengontrolan dengan mengidentifikasi penyebab *out of control*. Sehingga parameter *in control* pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 yang sudah terkontrol secara statistik yaitu matrik varian-kovarian dapat digunakan untuk membuat diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pabrik 3 pada fase II. Matrik varian-kovarian *in control* yang

digunakan sebagai parameter untuk memonitor target proses pada fase II adalah sebagai berikut.

$$\Sigma_{z_0} = \begin{bmatrix} 1 & -0,2541 & -0,8931 & 0,1069 \\ -0,2541 & 1 & 0,1126 & -0,2643 \\ -0,8931 & 0,1126 & 1 & -0,1056 \\ 0,1069 & -0,2643 & -0,1056 & 1 \end{bmatrix}$$

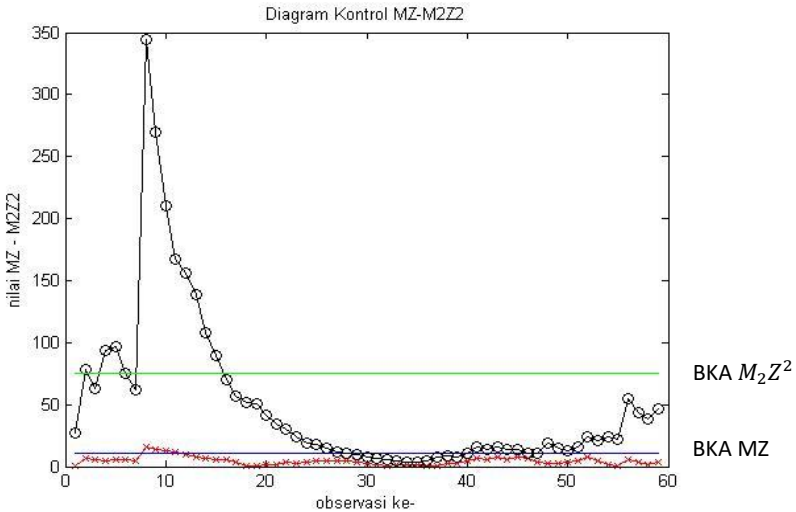
Sedangkan matrik varian-kovarian yang digunakan untuk memonitor variabilitas proses pada fase II adalah sebagai berikut.

$$\Sigma_{z_0}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,0645 & 0,7977 & 0,0114 \\ 0,0645 & 1 & 0,0126 & 0,0699 \\ 0,7977 & 0,0126 & 1 & 0,0111 \\ 0,0114 & 0,0699 & 0,0111 & 1 \end{bmatrix}$$

4.8.2 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase I dengan Batas Kontrol 75,175 dan 11,213

Selanjutnya dilakukan monitoring proses yaitu variabilitas proses dan target proses dengan menggunakan diagram kontrol M_2Z^2 untuk monitoring variabilitas proses dan diagram kontrol MZ untuk monitoring target proses yang memiliki batas kontrol atas yang didapatkan dari pendekatan simulasi *Average Run Length* (ARL). Pada simulasi dengan kriteria *Average Run Length* (ARL), batas kontrol ditetapkan sedemikian hingga mendapatkan ARL 370 atau rata-rata titik yang harus diplotkan sehingga muncul titik *out of control* pertama. Simulasi dilakukan dengan menetapkan beberapa batas kontrol. Setelah dilakukan simulasi didapatkan batas kontrol sebesar 11,213 untuk diagram kontrol MZ yang digunakan untuk monitoring target proses dan 75,175 untuk diagram kontrol M_2Z^2 yang digunakan untuk monitoring variabilitas proses.

Hasil monitoring variabilitas proses dan target proses Fase I di Pabrik 3 dengan batas kontrol 75,175 dan 11,213 ditunjukkan pada Gambar 4.14.



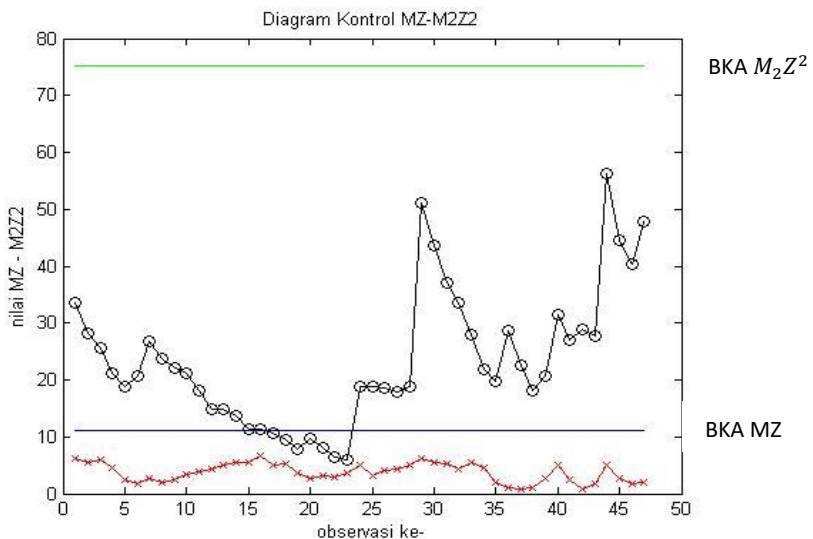
Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.14 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I (Batas Kontrol 75,175 dan 11,213)

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa terdapat titik yang *out of control* yang melewati batas kendali atas M_2Z^2 yaitu sebesar 75,175. Titik dan titik *out of control* tersebut yaitu pada titik ke-2,4,5,6,8,9,10,11,12,13,14,15. Hal ini menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pupuk urea di pabrik 3 periode Januari hingga Juni 2017 belum terkontrol secara statistik. Selain itu tidak stabilnya variabilitas proses dapat dilihat dari pola titik pengamatan yang diplotkan pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 . Sama halnya dengan variabilitas proses, target proses produksi pupuk urea di pabrik 3 periode Januari hingga Juni 2017 belum terkontrol secara statistik. Hal ini ditunjukkan dengan adanya titik yang *out of control* atau melebihi batas kendali atas MZ yaitu sebesar 11,213. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 3 belum stabil dari segi variabilitas proses dan target proses pada periode Januari sampai dengan Juni 2017.

Setelah mengetahui titik pengamatan yang keluar batas kendali atas M_2Z^2 , selanjutnya adalah mengidentifikasi penyebab *out of control* yang menyebabkan variabilitas proses dan target proses tidak terkendali secara statistik dan kemudian dilakukan perbaikan terhadap mesin yang menunjang proses produksi pupuk urea di pabrik 3. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan perusahaan, pada fase I pabrik 3 titik *out of control* disebabkan oleh adanya indikasi kebocoran pada air heater EC-301, kotornya poridan pori urethane filter, serta kotornya *acoustic granulator* pada *prilling tower*.

