



TUGAS AKHIR - KS184822

**PENGENDALIAN KUALITAS PENGOLAHAN LIMBAH
AIR PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk
MENGUNAKAN GRAFIK KENDALI MULTIVARIAT
BERBASIS *TIME SERIES***

**ILMA TAMARINA ARBA
NRP 062117 4500 0021**

**Dosen Pembimbing
Wibawati, S.Si, M.Si.
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si, M.Sc.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**



TUGAS AKHIR - KS184822

**PENGENDALIAN KUALITAS PENGOLAHAN LIMBAH
AIR PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk
MENGUNAKAN GRAFIK KENDALI MULTIVARIAT
BERBASIS *TIME SERIES***

**ILMA TAMARINA ARBA
NRP 062117 4500 0021**

**Dosen Pembimbing
Wibawati, S.Si, M.Si.
Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si, M.Sc.**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**



FINAL PROJECT - KS184822

**QUALITY CONTROL ANALYSIS OF
WASTEWATER TREATMENT IN PT JAPFA
COMFEED INDONESIA Tbk USING
MULTIVARIATE CONTROL CHART BASED ON
TIME SERIES MODEL**

**ILMA TAMARINA ARBA
SN 062117 4500 0021**

Supervisors

Wibawati, S.Si, M.Si.

Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si, M.Sc.

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN KUALITAS PENGOLAHAN LIMBAH AIR
PT. JAPFA COMFEED INDONESIA TBK MENGGUNAKAN
GRAFIK KENDALI MULTIVARIAT BERBASIS *TIME SERIES***

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

ILMA TAMARINA ARBA

NRP. 062117 4500 0021


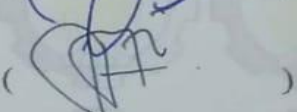
Disetujui oleh Pembimbing:

Wibawati, S.Si, M.Si.

NIP. 19741213 199802 2 001

Ni Luh Putu Satyaning P. P., S.Si, M.Sc

NIP. 1991201712036

()
()

Mengetahui,
Kepala Departemen



Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGENDALIAN KUALITAS PENGOLAHAN LIMBAH
AIR PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk
MENGUNAKAN GRAFIK KENDALI MULTIVARIAT
BERBASIS *TIME SERIES***

Nama : Ilma Tamarina Arba
NRP : 062117 4500 0021
Departemen : Statistika
Pembimbing : Wibawati, S.Si, M.Si.
N. L. P. Satyaning P. P, S.Si, M.Sc

Abstrak

PT Japfa Comdeed Indonesia Tbk merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang agrofood. Salah satu dampak dari aktivitas produksi adalah adanya limbah yang dihasilkan. Selama ini PT JCI Tbk hanya melakukan pencacatan dalam memonitor proses pengolahan limbah, sehingga perlu dilakukan pengendalian kualitas pengolahan limbah secara statistik. Penelitian ini menggunakan dua variabel yaitu Total Dissolved Solid (TDS) dan pH. Adanya autokorelasi menyebabkan false alarm pada grafik kendali sehingga pada penelitian ini digunakan grafik kendali multivariat berbasis time series. Metode yang digunakan adalah grafik kendali kombinasi MEWMA di mana grafik kendali M_2Z^2 dan MZ digunakan untuk memonitor variabilitas proses dan mean proses. Pada analisis time series diperoleh model terbaik yang terpilih adalah $VAR([1,5,8])$ sehingga residual dari model tersebut digunakan untuk mengendalikan proses pengolahan limbah air. Pada fase I variabilitas proses dan mean proses telah stabil, dan pada fase II variabilitas proses telah stabil namun mean proses belum stabil. Kapabilitas proses diperoleh nilai MCp 4,51 dan $MCpk$ 2,53 sehingga dapat dikatakan bahwa proses pengolahan limbah memiliki sebaran data yang dan proses telah kapabel.

Kata Kunci : *Autokorelasi, Grafik Kendali Kombinasi MEWMA, Kapabilitas Proses, Limbah Air, pH, TDS, VAR*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

QUALITY CONTROL ANALYSIS OF WASTEWATER TREATMENT IN PT JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk USING MULTIVARIATE CONTROL CHART BASED ON TIME SERIES MODEL

Name : Ilma Tamarina Arba
SN : 06211745000021
Department : Statistics
Supervisors : Wibawati, S.Si, M.Si.
N. L. P. Satyaning P. P., S.Si, M.Sc

Abstract

PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk is one of the companies engaged in agrofood. One of the effects of production activities is the presence of waste produced. PT JCI Tbk has only done a registration in monitoring the waste treatment process, so it is necessary to control the quality of wastewater processing statistically. This study uses two variables, Total Dissolved Solid (TDS) and pH. The autocorrelation causes false alarms on the control chart so in this study were used a time series multivariate control charts. This research using combination MEWMA control chart methods, where M_2Z^2 and MZ control charts are used to monitor variability and mean process. In the time series analysis, the best model chosen is VAR ([1,5,8]) and the residuals of the model are used to control the wastewater treatment process. In phase I the variability and mean process were stable, in phase II variability was stable but the mean process was not stable. Process capability obtained MC_p value 4,51 and MC_{pk} 2,53 it means that the wastewater treatment process has a good precision and accuracy.

Keywords :Autocorrelations, MEWMA Combinations Control Chart, pH, Process Capability, TDS, VAR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas kehadiran rahmat dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Pengendalian Kualitas Pengolahan Limbah Air PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Menggunakan Grafik Kendali Multivariat Berbasis *Time Series***”. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari doa, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Kesempatan ini penulis manfaatkan untuk menyampaikan rasa terima kasih yang sebanyaknya kepada

1. Ibu Wibawati, S.Si, M.Si dan Ibu Ni Luh Putu Satyaning P. Paramitha, S.Si, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan serta memberikan dukungan yang sangat besar bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Muhammad Mashuri, M.T dan Bapak Haryono, MSIE. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan arahan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Suhartono selaku Ketua Departemen Statistika ITS yang telah memberikan fasilitas dalam kelancaran Tugas Akhir ini
4. Keluarga tercinta, Mama, Papa, Kakak-kakak dan Adek Wisang telah memberikan doa, kasih sayang, dukungan, semangat dan segalanya yang telah diberikan untuk penulis sehingga menjadi mudah dan dilancarkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, serta saudara yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.
5. Bapak Dr. R. Mohamad Atok, S.Si, M.Si. selaku dosen wali yang telah memberikan nasehat, motivasi, serta bimbingan kepada penulis selama penulis menempuh pendidikan.
6. Seluruh dosen Departemen Statistika ITS yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan, beserta seluruh karyawan Jurusan Statistika ITS yang telah membantu kelancaran dan kemudahan dalam pelaksanaan kegiatan perkuliahan.

7. Bapak Agung Kurnia Sejati selaku Kepala HRD PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Margomulyo yang memberikan izin penulis untuk melakukan penelitian di perusahaan tersebut.
8. Bapak Andrea Thrisiawan Pradhana selaku pembimbing lapangan yang senantiasa membantu dan memberi masukan dalam pengerjaan penelitian ini.
9. Astok, Rahmat, Affanda, Ocik serta teman-teman PIONEER 2014 dan angkatan Lintas Jalur Statistika ITS 2017 yang telah membantu penulis dalam masa perkuliahan
10. Senior-senior dari Jurusan Statistika ITS yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis yang telah membantu ketika penulis membutuhkan pencerahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak yang telah memberikan dukungan yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar berguna untuk perbaikan berikutnya. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| COVER PAGE | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 4 |
| 1.3 Tujuan | 4 |
| 1.4 Manfaat | 5 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Analisis <i>Time Series</i> | 7 |
| 2.2 Model <i>Vector Autoregressive (VAR)</i> | 8 |
| 2.3 Stasionertas Data..... | 9 |
| 2.4 Identifikasi Model VAR..... | 10 |
| 2.4.1 <i>Cross-Correlation Matrix Function</i> | 10 |
| 2.4.2 <i>Partial Cross-Correlation Matrix Function</i> | 12 |
| 2.5 Estimasi Parameter Model..... | 13 |
| 2.6 Pemeriksaan Model (<i>Diagnostic Check</i>)..... | 13 |
| 2.7 Pemilihan Model Terbaik..... | 15 |
| 2.8 Dependensi Variabel | 15 |
| 2.9 Pengendalian Kualitas Statistik | 16 |
| 2.9.1 Grafik kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) | 17 |
| 2.9.2 Grafik kendali Kombinasi MEWMA | 18 |

| | |
|--|----|
| 2.9.3 Menentukan Batas Kendali Grafik Kendali Kombinasi MEWMA..... | 21 |
| 2.10 Grafik Kendali M..... | 22 |
| 2.10 Grafik Kendali T^2 <i>Hotteling</i> | 22 |
| 2.10 Analisis Kapabilitas Proses | 23 |
| 2.11 Proses Pengolahan Limbah Air | 24 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Sumber Data | 27 |
| 3.2 Variabel Penelitian..... | 27 |
| 3.3 Langkah Analisis | 26 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Karakteristik Kualitas Limbah Air PT JCI Tbk..... | 35 |
| 4.2 Pemeriksaan Autokorelasi Data Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk | 36 |
| 4.3 Pemodelan <i>Vector Autoregressive</i> Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk..... | 37 |
| 4.3.1 Stasioneritas Varian Data Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk | 37 |
| 4.3.2 Stasioneritas <i>Mean</i> Data Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk..... | 39 |
| 4.3.3 Penentuan Orde VAR Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk..... | 40 |
| 4.3.4 Estimasi Parameter Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk..... | 42 |
| 4.3.5 Pengujian Asumsi Residual Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk | 44 |
| 4.4 Pengendalian Kualitas Limbah Air PT JCI Tbk Menggunakan Grafik Kendali Multivariat | 46 |
| 4.4.1 Pengendalian Kualitas Limbah Air PT JCI Tbk Menggunakan Grafik Kendali T^2 <i>Hotteling</i> | 46 |
| 4.4.2 Pengendalian Kualitas Limbah Air PT JCI Tbk Menggunakan Grafik Kendali Kombinasi MEWMA | 48 |
| 4.5 Analisis Kapabilitas Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk | 56 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 Kesimpulan..... | 59 |
| 5.2 Saran..... | 59 |
| DAFTAR PUSTAKA | 61 |
| LAMPIRAN | 65 |
| BIODATA PENULIS | 105 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 2.1 Tabel Transformasi <i>Box-cox</i> | 10 |
| Tabel 3.1 Variabel Penelitian | 27 |
| Tabel 3.2 Struktur Data Karakteristik Kualitas | 28 |
| Tabel 4.1 Karakteristik Kualitas Limbah Air PT JCI Tbk | 36 |
| Tabel 4.2 Stasioneritas Varian Transformasi..... | 39 |
| Tabel 4.3 Pengujian Stasioneritas Mean | 40 |
| Tabel 4.4 Nilai AIC..... | 41 |
| Tabel 4.5 Estimasi Parameter Model VAR([1,5,8]) | 43 |
| Tabel 4.6 Uji Portmentau Model VAR([1,5,8])..... | 44 |
| Tabel 4.7 Kapabilitas Proses Pengolahan Limbah Univariat ... | 56 |
| Tabel 4.8 Kapabilitas Proses Pengolahan Limbah Multivariat..... | 56 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Diagram Proses Pengolahan Limbah Air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Margomulyo.. | 25 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 32 |
| Gambar 4.1 Plot ACF TDS..... | 37 |
| Gambar 4.2 Plot ACF pH | 37 |
| Gambar 4.3 Plot ACF Residual TDS | 45 |
| Gambar 4.4 Plot ACF Residual pH..... | 45 |
| Gambar 4.5 Grafik kendali M Fase I..... | 47 |
| Gambar 4.6 Grafik kendali T^2 <i>Hotteling</i> Fase I..... | 47 |
| Gambar 4.7 Grafik kendali MZ dan M_2Z^2 Fase I..... | 50 |
| Gambar 4.8 Grafik kendali MZ dan M_2Z^2 Fase I Perbaikan I..... | 51 |
| Gambar 4.9 Grafik kendali MZ dan M_2Z^2 Fase I Perbaikan II..... | 53 |
| Gambar 4.10 Grafik kendali M_2Z^2 Fase II..... | 54 |
| Gambar 4.11 Grafik kendali MZ Fase II | 55 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|---|---------|
| Lampiran A. Data Kualitas Limbah PT JCI Tbk | 65 |
| Lampiran B. Karakteristik Data dan Karakteristik Kualitas Limbah Air | 66 |
| Lampiran C. Pemeriksaan Stasioneritas dalam Varian | 67 |
| Lampiran D. Data Transformasi Karakteristik Kualitas..... | 68 |
| Lampiran E. Pengujian Stasioneritas dalam Mean | 69 |
| Lampiran F. Syntax VAR Karakteristik Kualitas Limbah Air | 70 |
| Lampiran G. Identifikasi Orde VAR | 71 |
| Lampiran H. Cek Autokorelasi Residual VAR([1,5,8])..... | 72 |
| Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Kualitas Limbah Air | 73 |
| Lampiran J. Data Residual Pemodelan Karakteristik Kualitas | 82 |
| Lampiran K. Pengujian Destribusi Normal Multivariat | 83 |
| Lampiran L. Pengujian Dependensi Karakteristik Kualitas | 84 |
| Lampiran M. Hasil Simulasi Batas Kendali Grafik Kendali M_2Z^2 | 85 |
| Lampiran N. Hasil Simulasi Batas Kendali Grafik Kendali MZ | 86 |
| Lampiran O. Hasil Perhitungan Grafik kendali M_2Z^2 dan MZ Fase I yang Telah Terkendali | 87 |
| Lampiran P. Hasil Perhitungan Grafik kendali M_2Z^2 dan MZ Fase II | 94 |
| Lampiran Q. Kapabilitas Proses Pengolahan Limbah Air | 101 |
| Lampiran R. Surat Penerimaan Perusahaan | 102 |
| Lampiran S. Surat Keterangan Data..... | 103 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri merupakan salah satu sektor yang berkembang di Indonesia beberapa tahun terakhir. Data statistik menunjukkan bahwa jumlah industri di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun 2012-2015, hingga pada tahun 2015 terdapat sebanyak 26.322 perusahaan industri di Indonesia (BPS, 2019). Perkembangan industri membawa dampak positif selain meningkatkan perekonomian juga dapat menambah lapangan kerja, namun perkembangan industri juga memberikan dampak negatif dengan semakin banyaknya industri maka hasil limbah industri yang dihasilkan juga akan bertambah. Pengolahan limbah industri yang tidak tepat dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur dalam publikasinya tahun 2017 menyebutkan bahwa indeks kualitas air di Jawa Timur tahun 2017 sebesar 52,77% dan berada pada status sangat kurang. Sumber pencemaran air sungai di Jawa Timur berasal dari limbah industri dan limbah domestik atau rumah tangga yang biasanya berasal dari aktivitas mencuci baju ataupun mandi. Salah satu upaya pemerintah untuk mengurangi pencemaran air adalah dengan mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

PT Japfa Comfeed Indonesia (JCI) Tbk merupakan salah satu perusahaan besar yang bergerak dibidang *agro-food* dengan hasil produksi berupa pakan ternak untuk ayam ras pedaging. Ayam ras pedaging merupakan salah satu komoditas unggas yang tinggi peminatnya, dengan tingginya permintaan akan ayam menyebabkan meningkatnya permintaan pakan ternak. Tingginya permintaan pakan ternak membuat PT JCI Tbk berusaha agar dapat memenuhi permintaan dengan meningkatkan aktivitas produksi.

