



TUGAS AKHIR - KS184822

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK
HERBISIDA DI PT “Z” MENGGUNAKAN PETA
KENDALI MULTIVARIAT**

**MARHAM BAIHAQQI
NRP 062116 4000 0104**

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

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



TUGAS AKHIR - KS184822

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK
HERBISIDA DI PT "Z" MENGGUNAKAN PETA
KENDALI MULTIVARIAT**

**MARHAM BAIHAQQI
NRP 062116 4000 0104**

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

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



FINAL PROJECT - KS184822

**QUALITY CONTROL OF HERBICIDE PRODUCT
IN PT “Z” USING MULTIVARIATE CONTROL
CHART**

**MARHAM BAIHAQQI
SN 062114 4000 0104**

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

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK HERBISIDA DI
PT "Z" MENGGUNAKAN PETA KENDALI
MULTIVARIAT**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Marham Baihaqqi

NRP. 062116 4000 0104

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.

NIP. 19590109 198603 2 001

()

Mengetahui,
Kepala Departemen



Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si.

NIP. 19691212 199303 2 002

SURABAYA, JULI 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK HERBISIDA DI PT “Z” MENGGUNAKAN PETA KENDALI MULTIVARIAT

Nama : Marham Baihaqqi
NRP : 062116 4000 0104
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.

Abstrak

Herbisida merupakan salah satu jenis pestisida yang berguna untuk mencegah dan mematikan gulma atau tumbuhan pengganggu. Pengendalian kualitas pada produk herbisida yang telah dilakukan PT “Z” hanya sebatas melalui inspeksi batas spesifikasi yang telah ditentukan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian kualitas produk herbisida secara statistik dengan menggunakan peta kendali multivariat serta kapabilitas proses formulasi herbisida di PT “Z”. Pada penelitian ini, metode yang akan digunakan adalah Multivariate Control Chart For Process Dispersion dan T^2 -Hotelling Control Chart. Karakteristik kualitas yang diukur pada produk herbisida yang diuji oleh quality control meliputi kadar pH, density, dan Active Ingredient (AI). Data pada pengamatan quality control di perusahaan ini merupakan pengamatan individu atau hanya memiliki satu subgrup dan mengikuti pola distribusi normal multivariat sehingga metode yang digunakan yaitu peta kendali multivariat. Multivariate Control Chart For Process Dispersion digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses sedangkan T^2 -Hotelling Control Chart digunakan untuk mengendalikan rata-rata proses. Hasil yang diperoleh yaitu variabilitas proses formulasi produk herbisida belum terkendali secara statistik. Sedangkan untuk rata-rata proses telah terkendali secara statistik. Hasil kapabilitas proses secara multivariat menunjukkan bahwa proses formulasi produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 telah kapabel dan memiliki presisi dan akurasi yang tinggi.

Kata Kunci : *Herbisida, Kapabilitas Proses, Multivariate Control Chart For Process Dispersion, PT “Z”, T^2 -Hotelling Control Chart.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

QUALITY CONTROL OF HERBICIDE PRODUCT IN PT “Z” USING MULTIVARIATE CONTROL CHART

Name : Marham Baihaqqi
Student Number : 062116 4000 0104
Department : Statistika
Supervisor : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S.

Abstract

Herbicide is one type of pesticide that is useful for preventing and disabling weed or invasive plants. Quality control of herbicide products that has been done by PT “Z” is only limited through the specified specification limit inspection. Therefore, it is necessary to control the quality of herbicide products in a statistical way using multivariate control chart and herbicide formulation process capability in PT “Z”. In this research, the methods are Multivariate Control Chart For Process Dispersion and T^2 -Hotelling Control Chart. Quality characteristics on the herbicide products that are tested by quality control include pH, density, and Active Ingredient (AI) levels. Observation data of quality control in this company is an individual observation or only has one subgroup and follows multivariate normal distribution. Therefore, the method that are able to be used are multivariate control charts. The Multivariate Control Chart For Process Dispersion is used to control process variability while the T^2 -Hotelling Control Chart is used to control the process's average. . The results are variability of the formulation process of herbicide products is not controlled statistically. But, the process's average has been statistically controlled. The results of multivariate process capability showed that the process of formulation of herbicide product of PT “Z” in July 2019 is capable and has high precision and accuracy.

Keywords : *Herbicide, Multivariate Control Chart For Process Dispersion, T^2 -Hotelling Control Chart, Process Capability, PT “Z”.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Pengendalian Kualitas Produk Herbisida Di PT “Z” Mengguakan Peta Kendali Multivariat”** dengan baik dan lancar. Pengerjaan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis dan keluarga yang memberikan dukungan, semangat, dan doa yang selalu dipanjatkan sehingga penulis dapat menjalani perkuliahan dengan baik hingga ke penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si. selaku Kepala Departemen Statistika FSAD dan Dr. Santi Wulan, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Departemen Bidang Akademik dan Kemahasiswaan yang telah menyediakan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan, masukan, dan dukungan selama proses penulisan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Wibawati S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Achmad Choiruddin, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran untuk Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr.rer.pol Dedy Dwi Prasetyo, S.Si., M.Si. selaku dosen wali dan seluruh Bapak-Ibu dosen Statistika atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan, serta seluruh staf dan karyawan Departemen Statistika ITS atas pelayanannya selama perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Bapak Supardi dan Bapak Irfan Supatma selaku pihak dari perusahaan yang telah membantu dalam proses pengambilan data Tugas Akhir ini.
7. Nafis, Adam, Valiant, Abyan, Fachrul, Asva, Bima, Yoga, Ronny, Jefry, Wildy, Aulia, Sheryn, dan segenap teman-teman angkatan 2016 yang telah banyak membantu penulis selama berkuliah di Departemen Statistika ITS.

8. Dimas, Charles, Alvin, Mba Maila, Muthia, Gunawan, dan segenap teman-teman angkatan 2015 yang telah banyak membantu penulis selama berkuliah di Departemen Statistika ITS.
9. Radha, Vito, Attariq, dan segenap teman-teman angkatan 2017 yang telah banyak membantu penulis selama berkuliah di Departemen Statistika ITS.
10. Anin, Sekar, Mahen, dan segenap teman-teman angkatan 2018 yang telah banyak membantu penulis selama berkuliah di Departemen Statistika ITS,
11. Alek, Bernard, Richard, Martin, Myron, Alvin, dan Nando yang sudah banyak membantu penulis sejak SMP dan SMA.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, Sehingga saran dan kritik dari segala pihak yang bersifat membangun sangat penulis harapkan agar berguna untuk penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	iii
COVER PAGE	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Masalah.....	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Uji Dependensi Variabel.....	5
2.2 Uji Normal Multivariat	6
2.3 <i>Multivariate Control Chart For Process Dispersion</i>	7
2.4 <i>T²-Hotelling Control Chart</i>	8
2.5 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>	9
2.6 Analisis Kapabilitas Proses.....	9
2.7 Diagram Ishikawa	11
2.8 Proses Produksi Herbisida	11
2.9 Kadar pH, <i>Density</i> , dan <i>Active Ingredient (AI)</i>	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Sumber Data	15
3.2 Variabel Penelitian.....	15
3.4 Struktur Data.....	16
3.5 Langkah Analisis	16
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	19

4.1	Karakteristik Variabel Kualitas Produk Herbisida	19
4.2	Pengujian Asumsi Dependensi	20
4.3	Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat	20
4.4	Pengendalian Kualitas Produk Herbisida Menggunakan Peta Kendali Multivariat	21
4.4.1	<i>Multivariate Control Chart For Process Dispersion</i>	21
4.4.2	<i>T²-Hotelling Control Chart</i>	23
4.5	Analisis Kapabilitas Proses	24
4.5	Diagram Ishikawa	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		27
5.1	Kesimpulan	27
5.2	Saran	27
DAFTAR PUSTAKA		29
LAMPIRAN		31
BIODATA PENULIS		39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Bagan Proses Produksi Herbisida..... 12
Gambar 3.1	Diagram Alir..... 17
Gambar 4.1	<i>Multivariate Control Chart For Process Dispersion</i> 21
Gambar 4.2	<i>Multivariate Control Chart For Process Dispersion</i> Setelah Perbaikan 23
Gambar 4.3	<i>T²-Hotelling Control Chart</i> 24
Gambar 4.4	Diagram Ishikawa Proses Formulasi Herbisida. 26

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Variabel Penelitian	15
Tabel 3.2 Struktur Data Karakteristik Kualitas Produk Herbisida.....	16
Tabel 4.1 Karakteristik Variabel Kualitas Produk Herbisida .	19
Tabel 4.2 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>	22
Tabel 4.3 Indeks Kapabilitas Proses Secara Univariat	25
Tabel 4.4 Indeks Kapabilitas Proses Secara Multivariat	25