Untuk mengontrol kestabilan proses produksi fase II, proses produksi pada fase I harus terkontrol terlebih dahulu. Sehingga observasi *out of control* dihilangkan dari perhitungan untuk mendapatkan proses produksi yang terkontrol. Hasil pengontrolan setelah pengamatan *out of control* dihilangkan dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 4.15



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

Gambar 4.15 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase I Pengontrolan 1 (Batas Kontrol 75,175 dan 11,213)

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa variabilitas proses dan target proses sudah terkontrol secara statistik pada pengontrolan ketiga, Sehingga parameter *in control* pada diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 yang sudah terkontrol secara statistik yaitu matrik varian-kovarian dapat digunakan untuk membuat diagram kontrol MZ dan M_2Z^2 pabrik 3 pada fase II. Matrik variandan kovarian *in control* yang digunakan sebagai parameter untuk memonitor target proses pada fase II adalah sebagai berikut.

$$\Sigma_{z0} = \begin{bmatrix} 1 & -0,2221 & -0,8954 & 0,0696 \\ -0,2221 & 1 & 0,0773 & -0,2659 \\ -0,8954 & 0,0773 & 1 & -0,0606 \\ 0,0696 & -0,2659 & -0,0606 & 1 \end{bmatrix}$$

Sedangkan matrik varian-kovarian *in control* yang digunakan sebagai parameter untuk memonitor variabilitas proses pada fase II adalah sebagai berikut.

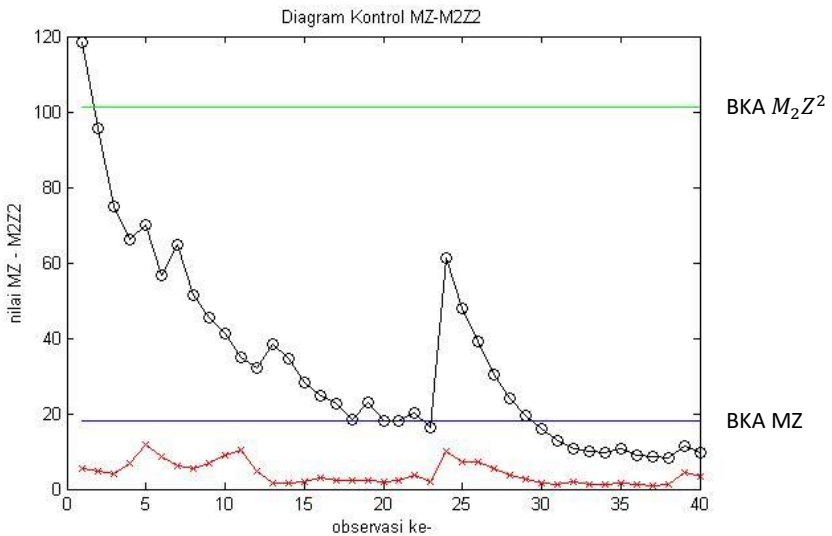
$$\Sigma_{z0}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,0493 & 0,8018 & 0,0048 \\ 0,0493 & 1 & 0,0059 & 0,0707 \\ 0,8018 & 0,0059 & 1 & 0,0036 \\ 0,0048 & 0,0707 & 0,0036 & 1 \end{bmatrix}$$

4.9 Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses pada Produksi Pupuk Urea di Pabrik 3 Fase II

Monitoring proses pada fase II dilakukan untuk melihat kestabilan proses setelah dilakukan *maintenance* mesin pada pabrik 3 yaitu proses produksi pada bulan Juli 2017 hingga Desember 2017. Pada monitoring proses fase II akan digunakan parameter dari fase I yaitu matrik varian-kovarian *in control*. Dengan menggunakan pembobot (λ) sebesar 0,11989, Batas kontrol yang digunakan sesuai dengan penelitian Reynolds dan Stoumbus (2008) untuk monitoring variabilitas proses atau batas kontrol atas M_2Z^2 adalah sebesar 101,113 dan batas kontrol yang digunakan untuk monitoring target proses atau batas kontrol MZ adalah sebesar 18,225. Selain itu akan digunakan batas kontrol dari hasil simulasi ARL yaitu sebesar 75,175 untuk monitoring variabilitas proses dan 11,213 untuk monitoring target proses.

4.9.1 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II dengan Batas Kontrol 101,113 dan 18,225.

Hasil monitoring variabilitas proses dan target proses Fase II di Pabrik 3 dengan batas kontrol 101,113 dan 18,225 ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

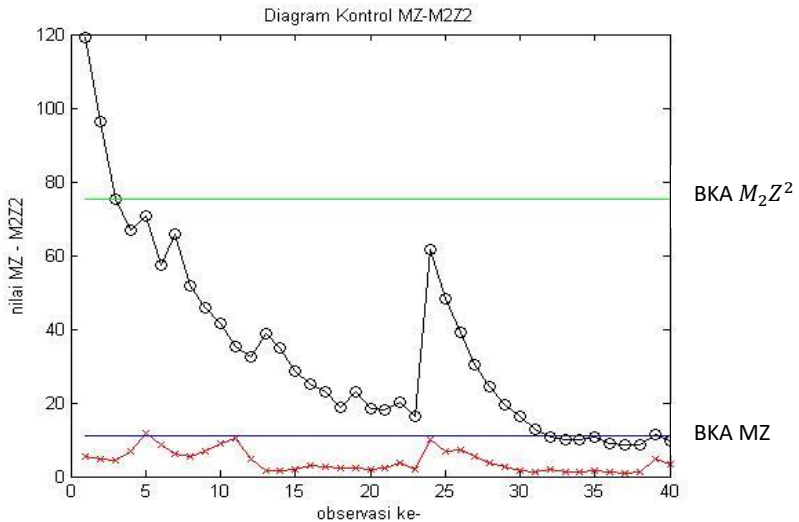
Gambar 4.16 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase II (Batas Kontrol 101,113 dan 18,225)

Berdasarkan Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa proses produksi pupuk urea di pabrik 3 pada periode Juli sampai dengan Desember 2017 tidak stabil dari segi variabilitas proses dan sudah stabil dari segi target proses. Hal ini terlihat dari terdapat titik *out of control* yaitu titik pertama berada diluar batas kendali atas pada diagram kontrol M_2Z^2 yang menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pupuk urea di pabrik pada periode Juli hingga Desember 2017 tidak terkontrol secara statistik. Hasil *brainstorming* dengan perusahaan terdapat beberapa faktor yang menyebabkan tidak stabil nya variabilitas proses

fase fase II pabrik 3. Faktor-faktor tersebut akan ditunjukkan pada Gambar 4.18

4.9.2 Hasil Monitoring Variabilitas Proses dan Target Proses Fase II dengan Batas Kontrol 75,175 dan 11,213.

Hasil monitoring variabilitas proses dan target proses Fase II di Pabrik 3 dengan batas kontrol 75,175 dan 11,213 ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Ket : ○ titik nilai M_2Z^2
* titik nilai MZ

