



**TUGAS AKHIR - SS 145561**

**ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI  
PUPUK ZA III DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

**Moh. Ardan Khusen**  
NRP 1061150000076

**Pembimbing**  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

**Program Studi Diploma III**  
**Departmen Statistika Bisnis**  
**Fakultas Vokasi**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**





**TUGAS AKHIR - SS 145561**

**ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI  
PUPUK ZA III DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

**Moh. Ardan Khusen**  
NRP 1061150000076

Pembimbing  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

Program Studi Diploma III  
Departmen Statistika Bisnis  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**FINAL PROJECT - SS 145561**

**CAPABILITY PROCESS ANALYSIS OF  
FERTILIZER ZA III PRODUCTION IN PT.  
PETROKIMIA GRESIK**

**Moh. Ardan Khusen**  
NRP 1061150000076

Supervisor  
Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

Study Programme of Diloma III  
Department of Business Statistics  
Faculty of Vocations  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI  
PUKUP ZA III DI PT. PETROKIMIA GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada  
Departemen Statistika Bisnis  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MOH. ARDAN KHUSEN**  
**NRP 1061150000076**

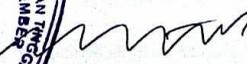
Surabaya, 10 Juli 2018

Menyetujui,  
Pembimbing Tugas Akhir

  
**Dra. Lucia Aridinanti, M.T.**  
**NIP. 19610131 198701 2 001**

Mengetahui,  
Kepala Departemen Statistika Bisnis  
Fakultas Vokasi ITS



  
**Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si**  
**NIP. 19740328 199802 1 001**



# ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI PUPUK ZA III DI PT. PETROKIMIA GRESIK

**Nama** : Moh. Ardan Khusen  
**NRP** : 1061150000076  
**Departemen** : Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

## Abstrak

PT. Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk terbesar dan terlengkap di Indonesia yang mengelola hasil produksi yaitu pupuk maupun non pupuk. Jenis pupuk yang di produksi adalah pupuk tunggal dan pupuk majemuk salah satunya adalah Zwavelzuur Amonium (ZA). Pupuk ZA III memiliki karakteristik kualitas yaitu *crystal* sebesar 40% - 60% serta *acidity* sebesar 0,39% - 0,78%. Jika kualitas komposisi pada pupuk tidak sesuai maka akan menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak normal sehingga akan mengurangi hasil panen bahkan gagal panen. Perusahaan telah menerapkan pengendalian kualitas terhadap produksi pupuk, tetapi baru secara analisis kimia dan belum pernah dianalisis dengan menggunakan analisis kapabilitas proses. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas dibutuhkan analisis kapabilitas pada proses produksi pupuk ZA III. Sebab dengan analisis kapabilitas dapat diketahui seberapa kapabel suatu proses produksi. Dari hasil analisis pada periode bulan Desember 2017 dan Januari 2018. diketahui bahwa proses produksi pupuk ZA III sudah kapabel karena  $C_p > 1$  dan telah terkendali secara statistik pada bulan Desember 2017 dengan nilai  $C_p$  sebesar 1,54 dan bulan Januari 2018 dengan nilai sebesar 1,49, yang berarti bahwa proses produksi pupuk ZA III sangat baik atau telah kapabel. Walaupun proses produksi sudah kapabel masih terjadi ketidaksesuaian dikarenakan faktor mesin, usia mesin yang sudah tua membuat mesin rentan rusak sehingga menyebabkan produksi akan terganggu atau berhenti. Faktor lain adalah tidak adanya material bahan baku karena pabrik amonia dan asam sulfat *shut down*.

**Kata Kunci** : Acidity, Crystal, Kapabilitas Proses, Pupuk ZA III



# CAPABILITY PROCESS ANALYSIS OF FERTILIZER ZA III PRODUCTION IN PT. PETROKIMIA GRESIK

**Name** : Moh. Ardan Khusen  
**NRP** : 1061150000076  
**Departement** : Bussiness Statistics Faculty of Vocations ITS  
**Supervisor** : Dra. Lucia Aridinanti, M.T.

## Abstract

*PT. Petrokimia Gresik is the largest and most complete fertilizer factory in Indonesia that manages the fertilizer and non-fertilizer production. Type of fertilizer products are single fertilizer and compound fertilizer, one of them is Zwavelzuur Ammonium (ZA). ZA III fertilizer has characteristics consist of 40% - 60% crystal and 0.39% - 0.78% acidity. In case the quality composition of fertilizer does not meet the factory's requirement, abnormal plant growth will occur, thus causes a crop failure. The factory has been implementing quality control on fertilizer production only using chemical analysis, but they have not been implementing process capability analysis in quality control. One of ways to improve the quality is implementing capability analysis in production process of ZA III fertilizer. Capability analysis is used for identifying how capable the production process. Based on analysis results in December 2017 and January 2018, it can be concluded that the production process of ZA III fertilizer is capable because of  $C_p$  value  $> 1$  and it has been statistically controlled with the value of  $C_p$  is 1,54 in December 2017 and 1,49 in January 2018, which means that the production process of ZA III fertilizer is very good or has been capable. Although the production process is capable, often happens inconsistency due to engine factors, the age of the old machine makes the machine that risk to damage, will cause production disrupted or stopped. Another factor is the lack of raw material material because the ammonia and sulfuric acid plants are shut down.*

**Keywords:** *Acidit, Crystal, Process Capability, ZA III fertilizer*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Hidayah dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk ZA III di PT. Petrokimia Gresik**”. Penyusunan laporan Tugas Akhir ini terselesaikan karena adanya bantuan, arahan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Maka dari itu Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan dengan sabar serta memberikan dukungan yang sangat besar bagi penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Brodjol Sutijo S.U, M.Si selaku dosen penguji, validator, dosen wali, dan Sekretaris Departemen yang telah memberi masukan dan Ibu Noviyanti Santoso, S.Si, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran pada laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Wahyu Wibowo, S.Si, M.Si selaku Kepala Departemen Statistika Bisnis ITS yang telah menyediakan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Ibu Ir. Sri Pingit Wulandari, M.Si selaku Kepala Prodi DIII Statistika Bisnis yang telah membantu kelancaran pelaksanaan Tugas Akhir.
5. Seluruh Dosen dan karyawan Departemen Statistika Bisnis ITS yang telah memberikan pengalaman dan ilmu kepada penulis.
6. PT. Petrokimia Gresik khususnya Bapak Mariono yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melaksanakan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Gary Eka selaku Pembimbing Lapangan yang telah membimbing dengan sabar selama masa penelitian di PT. Petrokimia Gresik.
8. Orang tua, adik serta seluruh keluarga besar yang selalu memberi motivasi bagi saya selama ini, dan selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, semangat

terbaik sehingga lancar dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

9. Teman-teman Heroes 2015 dan Heroes Jantan yang telah senantiasa membantu dan memberi motivasi kepada penulis.
10. Senior-senior dari Jurusan D3 serta keluarga HIMADATA-ITS yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak yang telah memberikan dukungan yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.

Laporan Tugas Akhir ini sangat jauh dari kesempurnaan, maka dari itu penulis sangat mengharap kritik dan saran yang membangun sehingga laporan ini dapat mencapai kesempurnaan, dan dapat dijadikan pertimbangan dalam pengerjaan laporan berikutnya.

Surabaya, 07 Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITLE PAGE</b> .....	iii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Peta Kendali $T^2$ Hotelling.....	5
2.1.1 Peta Kendali <i>Generalied Variance</i> .....	8
2.1.2 Uji Asumsi .....	9
2.2 Uji Perbandingan Fase.....	12
2.3 Indeks Kapabilitas Proses.....	13
2.4 Diagram Sebab Akibat .....	14
2.5 Pupuk ZA .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Variabel Penelitian .....	19
3.2 Teknik Pengambilan Data .....	19
3.3 Langkah Analisis Data .....	20
<b>BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Deskriptif Data Proses Produksi Pupuk ZA III .....	23
4.2 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk ZA III Fase I. .24	
4.2.1 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi Peta Kendali Multivariat Fase I.....	24
4.2.2 Peta Kendali Proses Produksi Pupuk ZA III Fase I. .	25

4.3 Analisis Perbandingan Fase I dan Fase II.....	29
4.4 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk ZA Fase II.....	31
4.4.1 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi Peta Kendali Multivariat Fase II.....	31
4.4.2 Peta Kendali Proses Produksi Pupuk ZA III Fase II .	32
4.5 Menentukan Indeks Kapabilitas Proses.....	34
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	39
<b>LAMPIRAN</b> .....	41
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	67

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Struktur Data Peta Kendali $T^2$ <i>Hotteling</i> .....	5
<b>Tabel 3.1</b> Struktur Data Penelitian.....	20
<b>Tabel 4.1</b> Deskriptif Data Variabel <i>Crystal</i> dan <i>Acidity</i> .....	23
<b>Tabel 4.2</b> Indeks Kapabilitas Proses.....	35



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Contoh Diagram <i>Ishikawa</i> .....	15
<b>Gambar 2.2</b> Proses Produksi Pupuk ZA .....	16
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	22
<b>Gambar 4.1</b> <i>Chi-Square</i> Plot Data Fase I .....	25
<b>Gambar 4.2</b> Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> Fase 1 .....	26
<b>Gambar 4.3</b> Peta Kendali $T^2$ <i>Hotelling</i> Fase I .....	27
<b>Gambar 4.4</b> Diagram <i>Ishikawa</i> .....	28
<b>Gambar 4.5</b> Peta Kendali $T^2$ <i>Hotelling</i> Perbaikan Fase I .....	29
<b>Gambar 4.6</b> <i>Chi-Square</i> Plot Data Fase II .....	32
<b>Gambar 4.7</b> Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> Fase II .....	33
<b>Gambar 4.8</b> Peta Kendali $T^2$ <i>Hotelling</i> Fase II .....	34



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Data Proses Produksi Pupuk ZA III Fase I .....	41
<b>Lampiran 2</b> <i>Output</i> Dependensi Variabel Fase I .....	42
<b>Lampiran 3</b> Syntax Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat .....	43
<b>Lampiran 4</b> <i>Output</i> Distribusi Normal Multivariate .....	44
<b>Lampiran 5</b> Nilai $d_{ki}^2$ Observasi Fase I .....	45
<b>Lampiran 6</b> Nilai $ S $ Fase I .....	46
<b>Lampiran 7</b> Nilai $T^2$ <i>Hotteling</i> Fase I .....	47
<b>Lampiran 8</b> Nilai $T^2$ <i>Hotteling</i> Fase I perbaikan ke-1.....	48
<b>Lampiran 9</b> Syntax Kapabilitas Proses Fase I .....	49
<b>Lampiran 10</b> <i>Output</i> Kapabilitas Proses Fase I .....	51
<b>Lampiran 11</b> Data Proses Produksi Pupuk ZA III Fase II .....	52
<b>Lampiran 12</b> <i>Output</i> Dependensi Variabel Fase II .....	53
<b>Lampiran 13</b> <i>Output</i> Distribusi Normal Multivariate Fase II..	54
<b>Lampiran 14</b> Nilai $d_{ki}^2$ Observasi Fase II .....	55
<b>Lampiran 15</b> Nilai $ S $ Fase II.....	56
<b>Lampiran 16</b> Nilai $T^2$ <i>Hotteling</i> Fase II .....	57
<b>Lampiran 17</b> Syntax Kapabilitas Proses Fase II .....	58
<b>Lampiran 18</b> <i>Output</i> Kapabilitas Proses Fase II .....	60
<b>Lampiran 19</b> <i>Output</i> Uji Homogenitas .....	61
<b>Lampiran 20</b> <i>Output</i> Uji <i>Bahrens-Fisher</i> .....	62
<b>Lampiran 21</b> Surat Permohonan pengambilan Data.....	63
<b>Lampiran 22</b> Surat Penerimaan .....	64
<b>Lampiran 23</b> Surat Keaslian Data.....	65



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri penghasil barang di era globalisasi ini dihadapkan pada tantangan yang cukup berat. Pengendalian kualitas statistika sangat berperan dalam tantangan yang dihadapi para pelaku bisnis di dunia industri khususnya bidang produksi. Industri-industri pada era globalisasi ini semakin berkembang pesat dengan berbagai macam variasi produk sehingga dalam proses produksinya akan mengalami berbagai macam masalah. Permasalahan tersebut timbul akibat faktor-faktor dari *input* hingga *output*. Perusahaan dalam menjaga kualitas produk melakukan pengendalian kualitas dan dilakukan perbaikan terhadap sistem yang tidak sesuai. Kualitas produk adalah keseluruhan ciri serta dari suatu produk atau pelayanan pada kemampuan untuk memuaskan kebutuhan yang dinyatakan tersirat (Kotler, 2005). Namun pada kenyataannya tidak semua perusahaan menerapkan pengendalian kualitas secara statistika terhadap proses produksi untuk menjaga kualitas produknya.