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	Hasil Pengujian Asumsi Dependensi Dengan Uji <i>Bartlett</i> Menggunakan <i>Software SPSS</i> 31
Lampiran B	<i>Syntax</i> Uji Asumsi Normal Multivariat Menggunakan <i>Macro Minitab</i> 31
Lampiran C	Perhitungan <i>Critical Point</i> Dengan Interpolasi <i>Pearson Correlation Table</i> 32
Lampiran D	<i>Pearson Correlation Table</i> 33
Lampiran E	Matriks V dan S untuk <i>Multivariate Control Chart For Process Dispersion</i> dan T^2 - <i>Hotelling Control Chart</i> 33
Lampiran F	<i>Output</i> Analisis Kapabilitas Proses 37

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut UU No. 3 Tahun 2014, industri merupakan seluruh bentuk dari kegiatan ekonomi yang mengelolah bahan baku dan atau memanfaatkan sumber daya industri, sehingga dapat menghasilkan barang yang memiliki nilai tambah atau manfaat yang lebih tinggi, termasuk jasa industri. Menteri Perindustrian Kabinet Kerja Jokowi, Airlangga Hartarto, berpandangan bahwa Indonesia dalam proporsi ekonominya dapat dikategorikan sebagai sebuah negara industri. Pasalnya, sektor industri merupakan salah satu kontributor terbesar bagi perekonomian nasional dengan sumbangannya mencapai lebih dari 20 persen (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2017). Industri pertanian merupakan salah satu sektor industri yang permintaan konsumennya tinggi dan juga beragam di Indonesia. Kurang lebih 100 juta jiwa atau hampir separuh dari jumlah rakyat Indonesia bekerja di sektor pertanian (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2018).

PT “Z” merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri pertanian. Bisnis utama PT “Z” adalah menyediakan solusi perlindungan tanaman (*crop protection*) dan benih berkualitas tinggi. Di PT “Z” terdapat 4 jenis pestisida yang diproduksi yaitu herbisida, fungisida, insektisida, dan rodentisida. Proses produksi herbisida pada PT “Z” dimulai dari dimasukkannya bahan baku ke dalam tangki formulasi dengan menggunakan pompa. Terdapat dua tahap besar dalam proses produksi herbisida di PT “Z” yaitu tahap formulasi dan tahap *fill & pack*.

Pada tahap formulasi, herbisida akan diformulasikan di dalam tangki formulasi sesuai dengan bahan baku yang terdapat pada lembar formulasi herbisida. Bahan-bahan baku penyusun herbisida lalu diaduk di dalam tangki formulasi tersebut selama beberapa waktu. Setelah selesai diformulasikan, selanjutnya diambil sampel sebanyak 250 ml dari tangki formulasi tersebut untuk diuji kadar pH, *density*, dan *Active Ingredient* (AI) oleh tim *quality control* di laboratorium untuk mengecek apakah kadar pH, *density*, dan *Active Ingredient* (AI) di produk tersebut berada di dalam spesifikasi yang

sudah ditentukan oleh perusahaan. Apabila karakteristik kualitas tersebut terdapat di bawah maupun di atas batas spesifikasi perusahaan maka dapat merugikan pelanggan maupun perusahaan. Pengendalian kualitas produk herbisida di PT “Z” hanya sebatas melalui inspeksi batas spesifikasi yang telah ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian kualitas secara statistik agar proses pada tahap formulasi dapat terkendali.

Salah satu alat yang dapat digunakan untuk pengendalian kualitas secara statistik adalah dengan peta kendali. Peta kendali terdiri dari garis tengah yang menyatakan nilai rata-rata, batas kendali atas, dan batas kendali bawah. Batas kendali ini menentukan apakah terdapat pengamatan yang *out of control* (Heizer & Render, 2009). Pada penelitian ini, metode yang akan digunakan adalah peta kendali multivariat (*Multivariate Control Chart For Process Dispersion* dan *T²-Hotelling Control Chart*).

Penelitian mengenai pengendalian kualitas secara statistik menggunakan peta kendali multivariat sudah pernah dilakukan sebelumnya. Pengendalian kualitas produk herbisida dengan peta kendali multivariat pernah dilakukan sebelumnya oleh Ziarieputri (2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan peta kendali MEWMV didapatkan 55 titik yang *out of control* dan dengan peta kendali MEWMA didapatkan 44 titik yang *out of control*. Kapabilitas proses juga tidak kapabel karena nilai *M_{ppk}* yang kurang dari 1. Metode *Multivariate Control Chart For Process Dispersion* dan *T²-Hotelling* pernah dilakukan sebelumnya oleh Baladina (2019) mengenai penerapan *Multivariate Control Chart For Process Dispersion* dan *T²-Hotelling Control Chart* pada proses produksi Lem Pvac Tipe YP30 di PT. Trimitra Sejati Jaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses produksi tidak stabil. Penyebabnya adalah pada faktor lingkungan atau *environment*. Beberapa bahan baku dapat terkontaminasi dengan bakteri maupun unsur lainnya yang disebabkan oleh kebersihan sekitar yang kurang dan penggunaan *flushing* saat membersihkan reaktor kurang maksimal sehingga dapat menjadikan ketidaksesuaian proses produksi lem Pvac YP30. Faktor lingkungan yang lain yaitu suhu dan kelembapan yang dapat mempengaruhi kekentalan suatu adonan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengendalian kualitas produk herbisida dengan karakteristik kualitas pH, *density*, dan *Active Ingredient* (AI). Data pada pengamatan tim *quality control* di PT “Z” menggunakan pengamatan individu. Oleh karena itu, metode yang digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses adalah dengan *Multivariate Control Chart For Process Dispersion*, sedangkan untuk mengendalikan rata-rata proses menggunakan *T²-Hotelling Control Chart*.

1.2 Rumusan Masalah

PT “Z” merupakan suatu perusahaan yang bergerak di bidang agrikultur dengan fokus di perlindungan tanaman yang memiliki target pasar nasional maupun internasional. Pestisida merupakan produk utama yang diproduksi PT “Z”. Herbisida merupakan salah satu jenis pestisida yang diproduksi PT “Z”. Pengendalian kualitas produk herbisida yang dilakukan di PT “Z” hanya sebatas melalui inspeksi batas spesifikasi yang telah ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian kualitas produk herbisida secara statistik dengan menggunakan peta kendali multivariat serta kapabilitas proses formulasi produk herbisida di PT “Z”. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah dengan menggunakan peta kendali multivariat. *Multivariate Control Chart For Process Dispersion* untuk untuk mengendalikan variabilitas proses dan *T²-Hotelling Control Chart* untuk mengendalikan rata-rata proses.

1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah melakukan pengendalian kualitas produk herbisida secara statistik berdasarkan karakteristik kualitas yang diukur serta memperoleh hasil analisis kapabilitas dalam proses formulasi herbisida di PT “Z”.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan kepada PT “Z” dalam melakukan *monitoring* pada kualitas produk menggunakan metode statistika sehingga kualitas produk yang didapat sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu juga, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan seputar keilmuan statistika bagi pembaca mengenai pengendalian kualitas suatu produk.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah peneliti hanya menggunakan proses formulasi produk herbisida di PT “Z” selama pada Juli 2019.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Peta kendali merupakan salah satu alat dalam pengendalian kualitas statistik yang digunakan untuk memonitor atau mengawasi suatu proses. Peta kendali mampu menjelaskan kondisi data pada suatu proses dan mendapatkan informasi yang diperlukan. Apabila variabel yang diteliti hanya terdiri dari satu variabel saja, maka digunakan analisis univariat. Peta kendali multivariat akan memberikan hasil yang lebih baik jika menggunakan data multivariat (Montgomery, 2013). Di bab ini, penulis akan membahas mengenai pengujian asumsi dependensi variabel, pengujian asumsi normal multivariat, *multivariate control chart for process dispersion*, *T²-Hotelling control chart*, analisis kapabilitas proses, diagram ishikawa, proses produksi herbisida, dan definisi dari masing-masing karakteristik kualitas produk herbisida.

2.1 Uji Dependensi Variabel

Uji *Bartlett* adalah uji yang digunakan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antara variabel dalam kasus multivariat. Jika variabel X_1, X_2, \dots, X_p independen maka matriks korelasi sama dengan matriks identitas. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Variabel tidak berkorelasi)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Variabel saling berkorelasi)

Taraf signifikan : α

Statistik uji:

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

Keterangan:

χ_{hitung}^2 = Statistik *Bartlett*

n = Banyaknya pengamatan ($i=1,2,3,\dots,n$)

p = Banyaknya karakteristik kualitas ($j=1,2,3,\dots,p$)

\mathbf{R} = Matriks korelasi antar variabel

Daerah penolakan H_0 yaitu apabila $\chi_{hitung}^2 \geq \chi_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}^2$ pada taraf signifikansi α atau $P_{value} < \alpha$ sehingga disimpulkan terdapat hubungan antar variabel (Morisson, 1990).