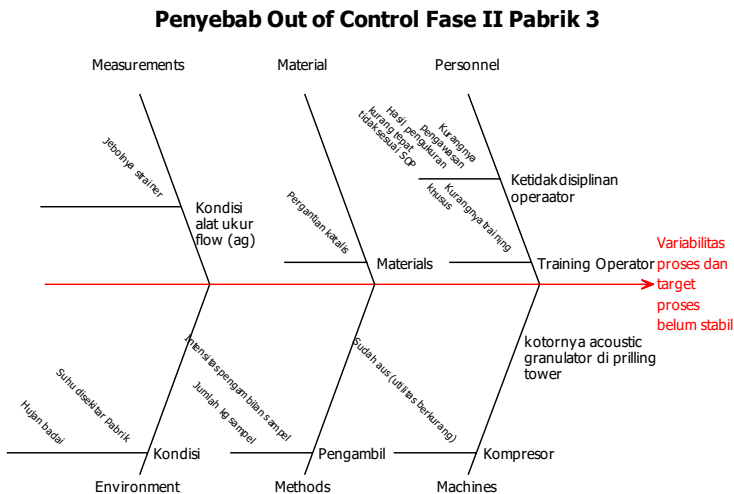
Gambar 4.17 Diagram Kontrol MZ dan M_2Z^2 Pabrik 3 Fase II (Batas Kontrol 75,175 dan 11,213)

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa variabilitas proses tidak terkontrol secara statistik setelah dilakukan *maintenance* mesin. Terdapat tiga titik yang melewati batas kontrol M_2Z^2 yaitu titik ke-1,2, dan 3, sehingga menyebabkan tidak stabil nya variabilitas proses. Berdasarkan Gambar 4.17 juga apat dilihat bahwa target proses pada fase II atau setelah dilakukan *maintenance* mesin tidak terkontrol secara statistik. Hal ini disebabkan oleh keluar nya titik pengamatan keenam pada fase II pabrik 3 sehingga target proses nya belum stabil.

Setelah dilakukan *brainstorming* adanya titik *out of control* setelah dilakukan *maintenance* mesin dikarenakan oleh beberapa aspek selain aspek mesin yang digambarkan dengan diagram *ishikawa* pada Gambar 4.18. Aspek-aspek tersebut meliputi aspek pengukuran (*measurement*), aspek material, aspek manusia (*personal*), aspek lingkungan (*envionment*).

4.10 Identifikasi Penyebab *Out of Control* di Pabrik 3 Fase II

Berdasarkan perhitungan nilai kontribusi relatif masing-masing variabel pada persamaan (2.19), variabel nitrogen dan moisture merupakan penyebab tidak stabil nya proses pada pabrik 3. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan perusahaan, penyebab titik *out of control* di Pabrik 3 fase II dapat ditunjukkan oleh diagram *ishikawa* pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Diagram *Ishikawa* Variabilitas Proses dan Target Proses Tidak Terkontrol Pabrik 3 Fase II

Gambar 4.18 menunjukkan diagram *ishikawa* yang menggambarkan identifikasi penyebab variabilitas proses target proses tidak stabil pabrik 3 fase II. Pergantian katalis pada faktor

material membuat reaksi untuk mencapai kesetimbangan membutuhkan waktu yang lama. Pada faktor *measurment* adanya indikasi jebolnya strainer didalam alat ukur (ag) yang menyebabkan urea akan mengumpul menjadi bongkahan dalam ag. Faktor manusia juga menjadi indikasi penyebab tidak stabilnya variabilitas proses Hal ini disebabkan oleh operator tidak melakukan pengukuran terhadap kondisi operasi pabrik sesuai dengan SOP, kurangnya pengawasan, serta kurangnya training khusus sehingga akan menyebabkan kondisi operasi pabrik yang tidak sesuai dengan *settingan*. Faktor lingkungan disebabkan oleh hujan badai yang pada periode Juli hingga Desember 2017 terjadi hujan badai di Palembang yang akan mempengaruhi kondisi operasi di pabrik. Selain itu suhu disekitar pabrik juga menjadi faktor lingkungan. Metode pengambilan sampel yaitu intensitas pengambilan sampel serta jumlah kg sampel yang diambil menjadi penyebab pada faktor metode. Kondisi kompresor yang sudah aus dan kotornya *acoustic granulator* pada *prilling tower* juga menjadi indikasi penyebab tidak stabilnya variabilitas proses dan target proses pada faktor mesin. Berdasarkan hasil *brainstorming* dengan pihak perusahaan, faktor *measurment*, faktor mesin, dan metode merupakan penyebab yang paling dominan mempengaruhi variabilitas target proses tidak terkontrol secara statistik atau tidak stabil pada pabrik 3.

4.11 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk Urea di Pabrik 1B

Analisis kapabilitas proses dilakukan untuk mengetahui secara keseluruhan kinerja dari proses produksi pupuk urea. Proses produksi pupuk urea di pabrik 1B dikatakan kapabel jika keseluruhan pengukuran yang dihasilkan telah berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan. Indeks yang digunakan untuk mengukur kapabilitas proses dalam penelitian adalah Cp dan Cpk jika proses telah terkendali secara statistik dan indeks Pp dan Ppk digunakan ketika proses tidak terkendali secara statistik. Pada pengontrolan fase I di pabrik 1B diketahui bahwa proses telah terkendali secara statistik baik dari segi variabilitas proses maupun target proses. Hal ini dikarenakan setelah dilakukan identifikasi penyebab *out of control*, diagram MZ dan M_2Z^2 menunjukkan tidak ada pengamatan yang keluar batas kendali.

Sedangkan pada pengontrolan fase II di pabrik 1B, dengan menggunakan parameter *in control* pada fase I yaitu matriks varians kovarians Σ_{z0} dan Σ_{z0}^2 diketahui bahwa proses belum stabil dari segi variabilitas proses maupun target proses sehingga untuk menghitung kapabilitas proses digunakan indeks Pp dan Ppk.