PT. Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk terbesar dan terlengkap di Indonesia yang pada awal berdirinya disebut Proyek Petrokimia Surabaya. Tugas, wewenang dan tanggung jawab. Perusahaan ini adalah mengelola hasil produksi yaitu pupuk maupun non pupuk. Jenis pupuk yang di produksi adalah pupuk tunggal dan pupuk majemuk antara lain adalah Zwavelzuur Amonium (ZA), Super Phospate (SP), Phonska dan Urea. Pupuk ZA III berbentuk butir-butir kristal, berwarna orange, mudah larut dalam air dan sifatnya tidak higroskopis. Pupuk ZA III memiliki karakteristik kualitas yaitu *crystal* sebesar 40% - 60% serta *acidity* sebesar 0,39% - 0,78% (Petrokimia, 2012). Jika kualitas komposisi pada pupuk tidak sesuai maka akan menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak normal sehingga akan mengurangi hasil panen bahkan gagal panen.

Kualitas adalah salah satu faktor utama yang penting dalam pemilihan suatu produk yang dihasilkan oleh perusahaan. Dalam hal ini maka perusahaan memerlukan adanya *quality control*

untuk mengontrol batasan–batasan ketidaksesuaian yang timbul pada produksi sehingga kualitas produk tetap terjaga. Pengendalian kualitas adalah usaha untuk mempertahankan mutu atau kualitas dari barang yang dihasilkan, agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijaksanaan perusahaan. Metode yang dapat digunakan dalam melakukan pengendalian kualitas yaitu *statistical process control* (SPC) yang merupakan suatu metodologi pengumpulan dan analisis data kualitas, serta penentuan dan interpretasi pengukuran-pengukuran yang menjelaskan tentang proses dalam suatu sistem produksi, untuk meningkatkan kualitas dari *output* dalam memenuhi kebutuhan dan ekspektasi pelanggan. Salah satu alat yang digunakan dalam SPC adalah peta kendali yang merupakan suatu diagram yang menggambarkan titik pengamatan dalam suatu periode tertentu yang digunakan untuk melihat kualitas hasil proses produksi apakah terkendali secara statistik. Pada peta kendali terdapat pola penyebaran yang dibatasi oleh batas kendali atas dan batas kendali bawah (Montgomery, 2013)

Penelitian kali ini menjadikan salah satu proses produksi pupuk ZA III yang diproduksi di PT. Petrokimia Gresik menjadi obyek penelitian. Pengendalian kualitas yang selama ini dilakukan oleh PT. Petrokimia Gresik khususnya bagian produksi ZA hanya secara kimia belum secara analisis statistika, sehingga perlu dianalisis secara statistika agar jika terjadi ketidaksesuaian dapat diketahui penyebabnya secara spesifik karena ketidaksesuaian tersebut dapat berpengaruh terhadap kualitas pupuk. Metode yang digunakan untuk pengendalian kualitas statistika pada penelitian ini yaitu peta kendali multivariat yaitu peta kendali *generalized variance* untuk mengendalikan variabel proses, serta peta kendali  $T^2$  Hotelling untuk mengendalikan mean proses secara multivariat. Sebelum membuat peta kendali multivariat terlebih dahulu dilakukan pengujian dependensi data dan pengujian distribusi normal multivariat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Pupuk ZA III memiliki karakteristik kualitas yaitu *crystal* sebesar 40% - 60% serta *acidity* sebesar 0,39% - 0,78%. Jika

kualitas komposisi pada pupuk tidak sesuai maka akan menyebabkan pertumbuhan tanaman tidak normal sehingga akan menyebabkan gagal panen.

Perusahaan telah menerapkan pengendalian kualitas terhadap produksi pupuk, tetapi baru secara analisis kimia yaitu mengkategorikan sesuai dan tidak sesuai spesifikasi dan belum pernah dianalisis dengan menggunakan analisis kapabilitas proses. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas dibutuhkan analisis kapabilitas pada proses produksi pupuk ZA III. Sebab dengan analisis kapabilitas dapat diketahui seberapa kapabel suatu proses produksi. Masalahnya adalah bagaimana kapabilitas proses produksi pupuk ZA III pada periode bulan Desember 2017 dan Januari 2018.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang ingin dicapai berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan adalah sebagai berikut.

1. Melakukan analisis kapabilitas proses produksi pupuk ZA III.
2. Mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan ketidaksesuaian pada proses produksi pupuk ZA III.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan bahan masukan dan informasi dalam meningkatkan kualitas pembuatan pupuk ZA III, serta dapat dijadikan bahan evaluasi sehingga meminimalkan ketidaksesuaian dalam produksi. Serta menginformasikan kepada perusahaan faktor apa saja penyebab ketidaksesuaian pada proses produksi.

### **1.5 Batasan Masalah**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pemeriksaan jenis ketidaksesuaian proses produksi pupuk ZA III oleh bagian *Quality Control* pada periode data bulan Desember 2017 dan Januari 2018 dengan karakteristik kualitas yaitu jumlah *crystal* dan *acidity*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Suatu proses dikatakan kapabel apabila proses produksi telah terkendali secara statistik dan memenuhi batas spesifikasi. Batas spesifikasi terpenuhi jika nilai indeks kapabilitas ( $C_p$ ) lebih dari satu. Untuk mengetahui proses sudah terkendali atau tidak dapat digunakan peta kendali, dalam hal ini peta kendali yang digunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling dan peta *Generalized Variance* karena variabelnya lebih dari satu dan saling berhubungan. Dengan asumsi yang harus dipenuhi yakni antar variabel berhubungan dan berdistribusi normal multivariate.

### 2.1 Peta Kendali $T^2$ Hotelling

Peta kendali  $T^2$  Hotelling merupakan suatu diagram yang digunakan untuk mengetahui proses produksi telah terkendali secara statistik atau tidak, dimana terdapat dua atau lebih variabel yang saling dependen, serta berdistribusi normal multivariat. Karakteristik kualitasnya terdiri dari  $p$  variabel, yaitu  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Peta kendali  $T^2$  Hotelling memiliki subgrup berukuran  $m$ , dimana anggota tiap tiap subgrup adalah  $n$  dan  $p$  merupakan jumlah karakteristik yang diamati pada tiap-tiap sampel (Montgomery, 2013). Adapun struktur data dengan  $p$  variabel yang akan diamati pada  $m$  subgrup dapat dilihat sebagai berikut.

**Tabel 2.1** Struktur Data Peta Kendali  $T^2$  Hotelling

Subgrup (k)	Sampel (i)	Karakteristik Kualitas (j)					
		1	2	...	j	...	P
1	1	$x_{111}$	$x_{121}$	...	$x_{1j1}$	...	$x_{1p1}$
	...	...	...	...	...	...	...
	i	$x_{i11}$	$x_{i21}$	...	$x_{ij1}$	...	$x_{ip1}$
	...	...	...	...	...	...	...
	n	$x_{n11}$	$x_{n21}$	...	$x_{nj1}$	...	$x_{np1}$
	$\bar{x}_1$	$\bar{X}_{.11}$	$\bar{X}_{.21}$	...	$\bar{X}_{.j1}$	...	$\bar{X}_{.p1}$
	$s_1^2$	$S_{.11}^2$	$S_{.21}^2$	...	$S_{.j1}^2$	...	$S_{.p1}^2$
2	1	$x_{112}$	$x_{122}$	...	$x_{1j2}$	...	$x_{1p2}$
	...	...	...	...	...	...	...
	i	$x_{i12}$	$x_{i22}$	...	$x_{ij2}$	...	$x_{ip2}$

	...	...	...	...	...	...	...
	n	$x_{n12}$	$x_{n22}$	...	$x_{nj2}$	...	$x_{np2}$
	$\bar{x}_2$	$\bar{X}_{.12}$	$\bar{X}_{.22}$	...	$\bar{X}_{.j2}$	...	$\bar{X}_{.p2}$
	$s_2^2$	$S_{.12}^2$	$S_{.22}^2$	...	$S_{.j2}^2$	...	$S_{.p2}^2$
:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:
k	1	$x_{11k}$	$x_{12k}$	...	$x_{1jk}$	...	$x_{1pk}$
	...	...	...	...	...	...	...
	i	$x_{i1k}$	$x_{i2k}$	...	$x_{ijk}$	...	$x_{ipk}$
	...	...	...	...	...	...	...
	n	$x_{n1k}$	$x_{n2k}$	...	$x_{njk}$	...	$x_{npk}$
	$\bar{x}_k$	$\bar{X}_{.1k}$	$\bar{X}_{.2k}$	...	$\bar{X}_{.jk}$	...	$\bar{X}_{.pk}$
	$s_k^2$	$S_{.1k}^2$	$S_{.2k}^2$	...	$S_{.jk}^2$	...	$S_{.pk}^2$
:	:	:	:	...	:	...	:
:	:	:	:	...	:	...	:
m	1	$x_{11m}$	$x_{12m}$	...	$x_{1jm}$	...	$x_{1pm}$
	...	...	...	...	...	...	...
	i	$x_{i1m}$	$x_{i2m}$	...	$x_{ijm}$	...	$x_{ipm}$
	...	...	...	...	...	...	...
	n	$x_{n1m}$	$x_{n2m}$	...	$x_{njm}$	...	$x_{npm}$
	$\bar{x}_m$	$\bar{X}_{.1m}$	$\bar{X}_{.2m}$	...	$\bar{X}_{.jm}$	...	$\bar{X}_{.pm}$
	$s_m^2$	$S_{.1m}^2$	$S_{.2m}^2$	...	$S_{.jm}^2$	...	$S_{.pm}^2$
Rata-rata dari rata-rata tiap subgrup	$\bar{\bar{x}}$	$\bar{\bar{x}}_{.1}$	$\bar{\bar{x}}_{.2}$	...	$\bar{\bar{x}}_{.j}$	...	$\bar{\bar{x}}_{.p}$
Rata-rata dari varians tiap subgrup	$\bar{s}^2$	$\bar{s}_{.1}^2$	$\bar{s}_{.2}^2$	...	$\bar{s}_{.j}^2$	...	$\bar{s}_{.p}^2$

keterangan :

i = ukuran subgrup, dimana  $i = 1, 2, \dots, n$

j = karakteristik kualitas, dimana  $j = 1, 2, \dots, p$

k = jumlah subgrup, dimana  $k = 1, 2, \dots, m$

$x_{ijk}$  = nilai pengamatan pada observasi ke-i, karakteristik kualitas ke-j, dan subgroup ke-k

Untuk mencari rata-rata sampel dan varian dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\bar{x}_{.jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad (2.1)$$

$$s_{.jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{.jk})^2 \quad (2.2)$$

Dimana  $x_{ijk}$  merupakan sampel ke- $i$  pada karakteristik kualitas ke- $j$  serta subgrup ke- $k$ , sehingga matriks kovarian  $S$  dari rata-rata sampel berukuran  $p \times p$  dapat dibentuk menjadi

$$S_t = \begin{bmatrix} \bar{s}_{.1}^2 & \bar{s}_{12} & \cdots & \bar{s}_{.1p} \\ & \bar{s}_{.2}^2 & \cdots & \bar{s}_{.2p} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & \bar{s}_{.p}^2 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Adapun nilai untuk peta kendali  $T^2$  *Hotteling* sebagaimana pada persamaan berikut.

$$T_k^2 = n(\bar{\mathbf{x}}_{.jk} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_{.j})' S_t^{-1} (\bar{\mathbf{x}}_{.jk} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_{.j}) \quad (2.4)$$

Terdapat dua tahap yang berbeda pada penggunaan peta kendali  $T^2$  *Hotteling*, yaitu tahap I dan tahap II, dimana tujuan utama pada tahap I adalah untuk mendapatkan pengamatan yang berada dalam batas kendali atau prosesnya terkendali, sehingga batas kendali dapat digunakan untuk tahap II yang merupakan pengontrolan produksi di masa depan. Batas kendali pada tahap I dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut.