2.2 Uji Normal Multivariat

Normal multivariat merupakan suatu asumsi yang digunakan untuk mengetahui suatu data mengikuti distribusi normal. Sebelum melakukan pengendalian kualitas diperlukan pengujian distribusi normal pada data yang digunakan untuk menentukan data pengamatan mengikuti persebaran distribusi normal atau tidak. Pemeriksaan normal multivariat dapat diketahui melalui proporsi dan pengujian hipotesis (Johnson & Wichern, 2007). Apabila nilai d_i^2 yang telah diurutkan dari nilai terkecil hingga nilai terbesar memiliki proporsi lebih kecil dari nilai $\chi_{p, (\frac{j-0,5}{n})}^2$ di sekitar 50% atau berada di dalam interval 46% sampai 54%, maka dapat disimpulkan bahwa data telah memenuhi asumsi distribusi normal multivariat. Nilai d_i^2 dapat dihitung dengan persamaan (2.2) berikut ini.

$$d_i^2 = (x_i - \bar{x})'S^{-1}(x_i - \bar{x}), i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

Keterangan :

p = banyaknya variabel

j = 1, 2, ..., n

x_i = data ke- i

d_i^2 = nilai kuadrat ke- i

S^{-1} = invers matriks varians-kovarians

n = jumlah data pengamatan

Untuk lebih memastikan apakah data tersebut telah memenuhi asumsi normal multivariat, dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan koefisien korelasi r_q antara $d_{(i)}^2$ dengan $q \left(\frac{j-0,5}{n} \right)$.

Hipotesis:

H_0 : Data mengikuti pola distribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak mengikuti pola distribusi normal multivariat

Statistik uji:

$$r_q = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i^2 - \bar{d}^2)(q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}} \quad (2.3)$$

Daerah penolakan H_0 adalah saat nilai r_q kurang dari *critical point* pada tabel koefisien korelasi untuk uji normalitas. Apabila gagal tolak H_0 , maka dapat disimpulkan bahwa data mengikuti pola distribusi normal multivariat.

2.3 *Multivariate Control Chart For Process Dispersion*

Multivariate control chart for process dispersion merupakan peta kendali multivariat yang dapat digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses yang kecil dan mengendalikan variabilitas proses untuk pengamatan yang didasarkan pada *successive difference* antar pengamatan dan data pengamatannya tidak memiliki subgrup ($m = 1$). *Successive difference* yaitu selisih antar vektor pengamatan secara berturut-turut. antara pengamatan dan didasarkan pada data yang tidak memiliki subgrup ($m = 1$). Misalkan Σ_0 mewakili nilai *in-control* maka statistik uji yang digambarkan di mana $r = 2, 3, \dots, m$ adalah sebagai berikut (Khoo & Quah, 2003).

$$M_r = \frac{1}{2} (x_r - x_{r-1})' \Sigma_0^{-1} (x_r - x_{r-1}) \quad (2.4)$$

Matriks S merupakan matriks kovarian sampel untuk mengestimasi Σ_0 (Montgomery, 2013). Matriks S dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$S = \frac{v'v}{2(n-1)} \quad (2.5)$$

Dimana,

$$V = \begin{bmatrix} v'_1 \\ v'_2 \\ \vdots \\ v'_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_2 - x_1)' \\ (x_3 - x_2)' \\ \vdots \\ (x_{i+1} - x_i)' \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (2.6)$$

Matriks V merupakan matriks yang diperoleh dari selisih antara vektor data ke- $i+1$ dengan vektor data ke- i . Selanjutnya, batas kendali atas dan batas kendali bawah untuk *multivariate control chart for process dispersion* adalah sebagai berikut.

$$BKA = \chi_{p,(1-\alpha)}^2 \text{ dan } BKB = \chi_{p,(\alpha)}^2 \quad (2.7)$$

Jika nilai statistik uji berada di luar batas kendali atas maupun bawah maka proses dianggap *out of control*. (Khoo & Quah, 2003).

2.4 T^2 -Hotelling Control Chart

T^2 -Hotelling control chart merupakan salah satu peta kendali multivariat yang digunakan untuk mengontrol vektor rata-rata suatu proses (Montgomery, 2013). Peta kendali ini digunakan pada data lebih dari satu variabel yang saling berhubungan. Peta kendali multivariat dengan pengamatan individu biasa dijumpai diproses kimia atau pun di proses produksi dengan ukuran subgrup $m=1$, n sampel pengamatan, dan p jumlah karakteristik kualitas yang diamati. Rumus yang digunakan untuk menghitung T^2 Hotelling untuk data individu adalah sebagai berikut.

$$T_i^2 = (x_{ij} - \bar{x}_j)' \mathbf{S}^{-1} (x_{ij} - \bar{x}_j) \quad (2.8)$$

Keterangan:

x_{ij} = Vektor pengamatan ke- i karakteristik kualitas ke- j

\bar{x}_j = Vektor rata-rata pengamatan variabel kualitas ke- j

\mathbf{S} = Matriks kovarian yang dapat dihitung dengan persamaan (2.5) dan (2.6).

Selanjutnya, untuk batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) untuk diagram kontrol T^2 Hotelling adalah sebagai berikut (Montgomery, 2013).

$$BKA = \frac{(n-1)^2}{n} \beta\left(\alpha, \frac{p}{2}, \frac{Q-p-1}{2}\right) \text{ dan } BKB = 0 \quad (2.9)$$

Dengan,

$$Q = \frac{2(n-1)^2}{(3n-4)}$$

Keterangan :

n = jumlah data pengamatan

p = banyaknya variabel karakteristik kualitas ($j = 1, 2, \dots, p$)

$\beta\left(\alpha, \frac{p}{2}, \frac{Q-p-1}{2}\right)$ = nilai yang diperoleh dari tabel distribusi Beta dengan derajat bebas $\frac{p}{2}, \frac{Q-p-1}{2}$.

2.5 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control*

Apabila terdapat titik pengamatan yang berada di luar batas kendali atas maupun batas kendali bawah yang menyebabkan proses tidak terkendali secara statistik, maka perlu dilakukan identifikasi variabel penyebab *out of control*. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mendeteksi variabel penyebab *out of control* tersebut adalah dengan menguraikan statistik T^2 kedalam komponen-komponen yang menunjukkan kontribusi dari masing-masing variabel individual, yang dapat dituliskan seperti persamaan berikut ini (Montgomery, 2013).

$$d_j = T_i^2 - T_{(j)}^2 \quad (2.10)$$

Keterangan:

d_j = Indikator dari kontribusi relatif variabel ke- j untuk keseluruhan statistik

T_i^2 = Nilai statistik uji

$T_{(j)}^2$ = Nilai statistik uji tanpa variabel proses ke- j .

Jika nilai $d_j \geq \chi^2_{(\alpha,1)}$ maka variabel ke- j tersebut merupakan variabel penyebab *out of control*.

2.6 Analisis Kapabilitas Proses

Pengujian kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk beroperasi sesuai dengan standar yang telah ditentukan (Montgomery, 2013).

Suatu proses dikatakan kapabel jika :

- a. Proses terkendali, hal ini dapat diketahui dari diagram kontrol yang dibuat berdasarkan *check sheet*. Proses dikatakan terkendali jika berada dalam batas kendali.
- b. Memenuhi batas spesifikasi, yang ditentukan oleh pihak manajemen berdasarkan spesifikasi alat, pertimbangan-pertimbangan tertentu perusahaan atau juga berdasarkan permintaan konsumen
- c. Mempunyai tingkat presisi (ukuran kedekatan nilai pengamatan yang satu dengan nilai pengamatan yang lain).
- d. Memiliki akurasi (ukuran kedekatan nilai pengamatan dengan nilai target) yang tinggi.

Dengan menggunakan indeks kapabilitas, dapat mengukur kualitas. Semakin besar indeks kapabilitasnya maka semakin baik pula kualitasnya. Oleh karena itu dibutuhkan usaha untuk melakukan perbaikan secara terus-menerus agar dapat membuat indeks kapabilitas tersebut meningkat sebesar mungkin. Beberapa indeks kapabilitas yang paling sering digunakan yaitu meliputi Cp , Cpk , Pp , dan Ppk (Bass, 2007).

Apabila proses belum stabil atau tidak dalam keadaan *in control*, maka lebih baik menggunakan Pp dan Ppk untuk menghitung *index capability*. Sedangkan jika proses stabil maka lebih baik menggunakan Cp dan Cpk untuk menghitung *index capability* (Montgomery, 2013). Pada penelitian ini menggunakan indeks kapabilitas proses seperti berikut.

$$Pp = \frac{(USL - LSL)}{6s} \quad (2.11)$$

$$Ppu = \frac{(USL - \bar{X})}{3\hat{s}} \quad (2.12)$$

$$Ppl = \frac{(\bar{X} - LSL)}{3\hat{s}} \quad (2.13)$$

Dari persamaan (12) dan (13), didapatkan nilai Ppk dengan rumus sebagai berikut.

$$Ppk = \min(Ppu, Ppl) \quad (2.14)$$

Jika nilai Pp atau $Ppk > 1$, maka proses mempunyai tingkat presisi atau akurasi yang tinggi sehingga proses dikatakan kapabel dan unit *out of control* yang diproduksi relatif sedikit. Jika nilai Pp atau $Ppk < 1$, maka proses mempunyai tingkat presisi atau akurasi rendah sehingga proses dikatakan tidak kapabel dan terdapat cukup banyak unit *out of control* yang terbentuk (Montgomery, 2013).