Semakin tinggi produksi yang dihasilkan juga berdampak pada banyaknya limbah yang dihasilkan. PT JCI Tbk mengolah limbah air hasil produksinya berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah bagi industri dan/atau kegiatan usaha lainnya. Limbah hasil dari proses produksi sebelum dibuang ke saluran harus diolah hingga limbah aman dan tidak merusak lingkungan. Selama ini PT JCI Tbk melakukan pengontrolan terhadap limbah air secara deskriptif untuk menentukan apakah limbah layak untuk dibuang ke saluran atau diperlukan proses kembali pengolahan limbah ketika nilai pH dan *Total Dissolved Solid* (TDS) melebihi dari baku mutu yang ditentukan. Sehingga pada penelitian ini saya akan menggunakan metode statistika yaitu grafik kendali multivariat untuk pengendalian kualitas limbah air. Limbah air PT JCI Tbk 80% berasal dari aktivitas produksi dan 20% lainnya berasal dari limbah laboratorium *quality control*. Produk yang dihasilkan oleh PT JCI Tbk merupakan pakan ternak sehingga limbah air yang dihasilkan cenderung memiliki banyak zat yang terlarut dan pekat karena pakan ternak sendiri memiliki standart kandungan yang harus dipenuhi, sehingga perlu dilakukan monitoring untuk zat terlarut dalam limbah air. Delapan puluh persen limbah air PT JCI Tbk bersifat basa yang berasal dari aktivitas produksi, tingginya pH menyebabkan tingkat TDS meningkat.

Grafik kendali merupakan salah satu metode grafik yang digunakan untuk mengetahui apakah suatu proses telah terkendali secara statistik atau tidak. Terdapat dua tipe grafik kendali yaitu grafik kendali univariat dan grafik kendali multivariat (Montgomery, 2013). Grafik kendali univariat digunakan untuk pengendalian kualitas yang hanya memiliki satu karakteristik kualitas saja dan grafik kendali mutivariat digunakan untuk pengendalian kualitas yang memiliki beberapa karakteristik kualitas. Metode yang dapat digunakan pada kasus ini adalah menggunakan grafik kendali multivariat karena menggunakan dua karakteristik kualitas yaitu TDS dan pH. Ketika terjadi autokorelasi pada data, grafik kendali multivariat konvensional tidak cukup baik

untuk menggambarkan proses produksi sebenarnya (Montgomery, 2013). Terdapat beberapa pendekatan jika terdapat indikasi adanya autokorelasi pada data yaitu dengan menggunakan residual dari metode *time series*, sehingga residual yang dihasilkan memenuhi asumsi independen dan identik (Alwan & Roberts, 1988)

Fitriyawan (2018) melakukan penelitian pengendalian kualitas air minum dalam kemasan dan menggunakan variabel yang sama yaitu TDS dan pH dengan grafik kendali *Improved Generalized Variance* dan *T²-Hotelling* diperoleh hasil bahwa variabilitas dan rata-rata proses telah terkendali secara statistik, kapabilitas proses produk presisinya baik namun akurasi rendah. Penelitian lainnya dilakukan oleh Nazihah (2018) yang melakukan pengendalian kualitas bahan bakar gas PT Indonesia Power dengan grafik kendali univariat pendekatan *time series* diperoleh hasil bahwa sumur gas belum terkendali secara statistik, baik untuk varian proses maupun rata-rata proses. Penelitian lain yang menggunakan pendekatan grafik kendali multivariat berbasis *time series* dilakukan oleh Widiyantoro (2018) untuk mengendalikan produk tetes tebu di PG Tjoekir Jombang menghasilkan kesimpulan bahwa model terbaik yang digunakan adalah *VARI(30,1)*. Grafik kendali *MEWMV* diperoleh bobot optimum $\omega = 0,1$ dan $\lambda = 0,2$ menunjukkan variabilitas proses belum terkendali. Serta pada grafik kendali *MEWMA* memiliki bobot optimum $\lambda = 0,9$ dengan rata-rata proses yang tidak terkendali. Indikasi penyebab proses tidak terkendali adalah faktor mesin yang berhenti. Nuriman (2018) melakukan pengendalian kualitas proses produksi pupuk urea menggunakan metode grafik kendali kombinasi *MEWMA* memperoleh hasil bahwa pada fase I variabilitas proses dan *mean* proses telah terkendali secara statistik. Pada fase II variabilitas proses dan *mean* proses belum terkendali secara statistik. Kapabilitas proses menunjukkan bahwa akurasi dan presisi proses belum kapabel.

Pada proses pengolahan limbah air, ketika kandungan zat terlarut atau TDS tinggi maka nilai pH cenderung tidak bersifat netral, bisa bersifat asam atau basa sehingga antar variabel

teridentifikasi memiliki hubungan. Salah satu metode statistik untuk pengendalian kualitas yang dapat digunakan pada data yang memiliki hubungan antar karakteristik kualitas adalah grafik kendali kombinasi *Multivariate Exponentially Moving Average* (MEWMA). Reynolds & Cho (2006) dalam penelitiannya yang berjudul "*Multivariate Control Chart for Monitoring The Mean Vector and Covariance Matrix*" menyebutkan bahwa grafik kendali kombinasi MEWMA memiliki hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan grafik kendali MEWMA standart dan grafik kendali T^2 Hotteling berdasarkan *Average Time to Signal* (ATS). Grafik kendali kombinasi MEWMA menggunakan grafik kendali M_2Z^2 untuk memonitor variabilitas proses dan grafik kendali MZ untuk memonitor *mean* proses. Penelitian ini akan menggunakan grafik kendali kombinasi MEWMA dengan pendekatan *time series* karena pemberian larutan kimiawi yang dilakukan memiliki pengaruh antara pengamatan saat ini dengan pengamatan sebelumnya sehingga adanya indikasi autokorelasi pada data kualitas pengolahan limbah yang akan diamati. Data yang digunakan merupakan data pengolahan limbah air mulai Januari 2017 – Februari 2019.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada pada latar belakang maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik data dari karakteristik kualitas limbah air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk?
2. Bagaimana model terbaik yang terbentuk untuk karakteristik kualitas limbah air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk?
3. Bagaimana hasil analisis kapabilitas proses pada pengolahan limbah air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk?

1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui model *time series* terbaik yang terbentuk. Mengetahui apakah *mean* dan variansi pada

karakteristik kualitas limbah air yang diukur oleh PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk telah terkendali secara statistik. Memperoleh hasil analisis kapabilitas proses pengolahan limbah air agar limbah yang dibuang tidak mencemari lingkungan.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi untuk PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Margomulyo dalam peningkatan pengelolaan limbah industri dan dapat memahami metode statistika yang digunakan dalam melakukan pengawasan terhadap pengelolaan limbah air sehingga tidak dapat mencemari lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Data yang digunakan merupakan data pengelolaan limbah air yang diambil di PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Margomulyo Januari 2018 – Februari 2019 pada hari Senin – Sabtu.
2. Karakteristik kualitas limbah air yang digunakan adalah TDS dan pH.
3. Pemodelan time series hanya menggunakan model VAR.
4. Pembobot pengamatan yang digunakan untuk pengendalian proses pengolahan limbah adalah 0,11989.

(Halaman sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Asumsi dasar menggunakan pengendalian kualitas secara statistik adalah data memiliki distribusi normal dan independen antar pengamatan (Montgomery, 2013). Apabila suatu data tidak berdistribusi normal, salah satu pendekatan grafik kendali yang dapat digunakan adalah yang *robust* terhadap distribusi normal yaitu menggunakan grafik kendali Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) untuk data univariat. Sehingga asumsi lainnya yang takteratasi adalah jika suatu data terdapat auto-korelasi. Adanya autokorelasi pada data menyebabkan terjadinya *false alarm* pada grafik kendali yang terbentuk. Sehingga salah satu upaya penanggulangan autokorelasi pada data adalah dengan menggunakan metode *time series* untuk menghilangkan auto-korelasi. Residual yang dihasilkan oleh model terbaik *time series* akan memenuhi asumsi independen dan identik (Alwan & Roberts, 1988).

Pada Bab ini akan membahas mengenai landasan metode yang akan digunakan pada penelitian ini diantaranya analisis *time series*, *vector autoregressive*, stasioneritas, identifikasi model *time series*, estimasi parameter model, pemilihan model terbaik, uji dependensi variabel, pengendalian kualitas statistik, dan proses pengolahan limbah air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Margomulyo.

2.1 Analisis Time Series

Time series adalah serangkaian pengamatan yang diambil dari waktu ke waktu dan dicatat secara berurutan menurut waktu kejadian dengan interval waktu yang tetap sehingga data periode sekarang memiliki korelasi terhadap data periode sebelumnya (Wei, 2006). Jenis data *time series* memiliki dua tipe yaitu jenis data univariat dan multivariat. Pada jenis data univariat hanya terdapat satu karakteristik kualitas yang memiliki korelasi antar pengamatannya, sedangkan pada jenis data multivariat terdapat dua atau lebih karakteristik kualitas yang memiliki korelasi antar

pengamatannya. Pada kasus *multivariate time series* menurut Wei (2006) metode yang dapat digunakan adalah metode *Vector Autoregressive* (VAR) untuk memodelkan data *multivariate time series*.

2.2 Model Vector Autoregressive (VAR)

Model *Vector Autoregressive* (VAR) merupakan model hasil pengembangan dari *Autoregressive* (AR) yang dapat diidentifikasi menggunakan plot *Partial Cross-Correlation Matrix Function*. Model VAR digunakan untuk memodelkan dua variabel atau lebih yang memiliki hubungan satu sama lain. Bentuk umum model VAR(p) yang dikemukakan oleh Wei (2006) seperti yang tertera pada Persamaan (2.1)

$$\mathbf{Z}_t = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\Phi}_1 \mathbf{Z}_{t-1} + \dots + \boldsymbol{\Phi}_p \mathbf{Z}_{t-p} + \mathbf{a}_t \quad (2.1)$$

\mathbf{Z}_t merupakan vektor berukuran $m \times 1$ dari variabel pada waktu ke- t , $\boldsymbol{\mu}$ merupakan vektor konstan, $\boldsymbol{\Phi}_1$ adalah matriks berukuran $m \times m$ dari parameter ke-1, $\boldsymbol{\Phi}_p$ adalah matriks berukuran $m \times m$ dari parameter ke- p serta \mathbf{a}_t adalah residual parameter pada waktu ke- t dengan vektor berukuran $m \times 1$, dimana m merupakan banyaknya karakteristik kualitas. Persamaan (2.1) jika ditulis dalam model umum VAR menggunakan matriks dapat ditulis seperti dalam Persamaan (2.2).

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} Z_{1,t} \\ Z_{2,t} \\ \vdots \\ Z_{m,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mu_{1,t} \\ \mu_{2,t} \\ \vdots \\ \mu_{m,t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{111} & \phi_{211} & \cdots & \phi_{p1m} \\ \phi_{121} & \phi_{222} & \cdots & \phi_{p2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{pm1} & \phi_{pm2} & \cdots & \phi_{pmm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1,t-1} \\ Z_{2,t-1} \\ \vdots \\ Z_{m,t-1} \end{bmatrix} + \dots + \\ &+ \begin{bmatrix} \phi_{p11} & \phi_{p11} & \cdots & \phi_{p1m} \\ \phi_{p21} & \phi_{p22} & \cdots & \phi_{p2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{pm1} & \phi_{pm2} & \cdots & \phi_{pmm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1,t-p} \\ Z_{2,t-p} \\ \vdots \\ Z_{m,t-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ \vdots \\ a_{m,t} \end{bmatrix} \quad (2.2) \end{aligned}$$

2.3 Stasioneritas Data

Stasioneritas dalam data *time series* ditunjukkan apabila rata-rata dan varians berfluktuasi konstan setiap waktu. Jika plot *time series* berfluktuasi di sekitar garis yang sejajar dengan sumbu waktu (t) maka dikatakan deret stasioner dalam *mean*. Terdapat kemungkinan suatu data tidak stasioner hal ini dikarenakan *mean* tidak konstan sehingga untuk menghilangkan ketidakstasioneran terhadap *mean* maka dilakukan data tersebut menggunakan metode pembedaan atau *differencing* dalam Persamaan (2.3)

$$\begin{aligned} W_t &= Z_t - BZ_t \\ &= (1 - B)^d Z_t \end{aligned} \quad (2.3)$$

dengan W_t merupakan nilai setelah dilakukan pembedaan atau *differencing*.