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (2.5)$$

$$BKB = 0$$

Pada tahap II batas kendali yang digunakan berdasarkan pada tahap I, sesuai pada persamaan berikut.

$$BKA = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (2.6)$$

$$BKB = 0$$

Keterangan :

BKA = Batas Kendali Atas

BKB = Batas Kendali Bawah

n = ukuran sampel tiap subgrup

m = Jumlah subgrup

p = Banyaknya karakteristik kualitas

Nilai  $F_{\alpha,p,mn-m-p+1}$  merupakan nilai yang didapatkan dari tabel distribusi F (Montgomery, 2013). Sebelum menganalisis peta  $T^2$  Hotelling dilakukan analisis peta kendali *Generalized Variance* dimana asumsi yang harus dipenuhi adalah antar variabel dependen dan berdistribusi normal multivariate.

### 2.1.1 Peta Kendali *Generalized Variance*

Peta kendali *Generalized Variance* merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses yang dapat digambarkan dengan matriks kovarian  $\Sigma$ , dimana determinan dari sampel kovarian matriks  $|S|$  secara luas digunakan untuk mengukur penyebaran multivariat. Aproksimasi asimtomik normal digunakan untuk mengembangkan peta kendali untuk  $|S|$ , sehingga dalam menaksir *mean* dan *varians* dari  $|S|$  dapat dilakukan dengan cara seperti berikut (Montgomery, 2013).

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma| \quad (2.7)$$

$$V(|S|) = b_2 |\Sigma|^2 \quad (2.8)$$

dengan

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (2.9)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[ \prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right] \quad (2.10)$$

Nilai  $|\Sigma|$  dapat ditaksir dengan  $|S|/b_1$  sehingga batas kendali dari peta kendali *generalized variace* dapat ditulis pada persamaan berikut.

$$\begin{aligned} BKA &= |\Sigma| \left( b_1 + \sqrt{3b_2} \right) \\ \text{GarisTengah} &= b_1 |\Sigma| \\ BKB &= |\Sigma| \left( b_1 - \sqrt{3b_2} \right) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Batas kendali bawah akan bernilai nol jika hasil perhitungan yang didapat bernilai negatif. Proses dikatakan tidak terkendali jika plot-plot statistik  $|S|$  dari masing-masing subgrup berada di luar batas kendali.

### 2.1.2 Uji Asumsi

Sebelum membuat peta kendali *Generalized Variance* dan peta kendali  $T^2$  *Hotelling* terlebih dahulu dilakukan pengujian asumsi dependensi antar variabel dan distribusi normal multivariate sebagai berikut.

#### a. Dependensi Antar Variabel

Pengamatan dengan sejumlah  $p$  variabel, dikatakan independen jika matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas ( $\mathbf{R}=\mathbf{I}$ ), untuk mengetahui apakah variabel saling independen digunakan hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis :

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$  (Antar variabel saling independen)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$  (Antar variabel saling dependen)

Statistik uji untuk yang digunakan untuk mengetahui hubungan antar karakteristik kualitas ditunjukkan pada Persamaan berikut.

$$\chi_{hitung}^2 = - \left( n - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right) \ln |\mathbf{R}| \quad (2.12)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$r_{x_j x_l} = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_i} (x_{ijk} - \bar{x}_j)(x_{ijk} - \bar{x}_l)}{\sqrt{\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_i} (x_{ijk} - \bar{x}_j)^2 \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_i} (x_{ijk} - \bar{x}_l)^2}} \quad (2.14)$$

Keterangan:

**R** = Matriks korelasi dari masing-masing variabel

**|R|** = Determinan matrik korelasi

*p* = Banyaknya karakteristik kualitas

Jika ditetapkan pada taraf signifikan  $\alpha$  maka keputusan yang dapat diambil jika hasil tolak  $H_0$  atau  $\chi_{hitung}^2 > \chi_{\alpha, p(p-1)/2}^2$  yang dapat disimpulkan bahwa antar variabel dependen (Rencher, 2002).

### b. Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat adalah pengembangan dari bentuk distribusi normal univariat dengan jumlah variabel lebih dari satu. Distribusi ini digunakan pada data yang saling berhubungan (dependen). Apabila terdapat sejumlah *p* variabel yang dinyatakan dalam bentuk vektor acak  $\mathbf{X}' = \{\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p\}$  yang mengikuti distribusi normal multivariat dengan fungsi densitas sebagai berikut (Johnson & Whicern, 2007).

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}[(x-\mu)'\Sigma^{-1}(x-\mu)]} \quad (2.15)$$

Suatu variabel dapat dikatakan berdistribusi normal multivariate dengan cara pemeriksaan menggunakan *Chi-Square* dan pengujian. Langkah - langkah untuk mengetahui apakah suatu data berdistribusi normal multivariate yaitu dengan menggunakan *Chi-Square plot* sebagai berikut.

1. Menghitung  $d_{ki}^2$ , yaitu jarak yang dikuadratkan.

$$d_{ki}^2 = (\mathbf{x}_{ijk} - \bar{\mathbf{x}}_{.j})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_{ijk} - \bar{\mathbf{x}}_{.j}) \quad (2.16)$$

dimana,

$$S = \begin{pmatrix} s_{.1}^2 & s_{.12} & \cdots & s_{.1k} & \cdots & s_{.1p} \\ s_{.21} & s_{.2}^2 & \cdots & s_{.2k} & \cdots & s_{.2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{.j1} & s_{.j2} & \cdots & s_{.jk} & \cdots & s_{.jp} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{.p1} & s_{.p2} & \cdots & s_{.pk} & \cdots & s_{.p}^2 \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

$$s_{.jk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k) \quad (2.18)$$

$$s_{.j}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (2.19)$$

dengan :

$i = 1, 2, \dots, n$  dimana  $n$  merupakan jumlah sampel setiap subgrup

$j = 1, 2, \dots, p$  dimana  $p$  merupakan jumlah karakteristik kualitas

$k = 1, 2, \dots, m$  dimana  $m$  adalah jumlah subgrup

$d_{ki}^2$  = jarak tergeneralisasi untuk pengamatan ke- $k$ i

$\mathbf{x}_{ijk}$  = vektor objek pengamatan ke- $ijk$

$\mathbf{x}_{ij}$  = vektor pada objek pengamatan ke- $i$  pada variabel ke- $j$

$\bar{\mathbf{x}}$  = vektor rata-rata

$\mathbf{S}^{-1}$  = invers matriks varian kovarian  $\mathbf{S}$

2. Mengurutkan nilai  $d_{ki}^2$  dari terkecil hingga terbesar
3. Menentukan nilai  $q$  dimana  $q = \chi_{(p:(n-j+0,5)/n)}^2$ . Nilai  $\chi_{(p:(n-j+0,5)/n)}^2$  didapatkan dari tabel distribusi  $\chi^2$ .
4. Membuat *Chi-square Plot* antara  $d_{ki}^2$  dan  $q$ .
5. data dikatakan berdistribusi normal multivariat jika plot membentuk suatu garis linear dan nilai-nilai  $d_{ki}^2$  yang kurang dari nilai  $\chi_{(p:(n-j+0,5)/n)}^2$  yang berada disekitar 50%.

## 2.2 Uji Perbandingan Fase

Uji perbandingan fase dilakukan untuk mengetahui apakah fase I dan fase II terjadi pergeseran proses atau tidak. Asumsi yang digunakan adalah uji homogenitas untuk melihat matriks varians kovarians homogen atau tidak.

### a. Uji Homogenitas

Untuk mengetahui apakah matriks varian kovarians homogen atau tidak maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *Box's M* dimana hipotesis sebagai berikut (Johnson dan Wichern, 2007).

$H_0$  :  $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g$  (Matriks varian kovarians perlakuan 1, perlakuan 2, sampai perlakuan ke- $g$  sama)

$H_1$  : minimal ada satu  $\Sigma_i \neq \Sigma_g$ , dimana  $i = 1, 2, \dots, g$

Statistik Uji :

$$C = (1 - u)M \quad (2.20)$$

Dimana,

$$u = \left[ \sum_i \frac{1}{(n_i - 1)} - \frac{1}{\sum_i (n_i - 1)} \right] \left[ \frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(g-1)} \right] \quad (2.21)$$

$$M = \left[ \sum_i (n_i - 1) \right] \ln |S_{pooled}| - \sum_i \sum_i [(n_i - 1) \ln |S_i|] \quad (2.22)$$

$$S_{pooled} = \frac{1}{\sum_{i=1}^g (n_i - 1)} \{ (n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2 \} \quad (2.23)$$

Keterangan:

- $g$  = banyaknya fase
- $m$  = banyaknya subgrup
- $p$  = banyaknya variabel kualitas
- $S_k$  = Matriks varians kovarians
- $n_k$  = Jumlah pengamatan

Jika menggunakan taraf signifikan sebesar  $\alpha$  dan aproksimasi berdistribusi  $\chi^2$  maka  $H_0$  ditolak jika  $C > \chi^2_{p(p+1)(g-1)/2, \alpha}$ .

**b. Uji Bahren-Fisher**

Analisis perbedaan *treatment* dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Behrens-Fisher*. Uji *Behrens-Fisher* adalah uji untuk mengetahui apakah suatu proses kerja mengalami pergeseran rata-rata proses atau tidak dengan hipotesis sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Daerah kritis :  $H_0$  ditolak jika  $T^2 > \chi^2_{(\alpha, p)}$

Statistik Uji :

$$T^2 = [\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2]' \left[ \frac{1}{n_1} \mathbf{S}_1 + \frac{1}{n_2} \mathbf{S}_2 \right]^{-1} [\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2] \quad (2.24)$$

dimana :

$\bar{\mathbf{x}}_1$  = matriks rata-rata pada fase ke-1

$\bar{\mathbf{x}}_2$  = matriks rata-rata pada fase ke-2

$\mathbf{S}_1$  = matriks varians kovarians fase ke-1

$\mathbf{S}_2$  = matriks varians kovarians fase ke-2

(Johnson dan Wichern, 2007).

### 2.3 Indeks Kapabilitas

Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk beroperasi sesuai dengan standar yang ditentukan. Salah satu analisis kapabilitas proses adalah analisis kapabilitas proses multivariat diperlukan syarat bahwa peta kendali multivariat sudah dalam keadaan terkendali dan asumsi multivariat juga telah terpenuhi, indeks kapabilitas proses multivariat adalah sebagai berikut (Kotz & Johnson, 1993).

Apabila peta kendali telah terkendali dan asumsi telah terpenuhi maka analisis kapabilitas proses dapat dilakukan dengan menentukan indeks kapabilitas proses. Nilai indeks kapabilitas proses ( $C_p$ ) dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$C_p = \frac{K}{\chi^2_{\alpha,p}} \left[ \frac{(m-1)p}{S} \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

dengan

$$S = \sum_{i=1}^m (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{x}})' \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{x}}) \quad (2.26)$$

$$\mathbf{A}^{-1} = (\mathbf{x}'_{ij} \mathbf{x}_{ij})^{-1}$$

$$\mathbf{K}^2 = (\bar{x}_{ij} - \xi_j)' \mathbf{S}^{-1} (\bar{x}_{ij} - \xi_j) \quad (2.27)$$

$$\xi = \frac{1}{2} (BSA + BSB) \quad (2.28)$$

Keterangan :

$C_p$  = Nilai indeks kapabilitas proses

$m$  = banyak subgrup

$p$  = jumlah karakteristik kualitas

$\mathbf{S}^{-1}$  = invers matriks varians kovarians

$BSA$  = Batas spesifikasi atas

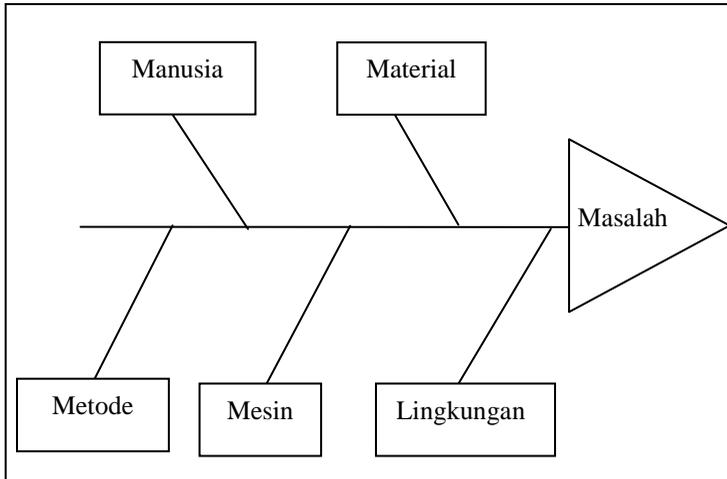
$BSB$  = Batas spesifikasi bawah

Ketentuan interpretasi dari  $C_p$  adalah :

1. Jika  $C_p \geq 1$  maka proses produksi mempunyai presisi yang tinggi
2. Jika  $C_p < 1$  proses produksi mempunyai presisi yang rendah

## 2.4 Diagram Sebab - Akibat

Diagram sebab akibat merupakan salah satu dari tujuh alat dalam pengendalian kualitas statistika yang mempunyai nama lain diagram *Ishikawa* atau tulang ikan (*fishbone*). Diagram sebab akibat adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara masalah (akibat) dengan faktor-faktor yang menjadi penyebabnya untuk mengetahui penyebab terbesar dari masalah tersebut. Manfaat diagram sebab akibat adalah mengantisipasi dan mengidentifikasi masalah. Penyebab terjadinya masalah pada umumnya yaitu 4M+E atau 4M+L yaitu mesin, metode, manusia, material, dan lingkungan (Heizer, 2009).