Tabel 4.9 Kapabilitas Proses Secara Univariat Pabrik 1B

Variabel	Pp	Ppk
Nitrogen	1,58	0,95
Biuret	0,67	0,57
<i>Moisture</i>	0,73	0,16
Mesh -6+18	0,64	0,62

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada Tabel 4.9, selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat dengan indeks MPp dan MPk sesuai persamaan (2.27) dan persamaan (2.28) untuk mengukur kinerja proses pada pabrik 1B.

Tabel 4.10 Kapabilitas Proses Multivariat Pabrik 1B

Variabel	Bobot	MPp	MPpk
Nitrogen	0,25		
Biuret	0,25	0,905	0,575
<i>Moisture</i>	0,25		
Mesh -6+18	0,25		

Tabel 4.10 menunjukkan nilai indeks kapabilitas proses secara multivariat dan bobot untuk setiap karakteristik kualitas pupuk urea. Menurut Raissi (2009), jumlah bobot untuk keseluruhan karakteristik kualitas adalah satu. Menurut perusahaan, 4 karakteristik kualitas memiliki tingkat kepentingan yang sama dalam mengukur kualitas pupuk urea sehingga digunakan bobot yang sama untuk masing-masing karakteristik kualitas yaitu 0,25. Berdasarkan Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa tingkat presisi dan akurasi kualitas pupuk urea dari proses produksi di pabrik 1B belum baik, walaupun nilai indeks MPp mendekati 1. Hal ini dikarenakan nilai indeks MPp dan MPpk bernilai

dibawah 1. Sehingga kinerja proses produksi pada pabrik 1B belum kapabel.

4.12 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk Urea di Pabrik 3

Perhitungan kapabilitas proses produksi pupuk urea di pabrik 3 sama dengan perhitungan kapabilitas yang dilakukan pada pabrik 1B. Pada pengontrolan fase I di pabrik diketahui bahwa proses telah terkendali secara statistik baik dari segi variabilitas proses maupun target proses. Hal ini dikarenakan setelah dilakukan identifikasi penyebab *out of control*, diagram MZ dan M_2Z^2 menunjukkan tidak ada pengamatan yang keluar batas kendali. Sedangkan pada pengontrolan fase II di pabrik 1B, dengan menggunakan parameter *in control* pada fase I yaitu matriks varians kovarians Σ_{Z0} dan Σ_{Z0}^2 diketahui bahwa proses belum stabil dari segi variabilitas proses maupun target proses sehingga untuk menghitung kapabilitas proses digunakan indeks Pp dan Ppk.

Tabel 4.11 Kapabilitas Proses Univariat Pabrik 3

Variabel	Pp	Ppk
Nitrogen	1,81	1,31
Biuret	0,7	0,58
Moisture	0.33	0.32
Mesh -6+18	0.48	0.33

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada Tabel 4.11, selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat dengan MPp dan MPk sesuai persamaan (2.27) dan persamaan (2.28) untuk mengukur kinerja proses pada pabrik 3.

Tabel 4.12 Kapabilitas Proses Multivariat Pabrik 3

Variabel	Bobot	MPp	MPpk
Nitrogen	0,25		
Biuret	0,25	0,830	0,635
Moisture	0,25		
Mesh -6+18	0,25		

Tabel 4.12 menunjukkan nilai indeks kapabilitas proses secara multivariat dan bobot untuk setiap karakteristik kualitas pupuk urea. Menurut Raissi (2009), jumlah bobot untuk kesesluruhan karakteristik kualitas adalah satu. Menurut perusahaan, 4 karakteristik kualitas memiliki tingkat kepentingan yang sama dalam mengukur kualitas pupuk urea sehingga digunakan bobot yang sama untuk masing-masing karakteristik kualitas yaitu 0,25. Berdasarkan Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa tingkat presisi dan akurasi kualitas pupuk urea dari proses produksi di pabrik 3 belum baik. Hal ini dikarenakan nilai indeks MPP dan MPpk bernilai dibawah 1. Sehingga kinerja proses produksi pada pabrik 3 belum kapabel.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada Bab IV dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan batas kontrol sesuai dengan kriteria ATS dan kriteria ARL, variabilitas proses dan target proses sudah terkontrol secara statistik atau sudah stabil pada fase I setelah dilakukan identifikasi terhadap penyebab titik *out of control* di pabrik 1B dan pabrik 3. Hasil *brainstorming* yang sudah dilakukan dengan pihak perusahaan, penyebab titik *out of control* pada Pabrik 1B disebabkan karena kotornya pori-pori urethane filter dan kotornya *acoustic granulator*. Sedangkan pada Pabrik 3, penyebab titik *out of control* disebabkan oleh adanya indikasi kebocoran pada *air heater* EC-301, kotornya urethane filter, dan kotornya *acoustic granulator* pada *prilling tower*.

Hasil monitoring pada fase II menggunakan parameter *in control* pada fase I yaitu matrik varian-kovarian Σ_{Z0} dan Σ_{Z0}^2 pada Pabrik 1B menunjukkan variabilitas proses dan target proses belum terkontrol secara statistik baik menggunakan batas kontrol sesuai kriteria *Average Time To Signal* dan *Average Run Length*. Hasil *brainstorming* dengan perusahaan, kondisi alat ukur dan metode proses merupakan faktor yang paling dominan mempengaruhi variabilitas dan target proses tidak terkontrol secara statistik.

Pada monitoring fase II di Pabrik 3 menunjukkan bahwa proses belum stabil dari segi variabilitas proses dan sudah stabil dari segi target proses dengan menggunakan batas kontrol sesuai *Average Time To Signal*. Sedangkan dengan menggunakan batas kontrol sesuai kriteria *Average Run Length* proses menunjukkan belum stabil baik dari segi variabilitas proses dan target proses. Hasil *brainstorming* dengan perusahaan, beberapa indikasi penyebab tidak stabilnya variabilitas proses dan target proses yang paling dominan adalah kondisi alat ukur yang digunakan, kondisi kompresor yang sudah aus, dan metode dalam pengambilan sampel.

Hasil perhitungan kapabilitas proses menunjukkan bahwa secara multivariat kinerja proses produksi pupuk urea di Pabrik 1B PT Pupuk Sriwidjaja Palembang belum kapabel dari tingkat presisi dan akurasi karena nilai indeks kinerja proses MPp dan MPpk bernilai kurang dari satu yaitu sebesar 0,905 dan 0,575. Sedangkan pada Pabrik 3, secara multivariat kinerja proses produksi pupuk urea juga belum kapabel dari tingkat presisi dan akurasi karena nilai indeks kinerja proses MPp 0,830 dan MPpk 0,635 kurang dari 1.