Deret waktu yang tidak stasioner dalam *mean*, berarti ketika data diplotkan terhadap sumbu waktu (t) maka series data membentuk *trend* tertentu terhadap garis sumbu waktu (t). Pengujian stasioner terhadap *mean* dapat menggunakan *Augmented Dickey-Fuller (ADF) Test*. Jika suatu data *time series* tidak stasioner pada orde nol, $I(0)$, maka stasioneritas data tersebut bisa dicari melalui orde berikutnya sehingga diperoleh tingkat stasioneritas pada orde ke- n (*first difference* atau $I(1)$, atau *second difference* $I(2)$, dan seterusnya). Persamaan dan pengujian *Dickey-Fuller* ditunjukkan oleh Persamaan (2.4) (Gujarati, 2004):

$$\Delta Z_t = \delta Z_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.4)$$

keterangan :

ΔZ_t = *first difference* dari Z

δ = koefisien regresi untuk *lag* Z

ε = *error*

t = waktu

Hipotesis :

H_0 : $\delta = 0$ (terdapat akar unit, variabel Z tidak stasioner)

H_1 : $\delta \neq 0$ (tidak terdapat akar unit, variabel Z stasioner)

Statistik uji :

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\delta}}{SE(\hat{\delta})} \quad (2.5)$$

dengan $SE(\hat{\delta})$ merupakan *standart error* dari nilai taksiran δ daerah penolakan : tolak H_0 jika $|t_{hitung}| > t_{tabel}$.

Apabila suatu data tidak stasioner terhadap varian maka untuk mengatasi ketidakstasioneran dalam varians dapat dilakukan dengan transformasi data. Transformasi yang umum digunakan adalah transformasi *Box-Cox* (Wei, 2006) seperti Persamaan (2.6)

$$T(Z_t) = \frac{Z_t^\lambda - 1}{\lambda} \quad (2.6)$$

dengan λ adalah parameter transformasi. Nilai λ yang dipilih adalah nilai λ yang meminimumkan jumlah kuadrat residual sehingga memiliki varians yang minimum. Secara umum transformasi *Box-Cox* untuk beberapa nilai λ disajikan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Tabel Transformasi *Box-Cox*

| Nilai Estimasi | Transformasi |
|----------------|----------------|
| -1,0 | $1/Z_t$ |
| -0,5 | $1/\sqrt{Z_t}$ |
| 0,0 | $\ln Z_t$ |
| 0,5 | $\sqrt{Z_t}$ |
| 1 | Z_t |

Sumber: (Wei, 2006)

2.4 Identifikasi Model VAR

Menentukan model VAR yang terbentuk dari data atau identifikasi model *multivariate time series* salah satunya dapat dilakukan dengan melihat pola dari fungsi *Cross-Correlation Matrix Function* dan *Partial Cross-Correlation Matrix Function*.

2.4.1 *Cross-Correlation Matrix Function*

Apabila terdapat n pengamatan, menurut Wei (2006) matriks fungsi autokorelasi dapat dituliskan seperti Persamaan (2.7) sebagai berikut:

$$\hat{\rho}(k) = \left[\hat{\rho}_{ij}(k) \right] \quad (2.7)$$

di mana $\hat{\rho}_{ij}(k)$ adalah korelasi silang sampel untuk komponen ke-i dan ke-j dan sebuah estimator yang mendekati distribusi normal pada sebuah proses vektor yang stasioner dan diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.8).

$$\hat{\rho}_{ij}(k) = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_{i,t} - \bar{Z}_i)(Z_{j,t+k} - \bar{Z}_j)}{\left(\sum_{t=1}^n (Z_{i,t} - \bar{Z}_i)^2 \sum_{t=1}^n (Z_{j,t} - \bar{Z}_j)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.8)$$

keterangan :

$Z_{i,t}$: observasi karakteristik kualitas ke-i pada waktu ke-t

\bar{Z}_i : rata-rata karakteristik kualitas ke-i

$Z_{j,t+k}$: observasi karakteristik kualitas ke-j dengan k-lag

\bar{Z}_j : rata-rata karakteristik kualitas ke-j dengan k-lag.

Matriks fungsi korelasi sampel digunakan untuk menentukan orde model *Vector Moving Average* (VMA). Pada penerapannya, bentuk matriks dan grafik akan semakin kompleks karena meningkatnya dimensi vektor, sehingga untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan metode koefisien dengan menggunakan tanda (+),(-), dan (.) (Tiao & Box, 1981). Tanda (+) mengartikan bahwa nilai $\hat{\rho}_{ij}(k)$ yang lebih besar dari 2 kali estimasi *standard error* yang menunjukkan hubungan korelasi positif, tanda (-) menotasikan nilai $\hat{\rho}_{ij}(k)$ yang lebih kecil -2 kali estimasi *standard error* dan menunjukkan korelasi negatif. Dan tanda (.) menunjukkan $\hat{\rho}_{ij}(k)$ yang terletak diantara ± 2 kali estimasi *standard error* sehingga tidak adanya hubungan. Nilai estimasi *standard error* adalah $1/\sqrt{n}$ dengan n merupakan jumlah pengamatan.

2.4.2 Partial Cross-Correlation Matrix Function

Partial Autocorrelation Matrix Function dapat digunakan untuk menentukan orde model AR. Menurut Tiao & Box (1981), *partial autocorrelation matrix function* pada lag k yang dapat dinotasikan sebagai $\wp(k)$, diperoleh dari Persamaan (2.9)

$$\wp(k) \begin{cases} \Gamma'(1) [\Gamma'(0)]^{-1}, & k=1 \\ \left\{ \Gamma'(k) - \mathbf{c}' [\mathbf{A}'(k)]^{-1} \mathbf{b}(k) \right\} \left\{ \Gamma'(0) - \mathbf{b}'(k) [\mathbf{A}'(k)]^{-1} \mathbf{b}(k) \right\}^{-1}, & k>1 \end{cases} \quad (2.9)$$

Apabila $k \geq 2$ maka nilai $\mathbf{A}(k)$, $\mathbf{b}(k)$ dan $\mathbf{c}(k)$ dapat diperoleh dari Persamaan (2.10) sampai dengan Persamaan (2.12)

$$\mathbf{A}(k) = \begin{bmatrix} \Gamma(0) & \Gamma'(0) & \cdots & \Gamma'(k-2) \\ \Gamma(1) & \Gamma(0) & \cdots & \Gamma'(k-3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma(k-2) & \Gamma(k-3) & \cdots & \Gamma(0) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

$$\mathbf{b}(k) = \begin{bmatrix} \Gamma'(k-1) \\ \Gamma'(k-2) \\ \vdots \\ \Gamma'(1) \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$\mathbf{c}(k) = \begin{bmatrix} \Gamma(1) \\ \Gamma(2) \\ \vdots \\ \Gamma(k-1) \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

di mana $\Gamma(k)$ merupakan matriks kovarians yang diperoleh dari Persamaan (2.13)

$$\Gamma(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=k+1}^{n-k} (\mathbf{Z}_t - \bar{\mathbf{Z}})(\mathbf{Z}_{t-k} - \bar{\mathbf{Z}}), \text{ dengan } k=1,2,\dots \quad (2.13)$$

Penentuan orde AR pada serangkaian observasi akan disimbolkan dengan tanda (+),(-), dan (.) dengan intepretasi tanda yang sama seperti yang dijelaskan pada *cross correlation matrix function*.

2.5 Estimasi Parameter Model

Estimasi parameter pada model VAR (p) dapat menggunakan metode *Least Square* dengan estimasi yang terbentuk ditunjukkan pada Persamaan (2.14)

$$\hat{\Phi} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Z} . \quad (2.14)$$

(Lutkepohl, 2005).

Pengujian pada metode ini menggunakan hipotesis sebagai berikut:

$H_0 : \Phi_i = 0$ (parameter tidak signifikan)

$H_1 : \Phi_i \neq 0$ (parameter signifikan), di mana $i = 1, 2, \dots, p$

Statistik uji yang digunakan tertera pada Persamaan (2.15).

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\Phi}_i}{SE(\hat{\Phi}_i)} \quad (2.15)$$

$SE(\hat{\Phi}_i)$ merupakan standart *error* dari taksiran $\hat{\Phi}_i$. Tolak

H_0 apabila $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2, (n-p)}$ sehingga diperoleh keputusan parameter signifikan.

2.6 Pemeriksaan Model (*Dignostic Check*)

Apabila telah mendapatkan model yang signifikan maka selanjutnya dilakukan pemeriksaan diagnostik untuk mendapatkan model terbaik dan beberapa model yang parameternya signifikan. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan cara melihat residual telah *white noise* dan berdistribusi normal. Pengujian *white noise* menggunakan uji *Portmanteau* dengan hipotesis pengujian:

$H_0 : \mathbf{R}_k = 0 (R_1, R_2, \dots, R_p)$ (residual model VAR (p) *white noise*)

$H_1 : \mathbf{R}_k \neq 0$ (residual model VAR (p) tidak *white noise*)

Statistik uji yang digunakan dalam Persamaan (2.16)

$$Q_k = n \sum_{i=1}^k tr(\hat{C}'_k \hat{C}_0^{-1} \hat{C}_k \hat{C}_0^{-1}), \quad (2.16)$$

$$C_k = n^{-1} \sum_{k+1}^n \hat{a}_t \hat{a}'_{t-k}$$

keterangan :

n : ukuran sampel

\hat{C}_0^{-1} : invers estimator residual varian kovarian Σ

\hat{C}'_k : matriks autokovarian dari vektor residual a_t , $k = 0, 1, 2, \dots$

Residual dikatakan *white noise* apabila nilai $Q_k > \chi^2_{(k^2(k-p))}$

(Lutkepohl, 2005).

Pemeriksaan diagnostik selanjutnya adalah pemeriksaan apakah residual data mengikuti distribusi normal multivariat. Metode ini digunakan untuk mengetahui beberapa variabel yang memiliki hubungan apakah mengikuti distribusi normal multivariat atau tidak (Johnson dan Wichern, 2007). Alva dan Estrada (2009) mengemukakan bahwa salah satu pengujian distribusi normal multivariat dapat dilakukan menggunakan pengujian Shapiro-Wilk dengan hipotesis dan statistik uji sebagai berikut:

H_0 : residual karakteristik kualitas berdistribusi normal multivariat

H_1 : residual karakteristik kualitas tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik uji yang digunakan dalam Persamaan (2.17)

$$W^* = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m W_0, \quad (2.17)$$

di mana,

$$W_0 = \frac{d^2}{S^2}, \quad (2.18)$$

$$S^2 = \sum_{t=1}^n (\hat{a}_t - \bar{\hat{a}})^2 \quad \text{dan} \quad d = \sum_{t=1}^n g_t \hat{a}_{(t)} \quad (2.19)$$

tolak H_0 jika $W^* < c_{\alpha;n,m}$ sehingga dapat dikatakan bahwa residual karakteristik kualitas tidak berdistribusi normal multivariat. Nilai g adalah nilai koefisien dari tabel normal.

2.7 Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dari beberapa model yang parameternya signifikan, *white noise*, dan berdistribusi normal multivariat adalah dengan cara melihat nilai minimum dari kriteria kebaikan model yang digunakan. Menentukan model terbaik dapat menggunakan nilai minimum dari *Akaike Informarion Criterion* (AIC) (Wei, 2006) yang ditunjukkan dalam Persamaan (2.20)

$$AIC(p) = \ln(|\Sigma_p|) + \frac{2pm^2}{n} \quad (2.20)$$

di mana $|\Sigma_p|$ merupakan determinan dari matriks varian kovarian residual, m adalah jumlah karakteristik kualitas, dan n merupakan banyaknya observasi.

2.8 Dependensi Variabel

Uji dependensi untuk data multivariat dapat menggunakan uji *Bartlett Sphericity*, metode ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat korelasi antara tiap variabel dengan variabel yang lain. Variabel dikatakan bersifat saling bebas (independen) jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas. Pada penelitian ini data yang digunakan merupakan residual dari hasil analisis *time series* karena residual data diharapkan sudah tidak terdapat kasus autokorelasi. Untuk menguji dependensi antar residual variabel dapat menggunakan hipotesis dan pengujian menggunakan Persamaan (2.21) (Morrison, 1990).

Hipotesis :

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Karakteristik kualitas saling independen)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Karakteristik kualitas saling dependen)

Daerah kritis: H_0 ditolak jika $u' > \chi^2_{1, \frac{\alpha}{2}; p(p-1)}$

Statiistik uji :

$$u' = - \left\{ n - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right\} \ln |\mathbf{R}| \quad (2.21)$$

di mana,

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

$$r_{jp} = \frac{S_{jp}}{\sqrt{S_j^2 S_p^2}}, s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (2.22)$$

$$s_{jp} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ip} - \bar{x}_p)$$

keterangan :

n = jumlah observasi

p = jumlah variabel

\mathbf{R} = matrik korelasi dari masing-masing variabel

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

Jika gagal tolak H_0 maka karakteristik kualitas saling independen sehingga asumsi dependensi antar variabel tidak terpenuhi.