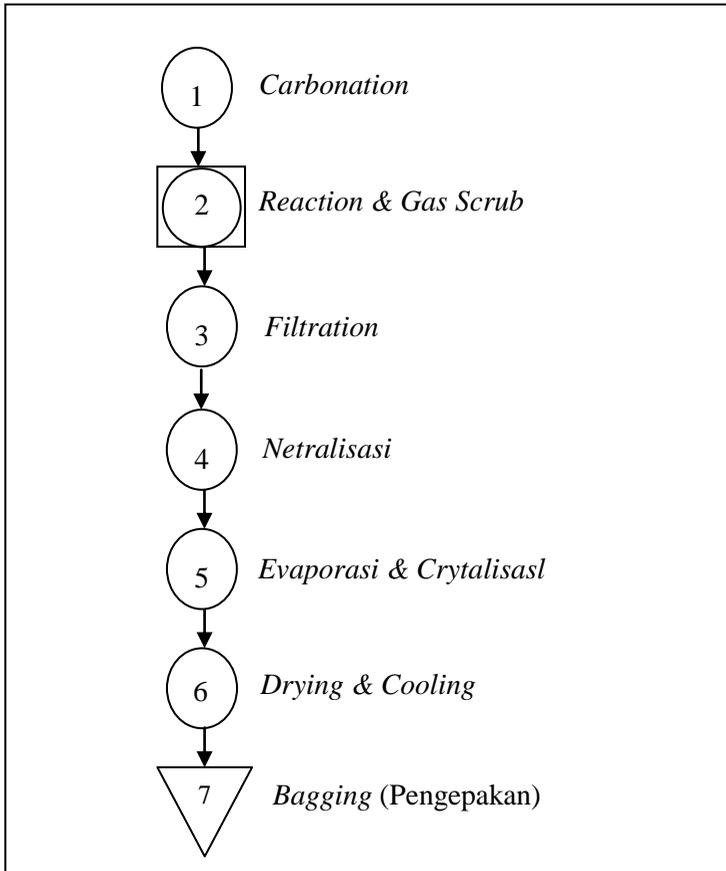


**Gambar 2.1** Contoh Diagram *Ishikawa*

## 2.5 Pupuk ZA

Pupuk ZA adalah pupuk kimia buatan yang mengandung amonium sulfat yang dirancang untuk memberi tambahan hara nitrogen dan belerang bagi tanaman. Nama ZA adalah singkatan dari istilah bahasa Belanda, *zwavelzure ammoniak*. Wujud pupuk ini butiran kristal mirip garam dapur dan terasa asin di lidah berbentuk butir-butir kristal, berwarna orange, mudah larut dalam air dan sifatnya tidak higroskopis. Pupuk ZA III memiliki karakteristik kualitas yaitu *crystal* sebesar 40% - 60% serta *acidity* sebesar 0,39% - 0,78%. Selain *crystal* dan *acidity* pupuk ZA juga terdiri dari beberapa komponen lain yakni nitrogen sebesar 20,8%, belerang sebesar 23,8%, kadar air sebesar 1%, dan kadar asam bebas ( $H_2SO_4$ ) sebesar 0,1% (Petrokimia, 2012).

Proses produksi membuat pupuk ZA di PT. Petrokimia Gresik.



**Gambar 2.2** Proses Produksi Pupuk ZA

1. Proses produksi pembuatan pupuk ZA dimulai dengan proses *Carbonation*. Peralatan utamanya adalah *carbonation tower* yang berfungsi untuk pembuatan *ammonium carbonat / carbonat liquor*. Gas  $\text{CO}_2$  suhunya diturunkan didalam *chiller sisi tube* sedangkan *ammonia*

cair masuk sisi *shell*. Gas *ammoniak* selanjutnya masuk *carbonat tower* yang sebelum ya dipanaskan lebih lanjut pada *ammonia superheater* sedangkan  $\text{CO}_2$  ditekan dengan *compressor* dan masuk tower. Produk larutan *carbonat liquor* dari dasar tower dialirkan ke *storage tank* sedangkan gas yang lolos dibagian atas diserap oleh *scrubber liquor* dan yang tak terserap dialirkan ke reaksi dan penyerapan gas.

2. Proses kedua adalah Pembentukan *Reaction Magma* dan penyerapan  $\text{CO}_2$  yang peralatan utamanya adalah *reaction vessel* berpengaduk tempat bereaksinya *ammonium carbonat* dengan *phosfor ghypsum* membentuk *reaction magma* dan gas *scrubber* menyerap  $\text{CO}_2$  yang lolos di *carbonation, reaction, filtration dan neutralization*. *Gypsum* masuk keatas reaktor melalui *vortex mixer* dicampur dengan *carbonat liquor* sedangkan reaktor berikutnya dari bawah reaktor *slurry* dikirim ke filtrasi. Gas yang mengandung  $\text{NH}_3$  dan  $\text{CO}_2$  masuk bawah *scrubber* selanjutnya dikirim ke *carbonation tower* sedangkan sisa gas yang terserap di buang ke atmosfer melalui *stack*.
3. Proses ketiga adalah proses filtrasi. Dalam tahapan ini ada pemisahan ZA dengan padatan kapur dan kapur yang masih terikut larutan akan diendapkan di bejana pengendap (*chalk settler*). Pada *primary filter* larutan ZA dari reaktor terkahir dipisahkan *filtrat (strong liquor)* sebagai produk *filter* dan *cake* yang akan dilarutkan dengan *weak liquor* untuk diumpankan ke *secondary filter* terjadi pemisahan *cake* (kapur) dengan filtratnya berupa *weak liquor*.
4. Setelah melalui proses filtrasi akan dilakukan proses netralisasi. Pada tahapan ini kelebihan  $\text{NH}_3$  dan *ammonium carbonat* dinetralkan dengan asam sulfat menjadi ZA tambahan sedangkan  $\text{CO}_2$  terlepas. Hasil dari reaksi tersebut membentuk *ammonium sulfat* tambahan yang selanjutnya dengan pompa dikirim ke *evaporator* dan gas  $\text{CO}_2$  yang lepas dihisap dengan *blower* untuk dibawah ke *scrubber*.

5. Proses berikutnya merupakan proses evaporasi dan kristalisasi dimana Peralatan utamanya adalah *evaporator crystallizer* dengan fungsi menguapkan H<sub>2</sub>O dari larutan ZA supaya larutan menjadi pekat hingga terbentuk kristal *ammonium sulfat* sedangkan untuk memisahkan kristal dan larutannya digunakan *centrifuge*. Larutan ZA masuk *evaporator I* pada sisi *tube* untuk memekatkan sampai mendekati jenuh dengan pemanas *steam*. keluar *evaporator I* larutan masuk *evaporator II* untuk dipekatkan menjadi lewat jenuh selanjutnya masuk *evaporator III*. *Slurry evaporator III* selanjutnya dikirim ke *centrifuge* untuk memisahkan kristal dari larutannya. Kristal basah dikirim ke unit *dryer cooler* sedangkan larutan *mother liquor* disirkulasi ke *evaporator III*.
6. Proses selanjutnya adalah *drying* dan *cooling*. Pada tahap ini kristal ZA basah dari *centrifuge* dikeringkan dan didinginkan di *rotary dryer* dan ditambahi anti *caking / armoflo I*. Kristal basah dikeringkan dengan udara panas dari *furnace* pada bagian *drying* sedangkan kristal didinginkan dengan udara *cooler air feed fan*. Produk kristal selanjutnya dikirim ke pengantongan.
7. Proses terakhir adalah *bagging*. Produk kristal dikirim ke pengantongan atau *Bulk Storage*. Produk ZA kering akan dikirim ke bagian *Hopper* dan diangkut dengan *Belt Conveyor* menuju bagian pengantongan untuk selanjutnya dilakukan pengepakan.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Variabel Penelitian**

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jumlah *Crystal* ( $X_1$ ) yang diperoleh dari proses reaksi asam sulfat dan amonia pada saturator. Merupakan bentuk produk ZA III yang belum dipisahkan dari larutan induk dengan batas spesifikasi 40% - 60%
2. *Acidity* ( $X_2$ ) adalah zat kimia yang tingkat keasaman  $\text{pH} < 7$  yang dibutuhkan dalam pembentukan kristal pada saturator serta memiliki batas spesifikasi tingkat *Acidity* sebesar 0,39% - 0,78%

Pada proses produksi pupuk ZA III, *crystal* dan *acidity* menjadi karakteristik kualitas dikarenakan untuk mendapatkan bentuk akhir dari pupuk terlebih dahulu harus terbentuk *crystal* yang nantinya akan dipisahkan dengan larutan induk dan nantinya akan menjadi bentuk akhir dari pupuk ZA III dimana dalam pembentukan *crystal* dipengaruhi oleh tingkat *acidity*. Apabila *acidity* semakin rendah maka akan terbentuk asam dan tidak dapat digunakan dalam proses produksi, sedangkan jika *acidity* semakin tinggi maka pembentukan *crystal* akan semakin lama.

#### **3.2 Teknik Pengambilan Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari pemeriksaan produk pupuk ZA III oleh divisi *quality control* dengan karakteristik kualitas yang diukur adalah jumlah *crystal* dan *acidity* yang diukur pada proses produksi reaksi dan penyerapan gas yang dibuktikan dengan surat yang terdapat pada Lampiran 21, Lampiran 22, dan Lampiran 23. Proses produksi dilakukan terus menerus setiap shift dimana terdapat 3 shift dan setiap shift dilakukan pengecekan sebanyak 4 kali.

Pada fase I diambil pada bulan Desember 2017 yang terdapat 84 subgrup dan pada fase II diambil pada bulan Januari 2018 yang terdapat 84 subgrup, dimana subgrup adalah shift. Struktur data pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Struktur Data Penelitian

Shift ke- (k)	Pengukuran ke- (i)	Karakteristik Kualitas (j)	
		Jumlah <i>Crystal</i> ( $X_1$ )	<i>Acidity</i> ( $X_2$ )
1	1	$x_{111}$	$x_{121}$
	2	$x_{211}$	$x_{221}$
	3	$x_{311}$	$x_{321}$
	4	$x_{411}$	$x_{421}$
2	1	$x_{112}$	$x_{122}$
	2	$x_{212}$	$x_{222}$
	3	$x_{312}$	$x_{322}$
	4	$x_{412}$	$x_{422}$
·	·	·	·
·	·	·	·
·	·	·	·
84	1	$x_{1184}$	$x_{1284}$
	2	$x_{2184}$	$x_{2284}$
	3	$x_{3184}$	$x_{3284}$
	4	$x_{4184}$	$x_{4284}$