Selanjutnya pada kasus multivariat rumus yang digunakan untuk menghitung kapabilitas proses adalah sebagai berikut

$$MP_p = \sum_{j=1}^p W_j P_p(X_j) \quad (2.15)$$

$$MP_{pk} = \sum_{j=1}^p W_j P_{pk}(X_j) \quad (2.16)$$

W_j merupakan besarnya bobot yang diberikan pada masing-masing variabel dengan $\sum_{j=1}^p W_j = 1$ (Raissi & Farzani, 2009).

2.7 Diagram Ishikawa

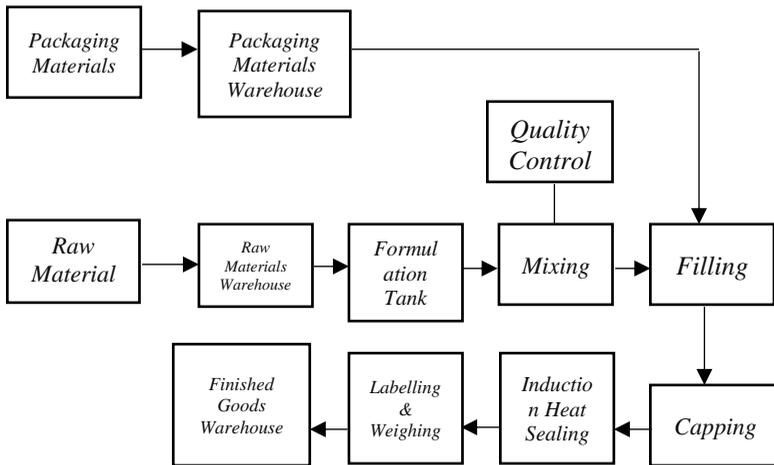
Diagram Ishikawa atau diagram sebab-akibat ditemukan oleh *Kaoru Ishikawa*. Diagram Ishikawa yang dapat disebut juga sebagai diagram tulang ikan atau diagram sebab-akibat adalah diagram yang menunjukkan penyebab-penyebab dari sebuah even yang spesifik. Diagram Ishikawa dapat membantu mengidentifikasi faktor-faktor yang signifikan memberi efek terhadap sebuah even. Penyebab terjadinya masalah pada umumnya adalah 4M+L yaitu mesin, material, manusia, metode, dan lingkungan. (Ariani, 2003). Diagram Ishikawa dapat membantu menemukan penyebab utama atau akar dari permasalahan. Penjelasan kelima elemen dalam diagram Ishikawa adalah sebagai berikut (Montgomery, 2013).

- a. Manusia (*man*), karyawan atau operator berperan sangat besar di dalam pelaksanaan proses produksi karena berhubungan langsung dengan mesin dan bahan baku. Tingkat kedisiplinan dan keahlian operator juga menjadi faktor yang penting untuk diperhatikan.
- b. Mesin (*machine*), merupakan faktor yang penting karena berhubungan langsung dengan bahan baku yang akan diolah dan proses *setting* mesin juga merupakan salah satu hal yang cukup penting untuk diperhatikan.
- c. Bahan baku (*material*), faktor material dapat mempengaruhi hasil akhir dari produk dan dapat juga mengakibatkan hasil yang tidak diinginkan.
- d. Metode (*method*), kesalahan metode dapat mengakibatkan hasil akhir dari suatu proses yang tidak sesuai dengan yang seharusnya dibuat.
- e. Lingkungan (*environment*), faktor lingkungan dapat mempengaruhi kondisi material yang akan diproses atau mempengaruhi orang atau karyawan dalam melaksanakan proses produksi.

2.8 Proses Produksi Herbisida

Proses produksi herbisida pada PT “Z” dimulai dari penyimpanan bahan baku yang telah diterima dari Tiongkok dan Inggris ke

dalam drum - drum berkapasitas 200 liter yang terdapat di gudang khusus penyimpanan bahan baku. Sedangkan bahan untuk *packaging* seperti botol, *cap*, label, dan *pallet* disimpan di gudang khusus penyimpanan bahan *packaging*. Selanjutnya, bahan baku dimasukkan ke dalam tangki formulasi dengan menggunakan pompa. Bagan proses produksi herbisida di PT “Z” dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagan Proses Produksi Herbisida

Terdapat dua tahap besar dalam proses produksi herbisida di PT “Z” yaitu tahap formulasi dan tahap *fill & pack*.

1. Formulasi

Pada tahap ini, herbisida akan diformulasikan di dalam tangki formulasi sesuai dengan bahan baku yang terdapat pada lembar formulasi herbisida. Bahan-bahan baku penyusun herbisida lalu diaduk di dalam tangki formulasi tersebut selama beberapa waktu. Setelah selesai diformulasikan, selanjutnya diambil sampel sebanyak 250 ml dari tangki formulasi tersebut untuk dicek kadar pH, *density*, dan *Active Ingredient (AI)* oleh tim *quality control* di laboratorium. Jika ketiga variabel tersebut tidak ada yang kadarnya di luar batas spesifikasi, tim *quality control* akan menginformasikan tim produksi bahwa kualitas

produk sudah layak dan dapat dilanjutkan ke tahap *fill & pack*. Jika terdapat karakteristik kualitas yang di luar batas spesifikasi, maka akan dilakukan *mixing* ulang dan ditambah air. Selanjutnya, produk yang berada di dalam tangki formulasi lalu dipompa melewati pipa untuk selanjutnya masuk ke tahap *fill & pack*.

2. *Fill & Pack*

Setelah melalui tahap formulasi, selanjutnya produk memasuki tahap *fill & pack*. Pada tahapan ini, terdapat 4 proses yang akan dilakukan pada mesin *fill & pack*, yaitu sebagai berikut.

a. *Filling*

Di tahap ini, botol akan diisi herbisida yang telah melalui tahap formulasi dengan alat yang dinamakan *Nozzle*.

b. *Capping*

Selanjutnya, botol yang telah terisi herbisida akan diberikan *cap* atau penutup botol dengan alat *capper*.

c. *Induction Heat Sealing*

Botol yang telah diisi herbisida dan diberi *cap* selanjutnya direkatkan atau disegel oleh alat *sealing* pada suhu tertentu.

d. *Labeling & Weighing*

Setelah itu, botol diberikan label dengan alat *labelling* dan dicek beratnya sesuai dengan standar.

Produk yang telah melalui semua proses produksi lalu disimpan di *Finished Goods Warehouse* untuk selanjutnya akan dikirimkan ke *buyer*.

2.9 Kadar pH, Density, dan Active Ingredient (AI)

Pada proses pengujian sampel produk oleh tim *quality control* di laboratorium, terdapat 3 variabel karakteristik kualitas yang perlu diukur kadarnya, yaitu pH, *density*, dan *Active Ingredient* (AI). Berikut merupakan penjelasan herbisida, pH, *density*, dan AI.

a. Herbisida

Herbisida merupakan pestisida untuk mencegah dan mematikan gulma atau tumbuhan pengganggu, seperti eceng gondok, rumput teki, dan alang-alang. Alang-alang dapat dikatakan sebagai hama tanaman karena alang-alang menyerap semua zat maka-

nan yang ada dalam tanah (Tim Abdi Guru, 2013).

b. pH

pH (*Power of Hydrogen*) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Ia didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai $pH > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa sedangkan nilai $pH < 7$ menunjukkan keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi (Nordstrom *et al.*, 2000).

c. *Density*

Desnity atau massa jenis adalah satu sifat penting dari suatu zat yang merupakan sebuah besaran yang menyatakan perbandingan antara massa per satuan volume dari suatu zat (Pande, 2017).

d. *Active Ingredient* (AI)

Active Ingredient (AI) adalah kandungan di pestisida yang aktif secara biologis. Istilah *active pharmaceutical ingredient* (API) dan *bulk active* juga digunakan di obat-obatan serta istilah *active substance* digunakan untuk produk natural (Lee & Marks, 2009)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diambil dari divisi *quality* PT “Z”. Data merupakan sampel cairan herbisida sebanyak 250 ml yang diambil dari *formulation tank* lalu diuji di laboratorium oleh tim *quality control*. Pengambilan sampel herbisida per harinya sesuai dengan banyaknya produk herbisida yang diformulasikan di tangki formulasi pada satu hari. Banyaknya produk herbisida yang diformulasikan tergantung pada banyaknya permintaan oleh *buyer*. Pengujian sampel herbisida di laboratorium memerlukan waktu 40-60 menit per sampelnya. Karakteristik kualitas yang diuji pada sampel adalah kadar pH, *density*, dan *Active Ingredient* (AI). Data yang digunakan merupakan data hasil inspeksi tim *quality control* pada produk herbisida di PT “Z” pada bulan Juli 2019.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat di Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan	Definisi Operasional	USL/LSL
X ₁	pH	-	Derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan.	6,5-7,5
X ₂	<i>density</i>	g/ml	Besaran yang menyatakan perbandingan antara massa per satuan volume dari suatu zat	1,075-1,085
X ₃	AI	g/l	Kandungan di pestisida yang aktif secara biologis	191,8-208,2

3.3 Struktur Data

Berikut pada Tabel 3.2 merupakan stuktur dari data yang akan digunakan pada penelitian ini di mana n merupakan banyaknya observasi atau sebanyak 102 observasi seperti berikut.