2.9 Pengendalian Kualitas Statistik

Pengendalian kualitas statistika adalah salah satu metode statistik yang digunakan untuk memonitor kualitas produksi. Kualitas produk dievaluasi berdasarkan karakteristik kualitas suatu produk. Grafik kendali merupakan grafik yang menggambarkan penyebaran kualitas hasil proses produksi dan salah satu metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil produksi secara visual dimana terdapat batas kendali atas (BKA)

dan batas kendali bawah (BKB) sebagai penentu apakah suatu proses dalam keadaan terkendali atau tidak. Dalam grafik kendali sendiri terdapat garis tengah yaitu nilai *mean* dari karakteristik ketika proses dalam keadaan terkendali. Jika terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali maka proses produksi dikatakan tidak terkendali secara statistik atau proses *out of control* (Montgomery, 2013).

Pengambilan pengamatan pada proses pengolahan limbah dilakukan secara kontinu. Proses pengolahan limbah cair yang dilakukan dengan proses kimiawi diindikasikan pengamatan sekarang dipengaruhi oleh proses kimiawi sebelumnya, sehingga pada penelitian ini akan digunakan analisis *time series* untuk mengatasi autokorelasi pada data, lalu residual dari analisis *time series* akan digunakan untuk mengontrol proses pengolahan limbah. Grafik kendali yang digunakan adalah grafik kendali Kombinasi MEWMA dengan pengamatan individu untuk memonitor variabilitas proses menggunakan grafik kendali M_2Z^2 dan *mean* proses menggunakan grafik kendali MZ.

2.9.1 Grafik kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA)

Grafik kendali *multivariate exponentially weighted moving average* (MEWMA) digunakan untuk mendeteksi apakah ada perubahan pada nilai *mean* proses. Salah satu keunggulan dari grafik kendali MEWMA adalah grafik kendali ini *robust* terhadap asumsi distribusi normal, yang artinya ketika data yang digunakan tidak mengikuti distribusi normal multivariat, grafik kendali MEWMA masih dapat digunakan. Grafik kendali MEWMA merupakan pengembangan dari proses data univariat EWMA seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (2.23)

$$\mathbf{M}_t = \lambda \mathbf{z}_t + (1 - \lambda) \mathbf{M}_{t-1} \quad (2.23)$$

\mathbf{z}_t merupakan vektor *mean* sampel dan λ adalah pembobot dengan rentang nilai antara $0 \leq \lambda \leq 1$ dan $\mathbf{M}_0 = \mathbf{0}$

Nilai pembobot yang digunakan pada grafik kendali MEWMA pada kondisi umum nilai pembobot yang digunakan

adalah $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_p = \lambda$, sedangkan pada kondisi tertentu dapat menggunakan pembobot yang berbeda. Titik pengamatan pada grafik kendali MEWMA dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.24)

$$T_t^2 = \mathbf{M}_t^T \times \sum_{M_t}^{-1} \mathbf{M}_t \quad (2.24)$$

di mana,

$$\Sigma_{M_t} = \frac{\lambda}{2 - \lambda} \left[1 - (1 - \lambda)^{2t} \right] \Sigma \quad (2.25)$$

pengamatan dikatakan keluar dari batas kendali ketika nilai T_t^2 lebih besar dari batas kendali atas. Didapatkan dari hasil simulasi yang disesuaikan dengan besarnya ARL hingga nilainya stabil atau konvergen (Montgomery, 2013).

2.9.2 Grafik kendali Kombinasi Multivariate Exponentially Weigthed Moving Average (MEWMA)

Grafik kendali kombinasi MEWMA merupakan pengembangan dari grafik kendali MEWMA. Grafik kendali ini mengendalikan variabilitas proses dan *mean* proses dalam satu grafik kendali. Reynold & Stoumbus (2008) melakukan penelitian mengenai kombinasi antara diagram kendali multivariat Shewhart dengan diagram kendali MEWMA untuk memonitor variabilitas proses dan *mean* proses. Perbedaan antara grafik kendali MEWMA standart dan grafik kendali MEWMV dengan grafik kendali kombinasi MEWMA dalam memonitor variabilitas proses dan *mean* proses adalah dari titik pengamatannya. Titik pengamatan pada grafik kendali kombinasi MEWMA menggunakan data *standardized*.

Dalam distribusi normal multivariat diketahui bahwa σ merupakan vektor simpangan kuadrat dari p variabel dimana μ_0 , Σ_0 , dan σ_0 merupakan taksiran yang diperoleh dari proses *in control* untuk μ , Σ , dan σ . Misal terdapat X_{kij} dengan pengamatan ke- j ($j=1,2,\dots,n$) dan variabel ke- i ($i = 1,2,\dots,m$) maka cara melakukan

standardized pada pengamatan ditunjukkan dalam Persamaan (2.26) sebagai berikut:

$$Z_{kij} = \frac{X_{kij} - \mu_{0i}}{\sigma_{0i}} \quad (2.26)$$

keterangan :

μ_{0i} = komponen nilai taksiran ke- i dari μ_0

σ_{0i} = komponen nilai taksiran ke- i dari σ_0

Jika $Z_{kj} = (Z_{k1j}, Z_{k2j}, \dots, Z_{kpj})$, $j = 1, 2, \dots, n$ merupakan suatu vektor dari pengamatan *standardized* dengan Σ_z merupakan matriks varian kovarian dari Z_{kj} dan Σ_{z0} adalah matriks varian kovarian *in control* dari Σ_z . Matriks varian kovarian Σ_z digunakan untuk memonitoring proses pada fase I, sedangkan matriks varian kovarian Σ_{z0} digunakan untuk memonitor proses pada fase II.

Grafik kendali T^2 Hotelling yang diperkenalkan pada tahun 1974 menurut Roynold & Stoumbos (2008) merupakan grafik kendali tipe Shewhart yang digunakan untuk memonitor μ dengan Σ_{z0} tidak diketahui. Misalkan Σ_{z0} grafik kendali ekuivalen dengan grafik kendali berdasarkan statistik

$$T^2 = (Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kp}) \Sigma_{z0}^{-1} (Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kp})^T \quad (2.27)$$

di mana Σ_{z0}^{-1} merupakan nilai invers dari Σ_{z0} .

Pada variabel ke- i observasi ke- k nilai *standardized* dapat diperoleh menggunakan $Z_{ki} = \sqrt{n} \left(\frac{X_{ki} - \mu_i}{\sigma_i} \right)$ di mana n merupakan ukuran subgroup. Rata-rata *standardized* ditunjukkan pada Persamaan (2.28) sebagai berikut:

$$E_{ki}^z = (1 - \lambda) E_{k-1,i}^z + \lambda Z_{ki} \quad (2.28)$$

di mana $i = 1, 2, \dots, p$ dengan $E_{0i}^z = 0$ dan $0 < \lambda \leq 1$, $\lim_{k \rightarrow \infty} \text{Var}(E_{ki}^z)$

dengan $c_\infty = \frac{\lambda}{(2 - \lambda)}$.

Grafik kendali MEWMA untuk mendeteksi pergeseran *mean* proses berdasarkan $\{E_{ki}^z\}$ disebut grafik kendali MZ. Untuk titik pengamatan pada *mean* proses fase I diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.29) sebagai berikut:

$$M_k^z = c_\infty^{-1} \left(E_{k1}^z, E_{k2}^z, \dots, E_{kp}^z \right) \Sigma_z^{-1} \left(E_{k1}^z, E_{k2}^z, \dots, E_{kp}^z \right)^T \quad (2.29)$$

Σ_z^{-1} merupakan invers dari matriks varian kovarian pengamatan saat proses belum stabil. Sedangkan untuk memonitor *mean* proses pada fase II digunakan Persamaan (2.30) untuk memperoleh titik pengamatan.

$$M_k^z = c_\infty^{-1} \left(E_{k1}^z, E_{k2}^z, \dots, E_{kp}^z \right) \Sigma_{z0}^{-1} \left(E_{k1}^z, E_{k2}^z, \dots, E_{kp}^z \right)^T \quad (2.30)$$

Σ_{z0}^{-1} merupakan invers dari matriks varian kovarian dari proses yang sudah stabil. Untuk mendeteksi simpangan kuadrat (*squared deviations chart*), diberikan statistik EWMA untuk simpangan *standardized* kuadrat dari target pada Persamaan (2.31)

$$E_{ki}^{z^2} = (1 - \lambda) E_{k-1,i}^{z^2} + \lambda \sum_{j=1}^n \frac{Z_{kij}^2}{n} \quad (2.31)$$

di mana $E_{0i}^{z^2} = 1, 0 < \lambda \leq 1$ dan $i = 1, 2, \dots, p$, $\lambda =$ pembobot observasi

Bentuk pertama dari statistik MEWMA berdasarkan $E_{ki}^{z^2}$ disebut diagram M_1Z^2 ditunjukkan pada Persamaan (2.32) sebagai berikut:

$$M_{1k}^{z^2} = n(2c_\infty)^{-1} \left(E_{k1}^{z^2} - 1, E_{k2}^{z^2} - 1, \dots, E_{kp}^{z^2} - 1 \right) \left(\Sigma_{z0}^{(2)} \right)^{-1} \left(E_{k1}^{z^2} - 1, E_{k2}^{z^2} - 1, \dots, E_{kp}^{z^2} - 1 \right)^T \quad (2.32)$$

untuk meningkatkan kemampuan memonitor variabilitas proses, bentuk kedua dari statistika MEWMA berdasarkan pada $E_{ki}^{z^2}$ disebut grafik kendali M_2Z^2 untuk memonitor variabilitas proses pada fase I ditunjukkan dalam Persamaan (2.33) sebagai berikut:

$$M_{2k}^{z^2} = n(2c_\infty)^{-1} \left(E_{k1}^{z^2}, E_{k2}^{z^2}, \dots, E_{kp}^{z^2} \right) \left(\Sigma_z^{(2)} \right)^{-1} \left(E_{k1}^{z^2}, E_{k2}^{z^2}, \dots, E_{kp}^{z^2} \right)^T \quad (2.33)$$

untuk memonitor variabilitas pada fase II memperoleh titik pengamatan dapat diperoleh menggunakan Persamaan (2.34) sebagai berikut:

$$M_{2k}^{z^2} = n(2c_{\infty})^{-1} \left(E_{k1}^{z^2}, E_{k2}^{z^2}, \dots, E_{kp}^{z^2} \right) \left(\Sigma_{z^2}^{(2)} \right)^{-1} \left(E_{k1}^{z^2}, E_{k2}^{z^2}, \dots, E_{kp}^{z^2} \right)^T \quad (2.34)$$

(Reynold & Stoumbus, 2008)

matriks varian kovarian yang digunakan dalam fase II merupakan matriks varian kovarian pada fase I yang telah *in control*.

2.9.3 Menentukan Batas Kendali Grafik kendali Kombinasi MEWMA

Penentuan grafik kendali kombinasi MEWMA dilakukan menggunakan pendekatan kriteria *Average Run Length* (ARL). Pendekatan ini melakukan simulasi ARL, dimana ARL merupakan rata-rata jumlah titik yang harus diplotkan hingga mendapatkan titik *out of control* pertama (Montgomery, 2013). Peneliti menentukan batas kendali atas sedemikian hingga mendapatkan nilai ARL_0 370 sedangkan batas kendali bawah bernilai nol. Untuk mendapatkan nilai ARL_0 dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membangkitkan data sebanyak 10.000 data dimana parameter yang digunakan menyesuaikan dengan data asli.
2. Mengambil sampel random sebanyak 1000 data dari 10.000 data bangkitan.
3. Menghitung nilai statistik M_k^z dan statistik $M_{2k}^{z^2}$ yang dibandingkan dengan batas kendali atas.
4. Menetapkan batas kendali atas untuk masing-masing grafik kendali M_k^z dan $M_{2k}^{z^2}$
5. Menentukan *Run Length* (RL), jumlah titik pengamatan yang harus diplotkan sampai titik pertama melewati batas kendali atas.
6. Menghitung ARL_0 yaitu rata-rata RL untuk N iterasi.
7. Simulasi berhenti jika diperoleh nilai $ARL_0 = 370$

2.10 Grafik Kendali M

Grafik kendali M digunakan untuk memonitor variabilitas secara multivariat dengan pengamatan individu yang didasarkan pada *successive difference* (Khoo, 2003). *Successive difference* adalah selisih antar vektor pengamatan yang berturut-turut digunakan untuk menghitung nilai statistik dengan menggunakan Persamaan (2.35) sebagai berikut:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1' \\ w_2' \\ \vdots \\ w_{n-1}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\hat{a}_2 - \hat{a}_1)' \\ (\hat{a}_3 - \hat{a}_2)' \\ \vdots \\ (\hat{a}_n - \hat{a}_{n-1})' \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

matriks \mathbf{W} berdistribusi $N_p(0, 2\Sigma)$ jika dikalikan dengan $1/\sqrt{2}$. Apabila diketahui bahwa $\mathbf{C}\mathbf{C}' = \Sigma$ di mana \mathbf{C} adalah matriks non-singular. Sehingga untuk mendapatkan titik pengamatan pada grafik kendali M dapat menggunakan Persamaan (2.36) sebagai berikut:

$$\mathbf{M}_t = \frac{1}{2}(\hat{a}_{t+1} - \hat{a}_t) \Sigma_0^{-1} (\hat{a}_{t+1} - \hat{a}_t) \quad (2.36)$$

di mana Σ merupakan matriks varian-kovarian dari pengamatan yang digunakan.