Keterangan :

i = frekuensi pengulangan untuk pengecekan, dilakukan sebanyak 4 kali

j = banyaknya karakteristik kualitas yaitu *crystal* dan *acidity*

k = subgrup yaitu jumlah *shift* selama 1 bulan

*shift* 1 = 23.00 – 06.00

*shift* 2 = 06.00 – 14.00

*shift* 3 = 14.00 – 23.00

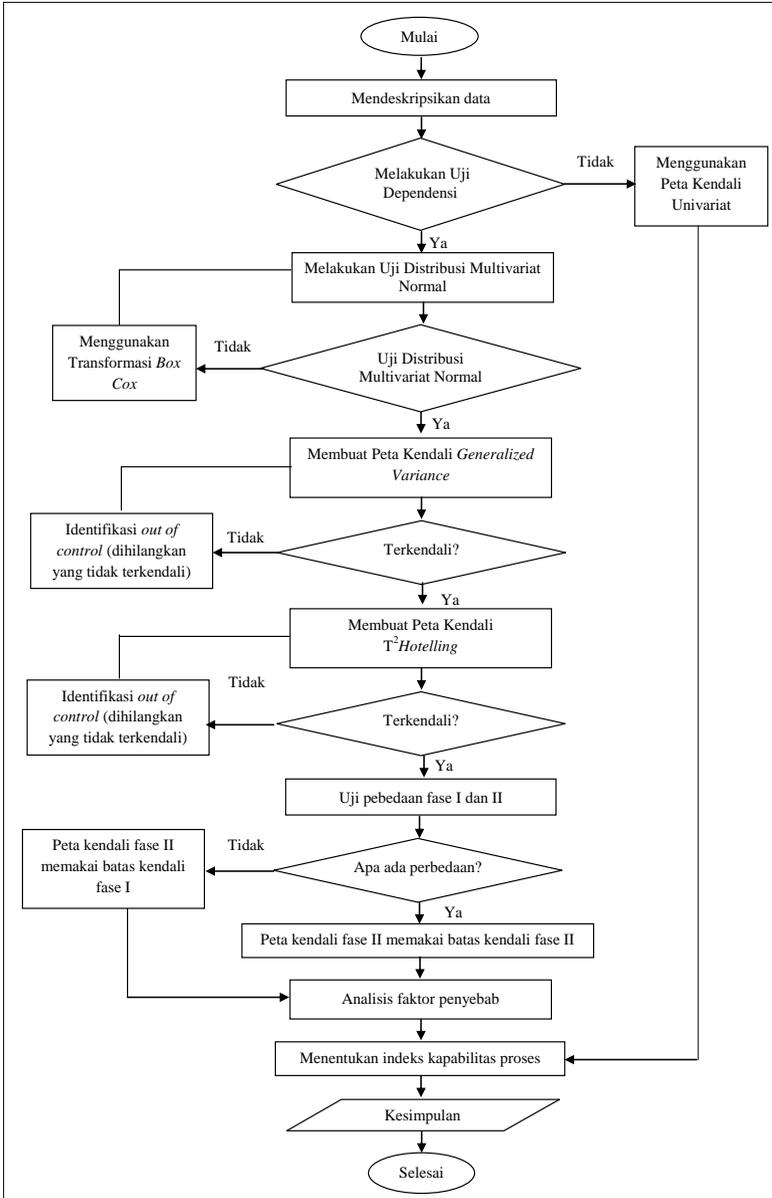
$x_{ijk}$  = nilai pengukuran ke-i, karakteristik kualitas ke-j, dan shift ke-k

### 3.3 Langkah Analisis Data

Langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Setelah data terkumpul lalu mendeskripsikan data variabel proses produksi pupuk ZA III.
2. Melakukan pengujian asumsi terhadap data hasil pemeriksaan proses produksi pupuk ZA III:
  - a. Melakukan pengujian dependensi untuk mengetahui apakah variabel saling berhubungan atau tidak.

- b. Melakukan pengujian asumsi distribusi normal multivariat untuk mengetahui apakah variabel sudah berdistribusi normal atau tidak, jika tidak maka akan digunakan transformasi *box-cox*.
3. Membuat peta kendali *generalized variance* untuk mengetahui variabilitas proses dan membuat peta kendali  $T^2$  *Hotteling* untuk mengetahui *mean* proses pada data proses produksi pupuk ZA III fase 1.
4. Membuat diagram ishikawa untuk mencari penyebab terjadinya *out of control* pada data proses produksi pupuk ZA III.
5. Melakukan uji homogenitas dan analisis perbedaan terhadap fase untuk mengetahui adanya perbedaan fase pada data proses produksi pupuk ZA III.
6. Membuat peta kendali *generalized variance* untuk mengetahui variabilitas proses dan membuat peta kendali  $T^2$  *Hotteling* untuk mengetahui *mean* proses pada data proses produksi pupuk ZA III fase 2.
7. Menghitung indeks kapabilitas proses setelah prosesnya sudah terkendali secara statistik pada data proses produksi pupuk ZA III.
8. Menginterpretasi hasil analisis data.
9. Menarik kesimpulan dan memberikan saran.  
Diagram alir dari langkah analisis pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan pengendalian kualitas statistika pada proses produksi pupuk ZA III, mengidentifikasi faktor yang menjadi penyebab produk cacat dan menghitung nilai kapabilitas proses produksi pupuk ZA III pada data bulan Desember 2017 untuk fase I dan bulan Januari 2018 untuk fase II. Analisis dan pembahasan pada fase I dan fase II adalah sebagai berikut.

### 4.1 Deskripsi Data Proses Produksi Pupuk ZA III

Pupuk ZA yang diproduksi PT. Petrokimia Gresik terdapat beberapa karakteristik kualitas diantaranya adalah *crystal* dan *acidity*. Statistika deskriptif dari variabel *crystal* dan *acidity* pada fase 1 bulan Desember 2017 pada Lampiran 1 dan fase 2 bulan Januari 2018 pada Lampiran 11 adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Deskripsi Data Variabel *Crystal* dan *Acidity*

Variabel	Fase	Mean	Varians	Min	Maks	BSA	BSB
<i>Crystal</i> (%)	Fase 1	50,952	25,060	40,000	70,000	60%	40%
	Fase 2	50,952	25,060	40,000	70,000	0,78%	0,39%
<i>Acidity</i> (%)	Fase 1	0,50801	0,01363	0,27000	0,97000	60%	40%
	Fase 2	0,50711	0,01368	0,27000	0,97000	0,78%	0,39%

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nilai rata-rata dari variabel *Crystal* pada bulan Desember 2017 sebesar 50,952 dengan keragaman data sebesar 25,06 serta nilai minimum sebesar 40 dan maksimum sebesar 70. Nilai rata-rata untuk bulan Januari 2018 sebesar 50,952 dengan keragaman data sebesar 25,06 serta nilai minimum sebesar 40 dan maksimum sebesar 70.

Sedangkan untuk variabel *Acidity* diketahui pada bulan Desember 2017 sebesar 0,50801 dengan keragaman data sebesar 0,01363 serta nilai minimum sebesar 0,27 dan maksimum sebesar 0,97. Nilai rata-rata untuk bulan Januari 2018 sebesar 0,50711 dengan keragaman data sebesar 0,01368 serta nilai minimum sebesar 0,27 dan maksimum sebesar 0,97.

## 4.2 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk ZA III Fase I

Analisis kapabilitas proses produksi pupuk ZA III untuk fase I yaitu bulan Desember 2017 berdasarkan data pada Lampiran 1 adalah sebagai berikut.

### 4.2.1 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi Peta Kendali Multivariat Produksi Pupuk ZA III Fase I

Sebelum dilakukan analisis kapabilitas proses terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi terlebih dahulu, antara lain dependensi antar variabel dan berdistribusi normal multivariat. Berikut merupakan hasilnya.

#### a. Pengujian Dependensi Variabel *Crystal & Acidity* Fase I

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana hubungan antara variabel *crystal* dan *acidity*. Hipotesis dan hasil pengujian berdasarkan pada data Lampiran 1 dan Persamaan (2.12) adalah sebagai berikut.

$H_0: \mathbf{R} = \mathbf{I}$  (Tidak ada korelasi antar variabel atau independen)

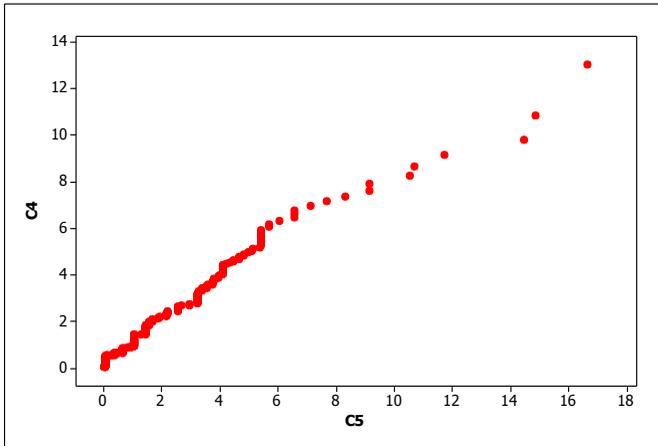
$H_1: \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$  (Terdapat korelasi antar variabel atau dependen)

Pada taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 5%, maka diperoleh hasil seperti Lampiran 2 yang didapatkan bahwa nilai  $\chi_{hitung}^2$  sebesar 0,899 lebih kecil dari  $\chi_{0,05;1}^2$  sebesar 3,84 dan *P-value* sebesar 0,343 lebih besar dari taraf signifikan sebesar 0,05.

Berdasarkan daerah penolakan  $\chi_{hitung}^2 > \chi_{0,05;1}^2$  dan *P-value*  $< 0,05$ , maka dapat diputuskan yaitu gagal tolak  $H_0$ , akan tetapi berdasarkan teori dan observasi di lapangan yang menunjukkan bahwa variabel *crystal* dan *acidity* saling berhubungan, maka analisis dapat dilanjutkan ke analisis selanjutnya.

#### b. Pemeriksaan Asumsi Distribusi Normal Multivariat Fase I

Pemeriksaan asumsi distribusi normal multivariat dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil pengamatan telah berdistribusi normal multivariat dengan melihat nilai proporsi yang diperoleh berdasarkan data Lampiran 1 dan syntax pada Lampiran 3 adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.1** *Chi-square Plot* Data Fase I

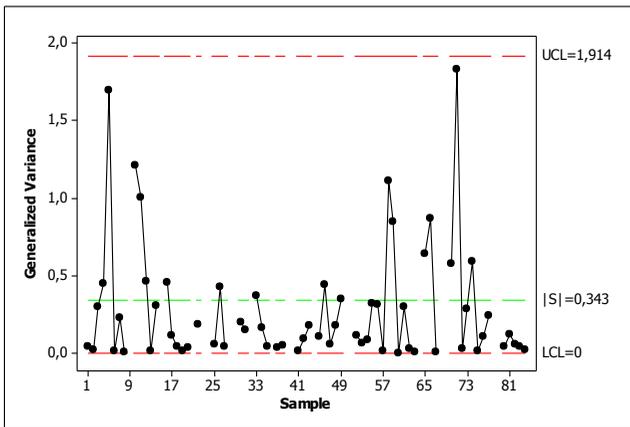
Gambar 4.1 secara visual menunjukkan bahwa *plot* yang terbentuk telah mengikuti garis linier pada Lampiran 5, sehingga dapat disimpulkan pengamatan telah berdistribusi normal multivariat, selain itu diporeleh proporsi nilai  $d_{ki}^2$  yang kurang dari  $\chi^2_{(2;0,05)}$  sebesar 0,508 yang setara dengan 50,8 % pada Lampiran 4 dimana nilai tersebut mendekati 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengamatan pada bulan Desember 2017 telah berdistribusi normal multivariat. Setelah asumsi telah terpenuhi maka akan dilanjutkan dengan peta kendali multivariat. Peta kendali mutlivariat digunakan untuk mengetahui apakah proses produksi telah terkendali secara statistik atau belum.

#### 4.2.2 Peta Kendali Proses Produksi Pupuk ZA III Fase 1

Peta kendali multivariat merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui apakah proses produksi telah terkendali secara statistik dimana variabel lebih dari satu serta dependen. Terdapat dua peta kendali yang digunakan, yaitu peta kendail *Generalized Variance* untuk mengukur variabilitas proses serta peta kendali  $T^2$  *Hottelling* untuk mengukur *mean proses*.

**a. Peta *Generalized Variance* Fase I**

Peta kendali *generalized variance* digunakan untuk mengendalikan proses variabilitas suatu produk. Apabila variabilitasnya telah terkendali, maka dapat dilanjutkan pada peta kendali untuk *mean proses*. dengan menggunakan data pada Lampiran 1 dan Persamaan (2.11) untuk menghitung batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB). Gambar 4.2 menunjukkan hasil dari peta kendali *generalized variance*.



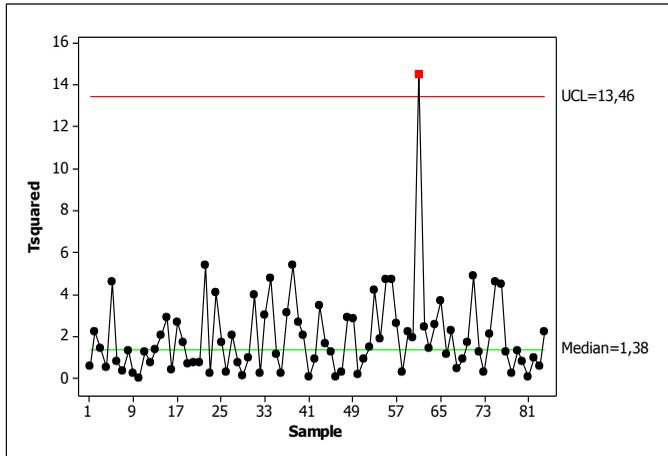
**Gambar 4.2** Peta *Generalized Variance* Fase I

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pupuk ZA III pada Lampiran 6 tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali atas (BKA) sebesar 1,914 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0. Maka dapat disimpulkan bahwa variabilitas proses produksi pupuk ZA III sudah terkendali secara statistik sehingga dapat dilanjutkan pada analisis selanjutnya yaitu peta kendali  $T^2$  Hotelling untuk mengendalikan *mean* proses.