Tabel 3.2 Struktur Data Karakteristik Kualitas Produk Herbisida

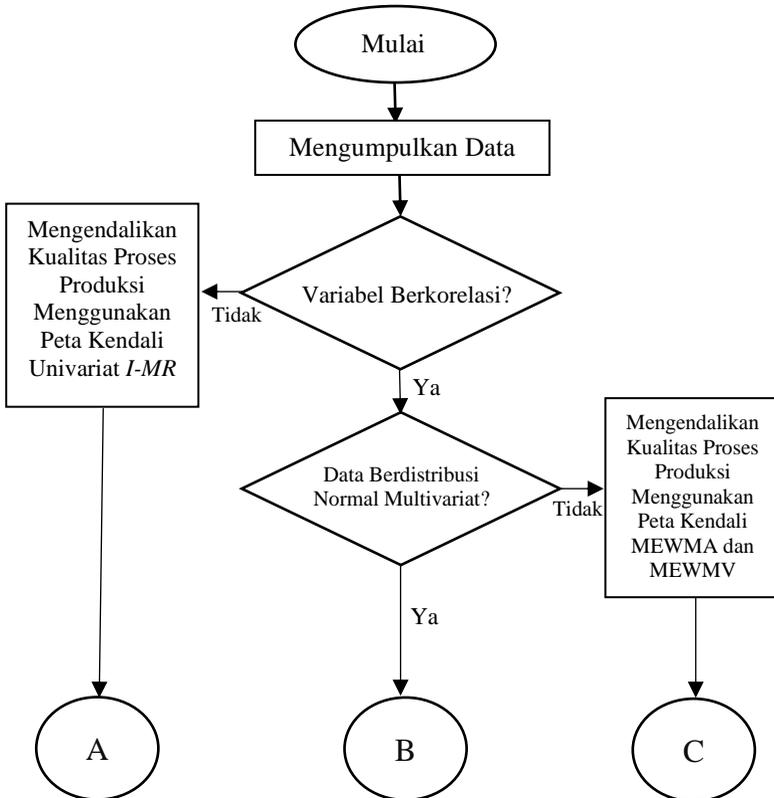
Pengamatan (i)	Karakteristik Kualitas (j)		
	X_1	X_2	X_3
1	$X_{1(1)}$	$X_{1(2)}$	$X_{1(3)}$
2	$X_{2(1)}$	$X_{2(2)}$	$X_{2(3)}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
102	$X_{102(1)}$	$X_{102(2)}$	$X_{102(3)}$

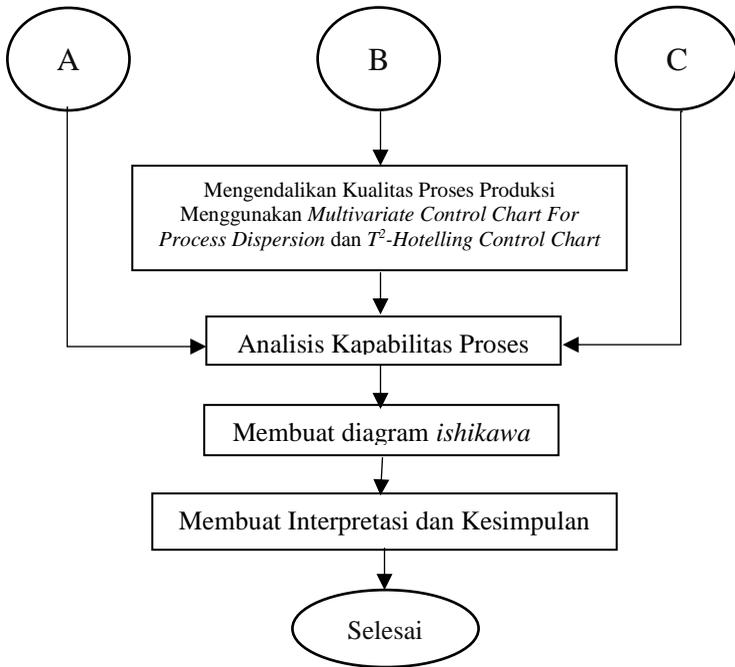
3.4 Langkah Analisis

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan analisis data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merumuskan masalah dan tujuan penelitian.
2. Menginput data yang diperoleh dari divisi *quality* PT “Z”
3. Melakukan eksplorasi data untuk mengetahui karakteristik data kadar pH, *density*, dan AI pada herbisida di PT “Z”.
4. Melakukan uji *Bartlett* pada variabel pH, *density*, dan AI untuk mengetahui hubungan antar variabel.
5. Melakukan pengujian asumsi normal multivariat pada data kadar pH, *density*, dan AI untuk mengetahui apakah data telah mengikuti pola distribusi normal multivariat.
6. Melakukan pengendalian variabilitas proses formulasi produk herbisida secara statistik pada kadar pH, *density*, dan AI dengan menggunakan *Multivariate Control Chart For Process Dispersion*.
7. Melakukan pengendalian rata-rata proses formulasi produk herbisida secara statistik pada kadar pH, *density*, dan AI dengan *T²-Hotelling Control Chart*.
8. Menganalisis kapabilitas proses kadar pH, *density*, dan AI secara univariat dan multivariat.
9. Membuat diagram ishikawa pada data tahap formulasi produk herbisida.
10. Melakukan interpretasi serta mengambil kesimpulan dan saran.

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





Gambar 3.1 Diagram Alir

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Seperti yang sudah dijelaskan di bab sebelumnya, pada proses produksi herbisida di PT “Z”, terdapat tahap *quality control* berdasarkan kadar pH, *density*, dan AI. Batas spesifikasi perusahaan untuk kadar pH yaitu 6,5-7,5, untuk *density* 1,075-1,085 g/ml, dan untuk AI adalah 191,8-208,2 g/l. *Quality control* ketiga kadar tersebut di PT “Z” dilakukan sebatas pengukuran secara deskriptif dengan mengecek apakah ketiga kadar tersebut terdapat yang di luar batas spesifikasi atau tidak, sehingga pengendalian kualitas produknya belum dilakukan secara statistik. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian kualitas secara statistik agar dapat memonitor pergeseran proses yang lebih ketat agar proses pada tahap formula-si dapat terkendali.

4.1 Karakteristik Variabel Kualitas Produk Herbisida

Terdapat 3 variabel kualitas produk herbisida yang dilakukan pengecekan oleh tim *quality control* PT “Z”, yaitu kadar pH, *density*, dan AI. Berdasarkan Tabel 4.1 terlihat bahwa rata-rata pH produk herbisida adalah 7,045. Rata-rata dikatakan bahwa nilai ini masih berada di dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan. Sama halnya dengan variabel *density* dan juga AI, dimana kedua rata-ratanya berada di dalam batas spesifikasi perusahaan, yaitu sebesar 1,079 untuk *density* dan 200,38 untuk variabel AI. Nilai varians pada variabel pH dan AI berturut-turut adalah 0,033 dan 0,042, nilai tersebut dapat dikatakan bahwa varians pH dan AI cukup kecil. Hal tersebut menandakan bahwa variabel pH dan AI pada formulasi produk herbisida cenderung homogen. Sedangkan variabel *density* memiliki varians yang sangat kecil, yaitu sebesar 0,00000021, maka variabel *density* pada produk herbisida sangat homogen.

Tabel 4.1 Karakteristik Data Formulasi Produk Herbisida

Variabel	Mean	Varians	Minimum	Maksimum	Batas Spesifikasi
pH	7,045	0,033	6,670	7,480	$7 \pm 0,500$
Density	1,079	2,1e-7	1,078	1,079	$1,080 \pm 0,005$
AI	200,380	0,042	200,020	200,960	$200 \pm 8,200$

Berdasarkan statistika deskriptifnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak terdapat proses yang *out of specification*. Namun, pada penelitian ini akan dianalisis apakah proses formulasi produk herbisida di PT “Z” telah terkendali secara statistik atau tidak. Metode yang digunakan adalah dengan peta kendali multivariat. *Multivariate Control Chart For Process Dispersion* digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses dan *T²-Hotelling Control Chart* untuk mengendalikan rata-rata proses formulasi produk herbisida. Pengujian asumsi dependensi dan pemeriksaan asumsi normal multivariat perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pengendalian variabilitas dan rata-rata proses formulasi produk herbisida di PT “Z” menggunakan peta kendali multivariat.