2.11 Grafik Kendali T² Hotelling

Grafik kendali T² Hotelling adalah Grafik kendali yang digunakan untuk memonitor *mean* proses pada kasus multivariat. Grafik kendali ini mendeteksi pergeseran *mean* proses dengan menggunakan vektor *mean* sampel dan matriks kovarians (Montgomery, 2013). Untuk memperoleh titik pengamatan pada grafik kendali ini dapat menggunakan Persamaan (2.37) sebagai berikut:

$$T_t^2 = n \left(\bar{x} - \bar{\bar{x}} \right)' \Sigma^{-1} \left(\bar{x} - \bar{\bar{x}} \right) \quad (2.37)$$

dimana Σ^{-1} adalah invers dari matriks kovarian Σ , dengan n merupakan jumlah subgroup pengamatan.

2.12 Analisis Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses digunakan untuk menaksir kemampuan proses dalam memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Suatu proses dikatakan kapabel apabila proses dalam keadaan terkendali, berada dalam batas spesifikasi, dan memiliki nilai akurasi dan presisi yang tinggi. Akurasi adalah kedekatan nilai diukur dengan nilai target, sedangkan presisi adalah kedekatan nilai tiap pengamatan dengan pengamatan lain.

Apabila suatu proses univariat dalam keadaan terkendali maka indeks kapabilitas yang dapat digunakan adalah C_p , C_{pk} , C_{pc} , C_{pkm} . Sedangkan untuk proses yang belum terkendali maka indeks kapabilitas menggunakan P_p dan P_{pk} . Nilai P_p dan P_{pk} dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.38) dan Persamaan (2.39)

$$C_p = \frac{BSA - BSB}{6s} \quad (2.38)$$

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{BSA - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - BSB}{3s} \right\} \quad (2.39)$$

keterangan :

BSA = Batas spesifikasi atas

BSB = Batas spesifikasi bawah

pada data multivariat untuk memperoleh nilai kapabilitas proses dapat menggunakan Persamaan (2.40) dan Persamaan (2.41)

$$MC_p = \sum_{i=1}^m W_i C_{pi} \quad (2.40)$$

$$MC_{pk} = \sum_{i=1}^m W_i C_{pki} \quad (2.41)$$

keterangan :

MC_p = tingkat presisi data multivariat

MC_{pk} = tingkat akurasi data multivariat

di mana W_i merupakan pembobot dengan $\sum_{i=1}^p W_i = 1$. Nilai pembobot W_i disesuaikan dengan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas yang telah ditentukan, jika tidak ada maka pembobot dianggap sama (Raissi, 2009).

2.13 Proses Pengolahan Limbah Air

Pengolahan limbah air adalah upaya untuk menetralkan air yang telah digunakan untuk keperluan produksi agar tidak mencemari lingkungan ketika dibuang ke sungai. Dalam proses pengolahan limbah air di PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Margomulyo memiliki dua jenis pengolahan yaitu pengolahan fisik dan kimiawi dengan beberapa tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Intake*

Air limbah dari berbagai sumber ditampung dalam Bak *Intake*, kemudian air limbah dialirkan ke koagulasi-prasedimentasi tank menggunakan pompa transfer.

2. Sedimentasi Tank

Air limbah sebelum masuk ke sedimentasi tank ditambahkan larutan HCl dan PAC menggunakan pompa dosing. Fungsi penambahan HCl adalah untuk menurunkan pH dan fungsi penambahan PAC adalah sebagai bahan koagulan yaitu untuk mendestabilisasi partikel tersuspensi agar dapat diendapkan di *clarifier* tank.

3. *Clarifier* Tank

Setelah air limbah diberi larutan HCl dan PAC untuk menetralkan pH dan TDS dari proses produksi, air dialirkan dalam *clarifier* tank yang berfungsi untuk mengendapkan gumpalan-gumpalan dari proses koagulasi sehingga nantinya diharapkan air limbah sudah baik.

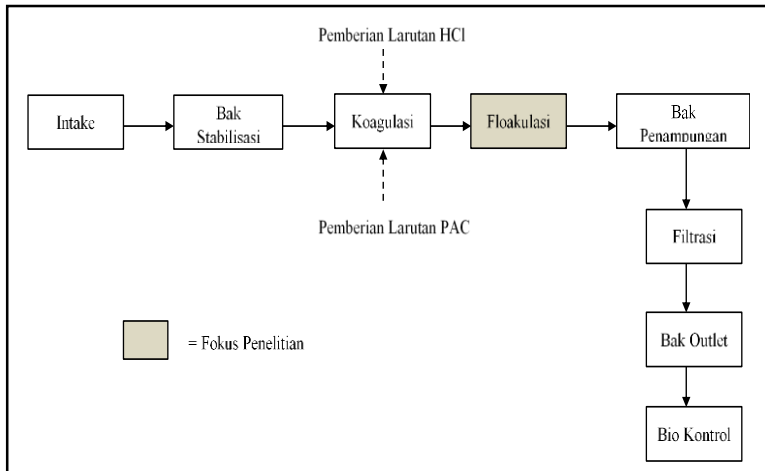
4. Bak Penampung

Air limbah yang masuk ke bak penampung hanya ditampung sementara untuk wadah air sebelum dipompa ke Filtrasi.

5. Filtrasi

Proses ini terjadi di tangki filter, dimana media yang dipakai adalah media pasir silika dan media karbon aktif, sehingga air keluaran dari tangki filter sudah benar-benar aman untuk dibuang ke saluran. Adapun fungsi dari media pasir silika, sedangkan media karbon aktif adalah untuk menyaring bahan-bahan organik pada air limbah. Air keluaran dari tangki filter kemudian dialirkan ke bak

outlet kemudian dialirkan ke bak *control* yang kemudian air tersebut dapat langsung dibuang ke saluran.



Gambar 2.1 Diagram Proses Pengolahan Limbah Air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Margomulyo

6. Bak Outlet

Bak *outlet* merupakan tahap terakhir sebelum air limbah dibuang ke saluran. Pada tahap ini dilakukan pengecekan kembali air limbah untuk memastikan pH dan TDS sudah memenuhi baku mutu untuk dibuang ke saluran dan masuk pada bio kendali, di mana bio kendali merupakan kolam yang berisi ikan untuk melihat air sudah benar-benar aman untuk dibuang.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari hasil uji pengolahan limbah air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Margomulyo bagian Health, Safety, and Environment (HSE) Departmen HRD Jl. Margomulyo No. 36-38 Surabaya. Data merupakan sampel yang diukur setiap hari Senin hingga Sabtu dengan pengambilan sampel yang dilakukan setiap pagi, data yang digunakan mulai Januari 2018 – Februari 2019. Sampel yang diukur adalah limbah air yang diambil dari tank *clarifier* tahap setelah pemberian larutan HCl dan PAC. Data pada penelitian ini dibagi menjadi dua fase, dimana pada fase I merupakan pengamatan proses pengolahan limbah pada bulan Januari 2018 – 6 Agustus 2018 dengan total 180 pengamatan dan fase II merupakan pengamatan proses pengolahan limbah mulai 7 Agustus 2018 – 28 Februari 2019.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan karakteristik kualitas limbah air dengan penjelasan variabel sebagai berikut:

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

| Variabel | Keterangan | Satuan | Spesifikasi |
|----------------|-----------------------------|--------|----------------|
| Z ₁ | Total Dissolved Solid (TDS) | mg/l | Maks 2000 mg/l |
| Z ₂ | pH | - | 6-9 |

Penjelasan untuk masing-masing karakteristik kualitas limbah air adalah sebagai berikut:

Z₁ : Total Dissolved Solid (TDS)

Total Dissolved Solid (TDS) atau padatan terlarut adalah padatan-padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil daripada padatan tersuspensi. TDS terdiri dari senyawa-senyawa anorganik dan organik yang larut dalam air, mineral, dan garamnya. Perubahan dalam konsentrasi TDS dapat berbahaya karena akan

menyebabkan perubahan salinitas, perubahan komposisi ion-ion, dan toksisitas masing-masing ion. Perubahan salinitas dapat mengganggu keseimbangan biota air, biodiversitas, menimbulkan spesies yang kurang toleran, dan menyebabkan toksisitas yang tinggi pada tahapan hidup suatu organisme (Rinawati, 2016).

Z₂ : pH

Ukuran konsentration ion untuk menentukan derajat keasaman larutan. Batas spesifikasi untuk pH adalah 6 sampai 9. pH dapat digunakan untuk menentukan indeks pencemaran dengan melihat tingkat keasaman atau kebasahan air. pH netral bernilai 7, jika pH bernilai lebih dari 7 maka bersifat basa dan terjadi ketika ion-ion karbon dominan, sedangkan jika pH bernilai kurang dari 7 maka bersifat asam (Said, 2008).

Data dibagi menjadi dua bagian, di mana pada fase I merupakan pengamatan mulai dari Januari 2018 – 6 Agustus 2018 dan fase II merupakan pengamatan proses pengolahan limbah mulai 7 Agustus – Februari 2019. Sehingga struktur data dari kedua karakteristik kualitas limbah air dijelaskan dalam Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Struktur Data Karakteristik Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

| Fase | Pengamatan ke | Karakteristik Kualitas | |
|------|----------------|------------------------|-------------------|
| | | TDS | pH |
| I | 1 | Z _{1,1} | Z _{1,2} |
| | 2 | Z _{2,1} | Z _{2,2} |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | n ₁ | Z _{n1,1} | Z _{n1,2} |
| II | 1 | Z _{1,1} | Z _{1,2} |
| | 2 | Z _{2,1} | Z _{2,2} |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | n ₂ | Z _{n2,1} | Z _{n2,2} |

3.3 Langkah Penelitian

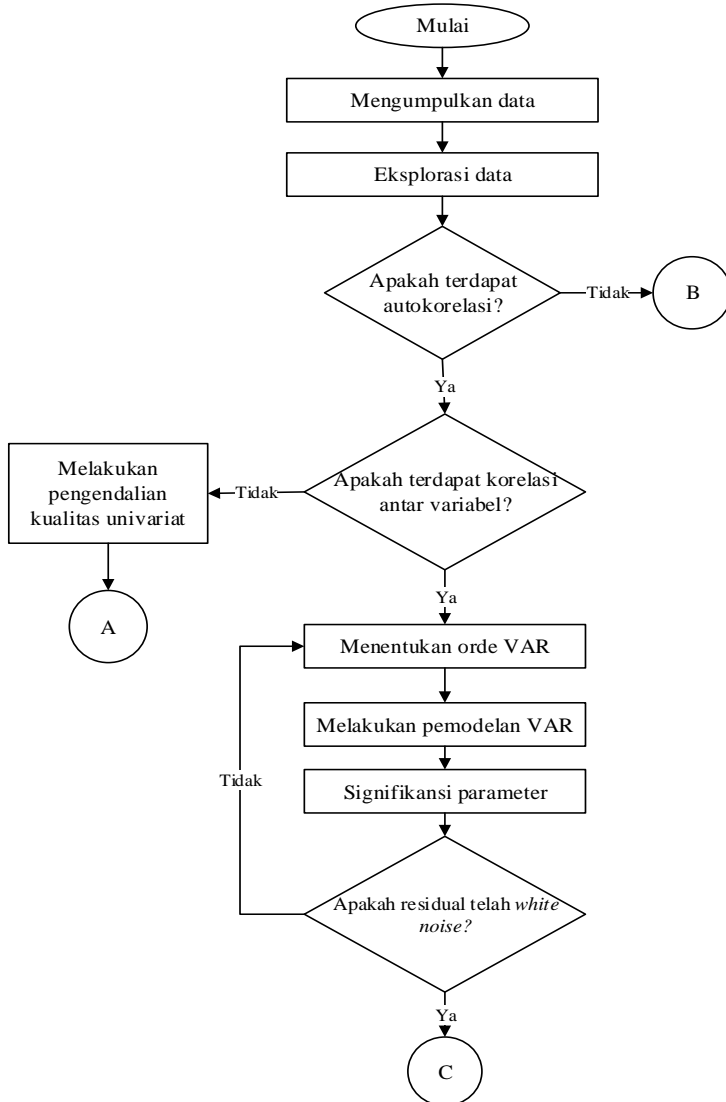
Langkah-langkah yang dikerjakan dalam pengendalian kualitas pengolahan limbah air dengan data berautokorelasi adalah sebagai berikut.