**b. Peta  $T^2$  Hotelling Fase I**

Setelah melakukan pengendalian pada variabilitas proses produksi pupuk ZA dengan peta kendali *Generalized Variance* dan peta telah terkendali, maka dilanjutkan pada pengendalian

*mean proses* dengan menggunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling, dengan menggunakan data pada Lampiran 1 dan Persamaan (2.5) untuk menghitung batas kendali atas dan batas kendali bawah. Gambar 4.3 menunjukkan hasil dari peta kendali  $T^2$  Hotelling.

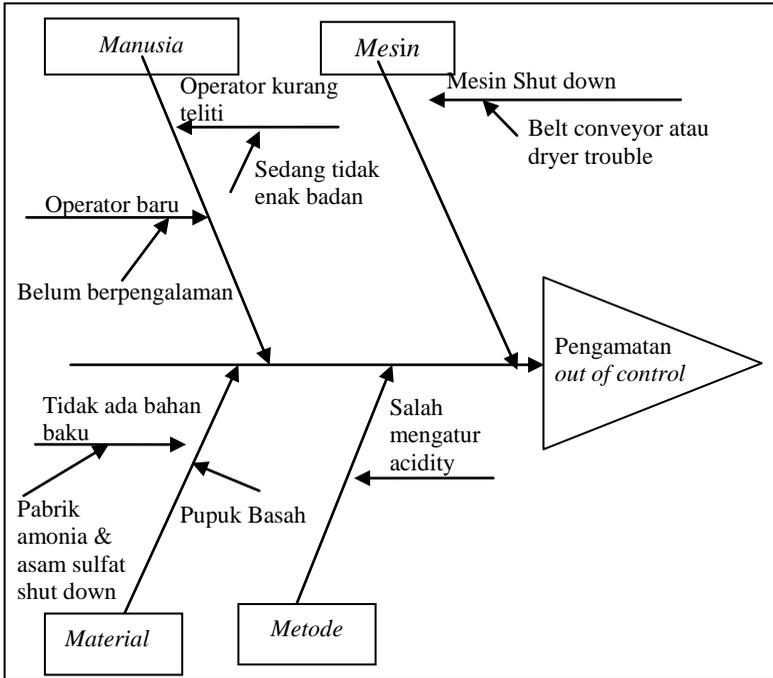


**Gambar 4.3** Peta  $T^2$ Hotelling Fase I

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa *mean proses* produksi pupuk ZA III pada Lampiran 7 dengan cara menghitung  $T^2$ Hotelling dari Persamaan (2.14) terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali atas (BKA) sebesar 13,46 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0 yang dihitung dengan Persamaan (2.5). Kesimpulan yang diperoleh bahwa *mean proses* pada proses produksi pupuk ZA III tidak terkendali secara statistik dikarenakan terjadi masalah maka dari itu dilakukan analisis kembali dengan mengeluarkan pengamatan ke-61.

### c. Analisis Faktor Penyebab

Diagram *ishikawa* digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor produk yang tidak sesuai berdasarkan batas spesifikasi serta proses produksi yang tidak terkendali yang akan mempengaruhi suatu hasil proses produksi disebabkan oleh 4M+1L.



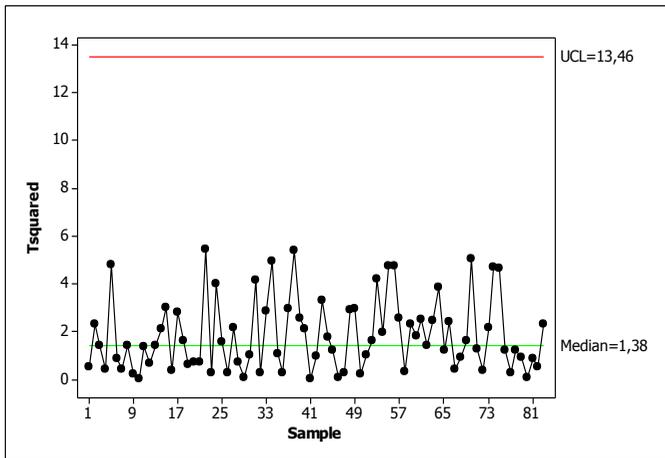
**Gambar 4.4** Diagram Ishikawa

Gambar 4.4 menunjukkan faktor-faktor penyebab pengamatan pada proses produksikeluar dari batas kendali yang disebabkan oleh faktor manusia, mesin, material, dan metode. Faktor – faktor penyebab diketahui yaitu utamanya faktor mesin. Usia mesin yang sudah tua akan menyebabkan *belt conveyor* atau *dryer* bermasalah dan akan berakibat pada pemberhentian produksi pada pabrik. Faktor – faktor lain yang menyebabkan pengamatan berada diluar batas kendali juga diketahui dari observasi langsung dengan operator, dimana pada faktor material disebabkan oleh tidak adanya bahan baku karena pabrik *amonia & asam sulfat* tidak produksi. Operator yang sedang bertugas juga dapat melakukan kesalahan karena kurang teliti, yang dapat disebabkan karena sedang tidak enak badan begitu pula dapat

disebabkan karena operator baru yang kurang berpengalaman. Pengamatan berada diluar batas kendali juga dapat disebabkan karena kesalahan pengaturan pada tingkat *acidity*.

#### d. **Peta $T^2$ Hotelling Perbaikan Fase I**

Setelah melakukan perbaikan pada peta kendali  $T^2$  Hotelling dengan cara mengeluarkan pengamatan ke-61, maka dilanjutkan dengan analisis selanjutnya yaitu peta kendali  $T^2$  Hotelling perbaikan sebagai berikut.



**Gambar 4.5** Peta  $T^2$  Hotelling Perbaikan Fase I

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa *mean proses* pada proses produksi pupuk ZA III pada Lampiran 8 dengan cara menghitung  $T^2$  Hotelling dari Persamaan (2.4) tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali atas (BKA) sebesar 13,46 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0. Maka dapat disimpulkan bahwa *mean proses* pada proses produksi pupuk ZA III sudah terkendali secara statistik sehingga dapat dilanjutkan pada analisis selanjutnya yaitu kapabilitas proses.

### 4.3 Analisis Perbandingan Fase I dan Fase II

Analisis perbedaan fase ini menggunakan uji *Behrens-Fisher*. Analisis *Behrens-Fisher* ini dapat menunjukkan adanya pergeseran proses yang juga mengindikasikan terdapat perbedaan

antara fase I dan fase II pada proses produksi pupuk ZA III. Sebelum menggunakan analisis *Behrens-Fisher* ini terdapat asumsi yang harus dipenuhi terlebih dahulu yaitu uji homogenitas matriks varians kovariansnya.

$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2$  (matriks varians kovarians fase 1 dan fase 2 homogen)

$H_1$ : Terdapat matriks varians kovarians fase I dan fase II yang tidak homogen

Pengujian homogenitas varians kovarians ini menggunakan taraf signifikan sebesar 5% dengan digunakan statistik uji C pada Persamaan (2.20) dan data pada Lampiran 1 dan 11 yang telah digabung sehingga diperoleh *Output* komputer ditunjukkan pada Lampiran 19. Nilai C yang diperoleh sebesar 0,135 lebih kecil dari  $\chi^2_{0,05;3}$  sebesar 7,814 serta didapatkan *P-value* sebesar 0,987 lebih besar dibandingkan dengan taraf signifikan sebesar 5%, sehingga diperoleh keputusan  $H_0$  gagal ditolak. Sehingga diperoleh kesimpulan yang dapat diambil dari keputusan tersebut adalah matriks varians kovarians fase I dan fase II homogen. Asumsi matriks varians kovarians yang terpenuhi maka untuk mengetahui perbedaan fase I dan fase II digunakan uji *Behrens-Fisher*.

Uji *Behrens-Fisher* ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antar fase 1 dan fase 2 dalam proses produksi pupuk ZA III dimana asumsi homogenitas matriks varians kovarians terpenuhi. Hasil analisis ditunjukkan sebagai berikut:

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$  (Tidak terdapat perbedaan antara rata-rata fase 1 dan rata-rata fase 2 pada proses produksi pupuk ZA III)

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$  (terdapat rata-rata fase yang memberikan perbedaan pada proses produksi pupuk ZA III)

Pengujian perbedaan Fase 1 dan Fase II dengan Uji *Behrens-Fisher* ini menggunakan taraf signifikan sebesar 5% dengan digunakan statistik uji  $T^2$  pada Persamaan (2.24) dan data pada Lampiran 1 dan 11 sehingga diperoleh *Output* komputer ditunjukkan pada Lampiran 20. Nilai  $T^2$  yang diperoleh sebesar 0,052 lebih kecil dari  $\chi^2_{0,05;2}$  yaitu sebesar 5,991 sehingga

diperoleh keputusan  $H_0$  gagal ditolak. Sehingga diperoleh kesimpulan tidak terdapat perbedaan fase I dan fase II pada proses produksi pupuk ZA III, sehingga batas kendali yang digunakan untuk fase II sama dengan batas kendali fase I.

#### **4.4 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk ZA III Fase II**

Penelitian fase II menggunakan data hasil dari proses produksi bulan Januari 2018, dimana asumsi yang harus terpenuhi adalah dependensi dan asumsi distribusi normal multivariat yang akan dijelaskan sebagai berikut.

##### **4.4.1 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi Peta Kendali Multivariat Produksi Pupuk ZA III Fase II**

Untuk melakukan analisis peta kendali multivariat memerlukan beberapa asumsi yang harus dipenuhi antara lain dependensi variabel dan distribusi normal multivariat. Berikut merupakan hasilnya.

##### **a. Pengujian Dependensi Variabel *Crystal* & *Acidity* Fase II**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana hubungan antara variabel *crystal* dan *acidity*. Hipotesis dan hasil pengujian berdasarkan pada data Lampiran 11 dan Persamaan (2.12) adalah sebagai berikut.

$H_0: \mathbf{R} = \mathbf{I}$  (Tidak ada korelasi antar variabel atau independen)

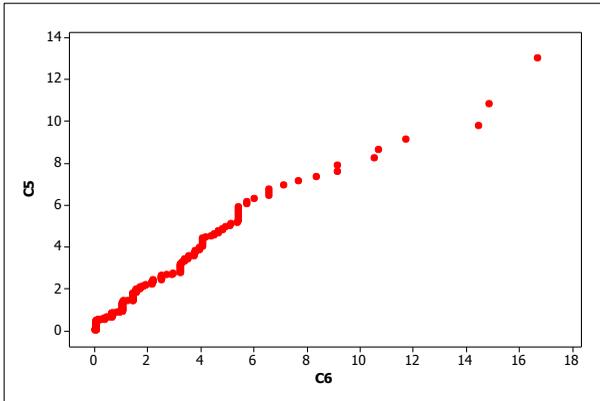
$H_1: \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$  (Terdapat korelasi antar variabel atau dependen)

Pada taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 5%, maka diperoleh hasil seperti Lampiran 12 yang didapatkan bahwa nilai  $\chi_{hitung}^2$  sebesar 0,890 lebih kecil dari  $\chi_{0,05;1}^2$  sebesar 3,84 dan *P-value* sebesar 0,346 lebih besar dari taraf signifikan sebesar 0,05.

Berdasarkan daerah penolakan  $\chi_{hitung}^2 > \chi_{0,05;1}^2$  dan *P-value*  $< 0,05$ , maka dapat diputuskan yaitu gagal tolak  $H_0$ , akan tetapi berdasarkan teori dan observasi di lapangan yang menunjukkan bahwa variabel *crystal* dan *acidity* saling berhubungan, maka analisis dapat dilanjutkan ke analisis selanjutnya.