4.2 Pengujian Asumsi Dependensi

Pada uji dependensi dilakukan dengan uji *Bartlett* dengan persamaan (2.1) yang bertujuan mengetahui keeratan hubungan antara ketiga variabel karakteristik kualitas, yaitu pH, *density*, dan AI. Hasil dari pengujian dependensi menggunakan *software* SPSS memperoleh nilai signifikansi sebesar 0,003 dimana nilai tersebut kurang dari $\alpha = 0,05$. Selain itu, didapatkan nilai *chi-square* tabel sebesar 7,815 dimana nilai tersebut kurang dari nilai *chi-square* hitung sebesar 14,181. Maka diperoleh keputusan tolak H_0 yang berarti bahwa ketiga karakteristik kualitas saling berhubungan satu sama lain atau saling dependen. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian kualitas proses dengan menggunakan peta kendali multivariat. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan asumsi normal multivariat untuk menguji apakah data pengamatan telah mengikuti pola distribusi multivariat atau tidak.

4.3 Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat

Selanjutnya untuk pemeriksaan asumsi normal multivariat dilakukan untuk menguji apakah data pengamatan telah mengikuti pola distribusi multivariat atau tidak. Pengujian asumsi normal multivariat yang digunakan pada penelitian ini adalah dari korelasi antara d_i^2 dan $q\left(\frac{j-0,5}{n}\right)$ dengan nilai *critical point* yang didapatkan dari interpolasi tabel korelasi *Pearson*. Setelah dilakukan analisis, didapatkan nilai proporsi jarak d_i^2 yang lebih kecil dari $q\left(\frac{j-0,5}{n}\right)$

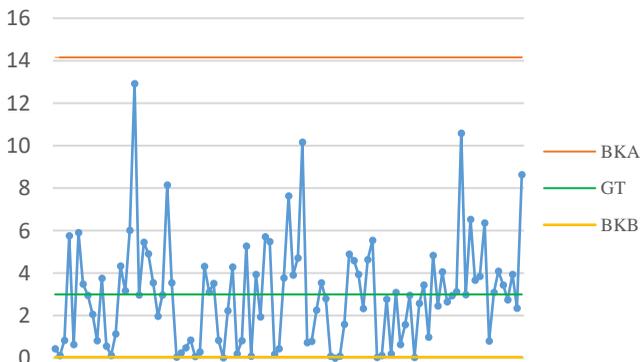
sebesar 0,47, dimana proporsi tersebut berada di sekitar 50% atau berada di dalam interval 46% sampai 54%. Maka, data pengamatan mengikuti pola distribusi normal multivariat. Untuk lebih memastikan lagi, melalui persamaan (2.3), didapatkan nilai koefisien korelasi dari d_i^2 dan $q\left(\frac{j-0,5}{n}\right)$ sebesar 0,988. Dimana nilai tersebut lebih besar dari nilai *critical point* sebesar 0,98746. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa data mengikuti pola distribusi normal multivariat.

4.4 Pengendalian Kualitas Produk Herbisida Menggunakan Peta Kendali Multivariat

Setelah dilakukan analisis karakteristik data pada masing-masing karakteristik kualitas dan pengujian asumsi dependensi serta normal multivariat, maka langkah selanjutnya yang dilakukan peneliti yaitu melakukan pengendalian kualitas produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 dengan menggunakan *multivariate control chart for process dispersion* untuk mengendalikan variabilitas proses dan T^2 -Hotelling control chart untuk mengendalikan rata-rata proses.

4.4.1 *Multivariate Control Chart For Process Dispersion*

Multivariate Control Chart For Process Dispersion digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses. Berikut merupakan *output* perhitungan manual *multivariate control chart for process dispersion* dengan menggunakan *software Microsoft Excel*.



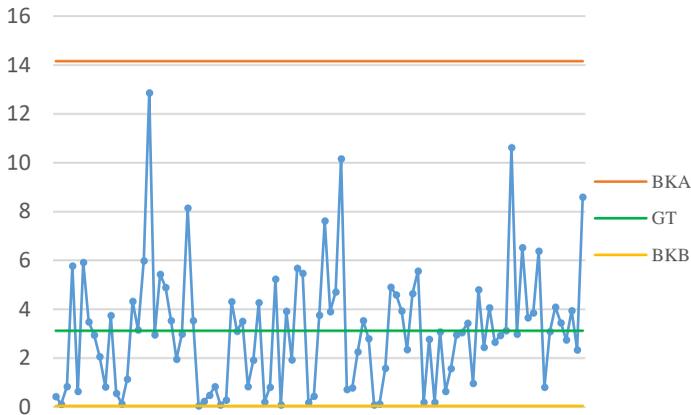
Gambar 4.1 *Multivariate Control Chart For Process Dispersion*

Dengan persamaan (2.7), didapatkan nilai Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) untuk *Multivariate Control Chart For Process Dispersion*. Garis merah pada Gambar 4.1 menunjukkan BKA, yaitu sebesar 14,15625, dan garis kuning menunjukkan BKB, yaitu sebesar 0,04733. Sedangkan garis hijau menunjukkan garis tengah atau rata-rata nilai M_r , yaitu sebesar 3. Terdapat 4 titik yang masih di luar batas kendali, yaitu pada pengamatan ke-37, ke-61, ke-70 dan ke-78. Keempat titik tersebut berada di bawah Batas Kendali Bawah (BKB). Maka dapat disimpulkan bahwa variabilitas proses terhadap kadar pH, *density*, dan AI pada produk herbisida PT “Z” belum terkendali secara statistik. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi penyebab titik – titik pengamatan tersebut *out of control* melalui persamaan (2.10).

Tabel 4.2 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control*

Pengamatan Ke-	Variabel Kualitas	d_j
37	pH	0,133
	<i>Density</i>	0,641
	AI	0,103
61	pH	0,197
	<i>Density</i>	0,713
	AI	0,380
70	pH	10,807
	<i>Density</i>	3,211
	AI	0,415
78	pH	1,795
	<i>Density</i>	1,270
	AI	0,132

Berdasarkan Tabel 4.2, diketahui bahwa nilai d_j variabel pH (10,807) melebihi nilai $\chi^2_{(0.0027,1)}$ yang sebesar 8,999. Sehingga variabel karakteristik kualitas penyebab *out of control* merupakan variabel pH. Selanjutnya yaitu melakukan penghapusan pada titik – titik yang berada di luar batas kendali dan diperoleh *Multivariate Control Chart For Process Dispersion* setelah perbaikan seperti berikut.

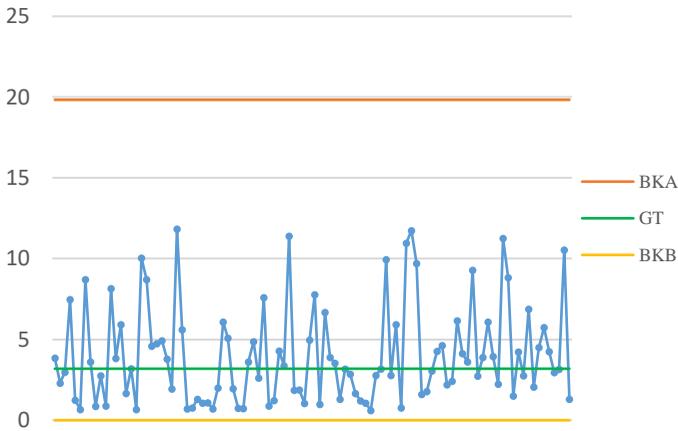


Gambar 4.2 *Multivariate Control Chart For Process Dispersion* Setelah Perbaikan

Setelah dilakukan penghapusan pada keempat titik yang berada di luar batas kendali, maka diperoleh *Multivariate Control Chart For Process Dispersion* setelah perbaikan seperti pada Gambar 4.2, dimana nilai batas kendali atas, garis tengah, dan batas kendali bawah berturut-turut adalah 14,15625; 3,123711, dan 0,04733. Berdasarkan Gambar 4.2, dapat diketahui bahwa tidak terdapat titik-titik pengamatan yang berada di luar batas kendali atas sebesar 14,15625 maupun batas kendali bawah sebesar 0,04733. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa variabilitas proses terhadap kadar pH, *density*, dan AI produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 telah terkendali secara statistik.

4.4.2 T^2 -Hotelling Control Chart

Setelah dilakukan pengendalian variabilitas proses terhadap kadar pH, *density*, dan *Active Ingredient* (AI) pada produk herbisida di PT “Z” bulan Juli 2019, maka langkah selanjutnya yang dilakukan oleh peneliti yaitu melakukan pengendalian pada rata-rata proses formulasi produk herbisida dengan menggunakan T^2 -Hotelling Control Chart. Berikut Gambar 4.3 merupakan *output* setelah dilakukan perhitungan manual T^2 -Hotelling Control Chart dengan menggunakan *software Microsoft Excel*.