5.2 Saran

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

1. Perusahaan diharapkan dapat menggunakan diagram kontrol kombinasi MEWMA sebagai alternatif dalam monitoring proses produksi pupuk urea dengan mempertimbangkan batas kontrol atas yang digunakan pada penelitian ini.
2. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat melanjutkan penelitian dengan *measurement system analysis* (MSA) terkait alat ukur yang digunakan oleh perusahaan
3. Perusahaan diharapkan dapat melakukan peninjauan terkait hasil analisis terhadap perbandingan kestabilan proses produksi pupuk urea dan kinerja proses produksi pupuk urea di Pabrik 1B dan Pabrik 3 PT Pupuk Sriwidjaja Palembang.
4. Berdasarkan *out of control action plan* (OCAP), untuk meminimalisir ketidakstabilan variabilitas proses, perusahaan dapat memberikan pelatihan kepada operator yang melakukan pengukuran terhadap kondisi operasi pabrik. Selain itu, perusahaan dapat melakukan peninjauan terhadap teknologi proses dalam kaitannya dengan kualitas pupuk.
5. Sedangkan untuk meminimalisir ketidakstabilan target proses, perusahaan dapat melakukan pengecekan berkala terhadap kondisi operasi di pabrik agar *setting* kondisi operasi tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Alva, Jose. A.V & Estrada, E.Gonzales. (2009). A Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality. *Communication in Statistics-Theory and Methods*, Vol 38, Issue 11, 1870-1883.
- Bahman ZareNezhad. (2007). Effects of Process Variables on the Caking Tendency of Prilled Urea in the Warehouse of Urea Production Plants. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 42,1,45-50.
- Garcia Barneto, A. and Ariza Carmona, J. (2007). Moisture Profile Determination in Urea Prill II Fertiliser Caking Implications. *Journal Science Food Agriculture.*, 87:1917-1924.
- Garvin, D.A. (2001). *Managing Quality*. Harvard: Harvard Business School
- Gazpersz, V. (2002). *Total Quality Management*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Heizer, J., & Render, B. (2006). *Operations Management Eight Edition*. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Johnson, R., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis Sixth Edition*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Lowry, C.A., Woodall, W.H., Champ, C.W., and Rigdon, S.E. (1992). A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Technometrics*, 34. Pp. 46-53.
- Mark S. Felice & Mark B. Freilich. (1978). Chemical Kinetics: The Effect of Surface Area on Reaction Rate. *Journal of Chemical Education*, 55, 34.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. New York: John Wiley and Sons: Arizona State University.
- Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods* (3rd ed). New Jersey, USA: McGraw-Hill, Inc.

- PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. (2013). <http://www.pusri.co.id> diakses pada tanggal 4 Februari 2018.
- Pupuklopedia. (2014). <http://pupuklopedia.blogspot.com/2014/06/kandungan-pupuk-urea.html> diakses pada tanggal 4 Februari 2018.
- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on the Presence of Priority for Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, Vol. 5, No 9, 27-36.
- Rencher, A. C. (2002). *Methods of Multivariate Analysis*. Amerika: John Wiley and Sons, Inc.
- Reynolds, M.R & Cho, G.H. (2006). Multivariate Control Charts for Monitoring the Mean Vector and Covariance Matrix, *Journal of Quality Technology*, 38(3), 230-252
- Reynolds, M.R & Stoumbos, Z.G. (2008). Combinations of Multivariate Shewhart and MEWMA Control Charts for Monitoring the Mean Vector and Covarians Matrix. *Journal of Quality Technology*, vol.40, pp 381-393.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Karakteristik Pupuk Urea Pabrik 1B Fase I

No	Nitrogen	Biuret	Moisture	Mesh -6+18
1	46.48	0.37	0.32	95.4
2	46.33	0.37	0.34	98.35
3	46.43	0.46	0.41	96.77
4	46.76	0.42	0.35	96.14
5	46.4	0.43	0.37	97.6
6	46.44	0.46	0.4	96.87
7	46.51	0.36	0.25	97.98
:	:	:	:	
:	:	:	:	
31	46.43	0.52	0.42	98.57

Lampiran B. Data Karakteristik Pupuk Urea Pabrik 1B Fase II

No	Nitrogen	Biuret	Moisture	Mesh -6+18
1	46.45	0.62	0.35	98.47
2	46.44	0.41	0.33	98.69
3	46.47	0.33	0.36	98.65
4	46.47	0.29	0.34	99.52
5	46.42	0.45	0.44	98.9
6	46.44	0.44	0.4	99.7
7	46.45	0.44	0.36	99.22
:	:	:	:	
:	:	:	:	
60	46.44	0.31	0.37	99.16

Lampiran C. Data Karakteristik Pupuk Urea Pabrik 3 Fase I

No	Nitrogen	Biuret	Moisture	Mesh -6+18
1	46.49	0.31	0.42	98.3
2	46.25	0.31	0.32	99.26
3	46.43	0.33	0.43	98.86
4	46.57	0.33	0.33	98.19
5	46.34	0.37	0.42	99.5
6	46.44	0.34	0.41	98.89
7	46.47	0.37	0.36	98.9
:	:	:	:	
:	:	:	:	
59	46.38	0.36	0.55	99.15

Lampiran D. Data Karakteristik Pupuk Urea Pabrik 3 Fase II

No	Nitrogen	Biuret	Moisture	Mesh -6+18
1	46.27	0.44	0.76	98.9
2	46.42	0.49	0.43	98.31
3	46.43	0.44	0.43	98.49
4	46.39	0.46	0.5	99.36
5	46.42	0.56	0.42	98.9
6	46.45	0.4	0.38	98.65
7	46.43	0.43	0.42	96.09
:	:	:	:	
:	:	:	:	
40	46.41	0.39	0.48	98.66

Lampiran E. Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Pabrik 1B

```
> X<-t(Dataset[1:91,1:4])  
> mshapiro.test(X)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: Z
W = 0.59208, p-value < 2.2e-16

Pabrik 3

```
> X<-t(Dataset[1:99,1:4])  
> mshapiro.test(X)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: Z
W = 0.53342, p-value < 3.325e-16

Lampiran F. Pengujian Dependensi antar Variabel**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.548
	Approx. Chi-Square	22.415
Bartlett's Test of Sphericity	df	6
	Sig.	.001

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.577
	Approx. Chi-Square	64.075
Bartlett's Test of Sphericity	Df	6
	Sig.	.000