## b. Pemeriksaan Asumsi Distribusi Normal Multivariat Fase II

Pemeriksaan asumsi distribusi normal multivariat akan dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil pengamatan telah berdistribusi normal multivariat dengan melihat nilai proporsi yang diperoleh berdasarkan pada data Lampiran 11 adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.6** Chi-square Plot Data Fase II

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa secara visual bahwa *plot* data bulan Januari 2018 yang terbentuk telah mengikuti garis linier pada Lampiran 14, sehingga dapat disimpulkan pengamatan telah berdistribusi normal multivariat, selain itu diperoleh proporsi nilai  $d_{ki}^2$  yang kurang dari  $\chi^2_{(2;0,05)}$  sebesar 0,505 yang setara dengan 50,5% pada Lampiran 13 dimana nilai tersebut mendekati 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengamatan pada bulan Januari 2018 telah berdistribusi normal multivariat.

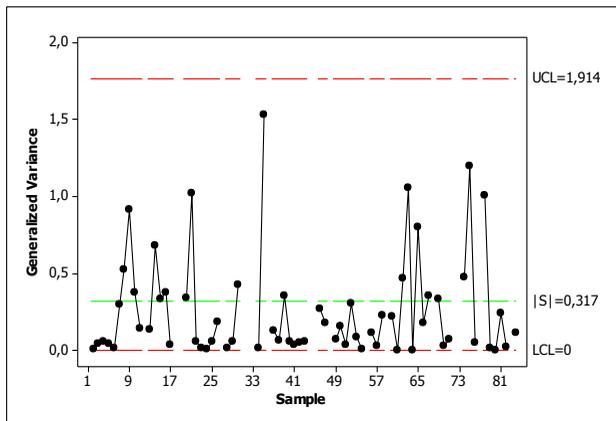
### 4.4.2 Peta Kendali Proses Produksi Pupuk ZA III Fase II

Peta kendali multivariat fase II digunakan untuk mengetahui apakah proses produksi dilakukan *improve* atau tidak setelah didapatkan pengamatan fase I terdapat yang *out of control*, tetapi dikarenakan tidak dapat dilakukan *improve* secara

langsung maka hanya melihat apakah terdapat pergeseran proses atau tidak. Hasil analisis peta kendali multivariat yang terdiri dari peta kendali *generalized variance* dan peta kendali  $T^2$  Hotelling yang akan dijelaskan sebagai berikut.

#### a. Peta *Generalized Variance* Fase II

Peta kendali *generalized variance* digunakan untuk mengendalikan proses variabilitas suatu produk, dengan menggunakan data pada Lampiran 11. Batas kendali yang digunakan pada peta kendali *Generalized Variance* fase II merupakan batas kendali pada peta kendali *Gneralized Variance* pada fase I yang telah terkendali. Berikut hasil dari peta kendali *generalized variance*.



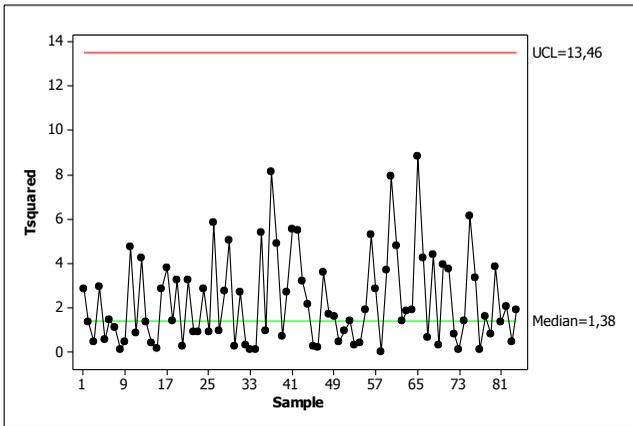
**Gambar 4.7** Peta *Generalized Variance* Fase II

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa variabilitas proses produksipupuk ZA III bulan Januari 2018 pada Lampiran 15 tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali atas (BKA) sebesar 1,914 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0, dimana batas kendali pada peta *generalized variance* fase I. Maka dapat disimpulkan bahwa variabilitas proses produksi pupuk ZA III bulan Januari 2018 sudah terkendali secara statistik yang artinya tidak terdapat pergeseran proses produksi pupuk ZA III antara bulan Desember 2017 dan Januari 2018 sehingga dapat

dilanjutkan pada analisis selanjutnya yaitu peta kendali  $T^2$  Hotelling untuk mengendalikan *mean* proses.

#### b. Peta $T^2$ Hotelling Fase II

Peta kendali *generalized variance* yang telah terkendali akan dilanjutkan dengan analisis peta kendali  $T^2$  Hotelling digunakan untuk mengendalikan *mean* proses suatu produk, dengan menggunakan data pada Lampiran 11. Berikut hasil dari peta kendali  $T^2$  Hotelling.



Gambar 4.8 Peta  $T^2$  Hotelling Fase II

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa *mean* proses produksi pupuk ZA III pada Lampiran 16 bulan Januari 2018 tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali atas (BKA) sebesar 13,46 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0. Dapat disimpulkan bahwa *mean* proses produksi pupuk ZA III bulan Januari 2018 telah terkendali secara statistik dengan menggunakan batas kendali pada peta kendali  $T^2$  Hotelling fase I.

#### 4.5 Menentukan Indeks Kapabilitas Proses

Setelah dilakukan analisis peta kendali *generalized variance* serta peta kendali  $T^2$  Hotelling dan didapatkan bahwa proses sudah terkendali secara statistik, sehingga akan dilanjutkan pada analisis kapabilitas guna menaksir kemampuan proses produksi dengan cara menghitung proses menggunakan

Persamaan (2.25) dan syntax pada Lampiran 9 dan Lampiran 17. Proses dikatakan kapabel atau proses dalam keadaan buruk jika nilai  $C_p$  kurang dari 1, sedangkan proses dalam keadaan baik jika nilai  $C_p$  sama dengan 1 dan proses dalam keadaan sangat baik jika  $C_p$  lebih dari 1.

**Tabel 4.2** Indeks Kapabilitas Proses

Indeks	Fase I	Fase II
$C_p$	1,54	1,49

Hasil analisis pada fase I kapabilitas didapatkan bahwa nilai  $C_p$  sebesar 1,54 berdasarkan Lampiran 10 sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk ZA III pada bulan Desember 2017 kapabel atau proses dalam keadaan sangat baik.

Selanjutnya pada fase II hasil analisis kapabilitas didapatkan bahwa nilai  $C_p$  sebesar 1,49 berdasarkan Lampiran 18 yang dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk ZA III pada bulan Januari 2018 kapabel atau proses dalam keadaan sangat baik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Proses produksi pupuk ZA III sudah kapabel karena  $C_p > 1$  dan telah terkendali secara statistik pada bulan Desember 2017 dengan nilai indeks kapabilitas ( $C_p$ ) sebesar 1,54 dan bulan Januari 2018 dengan nilai sebesar 1,49, yang berarti bahwa proses produksi pupuk ZA III sangat baik atau telah kapabel.
2. Walaupun proses produksi sudah kapabel masih terjadi ketidaksesuaian dikarenakan faktor mesin, usia mesin yang sudah tua membuat mesin rentan rusak sehingga menyebabkan produksi akan terganggu atau berhenti. Faktor lain adalah tidak adanya material bahan baku karena pabrik amonia dan asam sulfat *shut down*. Serta dari faktor manusia yakni operator yang sedang bertugas juga dapat melakukan kesalahan karena kurang teliti, yang dapat disebabkan karena sedang tidak enak badan begitu pula dapat disebabkan karena operator baru yang kurang berpengalaman.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk PT. Petrokimia Gresik berdasarkan hasil analisis dan pembahasan adalah PT. Petrokimia Gresik adalah melakukan perbaikan berdasarkan penyebab *out of control* dengan pemantauan secara rutin terhadap mesin produksi sehingga tidak terjadi kerusakan pada mesin yang akan menyebabkan ketidaksesuaian pada produk pupuk ZA. Serta memberi pelatihan yang baik dan menyeluruh kepada operator yang kurang berpengalaman. Serta PT. Petrokimia Gresik harus mempertahankan proses produksi yang telah kapabel atau sangat baik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Heizer, J. dan Render, B. 2009. *Manajemen Operasi*, Edisi 9. Salemba Empat, Jakarta
- Johnson dan Wichern, 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis Sixth Edition*. Prentice Hall, New Jersey.
- Kotler, Philip. 2005. *Manajemen Pemasaran*. Jilid II. Edisi Kesebelas. Alih Bahasa Benyamin Molan. Jakarta. : Indeks
- Kotz, S., & Johnson, N. L. 1993. *Process Capability Indices*. United Kingdom: Springer-Science+Business Media. B.V.
- Montgomery, C. Douglas. 2013. *Statistical Quality Control (6<sup>th</sup>ed)*. Asia: John Wiley & Sons Wiley & Sons, Inc., New York.
- PT. Petrokimia Gresik. 2012. *Urea dan ZA*. Diakses pada tanggal 7 januari 2018 yang berasal dari website <http://www.petrokimia-gresik.com/Pupuk/Urea.ZA>
- Rencher, Alvin C. 2002. *Methods Of Multivariate Analysis*. Canada: Wiley Interscience.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Data Proses Produksi Pupuk ZA III Fase I.

shift ke-	pengukuran ke-	crystal (%)	acidity (%)
1	1	45	0,49
	2	55	0,39
	3	55	0,49
	4	50	0,49
2	1	50	0,49
	2	45	0,49
	3	50	0,39
	4	45	0,54
3	1	45	0,58
	2	45	0,41
	3	60	0,39
	4	50	0,39
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
81	1	50	0,52
	2	50	0,62
	3	55	0,54
	4	50	0,29
82	1	60	0,58
	2	50	0,39
	3	50	0,39
	4	50	0,49
83	1	45	0,49
	2	55	0,39
	3	55	0,49
	4	50	0,49
84	1	50	0,49
	2	45	0,49
	3	50	0,39
	4	45	0,54

**Lampiran 2.** Output Dependensi Variabel Crystal dan Acidity Fase I**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,500
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	,899
	df	1
	Sig.	,343

### Lampiran 3. Syntax Asumsi Distribusi Normal Multivariat

```

Macro
NormalMultivariate X.1-X.p qc dj2
MConstant i j n p Prop Tengah
MColumn x.1-x.p xj Kali d dj2 qc Prob
MMatrix MCova MCovaI xjxbar
#-- 1.1. Dapatkan Nilai dj2 --#
let n=count(x.1)
  Covariance X.1-X.p MCova
  invers MCova MCovaI
  do i=1:n
    do j=1:p
      let xj(j)=x.j(i)-mean(x.j)
    enddo
    copy xj xjxbar
    mult MCovaI xjxbar Kali
    let d=Kali*xj
    let dj2(i)=sum(d)
  enddo
  sort dj2 dj2
#-- 1.2. Dapatkan Nilai qc --#
  do i=1:n
    let Prob(i)=1-(n-i+0.5)/n
  enddo
  INVCDF Prob qc;
  Chisquare p.
#-- 1.3 Buat Plot dj2 dengan qc --#
  plot qc*dj2;
  symbol.
#-- 2. Mencari Proporsi --#
  INVCDF 0.5 Tengah;
  Chisquare p.
  let Prop=0
  do i=1:n
    if dj2(i)<=Tengah
      let Prop=Prop+1
    endif
  enddo
  let Prop=Prop/n
  print Prop
#-- 3. Mencari Nilai Korelasi --#
  corr qc dj2
name qc 'qc'
name dj2 'dj2'
endmacro

```

**Lampiran 4. Output** Distribusi Normal Multivariat Fase I**Scatterplot of C4 vs C5****Data Display**

Prop      0,508929

**Correlations: C4; C5**

Pearson correlation of C4 and C5 = 0,986

P-Value = 0,000

**Lampiran 5.** Nilai  $d_{ki}^2$  setiap Observasi Fase I

Sampel	$d_{ki}^2$
1	0,0448376
2	0,0448376
3	0,0448376
4	0,0631888
5	0,0631888
6	0,0631888
7	0,0631888
8	0,0631888
9	0,0631888
10	0,0631888
11	0,0631888
12	0,0631888
13	0,0631888
14	0,0631888
15	0,0631888
16	0,0631888
17	0,0631888
18	0,0631888
19	0,0631888
20	0,0631888
.	.
.	.
.	.
330	9,1543
331	10,5536
332	10,7031
333	11,7444
334	14,4794
335	14,8906
336	16,6857

**Lampiran 6. Nilai |S| Fase I**

Sampel	S
1	0,042
2	0,017
3	0,302
4	0,448
5	1,694
6	0,014
7	0,228
8	0,009
9	0
10	1,209
11	1,008
12	0,463
13	0,014
14	0,304
.	.
.	.
.	.
80	0,042
81	0,119
82	0,056
83	0,042
84	0,017