Gambar 4.3 T^2 -Hotelling Control Chart

Dengan persamaan (2.9), didapatkan nilai Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) untuk T^2 -Hotelling Control Chart. Berdasarkan Gambar 4.3, diketahui bahwa nilai batas kendali atas, garis tengah, dan batas kendali bawah berturut-turut adalah sebesar 19,83349; 3,18904; dan 0. Berdasarkan Gambar 4.3 juga dapat diketahui bahwa tidak terdapat titik yang berada di luar batas kendali atas maupun batas kendali bawah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses terhadap kadar pH, *density*, dan AI produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 telah terkendali secara statistik.

4.5 Analisis Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses dilakukan untuk mengetahui apakah proses formulasi produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 sudah kapabel atau belum. Spesifikasi kualitas yang digunakan pada karakteristik kualitas kadar pH adalah 6,5-7,5. Sementara itu, spesifikasi kualitas dari karakteristik kualitas *density* adalah 1,075-1,085 g/ml. Sedangkan spesifikasi kualitas dari karakteristik kualitas AI adalah 191,8-208,2 g/l. Indeks kapabilitas proses yang digunakan pada penelitian ini adalah Pp , Ppk , Mpp , dan $Mppk$ karena proses tidak terkendali secara statistik. Hasil perhitungan indeks kapabilitas proses secara univariat dengan persamaan (2.11) dan (2.14) adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3 Indeks Kapabilitas Proses Secara Univariat

Variabel	<i>Pp</i>	<i>Ppk</i>
pH	0,92	0,83
<i>Density</i>	3,61	2,67
AI	13,42	12,81

Berdasarkan Tabel 4.3, diketahui bahwa nilai *Pp* dan *Ppk* untuk variabel pH kurang dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa secara univariat karakteristik kualitas pH memiliki presisi dan akurasi yang rendah. Namun, variabel *density* dan AI memiliki nilai *Pp* dan *Ppk* yang jauh melebihi dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa secara univariat karakteristik kualitas *density* dan AI memiliki presisi dan akurasi yang sangat tinggi.

Selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat. Indeks kapabilitas *MPP* dihitung dengan menggunakan persamaan (2.15), sedangkan indeks kapabilitas *MPpk* dihitung dengan menggunakan persamaan (2.16). Dikarenakan perusahaan tidak menentukan nilai pembobot untuk masing-masing variabel karakteristik kualitas, maka nilai pembobot dianggap sama dengan membagi nilai 1 dengan jumlah variabel karakteristik kualitas, yaitu sebesar $\frac{1}{3}$ untuk masing-masing variabel. Berikut merupakan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat.

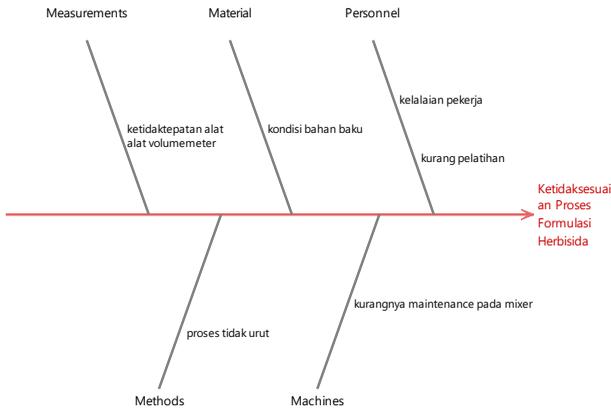
Tabel 4.4 Indeks Kapabilitas Proses Secara Multivariat

Variabel	<i>Wj</i>	<i>Pp</i>	<i>Ppk</i>	<i>MPP</i>	<i>MPpk</i>
pH	$\frac{1}{3}$	0,92	0,83		
<i>Density</i>	$\frac{1}{3}$	3,61	2,67	5,983333	5,436667
AI	$\frac{1}{3}$	13,42	12,81		

Berdasarkan perhitungan pada tabel 4.4 diperoleh nilai *MPP* yang lebih dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa secara multivariat proses formulasi produk herbisida memiliki presisi yang tinggi. Nilai *MPpk* juga melebihi 1, yang menandakan bahwa hasil dari proses formulasi produk herbisida memiliki akurasi yang tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses formulasi produk herbisida bulan Juli 2019 telah kapabel.

4.6 Diagram Ishikawa

Langkah selanjutnya yaitu mencari faktor-faktor yang menyebabkan proses formulasi produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 tidak terkendali secara statistik. Oleh karena itu, peneliti akan menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan proses formulasi produk herbisida PT “Z” belum terkendali secara statistik dengan menggunakan diagram ishikawa.



Gambar 4.4 Diagram Ishikawa Proses Formulasi Herbisida

Berdasarkan Gambar 4.4, terdapat 5 faktor yang dapat menyebabkan proses formulasi produk herbisida tidak terkendali secara statistik, yaitu faktor mesin, tenaga kerja, bahan baku, metode, dan pengukuran. Faktor mesin dapat disebabkan karena kurangnya *maintenance* pada *mixer* yang menyebabkan *mixer* tidak bekerja dengan baik. Faktor tenaga kerja dapat disebabkan oleh kelalaian pekerja dan kurangnya *training* atau pelatihan.

Kondisi bahan baku yang tidak baik merupakan salah satu faktor penting yang dapat menyebabkan proses tidak terkendali. Penyebab selanjutnya adalah alat-alat *volumemeter* yang belum dikalibrasi oleh pihak berwenang, dimana dapat menyebabkan ketidaksiharian saat pengukuran. Metode juga merupakan faktor harus diperhatikan. Proses yang tidak urut dapat menyebabkan proses formulasi produk herbisida tidak terkendali secara statistik

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Variabilitas proses formulasi produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 dengan menggunakan *Multivariate Control Chart For Process Dispersion* belum terkendali secara statistik. Sedangkan pada *T²-Hotelling Control Chart*, rata-rata proses formulasi telah terkendali secara statistik.
2. Proses formulasi produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 telah kapabel. Nilai indeks kapabilitas proses secara multivariat menunjukkan bahwa proses formulasi produk herbisida PT “Z” bulan Juli 2019 memiliki presisi dan akurasi yang tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang didapat, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Perusahaan harus dapat meminimalisir faktor-faktor penyebab proses formulasi herbisida yang tidak terkendali secara statistik. Perusahaan harus melakukan *maintenance* terhadap mesin formulasi secara berkala, melakukan pengawasan yang ketat terhadap tenaga kerja, dan melakukan kalibrasi pada alat-alat *volumemeter* secara rutin agar hasil pengukuran sampel sesuai.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan 2 fase. Fase kedua merupakan fase setelah dilakukan perbaikan dari perusahaan agar data pengamatan lebih terkontrol dan terkendali secara statistik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, D. W. (2003). *Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas)*. Yogyakarta: Andi.
- Baladina, M. (2019). *Monitoring Kualitas Proses Produksi Lem PVac Tipe YP 30 di PT. Trimitra Sejati Jaya Sidoarjo Menggunakan Diagram Kontrol Multivariat dan Univariat*. Surabaya: Undergraduate Thesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bass, I. (2007). *Six Sigma Statistics with Excel and Minitab*. New York: Mc Graw Hill.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Operations Management*. New Jersey: Pearson Education.
- Johnson, R.A., & Wichern, D.W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Pearson.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2017). Diambil 21 Januari 2020 dari Kementerian Perindustrian RI: www.kemenperin.go.id/artikel/18473/Indonesia-Masuk-Kategori-Negara-Industri.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2018). Diambil 21 Januari 2020 dari Kementerian Pertanian RI: www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=2564.
- Khoo, M. B. C., & Quah, S. H. (2003). *Multivariate Control Chart For Process Dispersion Based on Individual Observation*. *Journal Quality Engineering*, 15(4), 639-642.
- Lee, D., & Marks, J. M. (2009). *Drug Interactions: Know the Ingredients, Consult Your Physician*. MedicineNet.
- Montgomery, D. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control, 5th edition*, John Wiley & Sons Inc: New York.
- Morisson, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods (Third Edition)*. New York: Mc Graw Hill Publishing Comfiney
- Nordstrom, D.K., Alpers, C.N., Ptacek, D.W., & Blowes, D.W. (2000). *Negative pH and Extremely Acidic Mine Waters from Iron Mountain*. California. *Environmental Science & Technology*. pp. 254-258.
- Pande, A. (2017). *Realisasi Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair*

Berdasarkan Metode Tekanan Hidrostatik Dengan Menggunakan Sensor Fotodiode Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535.. Lampung: Skripsi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

Raissi, S., & Farzani, R.E. (2009). *Statistical Process Optimization Through Multi-Response Surface Methodology*. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. pp. 267–271.

Tim Abdi Guru. (2013). *IPA FISIKA SMP (TAG)/KLS.VIII/Kurikulum 2013*. Jakarta: Erlangga.