Lampiran G. Program Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA

```

clc
lamda1=0.11989;
lamda2=0.11989;
h4=18.225;
h5=101.113;
X = importdata('E:\pabrik 1B fase 1.txt');
[brsX,klmX]=size(X);
t=brsX;
rata=mean(X);
std=sqrt(var(X));
for i=1:t
    for j=1:klmX
        R(i,j)=(X(i,j)-rata(j))/std(j);
    end
end
for i=1:t
    for j=1:klmX
        R2(i,j)=((X(i,j)-rata(j))/std(j))^2;
    end
end
S=cov(R)
S2=S.^2;
for p=1:klmX
    E(1,p)=lamda1*R(1,p);
end
for i=2:t
    for p=1:klmX
        E(i,p)=lamda1*(sqrt(1)*R(i,p))+(1-
lamda1)*E(i-1,p);
    end
end
for i=1:t
    iS=inv(S);
    zi=E(i,:);
    mzo(i)=inv(lamda1/(2-
lamda1))*(zi*iS*zi');
end
for i=1
    p=1:klmX
    E2(1,p)=(lamda2*(R2(1,p)))+(1-
lamda2)*1);
end

```

**Lampiran H. Program Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA
(Lanjutan)**

```

end
for i=2:t
    for p=1:klmX
        E2(i,p)=lamda2*(R2(i,p)) + ((1-
lamda2)*E2(i-1,p));
    end
end
for i=1:t
    iS2=inv(S2);
    z2i=E2(i,:);
    m2z2(i)=(inv(2*(lamda2/(2-
lamda2))))*(z2i*iS2*z2i');
end
for i=1:t
    if mzo(i)>h4
        d(i)=1;
    else
        d(i)=0;
    end
end
for i=1:t
    if m2z2(i)>h5
        d2(i)=1;
    else
        d2(i)=0;
    end
end
for i=1:t
    batas(i)=h4;
    x(i)=i;
    keluar1(i)=d(i);
end
for i=1:t
    batas2(i)=h5;
    x(i)=i;
    keluar2(i)=d2(i);
end

```

Lampiran I. Program Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA
(Lanjutan)

```

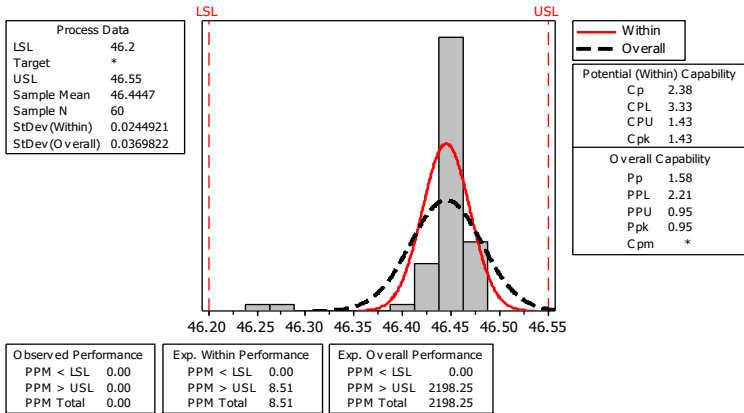
D1 = mzo';
[a,c]=size(D1);
for i=1:a
    if(D1(i,1)>batas)
        W(i,1)=1;
    else
        W(i,1)=0;
    end
end
ooc1=sum(W)
D2 = m2z2';
[b,d]=size(D2);
for i=1:b
    if(D2(i,1)>batas2)
        Y(i,1)=1;
    else
        Y(i,1)=0;
    end
end
ooc2=sum(Y)
plot(x,mzo,'rx-',x,batas,'b-',x,m2z2,'blacko-
',x,batas2,'g-');
title('Diagram Kontrol MZ-M2Z2');
xlabel('observasi ke-');
ylabel('nilai MZ - M2Z2');

```

Lampiran J. Kapabilitas Proses Univariat Pabrik 1B

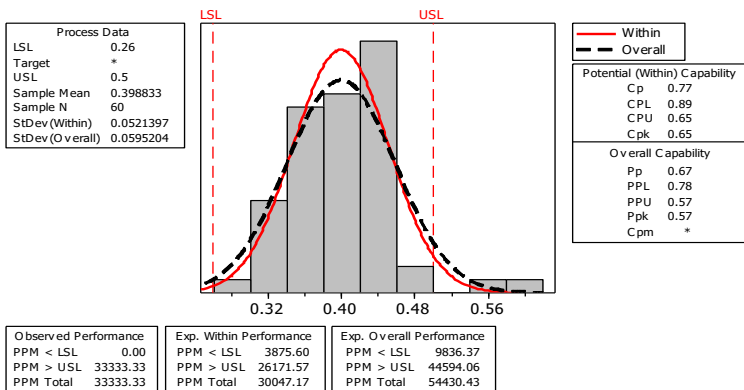
Lampiran J1. Kapabilitas Proses Nitrogen