**Lampiran 7. Nilai  $T^2$  Hotelling Fase I**

Sampel	$T^2$ Hotelling
1	0,55
2	2,22
3	1,44
4	0,49
5	4,61
6	0,77
7	0,34
8	1,30
9	0,22
10	0,02
11	1,25
12	0,72
13	1,37
14	2,04
...	...
80	0,82
81	0,08
82	0,95
83	0,55
84	2,22

**Lampiran 8.** Nilai  $T^2$  Hotelling Fase I perbaikan ke-1

Sampel	$T^2$ Hotelling
1	0,50
2	2,29
3	1,40
4	0,43
5	4,79
6	0,85
7	0,40
8	1,39
9	0,23
10	0,02
...	...
80	0,06
81	0,86
82	0,50
83	2,29

**Lampiran 9.** Syntax Kapabilitas Proses Fase I

```

macro
cova x.1-x.p
mconstant n i t1 t2 t3 c.1-c.p k2 k chi cp sbaru
mcolumn x.1-x.p b.1-b.p vek.1-vek.332 cm1 sbr
mmatrix am1 am2 am3 ainv am5 am6 mm mtt mvek mvekt s cm2
cm3 cm4 vo voin
noecho
let n=count(x.1)
define 0 1 1 s
print s
do i=1:p
let b.i=x.i-mean(x.i)
enddo
copy x.1-x.p am1
cova x.1-x.p vo
print vo
inve vo voin
print voin
trans am1 am2
mult am2 am1 am3
inve am3 ainv
print ainv
copy b.1-b.p mm
trans mm mtt
copy mtt vek.1-vek.332
do i=1:n
copy vek.i mvek
trans mvek mvekt
mult mvekt ainv am5
mult am5 mvek am6
add s am6 s
print i s
enddo
print s

```

**Lampiran 9. Syntax Kapabilitas Proses Fase I (Lanjutan)**

```
copy s sbr
print sbr
copy sbr sbaru
print sbaru
let t1=50
let t2=0,585
let c.1=mean(x.1)-t1
let c.2=mean(x.2)-t2
print c.1-c.2
copy c.1-c.2 cm1
print cm1
trans cm1 cm2
trans cm2 cm3
print cm2
print cm3
mult cm2 voin cm4
print cm4
mult cm4 cm3 k2
print k2
let k=sqrt(k2)
print k
invcdf 0.9973 chi;
chis p.
print chi
let cp=(k/chi)*sqrt((n-1)*p/sbaru)
print cp
endmacro
```

**Lampiran 10. Output Kapabilitas Proses Fase I****Data Display**

cp	1,54028
----	---------

**Lampiran 11. Data Proses Produksi Pupuk ZA III Fase II**

shift ke-	pengukuran ke-	crystal (%)	acidity (%)
1	1	45	0,49
	2	50	0,43
	3	45	0,49
	4	50	0,43
2	1	55	0,39
	2	50	0,47
	3	45	0,49
	4	50	0,43
3	1	55	0,39
	2	50	0,52
	3	50	0,62
	4	55	0,54
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
81	1	45	0,68
	2	55	0,58
	3	55	0,39
	4	60	0,39
82	1	45	0,62
	2	50	0,49
	3	50	0,49
	4	45	0,49
83	1	55	0,49
	2	55	0,49
	3	50	0,49
	4	50	0,49
84	1	60	0,49
	2	45	0,72
	3	60	0,39
	4	50	0,59

**Lampiran 12.** Output Dependensi Variabel Crystal dan Acidity Fase II**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		,500
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	,890
	df	1
	Sig.	,346

**Lampiran 13. Output** Distribusi Normal Multivariat Fase II**Scatterplot of C6 vs C7****Data Display**

Prop 0,505952

**Correlations: C6; C7**

Pearson correlation of C5 and C6 = 0,986

P-Value = 0,000

**Lampiran 14.** Nilai  $d_{ki}^2$  setiap Observasi Fase II

Sampel	$d_{ki}^2$
1	0,0462897
2	0,0462897
3	0,0462897
4	0,0606302
5	0,0606302
6	0,0606302
7	0,0606302
8	0,0606302
9	0,0606302
10	0,0606302
11	0,0606302
12	0,0606302
13	0,0606302
14	0,0606302
15	0,0606302
16	0,0606302
17	0,0606302
18	0,0606302
19	0,0606302
20	0,0606302
.	.
.	.
.	.
330	9,1681
331	10,5643
332	10,7140
333	11,7569
334	14,4800
335	14,8802
336	16,6867

**Lampiran 15.** Nilai  $|S|$  Fase II

Sampel	$ S $
1	0
2	0,005
3	0,045
4	0,056
5	0,042
6	0,014
7	0,296
8	0,528
9	0,917
10	0,375
11	0,114
12	0
13	0,113
14	0,684
.	.
.	.
.	.
80	0,002
81	0,238
82	0,023
83	0
84	0,111

**Lampiran 16. Nilai  $T^2$  Hotelling Fase II**

Sampel	$T^2$ Hotelling
1	2,82
2	1,35
3	0,45
4	2,96
5	0,53
6	1,43
7	1,09
8	0,13
9	0,45
10	4,71
11	0,85
12	4,21
13	1,36
14	0,42
.	.
.	.
.	.
80	3,82
81	1,34
82	2,05
83	0,47
84	1,91

**Lampiran 17.** Syntax Kapabilitas Proses Fase II

```

macro
cova x.1-x.p
mconstant n i t1 t2 t3 c.1-c.p k2 k chi cp sbaru
mcolumn x.1-x.p b.1-b.p vek.1-vek.336 cm1 sbr
mmatrix am1 am2 am3 ainv am5 am6 mm mtt mvek mvekt s cm2
cm3 cm4 vo voin
noecho
let n=count(x.1)
define 0 1 1 s
print s
do i=1:p
let b.i=x.i-mean(x.i)
enddo
copy x.1-x.p am1
cova x.1-x.p vo
print vo
inve vo voin
print voin
trans am1 am2
mult am2 am1 am3
inve am3 ainv
print ainv
copy b.1-b.p mm
trans mm mtt
copy mtt vek.1-vek.336
do i=1:n
copy vek.i mvek
trans mvek mvekt
mult mvekt ainv am5
mult am5 mvek am6
add s am6 s
print i s
enddo
print s

```

**Lampiran 17. Syntax Kapabilitas Proses Fase II (Lanjutan)**

```
copy s sbr
print sbr
copy sbr sbaru
print sbaru
let t1=50
let t2=0,585
let c.1=mean(x.1)-t1
let c.2=mean(x.2)-t2
print c.1-c.2
copy c.1-c.2 cm1
print cm1
trans cm1 cm2
trans cm2 cm3
print cm2
print cm3
mult cm2 voin cm4
print cm4
mult cm4 cm3 k2
print k2
let k=sqrt(k2)
print k
invcdf 0.9973 chi;
chis p.
print chi
let cp=(k/chi)*sqrt((n-1)*p/sbaru)
print cp
endmacro
```

**Lampiran 18.** *Output* Kapabilitas Proses Fase II**Data Display**

cp	1,49068
----	---------

**Lampiran 19. Output Uji Homogenitas****Test Results**

Box's M		,135
F	Approx.	,045
	df1	3
	df2	80202701,22
	Sig.	,987

**Lampiran 20. Output uji Behrens-Fisher**

```
MTB > let k1=mean (c1)
MTB > let k2=mean (c2)
MTB > let k3=mean (c3)
MTB > let k4=mean (c4)
MTB > copy k1-k2 c6
MTB > copy c6 m1
MTB > copy k3-k4 c7
MTB > copy c7 m2
MTB > covariance c1-c2 m3
MTB > covariance c3-c4 m4
MTB > copy m3 c9-c10
MTB > copy m4 c11-c12
MTB > copy c14-c15 m5
MTB > copy c16-c17 m6
MTB > add m5 m6 m7
MTB > invert m7 m8
MTB > subtract m1 m2 m9
MTB > transpose m9 m10
MTB > mult m10 m8 m11
MTB > mult m11 m9 m12
```

Answer = 0,0523

## Lampiran 21. Surat Permohonan Pengambilan Data



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS VOKASI**  
**DEPARTEMEN STATISTIKA BISNIS**

Kampus ITS Sukohilo, Surabaya 60111  
 Telp. : 031-594 3352, 031-599 4251 Fax. : 031-592 2940 PBX: 1213, 1214  
<http://www.statistika.its.ac.id>

### SURAT KETERANGAN

Nomor : 072253/IT2.VI.8.6 /TU.00.08/2017

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si  
 NIP : 19740328 199802 1 001  
 Pangkat/Gol : Penata Tingkat I - III/d  
 Jabatan : Kepala Departemen Statistika Bisnis ITS

Menerangkan dengan sebenarnya, bahwa yang tersebut dibawah ini :

Nama : MOH ARDAN KHUSEN  
 NRP : 10611500000076  
 Program Studi : Diploma III  
 Departemen : Statistika Bisnis - FVokasi - ITS

adalah mahasiswa Departemen Statistika Bisnis ITS, sejak Semester Gasal 2015/2016 dan sampai dengan Semester Gasal 2017/2018 masih aktif tercatat sebagai mahasiswa. Pada saat ini mahasiswa tersebut sedang menyelesaikan akhir studi dan diwajibkan untuk melakukan Tugas Akhir (TA).

Maka surat keterangan ini kami buat untuk mohon ijin mencari informasi dalam mendapatkan tempat untuk TA mahasiswa kami di Instansi/Departemen/Perusahaan yang dikunjunginya, dan jika ada kepastian mendapatkan ijin melakukan TA, maka akan dibuatkan surat ijin lebih lanjut.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

23 November 2017  
 Kepala  
  
 Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si  
 NIP. 19740328 199802 1 001  
 STATISTIKA

**Lampiran 22. Surat Perenimaan****PETROKIMIA  
GRESIK****SURAT KETERANGAN****No : 3641/K.02.02/03/MKP/2018**

Dengan ini kami menerangkan bahwa mahasiswa tersebut dibawah ini :

- o Nama : *Moh. Ardan Khusen*
- o Nomor Induk : 10611500000076
- o Program Studi : Statistika Bisnis - Vokasi - ITS Surabaya

Telah menyelesaikan Kerja Praktek di PT Petrokimia Gresik pada tanggal 01 - 30 Maret 2018.

Selama kegiatan Kerja Praktek tersebut tidak pernah melanggar peraturan yang berlaku dan telah melaksanakan tugasnya dengan baik.

Demikian surat keterangan ini kami buat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Gresik, 29 Maret 2018  
PT Petrokimia Gresik

**Tjaturtjitra Suhitarini, SE, MM**  
Manager Pengembangan SDM

## Lampiran 23. Surat Keaslian Data

### SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa Departemen Statistika Bisnis  
Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya :

Nama : Moh. Ardan Khusen  
NRP : 1061150000076

Menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan data  
sekunder yang diambil dari :

Sumber : PT. Petrokimia Gresik  
Keterangan : Data proses produksi pupuk ZA variabel *Crystal* dan *Acidity*  
bulan Desember 2017 dan Januari 2018

Surat Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data,  
maka saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Mengetahui,  
Pihak Instansi/Perusahaan,



(Mardius)  
NIP. 12222222

Surabaya,  
Yang membuat Pernyataan

(Moh. Ardan Khusen)  
NRP. 1061150000076

Mengetahui,  
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

(Dra. Lucia Ardinanti, M.T.)  
NIP. 19610231 198701 2 001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Moh. Ardan Khusein atau yang kerap disapa Ardan ini lahir di Lamongan pada tanggal 27 November 1996 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Desa Sukolilo, Kec. Sukodadi, Kab. Lamongan dan telah menempuh pendidikan dimulai dari TK Al Hidayah, MI Ma'arif NU Sukolilo (2003-2009), MTs N Model Babat (2009-2012), MAN 1 Lamongan (2012-2015), dan saat ini melanjutkan studinya di Diploma III Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS angkatan 2015 yang biasa disebut “HEROES”. Penulis gemar berolah raga terutama sepak bola serta gemar menonton film anime. Selain itu penulis juga aktif mengikuti beberapa organisasi di kampus. Penulis pernah beberapa kepanitiaan diantaranya adalah LKMM Pra-TD, Pelatihan Keilmiahan BEM FMIPA, Pekan Raya Statistika. Tahun kedua penulis bergabung dengan BEM FMIPA ITS pada departemen pengembangan sumber daya mahasiswa. Segala kritik dan saran akan sangat diharapkan untuk perbaikan selanjutnya. Untuk informasi dan komunikasi lebih lanjut dengan penulis dapat dihubungi melalui email [Ardanhusein96@gmail.com](mailto:Ardanhusein96@gmail.com)