Ziarieputri, A.H. (2017). *Pengendalian Kualitas Produk Herbisida Sidafos 480SL Di PT Petrosida Gresik*. Surabaya: Undergraduate Thesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Pengujian Asumsi Dependensi Dengan Uji Bartlett Menggunakan Software SPSS

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.495
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	14.181
	df	3
	Sig.	.003

Lampiran B. Syntax Uji Asumsi Normal Multivariat Menggunakan Macro Minitab

```

Macro
NormalMultivariate X.1-X.p qc dj22

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

#-- 1.1. Dapatkan Nilai dj2 --#
let n=count(x.1)
Covariance X.1-X.p MCova
print 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
print dj2

```

```

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

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

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

name qc 'qc'
name dj22 'dj2'
endmacro

```

Lampiran C. Perhitungan *Critical Point* Dengan Interpolasi *Pearson Correlation Table*

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

$$\frac{102 - 100}{150 - 100} = \frac{Y - 0,9873}{0,9913 - 0,9873}$$

$$\frac{2}{50} = \frac{Y - 0,9873}{0,004}$$

$$50Y = 0,008 + 49,365$$

$$50Y = 49,373$$

$$Y = 0,98746$$

Lampiran D. *Pearson Correlation Table*

<i>Sample size</i>	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,1$
75	0,9771	0,9838	0,9866
100	0,9822	0,9873	0,9895
150	0,9879	0,9913	0,9928
200	0,9905	0,9931	0,9942
300	0,9935	0,9953	0,9960

Lampiran E. *Matriks V dan S untuk Multivariate Control Chart For Process Dispersion dan T²-Hotelling Control Chart*

V		
-0.09	0	-0.12
0.05	0	0.06
0.14	0	0.13
-0.41	0	-0.14
0.08	0	0.19
0.21	-0.001	-0.11
-0.3	0	-0.21
0.04	0.001	0.15
0.24	0	0.12
-0.15	0	0.08
0.29	0	-0.28
-0.1	0	0.14
0.06	0	-0.03
-0.18	0	-0.08
-0.3	-0.001	0.14
0.2	0.001	-0.09

0.15	0	0.66
-0.03	-0.001	-0.94
0.1	0.001	0.19
-0.19	0	0.59
0.05	-0.001	-0.38
0.1	0.001	-0.24
-0.08	0	0.38
0.3	0	-0.02
-0.4	-0.001	-0.49
0.04	0.001	0.28
0.02	0	0.06
0.01	0	-0.14
0.01	0	0.2
-0.09	0	-0.22
0.03	0	0.07
0.06	0	-0.12
0.04	-0.001	0.26
-0.19	0	-0.4
0.2	0.001	0.24
-0.16	0	0.01
-0.02	0	0.03
0.26	0	0.01
-0.21	0	0.48
0.01	0	-0.13
-0.06	0	0.24
0.09	0	-0.64
0.05	0	0.03
-0.13	-0.001	0.29
-0.01	0	-0.4
0.18	0	0.62
0.01	0.001	-0.43

-0.02	0	0.12
-0.04	0	-0.18
-0.22	0	0.42
-0.2	-0.001	-0.65
0.27	0.001	0.19
-0.23	-0.001	0.32
0.48	0.001	-0.44
0.03	0	0.24
-0.13	0	-0.14
-0.26	0	-0.05
0.06	-0.001	0.03
0.09	0.001	-0.08
-0.03	0	0.07
0	0	0.02
0.04	0	0.06
0.18	0	0.21
-0.36	0	-0.23
-0.19	-0.001	0.34
0.32	0	-0.21
-0.26	0	-0.1
0.34	0.001	-0.05
-0.41	0	0.02
-0.01	0	-0.05
0.05	0	-0.06
0.29	0	0.01
-0.06	0	0.08
-0.05	-0.001	0.14
0.07	0	0.2
-0.17	0	-0.23
0.13	0.001	-0.12
-0.02	0	0.04

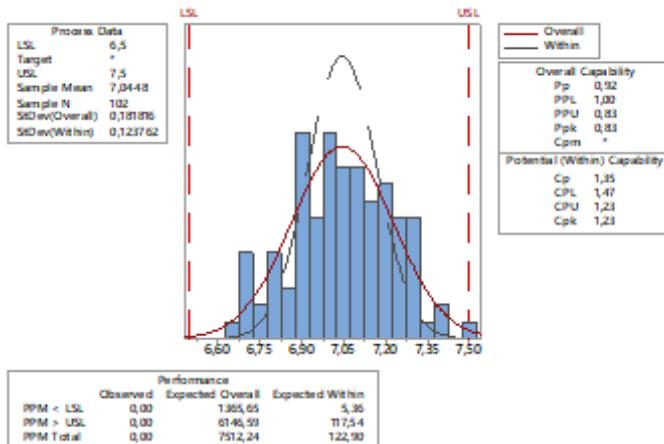
-0.01	0	0.46
-0.05	-0.001	-0.27
0.03	0	-0.28
-0.01	0	0.63
0.11	0	-0.41
-0.09	0.001	0.16
-0.1	-0.001	-0.02
0.17	0.001	0.13
0.27	0	-0.24
-0.54	0	-0.29
0	-0.001	-0.02
0.35	0.001	0.42
0.25	0	-0.36
-0.28	-0.001	0.07
-0.23	0.001	-0.07
0.15	0	0.08
-0.04	-0.001	-0.19
-0.09	0.001	0.17
0.05	-0.001	-0.09
0.05	0.001	0.06
0.02	-0.001	0.23
0	0	0.44
0.08	0.001	-0.67

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0.017042 & 1.88614E-05 & 0.00076188 \\ 1.88614E-05 & 1.88119E-07 & 5.64356E-06 \\ 0.00076188 & 5.64356E-06 & 0.04123465 \end{bmatrix}$$

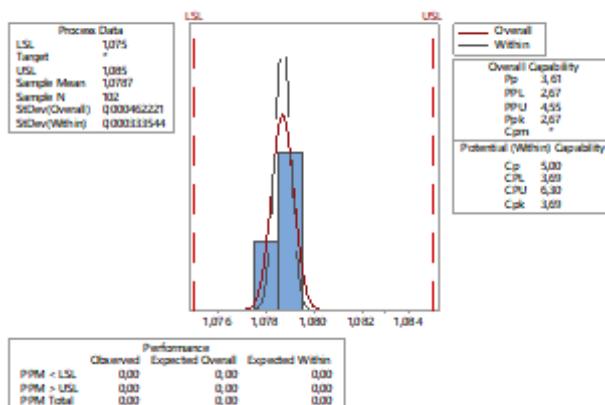
$$\mathbf{S}^{-1} = \begin{bmatrix} 66.00858 & -6608.78 & -0.31511 \\ -6608.78 & 5999376 & -698.994 \\ -0.31511 & -698.994 & 24.35294 \end{bmatrix}$$

Lampiran F. Output Analisis Kapabilitas Proses

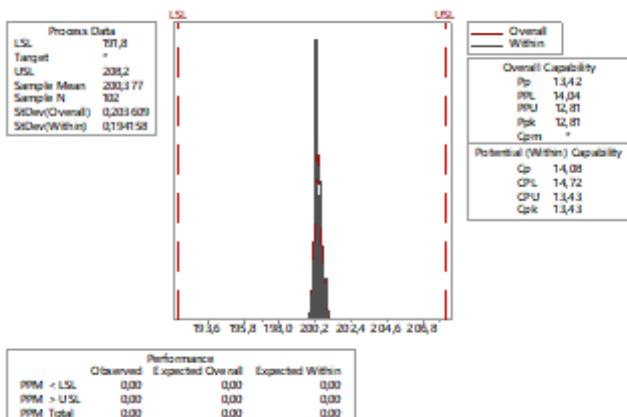
Process Capability Report for ph



Process Capability Report for density



Process Capability Report for ai



BIODATA PENULIS



Penulis bernama Marham Baihaqqi, lahir di Bogor, 6 Februari 1999. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Papandayan 1 Bogor, SMP Regina Pacis Bogor, dan SMA Regina Pacis Bogor. Setelah lulus SMA pada tahun 2016, penulis melanjutkan studinya di Departemen Statistika Fakultas Sains dan Analitika Data (FSAD) Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Organisasi kampus yang pernah diikuti penulis yaitu Staff Hubungan Luar Himpunan Statistika ITS (HIMASTA-ITS) periode 2017-2018, Ikatan Himpunan Statistika Indonesia (IHMSI) sebagai delegasi dari HIMASTA-ITS, dan Wakil Ketua HIMASTA-ITS periode 2018-2019. Pengalaman lain yang dimiliki penulis antara lain sebagai Ketua Pelaksana acara pelatihan *Statistics Leader on Reformation* (SAILOR) 2018 yang ditujukan pada anggota IHMSI Wilayah 4 (Jawa Timur), staff divisi *fundraising and sponsorship Indonesia Statistics Competition and Olympiad* (ISCO) 2017, dan staff divisi akomodasi-transportasi Pekan Raya Statistika 2018. Segala kritik dan saran serta diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis melalui alamat *e-mail* penulis, baihaqqi.marham@yahoo.co.id.