Process Capability of Total Nitrogen

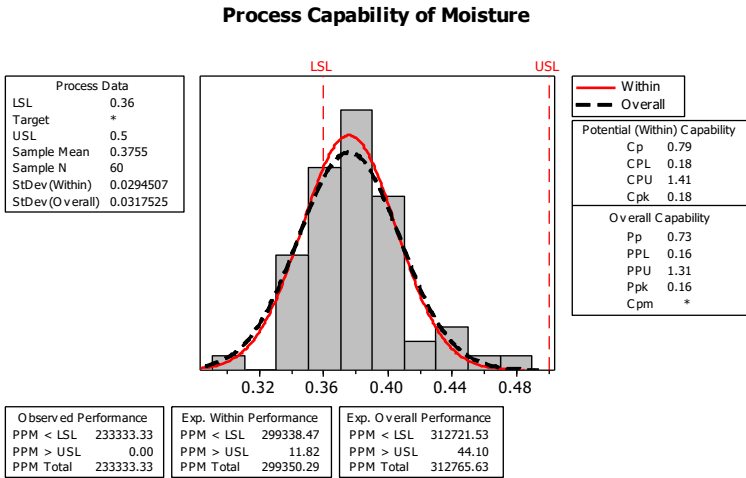


Lampiran J2. Kapabilitas Proses Biuret

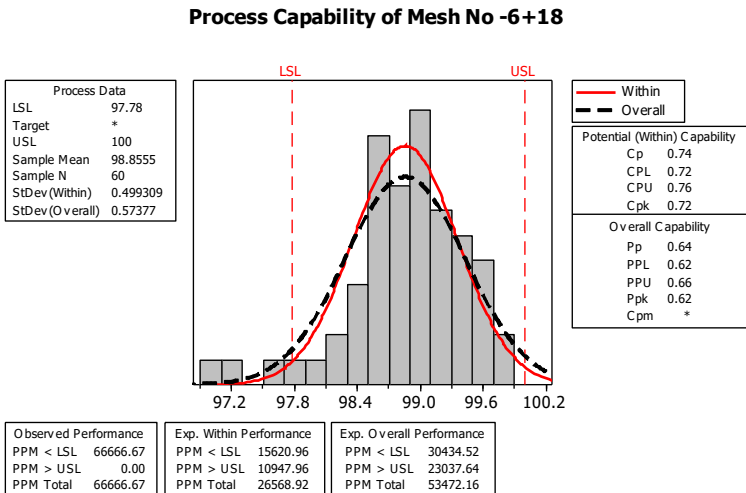
Process Capability of Biuret



Lampiran J3. Kapabilitas Proses Moisture



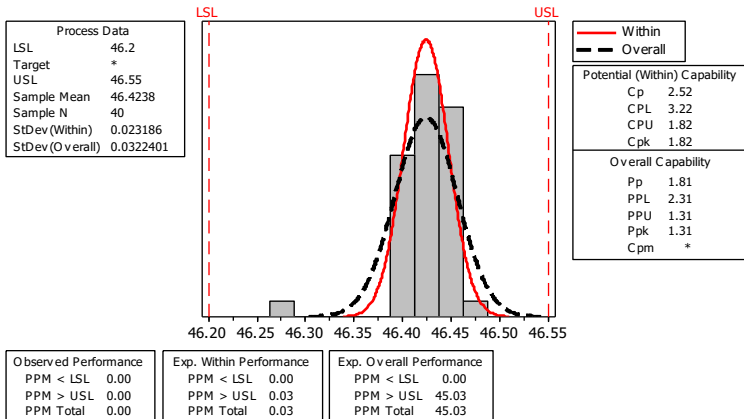
Lampiran J4. Kapabilitas Proses Mesh -6+18



Lampiran K. Kapabilitas Proses Univariat Pabrik 3

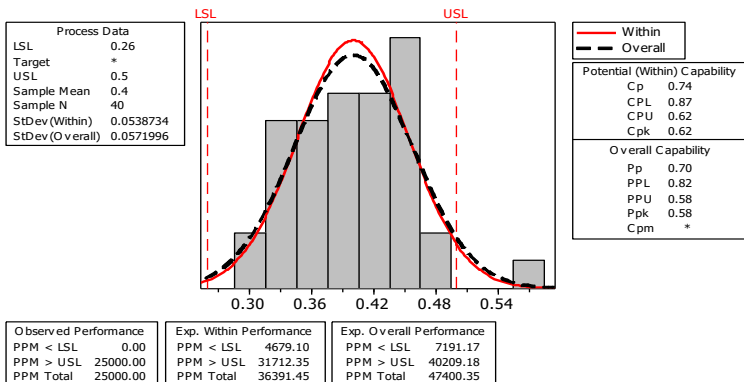
Lampiran K1. Kapabilitas Proses Nitrogen

Process Capability of Total Nitrogen_1



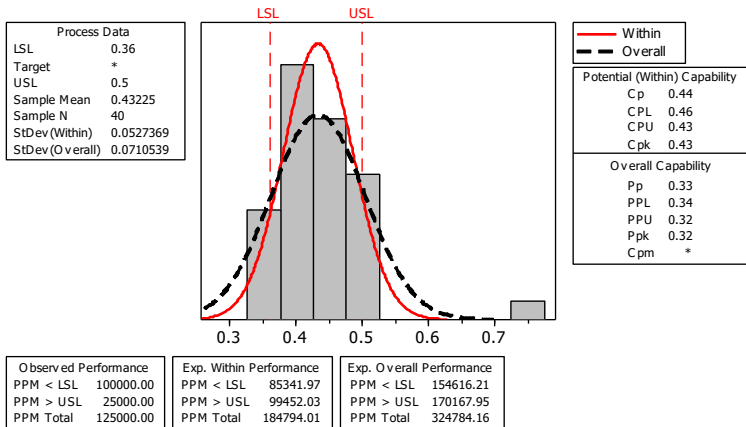
Lampiran K2. Kapabilitas Proses Biuret

Process Capability of Biuret_1



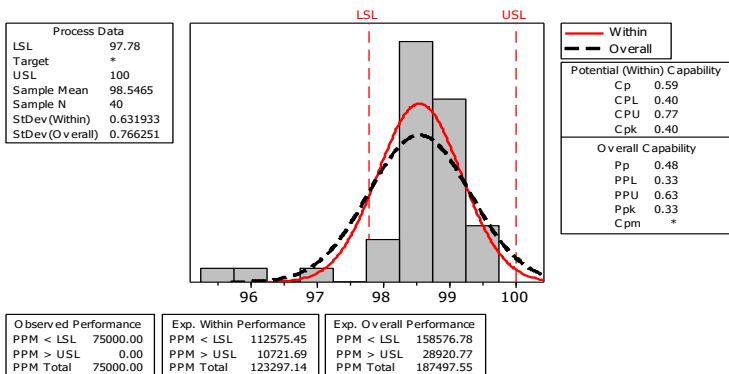
Lampiran K3. Kapabilitas Proses Moisture

Process Capability of Moisture_1



Lampiran K4. Kapabilitas Proses Mesh -6+18

Process Capability of Mesh No -6+18_1



Lampiran L. Nilai Kontribusi Relatif masing-masing Variabel Pabrik 1B

Variabel	Pengamatan			
	19	25	26	27
X1	90.5168	17.1104	14.423	10.7627
X2	12.5465	5.0904	3.7971	3.4426
X3	2.725	40.0763	38.632	34.4629
X4	2.7357	27.7226	72.7593	58.6305

Lampiran M. Nilai Kontribusi Relatif masing-masing Variabel Pabrik 3

Variabel	Pengamatan
	1
X1	11.7375
X2	0.7262
X3	89.9821
X4	0.8711

Lampiran M. Surat Keterangan Penelitian di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang



PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

Palembang, 6 Oktober 2017

Nomor : U- 6303 /TB200.DL/2017

Hal : Pengambilan data / Riset

Yth. Ketua Jurusan Matematika

Fakultas MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA DEPARTEMEN STATISTIKA
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Matematika

Surabaya 60111

Dengan hormat,

Berdasarkan surat dari Ketua Jurusan Matematika Fakultas MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA DEPARTEMEN STATISTIKA Institut Teknologi Sepuluh Nopember No. 055744/IT2.VI.1.3/TU.00.09/2017 tanggal 15 September 2017 perihal tersebut diatas, dengan ini disampaikan bahwa PT Pupuk Sriwidjaja Palembang cq Departemen Diklat dapat menerima 1 orang Mahasiswa Jurusan Matematika untuk melaksanakan pengambilan data / riset di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang tmt **02 Januari 2018 - 15 Januari 2018**.