1. Melakukan eksplorasi data karakteristik kualitas limbah air.
2. Cek autokorelasi menggunakan plot ACF untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antar observasi karakteristik kualitas limbah air.
3. Melakukan pemeriksaan stasioneritas dalam *mean* dengan menggunakan ACF dan Augmented Dickey – Fuller Test pada Persamaan (2.5). pemeriksaan stasioner dalam varian menggunakan Persamaan (2.6) jika tidak stasioner dalam varian akan digunakan transformasi *Box-Cox* pada Tabel 2.1
4. Mengidentifikasi model VAR menggunakan plot dari *partial autoregression matrices*.
5. Estimasi parameter dari model VAR dengan menggunakan Persamaan (2.15).
6. Pemeriksaan diagnostik residual *white noise* dengan Persamaan (2.16) dan distribusi normal multivariat dengan menggunakan Persamaan (2.17).
7. Pemilihan model terbaik dengan memilih nilai AIC yang minimum dengan Persamaan (2.20).
8. Melakukan pengujian dependensi residual pada karakteristik kualitas limbah air menggunakan uji *Bartlett Sphericity* untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antar variabel kualitas limbah dengan menggunakan Persamaan (2.21)
9. Memonitor kualitas proses pengolahan limbah air dengan membandingkan grafik kendali T^2 *Hotteling* dan grafik kendali kombinasi MEWMA. Memonitor menggunakan grafik kendali kombinasi MEWMA dengan variabilitas proses menggunakan grafik kendali M_2Z^2 dan *mean* proses menggunakan grafik kendali MZ.
 - a. Membagi data menjadi dua bagian yaitu fase I dan fase II, dimana fase I adalah proses pengolahan limbah pada bulan Januari 2018 – 6 Agustus 2018 dan fase II pada

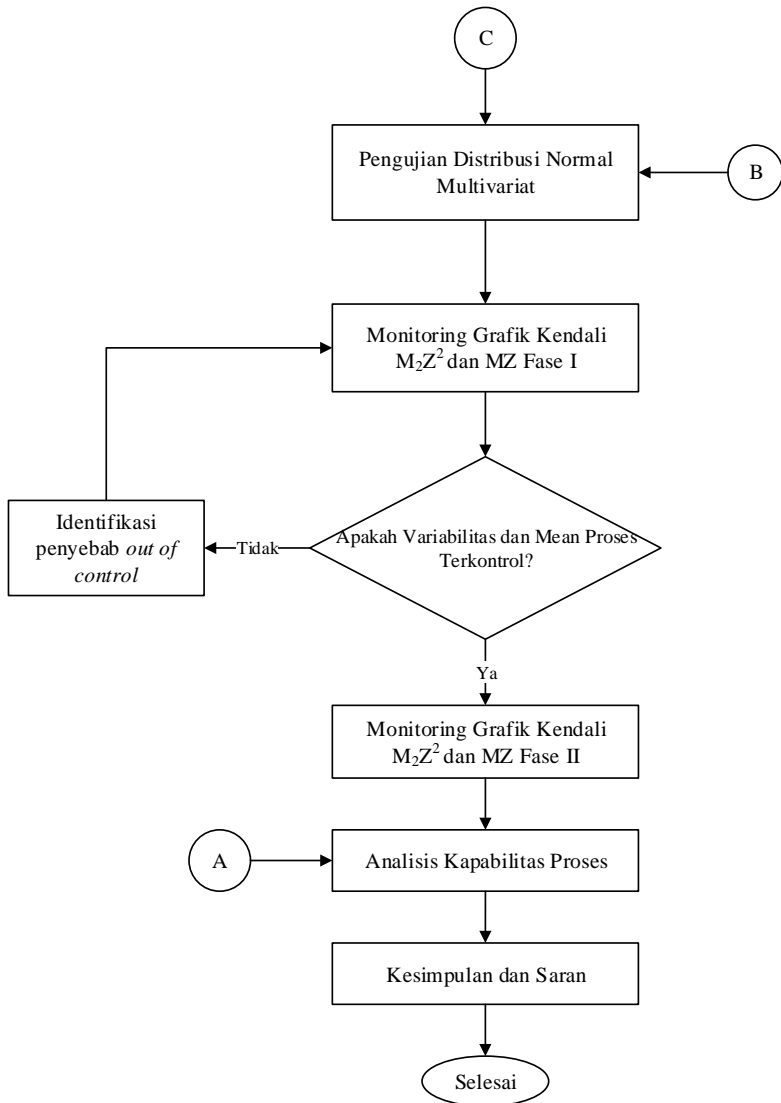
- tanggal 7 Agustus 2018 – 28 Februari 2019.
- b. Menentukan batas kendali atas yang akan digunakan pada grafik kendali fase I pada masing-masing grafik kendali M_2Z^2 dan MZ dengan algoritma sebagai berikut:
 - i. Membangkitkan data sebanyak 10.000 yang berdistribusi normal multivariat dengan parameter mean dan matriks varian-kovarian dari data asli.
 - ii. Mengambil 1000 sampel random dari 10.000 bangkitan data yang telah dilakukan.
 - iii. Menentukan nilai batas kendali awal menggunakan nilai kuantil dari data asli.
 - iv. Menghitung statistik M_2Z^2 menggunakan Persamaan (2.33) dan MZ dengan Persamaan (2.29) dari data bangkitan.
 - v. Melakukan simulasi hingga untuk memperoleh nilai ARL_0 370
 - vi. Jika tidak memperoleh nilai ARL_0 maka dilakukan simulasi kembali dengan mengubah nilai batas kendali hingga memperoleh ARL_0 370.
 - c. Melakukan standarisasi pada residual *time series* proses pengolahan limbah air dengan menggunakan Persamaan (2.26).
 - d. Memonitor variabilitas proses pada fase I dengan batas kendali dari hasil simulasi menggunakan grafik kendali M_2Z^2 dan *mean* proses menggunakan grafik kendali MZ.
 - e. Apabila ditemukan pengamatan yang *out of control* maka dilakukan identifikasi penyebab pengamatan *out of control*. Apabila penyebab *out of control* diketahui maka pengamatan yang *out of control* tidak dimasukkan dalam perhitungan lalu membuat grafik kendali baru tanpa pengamatan yang *out of control*.
 - f. Apabila pada fase I grafik kendali yang memonitor variabilitas proses dan *mean* proses sudah berada dalam batas signifikan atau terkendali secara statistik maka dapat dilanjutkan pada pengendalian kualitas fase II.

- g. Parameter *in control* pada fase I yaitu Σ_{z_0} untuk memonitor *mean* proses dan $\Sigma_{z_0}^2$ digunakan untuk memonitor variabilitas proses yang digunakan pada fase II untuk mengetahui kestabilan proses pada fase II.
- 10. Melakukan analisis kapabilitas proses menggunakan Persamaan (2.37) dan Persamaan (2.38) untuk mengetahui apakah proses pengolahan limbah air telah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
- 11. Menarik kesimpulan dan saran.

Dalam penelitian ini langkah analisis digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pengendalian limbah air di PT JCI Tbk diukur berdasarkan beberapa variabel diantaranya TDS dan pH yang harus bersifat netral dan tidak mencemari lingkungan sebelum dibuang dalam saluran. Sumber limbah dari PT JCI Tbk berasal dari aktivitas produksi, karena PT JCI Tbk memproduksi pakan ternak sehingga limbah yang dihasilkan memiliki tingkat TDS yang tinggi akibat dari ketentuan pakan ternak yang harus memenuhi beberapa kandungan pakan, sehingga cenderung memiliki pH asam.

Pada bab ini dilakukan analisis dan pembahasan dari kedua karakteristik kualitas limbah air di PT JCI Tbk dengan menggunakan analisis statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik dari kedua variabel, lalu melakukan analisis *time series* untuk mengatasi autokorelasi pada data. Hasil analisis *time series* akan diperoleh nilai residual yang bebas dari autokorelasi sehingga data dapat menggambarkan keadaan sebenarnya. Memonitor kualitas statistik menggunakan residual data. Data dibagi menjadi dua bagian yaitu fase I dan fase II, dimana fase I merupakan data residual mulai Januari 2018 – 6 Agustus 2018 dan fase II 7 Agustus 2018 – 28 Februari 2019. Pengendalian kualitas yang dilakukan menggunakan metode grafik kendali kombinasi MEWMA dengan melihat variabilitas proses menggunakan grafik kendali M_2Z^2 dan grafik kendali MZ untuk *mean* proses. Setelah dikendalikan proses terkendali akan dilihat kapabilitas proses dari pengolahan limbah PT JCI Tbk.

4.1 Karakteristik Kualitas Limbah Air PT JCI Tbk

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik kualitas dari kedua variabel yang digunakan PT JCI Tbk untuk mengukur limbah hasil dari kegiatan produksi yaitu TDS dan pH, di mana data limbah yang digunakan merupakan limbah air mulai Januari 2018 – Februari 2019. Hasil analisis diperoleh seperti yang tertera dalam Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Karakteristik Kualitas Limbah Air PT JCI Tbk

| Karakteristik Kualitas | Batas Spesifikasi | Rata-rata | Varian | Min | Max |
|------------------------|-------------------|-----------|---------|-----|------|
| TDS | Max 2000 | 1638,4 | 67648,3 | 990 | 2480 |
| PH | 6-9 | 7,2655 | 0,1068 | 6,7 | 9,2 |

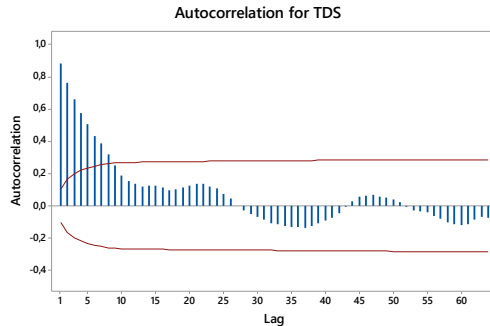
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa rata-rata zat padat terlarut atau TDS dalam limbah air PT JCI Tbk dengan periode pengolahan limbah Januari 2018 – Februari 2019 berada dalam baku mutu yang ditentukan yaitu dibawah 2000 mg/l. Kandungan TDS paling rendah sebesar 990 mg/l yang terjadi pada 24 Juli 2018. Kandungan TDS paling tinggi sebesar 2480 mg/l yang terjadi pada 19 November 2018 dan melebihi dari batas baku mutu yang telah ditentukan, penyebab kandungan TDS yang tinggi ini adalah adanya endapan yang berlebih pada tangki sedimentasi sehingga menyebabkan zat terlarut pada limbah meningkat. *Time series* plot pada karakteristik kualitas TDS pada Lampiran B2 dapat dilihat bahwa pengamatan TDS berfluktuatif.

Pada karakteristik kualitas pH dapat dikatakan bahwa rata-rata pH dari limbah air yang dihasilkan oleh PT JCI Tbk sebesar 7,2655. Nilai pH paling rendah sebesar 6,7 masih berada dalam batas minimum, sedangkan nilai pH paling tinggi sebesar 9,2 yang terjadi pada 1 Oktober 2018 sehingga pH dalam pengolahan limbah tersebut bersifat asam karena melebihi dari batas maksimum baku mutu. Penyebab dari pH yang tinggi adalah karena kadar larutan HCl dan PAC dalam tangki lebih sedikit dibandingkan dengan limbah yang masuk sehingga tidak dapat menetralsisir limbah dalam tank. *Time series* plot karakteristik kualitas pH pada Lampiran B2 dapat dilihat bahwa pengamatan pH berfluktuatif.

4.2 Pemeriksaan Autokorelasi Data Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

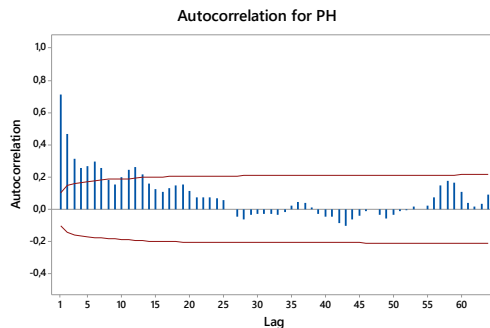
Salah satu asumsi dalam pengendalian kualitas menggunakan grafik kendali adalah tidak adanya autokorelasi atau hubungan antar observasi, adanya kasus autokorelasi pada data dapat menyebabkan adanya *false alarm* pada grafik kendali. Pengecekan autokorelasi pada data karakteristik kualitas limbah air

dapat dilihat dari plot ACF masing-masing data karakteristik kualitas berdasarkan data yang terdapat pada Lampiran A, diperoleh analisis plot ACF pada masing-masing karakteristik kualitas sebagai berikut:



Gambar 4.1 Plot ACF Total Dissolved Solid (TDS)

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa beberapa lag ACF TDS keluar dari batas *confidence interval*, sehingga dapat dikatakan bahwa pada data karakteristik kualitas limbah air TDS terdapat autokorelasi pada data. Lalu dilakukan pemeriksaan autokorelasi pada karakteristik kualitas limbah air pH yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Plot ACF pH

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa karakteristik kualitas pH memiliki autokorelasi pada data dengan keluarnya

beberapa lag di plot ACF dari *confidence interval*. Pemeriksaan plot ACF pada kedua karakteristik kualitas limbah air yaitu variabel TDS dan pH memiliki hubungan antar pengamatan pada masing-masing variabel.

Sebelum dilakukan pengendalian kualitas menggunakan grafik kendali dilakukan analisis *time series* untuk mengatasi autokorelasi pada data. Metode *time series* yang digunakan adalah pemodel *Vector Autoregressive* (VAR) karena kedua variabel saling mempengaruhi dalam proses pengolahan limbah air.

4.3 Pemodelan *Vector Autoregressive* Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

Analisis ini dilakukan untuk memperoleh residual terbaik yang tidak memiliki autokorelasi pada data. Model dari *Vector Autoregressive* (VAR) memiliki nilai residual yang akan menggambarkan keadaan sebenarnya proses pengolahan limbah air. Residual yang tidak memiliki autokorelasi digunakan untuk analisis grafik kendali kombinasi MEWMA. Dalam pemodelan VAR terdiri dari beberapa langkah diantaranya pemeriksaan asumsi stasioneritas varian dan stasioneritas *mean*, identifikasi orde VAR dari plot MPACF, signifikansi parameter, *white noise*, dan pemilihan model terbaik menggunakan nilai AIC. Sehingga hasil analisis pemodelan VAR sebagai berikut:

4.3.1 Stasioneritas Varians Data Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

Asumsi dalam analisis *time series* salah satunya adalah data harus memenuhi stasioner terhadap varian, untuk mengetahui data telah stasioner terhadap varian dapat dilihat dari nilai *rounded value* pada *Box-cox* plot. Apabila data belum stasioner terhadap varian maka dilakukan transformasi sesuai dengan Tabel 2.1. Sehingga diperoleh hasil analisis yang tertera pada Lampiran C, berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa pada karakteristik kualitas TDS memiliki nilai *rounded value* sebesar 1 dengan batas bawah 0,57 dan batas atas 1,69 dalam *confidence interval* tidak melewati nol sehingga dapat dikatakan bahwa karakteristik kualitas TDS telah stasioner terhadap varian.