Mahasiswa yang dimaksud adalah :

No	Nama	Nim	Status	Lokasi pengambilan data / riset
1	Muhammad Alfian Nuriman	0621144000041	Diterima	Departemen Perencanaan & Pengendalian Produksi

Persyaratan / ketentuan untuk melaksanakan pengambilan data / riset sbb :

- Mahasiswa yang bersangkutan agar datang melapor ke Departemen Diklat PT Pupuk Sriwidjaja Palembang 1 (satu) hari sebelum pelaksanaan dimulai dengan membawa kartu mahasiswa/pelajar, pas foto 3x4 untuk pembuatan kartu tanda pengenalan/badge dan material Rp 3.000,- untuk surat pernyataan.
- Kerja praktik harus dilaksanakan secara terus menerus tanpa terputus sesuai jadwal kegiatan, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang tidak memberikan fasilitas transportasi maupun akomodasi serta fasilitas lainnya.
- Selama ybs melaksanakan pengambilan data / riset / harus mematuhi ketentuan/peraturan yang berlaku di lingkungan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang.
- Khusus mahasiswa/siswa yang melaksanakan kerja praktik di area produksi (pabrik) diwajibkan memakai topi keselamatan kerja dan sepatu keselamatan kerja.

Demikian kami sampaikan, atas kerja sama yang baik kami ucapkan terima kasih.



Asep Kurniandy, MAppSc
Manager Diklat

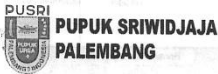
Tembusan :

- PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (2x)

Kantor Pusat
Jalan Mayor Zen,
Palembang 30118 - Indonesia
Telp. (0711) 712111 / 712222
Faks. (0711) 712100

www.pusri.co.id
PT Pupuk Sriwidjaja Palembang
is a subsidiary of
PT PUPUK INDONESIA (Persero)

Lampiran N. Surat Keterangan Penelitian di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Lanjutan)



**PUPUK SRIWIDJAJA
PALEMBANG**

Palembang, 6 Oktober 2017

Nomor : 2519 /TB200.DL/2017
Kepada : Manager Rendal Produksi
Dari : Departemen Diklat
Hal : Pengambilan data / riset

Sehubungan dengan persetujuan Manager Rendal Produksi melalui surat No. 2450 tanggal 28 September 2017 dapat menerima Mahasiswa Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan ini kami menugaskan 1 orang Mahasiswa tersebut untuk melaksanakan pengambilan data / riset di Departemen Perencanaan & Pengendalian Produksi PT Pupuk Sriwidjaja Palembang tmt **02 Januari 2018 - 15 Januari 2018**.

Mahasiswa yang dimaksud adalah :

1. Nama / Nim : Muhammad Alifian Nuriman / 0621144000041

Disamping kegiatan utamanya, Mahasiswa yang bersangkutan diwajibkan :

- Mengetahui / mempelajari sejarah & perkembangan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang melalui pengarahan staf Departemen Humas dan Departemen K3 & LH.
- Mengisi daftar hadir setiap hari kerja yang dipantau oleh pembimbing serta mematuhi peraturan tata tertib yang berlaku.

Demikian kami sampaikan, atas bantuan dan kerja sama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Manager Pendidikan & Pelatihan

APEP KURNIALY
Badge No. 930926

Tembusan :

- Superintendent Adm & Sekuriti
- Perpustakaan
- Pembimbing (RIEZKY NUGRAHA UTAMA #130310)
- Arsip



Lampiran O. Surat Keterangan Validasi Data dan Publikasi

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Muhammad Alifian Nuriman

NRP : 0621144000041

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

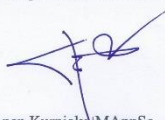
Nama Instansi : PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang

Divisi/ bagian : Departemen Perencanaan dan Pengendalian Produksi

sejak tanggal 2 Januari 2018 sampai dengan 15 Januari 2018 untuk keperluan Tugas Akhir Semester Genap 2017/ 2018.

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

Palembang, Juni 2018
Manager Pendidikan dan Pelatihan



Apep Kurniati MAppSc
Badge No. 930926

*(coret yang tidak perlu)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Alifian Nuriman yang biasa dipanggil Alif lahir di Purwakarta, 13 Juli 1997. Penulis adalah anak pertama dari pasangan Suami Istri Drs. Endro Setyo Cahyono, M.Si dan Lilian Pelitasari, S.Pd, M.Si. Pendidikan yang telah diselesaikan adalah pendidikan di TK Al-Kautsar Indralaya, SDN 03 Indralaya (2005-2009), SDN 02 Palembang (2009-2010), SMP Negeri 17 Palembang (2010-2012), SMA Plus Negeri 17 Palembang (2012-2014). Setelah lulus dari SMA penulis diterima di Jurusan Statistika ITS melalui jalur SNMPTN dengan NRP 1314100041. Selain mengikuti kegiatan akademik, penulis juga aktif di beberapa organisasi kampus diantaranya yaitu sebagai Staf Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMASTA-ITS periode 2015-2016, Staf Badan Koordinasi Pemandu BEM ITS periode 2015-2016, Staf Kaderisasi JMMI ITS periode 2015-2016, Staf Kaderisasi FORSIS ITS periode 2015-2016, dan sebagai Ketua Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMASTA-ITS periode 2016-2017. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi di luar kampus yaitu Pengurus Ikatan Himpunan Mahasiswa Statistika Indonesia Wilayah IV yang meliputi wilayah Jawa Timur. Penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan seperti Koordinator *Statistic Competition* (STATION) Region Palembang yang merupakan Sub Event dari Pekan Raya Statistika. Salah satu pengalaman berharga yang diraih di bangku kuliah adalah sebagai Finalis Pekan Analisis Statistik di Universitas Mulawarman Samarinda Kalimantan Timur tahun

2018. Pengalaman berkesan lainnya yang dialami penulis selain mengikuti kegiatan kampus dan perlombaan adalah menjalani program *internship* di PT. Pelabuhan Indonesia III Cabang Tanjung Perak di divisi Analisis Data, PT. DBL Indonesia di bidang *business development analyst*, dan PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang di divisi Pengendalian dan Perencanaan Produksi. Selain itu penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Program Komputer, Teknik Simulasi, Analisis Data I dan Pengendalian Kualitas Statistika. Pengalaman tersebut memberikan pelajaran bagi penulis untuk mengetahui bagaimana kondisi dunia pekerjaan yang sebenarnya baik di perusahaan maupun di bidang akademik. Segala kritik dan saran akan diterima oleh penulis untuk perbaikan kedepannya. Jika ada keperluan atau ingin berdiskusi dengan penulis dapat dihubungi melalui email: muhammadalifiannuirman@gmail.com.