Pada karakteristik kualitas pH memiliki nilai *rounded value* -5. Data tidak dilakukan transformasi apabila nilai *rounded value* 1 sehingga karakteristik kualitas pH belum stasioner terhadap varian dan dilakukan transformasi pada karakteristik kualitas pH dengan menggunakan transformasi $1/Z_t^\lambda$ dan diperoleh data yang tertera pada Lampiran D. Lalu dilakukan pemeriksaan kembali apakah telah stasioner terhadap varian dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2 Stasioneritas Varians Setelah Transformasi

| Karakteristik Kualitas | <i>Rounded Value</i> | Batas Bawah | Batas Atas |
|------------------------|----------------------|-------------|------------|
| TDS | 1 | 0,57 | 1,69 |
| pH | 1 | 0,46 | 1,34 |

Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari transformasi karakteristik kualitas pH menghasilkan *rounded value* 1 dengan batas bawah 0,46 dan batas atas 1,34 sehingga dapat dikatakan karakteristik kualitas pH telah memenuhi asumsi stasioner terhadap varian. Berdasarkan pemeriksaan stasioneritas varian maka kedua karakteristik kualitas telah memenuhi stasioner dalam varian sehingga dapat dilanjutkan pemeriksaan lebih lanjut yaitu stasioneritas *mean*.

4.3.2 Stasioneritas *Mean* Data Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

Stasioner dalam *mean* artinya data bergerak disekitar nilai tengah. Salah satu cara untuk mengetahui data telah stasioner terhadap *mean* atau tidak dapat menggunakan uji ADF, apabila data tidak memenuhi stasioner dalam *mean* maka dilakukan *differencing* pada data. Uji ADF dilakukan setelah data memenuhi asumsi stasioner terhadap varian. Dengan menggunakan data pada Lampiran D yang telah memenuhi stasioner terhadap varian maka hasil analisis dari pengujian stasioner terhadap *mean* ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai *p-value* dari karakteristik kualitas TDS sebesar 0,01069 lebih kecil dari nilai alpha 0,05 dan karakteristik kualitas pH memiliki nilai *p-value* sebesar 0,01 lebih kecil dari alpha 0,05 sehingga meng-

hasilkan keputusan tolak H_0 pada kedua karakteristik kualitas. Yang artinya data karakteristik kualitas TDS dan pH telah stasioner terhadap *mean* sehingga tidak perlu dilakukan *differencing* pada data. Hasil analisis stasioner *mean* dapat dilihat pada Lampiran E.

Tabel 4.3 Pengujian Stasioneritas Data Dalam Rata-rata

| Karakteristik Kualitas | <i>p-value</i> |
|------------------------|----------------|
| TDS | 0,01069 |
| pH | 0,01000 |

Setelah data memenuhi asumsi stasioner dalam mean dan varian maka analisis selanjutnya dilakukan identifikasi model VAR yang terbentuk dari dua karakteristik kualitas pengolahan limbah air.

4.3.3 Penentuan Orde VAR Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

Menentukan orde VAR dari data *time series* dapat dilihat melalui plot MPACF yang terbentuk. Data yang telah memenuhi asumsi stasioner terhadap varian dan *mean* yang terdapat pada Lampiran D dianalisis menggunakan metode VAR, sehingga diperoleh plot MPACF yang dapat dilihat dalam Lampiran G.

Berdasarkan Lampiran G sebanyak 40 lag yang muncul di plot MPACF terdapat simbol (+), (-), dan (.). Apabila pada lag tersebut terdapat simbol (+) maka nilai estimator lebih besar dua kali nilai estimasi *standard error* yang artinya variabel memiliki korelasi yang positif dengan dirinya sendiri atau dengan variabel karakteristik kualitas lain. Sedangkan jika terdapat simbol (-) menunjukkan bahwa nilai estimator lebih kecil dua kali nilai estimasi *standard error* yang berarti variabel karakteristik kualitas memiliki korelasi yang negatif dengan dirinya sendiri atau dengan variabel karakteristik kualitas lain. Bila simbol (.) maka variabel karakteristik kualitas tidak memiliki korelasi dengan dirinya sendiri atau dengan variabel karakteristik kualitas lain. Lampiran G menunjukkan bahwa terdapat beberapa lag yang signifikan dengan adanya simbol-simbol pada lag ke 1, 3, 5, 8, 10, dan 20.

Penentuan orde VAR dapat dilakukan dengan memilih nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) yang minimum pada setiap

model yang terbentuk, sehingga Tabel 4.4 menunjukkan nilai AIC yang diperoleh menggunakan Persamaan (2.20) pada setiap kombinasi model yang terbentuk dari lag yang keluar adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Nilai AIC

| No | Model <i>Time Series</i> | AIC | No | Model <i>Time Series</i> | AIC |
|----|-----------------------------|--------|-----------|--------------------------|--------------|
| 1 | VAR[1] | 9,0105 | 17 | VAR[1,3,5] | 8,975 |
| 2 | VAR[3] | 10,698 | 18 | VAR[1,3,8] | 9,021 |
| 3 | VAR[5] | 11,106 | 19 | VAR[1,3,10] | 8,991 |
| 4 | VAR[8] | 11,502 | 20 | VAR[3,5,8] | 10,591 |
| 5 | VAR[10] | 11,659 | 21 | VAR[3,5,10] | 10,607 |
| 6 | VAR[20] | 11,728 | 22 | VAR[5,8,10] | 10,994 |
| 7 | VAR[1,3] | 9,001 | 23 | VAR[1,5,8] | 9,003 |
| 8 | VAR[1,5] | 8,975 | 24 | VAR[1,5,10] | 8,985 |
| 9 | VAR[1,8] | 9,031 | 25 | VAR[1,8,10] | 9,016 |
| 10 | VAR[1,10] | 8,996 | 26 | VAR[3,8,10] | 10,617 |
| 11 | VAR[3,5] | 10,635 | 27 | VAR[1,3,5,8] | 8,991 |
| 12 | VAR[3,8] | 10,623 | 28 | VAR[1,3,5,10] | 8,977 |
| 13 | VAR[3,10] | 10,643 | 29 | VAR[3,5,8,10] | 10,592 |
| 14 | VAR[5,8] | 11,017 | 30 | VAR[1,5,8,10] | 9,001 |
| 15 | VAR[5,10] | 11,011 | 31 | VAR[1,3,8,10] | 9,008 |
| 16 | VAR[8,10] | 11,437 | 32 | VAR[1,3,5,8,10] | 8,995 |

Tabel 4.4 menunjukkan nilai AIC pada masing-masing kombinasi model yang terbentuk dari lag yang signifikan, untuk memperoleh model yang terbaik maka memilih model yang memiliki nilai AIC paling rendah dari semua model yang terbentuk. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.4 model yang memiliki nilai AIC paling kecil adalah VAR([1,5]) namun model ini tidak dipilih karena residual tidak memenuhi asumsi *white noise*. Sehingga model yang terpilih adalah VAR[1,5,8] dimana

residual dari model tersebut memenuhi asumsi *white noise* dan model ini tergolong memiliki nilai AIC yang kecil.

4.3.4 Estimasi Parameter Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

Estimasi parameter dilakukan untuk mengetahui apakah parameter dalam model yang terbentuk adalah signifikan. Pada pemodelan ini yang diutamakan adalah model yang memenuhi residual *white noise* karena memerlukan residual yang tidak memiliki autokorelasi sehingga residual dapat digunakan untuk grafik kendali multivariat. Berdasarkan model terbaik yang terpilih dari nilai AIC minimum maka model yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Z_t (1 - \phi_1 B^1 - \phi_5 B^5 - \phi_8 B^8) &= a_t \\
 Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_5 Z_{t-5} - \phi_8 Z_{t-8} &= a_t \\
 Z_t &= \phi_1 Z_{t-1} + \phi_5 Z_{t-5} + \phi_8 Z_{t-8} + a_t \\
 \begin{bmatrix} \dot{Z}_{1,t} \\ \dot{Z}_{2,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0,923 & 4,765 \\ 0 & 0,717 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{1,t-1} \\ \dot{Z}_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,043 & 3,080 \\ 0 & 0,155 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{1,t-5} \\ \dot{Z}_{2,t-5} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} -0,015 & 7,313 \\ 0 & 0,019 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{Z}_{1,t-8} \\ \dot{Z}_{2,t-8} \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} Z_{1,t} \\ Z_{2,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0,923Z_{1,t-1} + 4,765Z_{2,t-1} + 0,043Z_{1,t-5} + 3,080Z_{2,t-5} - 0,015Z_{1,t-8} + 7,313Z_{2,t-8} \\ 0,717Z_{2,t-1} + 0,155Z_{2,t-5} + 0,019Z_{2,t-8} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Nilai TDS dan pH pada pengamatan hari ini dipengaruhi oleh pengamatan sebelumnya. Estimasi parameter dari model VAR [1,5,8] menghasilkan 16 parameter dengan hasil setelah dilakukan analisis tertera pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 menunjukkan hasil estimasi parameter dari model VAR([1,5,8]) diketahui bahwa kolom pertama merupakan karakteristik kualitas TDS dan pH, untuk mengetahui parameter mana yang signifikan dapat membandingkan nilai *p-value* pada masing-masing parameter dengan nilai alpha 0,05. Tabel 4.5 menunjukkan bahwa terdapat 3 parameter yang memiliki nilai *p-value* lebih kecil dari alpha 0,05 sehingga menghasilkan keputusan

tolak H_0 yang artinya terdapat 3 parameter yang signifikan dari 12 parameter yang ada.

Tabel 4.5 Estimasi Parameter Model VAR[1,5,8]

| Karakteristik Kualitas | Parameter | Nilai Estimasi | P-value | Variabel |
|------------------------|-----------|----------------|--------------|----------|
| TDS | AR1_1_1 | 0,923 | 0,000 | TDS(t-1) |
| | AR1_1_2 | 4,765 | 0,461 | PH(t-1) |
| | AR5_1_1 | 0,043 | 0,264 | TDS(t-5) |
| | AR5_1_2 | 3,080 | 0,640 | PH(t-5) |
| | AR8_1_1 | -0,015 | 0,651 | TDS(t-8) |
| | AR8_1_2 | 7,317 | 0,263 | PH(t-8) |
| pH | AR1_2_1 | 0,000 | 0,435 | TDS(t-1) |
| | AR1_2_2 | 0,717 | 0,000 | PH(t-1) |
| | AR5_2_1 | 0,000 | 0,160 | TDS(t-5) |
| | AR5_2_2 | 0,155 | 0,000 | PH(t-5) |
| | AR8_2_1 | 0,000 | 0,494 | TDS(t-8) |
| | AR8_2_2 | 0,019 | 0,631 | PH(t-8) |

Menurut Hyndman dan Kostenko (2008) pengujian signifikansi dan asumsi dapat diabaikan, sebab yang diutamakan adalah kebaikan model untuk memperoleh ramalan yang tepat. Pada penelitian ini parameter yang tidak signifikan tetap dimasukkan dalam model sehingga model yang digunakan adalah VAR([1,5,8]) dan residual dari model akan dikendalikan sebagai gambaran dari proses pengolahan limbah yang sebenarnya.

4.3.5 Pengujian Asumsi Residual Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

Asumsi *white noise* merupakan asumsi untuk residual tidak memiliki autokorelasi pada data. Pemeriksaan autokorelasi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan pengujian menggunakan Uji Portmentau dengan Persamaan (2.16) apabila *p-value* lebih besar dari nilai alpha maka dapat dikatakan bahwa residual telah *white noise*, dan dapat dilakukan secara visual menggunakan plot

ACF. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh hasil Uji Portmentau yang tertera pada Tabel 4.6 sebagai berikut:

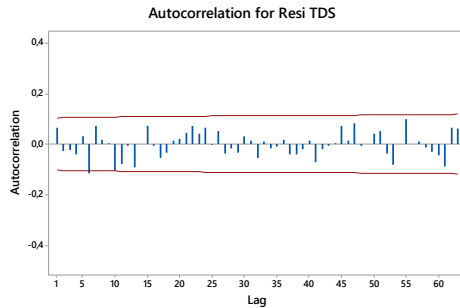
Tabel 4.6 Uji Portmentau Model VAR([1,5,8])

| lag | $\chi^2_{(m^2k)}$ | df | P-value | lag | $\chi^2_{(m^2k)}$ | df | P-value |
|-----|-------------------|----|---------|-----|-------------------|-----|---------|
| 9 | 39,61 | 4 | <,0001 | 25 | 95,58 | 68 | 0,0154 |
| 10 | 45,61 | 8 | <,0001 | 26 | 97,75 | 72 | 0,0234 |
| 11 | 48,47 | 12 | <,0001 | 27 | 99,07 | 76 | 0,039 |
| 12 | 53,86 | 16 | <,0001 | 28 | 105,79 | 80 | 0,0284 |
| 13 | 58,86 | 20 | <,0001 | 29 | 109,65 | 84 | 0,0316 |
| 14 | 59,53 | 24 | <,0001 | 30 | 113,61 | 88 | 0,0345 |
| 15 | 63,43 | 28 | 0,0001 | 31 | 119,22 | 92 | 0,0297 |
| 16 | 68,28 | 32 | 0,0002 | 32 | 121,03 | 96 | 0,043 |
| 17 | 69,77 | 36 | 0,0006 | 33 | 122,17 | 100 | 0,0654 |
| 18 | 70,83 | 40 | 0,0019 | 34 | 122,67 | 104 | 0,102 |
| 19 | 76,61 | 44 | 0,0017 | 35 | 124,23 | 108 | 0,136 |
| 20 | 78,39 | 48 | 0,0037 | 36 | 125,73 | 112 | 0,1771 |
| 21 | 85,05 | 52 | 0,0026 | 37 | 136,23 | 116 | 0,0966 |
| 22 | 87,97 | 56 | 0,0041 | 38 | 138,63 | 120 | 0,1174 |
| 23 | 90,52 | 60 | 0,0066 | 39 | 141,18 | 124 | 0,1387 |
| 24 | 92,95 | 64 | 0,0105 | 40 | 141,68 | 128 | 0,1929 |

Berdasarkan Tabel 4.6 menunjukkan bahwa beberapa lag memiliki nilai p-value kurang dari alpha 0,05 sehingga masih terdapat autokorelasi pada beberapa lag, namun residual dari model VAR([1,5,8]) ini merupakan residual yang paling mendekati dengan asumsi *white noise*. Pemeriksaan residual *white noise* selain dilakukan secara pengujian juga dilakukan pemeriksaan secara visual menggunakan plot ACF untuk mengetahui residual ada autokorelasi atau tidak. Plot ACF dari masing-masing karakteristik kualitas limbah air adalah sebagai berikut:

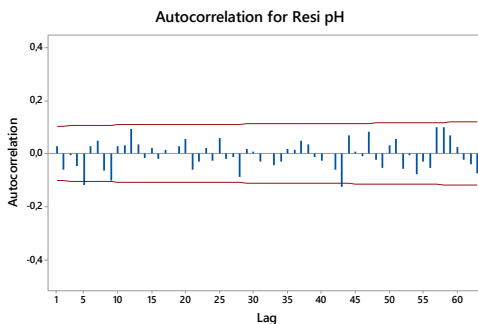
Gambar 4.3 menunjukkan bahwa semua lag pada karakteristik kualitas TDS berada di dalam batas signifikannya, sehingga dapat dikatakan bahwa residual karakteristik kualitas

TDS telah *white noise*. Lalu dilakukan pemeriksaan terhadap residual karakteristik pH yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.3 Plot ACF Residual TDS

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa lag-lag residual karakteristik kualitas pH masuk dalam batas signifikansi sehingga dapat dikatakan bahwa residual dari pH telah *white noise*. Setelah pemeriksaan *white noise* dilakukan pemeriksaan apakah residual berdistribusi normal multivariat menggunakan pengujian Shapiro-Wilk.



Gambar 4.4 Plot ACF Residual pH

Pada Lampiran K menunjukkan hasil dari analisis Shapiro-Wilk, setelah dianalisis diperoleh nilai *p-value* sebesar $2,2e-16$ mendekati nilai nol yang lebih kecil dari nilai alpha 0,05 sehingga menghasilkan keputusan tolak H_0 yang artinya residual dari kedua karakteristik kualitas tidak berdistribusi normal multivariat. Akibat dari residual tidak berdistribusi normal multivariat maka dalam

memonitor kualitas limbah air digunakan grafik kendali yang *robust* terhadap distribusi normal multivariat.

4.4. Pengendalian Kualitas Limbah Air PT JCI Tbk Menggunakan Grafik Kendali Multivariat

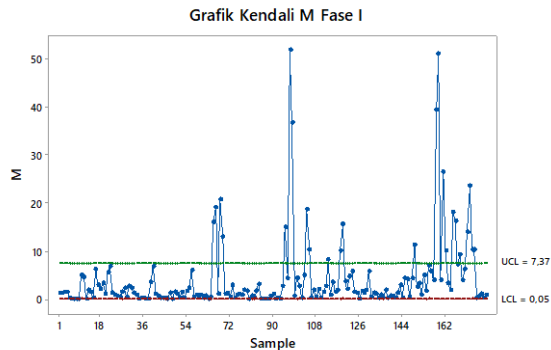
Pengendalian kualitas limbah air di PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk menggunakan metode grafik kendali Kombinasi *Multivariate Exponential Weighted Moving Average* (MEWMA), dimana grafik kendali ini dapat digunakan untuk memonitor variabilitas dan rata-rata proses dalam satu grafik kendali yang sama. Penentuan batas kendali menggunakan simulasi hingga diperoleh nilai ARL_0 370. Data dibagi menjadi dua bagian dimana fase I merupakan pengamatan mulai Januari 2018 – 6 Agustus 2018 dan fase II mulai 7 Agustus 2018 – Februari 2019. Grafik kendali kombinasi MEWMA yang digunakan untuk memonitor pergeseran *mean* proses adalah grafik kendali MZ, sedangkan grafik kendali M_2Z^2 digunakan untuk memonitor variabilitas. Setelah proses terkendali secara statistik dilakukan analisis kapabilitas proses pada pengolahan limbah air.

4.4.1 Pengendalian Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk Menggunakan Grafik Kendali T^2 Hotelling

Analisis ini digunakan untuk memonitor hasil dari proses pengolahan limbah air di PT JCI Tbk secara multivariat. Untuk memonitor variabilitas proses dengan pengamatan individu menggunakan grafik kendali M dan grafik kendali T^2 Hotelling untuk memonitor *mean* proses. Pengamatan yang akan dimonitor merupakan pengamatan pada fase I. Titik pengamatan pada grafik kendali M dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.36) sehingga grafik kendali M ditunjukkan dalam Gambar 4.5.

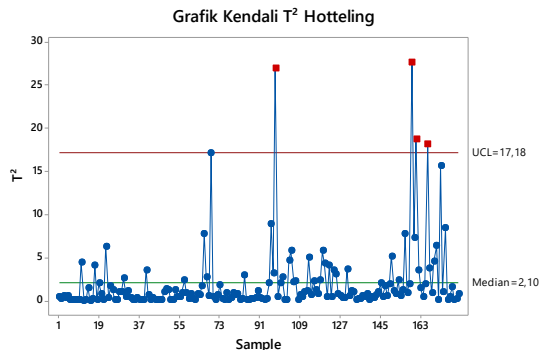
Berdasarkan perhitungan yang dilakukan untuk memperoleh grafik kendali M pada Gambar 4.5 diperoleh nilai batas kendali atas sebesar 7,37 dan batas kendali bawah 0,05 dapat diketahui bahwa terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali. Sebanyak 24 pengamatan yang keluar dari batas kendali

atas dan 15 pengamatan yang keluar dari batas kendali bawah. Sehingga pada fase I variabilitas proses belum stabil.



Gambar 4.5 Grafik kendali M Fase I

Setelah dilakukan pemeriksaan pada variabilitas proses lalu dilakukan pemeriksaan pada grafik kendali T^2 *Hotteling*, titik pengamatan pada grafik kendali T^2 *Hotteling* dapat diperoleh menggunakan Persamaan (2.37) dan diperoleh hasil yang tertera pada Gambar 4.6 sebagai berikut:



Gambar 4.6 Grafik kendali T^2 *Hotteling* Fase I

Grafik kendali T^2 *Hotteling* yang diperoleh pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai median 2,10 dengan batas kendali atas sebesar 17,18 dan batas kendali bawah nol. Pada grafik kendali

T^2 *Hotteling* dapat dilihat bahwa terdapat beberapa pengamatan yang keluar dari batas kendali, sehingga *mean* proses pada proses pengolahan limbah fase I belum stabil. Meskipun grafik kendali ini lebih sensitif dalam menangkap pengamatan yang keluar dari batas kendali namun banyaknya pengamatan yang keluar dari batas kendali pada grafik kendali M maupun T^2 *Hotteling* dapat disebabkan karena data melanggar dari asumsi grafik kendali tersebut, yaitu data harus berdistribusi normal multivariat. Sehingga pada penelitian ini menggunakan grafik kendali yang *robust* terhadap distribusi normal multivariat.

4.4.2 Pengendalian Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Menggunakan Grafik Kendali Kombinasi MEWMA

Grafik kendali kombinasi MEWMA memiliki keunggulan *robust* terhadap distribusi normal multivariat, karena nilai residual time series yang diperoleh tidak berdistribusi normal multivariat maka salah satu metode pengendalian yang dapat digunakan adalah grafik kendali kombinasi MEWMA. Analisis grafik kendali ini memiliki beberapa tahap diantaranya menentukan nilai batas kendali, memonitor proses pengolahan limbah baik varian proses maupun *mean* proses pada fase I dan fase II. Sehingga diperoleh hasil analisis grafik kendali kombinasi MEWMA sebagai berikut:

4.4.2.1 Menentukan Batas Kendali Grafik Kendali Kombinasi MEWMA

Penentuan batas kendali kombinasi MEWMA menggunakan pendekatan kriteria *Average Run Length* (ARL). ARL adalah rata-rata jumlah titik yang harus diplotkan hingga didapatkan titik *out of control* pertama. Dimana dilakukan simulasi untuk mendapatkan nilai ARL_0 370. Peluang terjadinya suatu titik pengamatan keluar dari batas kendali yang dihasilkan oleh ARL 370 sebesar 0,0027 atau pengontrolan dengan batas tiga sigma (Montgomery, 2013). Reynolds and Cho (2006) pada penelitiannya melakukan simulasi *Average Steady State Average Time To Signal* (*Average SSATS*) mengemukakan bahwa bobot optimum yang dapat digunakan adalah 0,11989 dan 0,026. Berdasarkan penelitian

Reynolds and Cho (2006) pembobotan 0,11989 memiliki nilai *Average Time To Signal* lebih kecil jika dibandingkan dengan pembobotan 0,026 pada grafik kendali MZ maupun M_2Z^2 . Sehingga penelitian ini menggunakan bobot optimum 0,11989 untuk memonitor varia-bilitas proses dan rata-rata proses.

Batas kendali atas yang diperoleh menggunakan simulasi dengan membangkitkan 10.000 data yang berdistribusi normal multivariat dan memiliki parameter sesuai dengan data residual pengolahan limbah air pada fase I. Kemudian diambil 1.000 data sampel dari 10.000 data secara random. Nilai MZ dan M_2Z^2 dapat diperoleh menggunakan Persamaan (2.29) dan Persamaan (2.33) dengan nilai dari data bangkitan. Menentukan batas kendali awal untuk grafik kendali MZ dan M_2Z^2 lalu program simulasi dijalankan. Dalam satu kali simulasi dilakukan *running* sebanyak 100 kali untuk memperoleh nilai ARL, apabila dalam satu kali *running* tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali maka dilakukan kembali sampel random sebanyak 1.000 data dari 10.000 bangkitan data, dan dilakukan simulasi kembali hingga diperoleh nilai ARL 370. Pada simulasi ulangan nilai batas kendali berbeda dengan simulasi sebelumnya, untuk mengetahui apakah telah mendapatkan ARL 370 caranya dengan memperoleh nilai rata-rata pengamatan yang *out of control*. Setiap mendapatkan nilai ARL yang tidak memenuhi 370 maka dilakukan simulasi ulang dengan cara yang sama dan mengubah batas kendali hingga diperoleh nilai ARL 370. Simulasi yang dilakukan sesuai dengan algoritma pada Bab III Langkah Penelitian poin ke-9b.

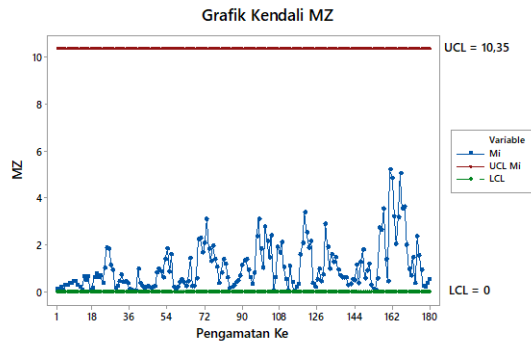
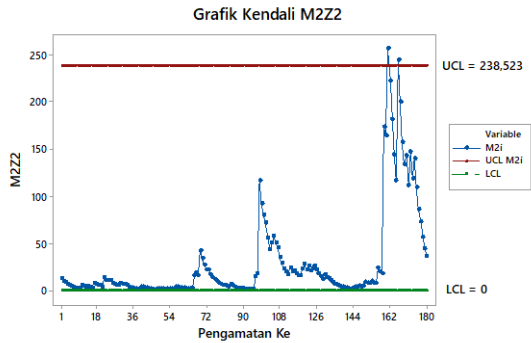
Setelah melakukan beberapa simulasi dengan bobot 0,11989 yang tertera pada Lampiran M untuk grafik kendali M_2Z^2 dan Lampiran N untuk grafik kendali MZ, simulasi dilakukan hingga masing-masing grafik kendali memperoleh batas kendali dengan ARL_0 370. Nilai batas kendali atas untuk memonitor variabilitas proses atau grafik kendali M_2Z^2 sebesar 238,523 dan batas kendali untuk memonitor *mean* proses atau grafik kendali MZ adalah 10,35 untuk karakteristik pengolahan limbah air dengan karakteristik kualitas TDS dan pH. Setelah diperoleh batas kendali dengan

menggunakan bobot 0,11989 pada masing-masing grafik kendali maka dilakukan pengendalian proses pengolahan limbah air. Batas kendali yang diperoleh dari hasil simulasi digunakan untuk memonitor proses pengolahan limbah pada fase I dan fase II.

4.4.2.2 Pengendalian Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk Fase I Menggunakan Grafik Kendali Kombinasi MEWMA

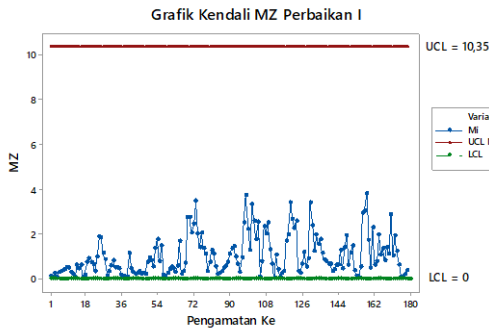
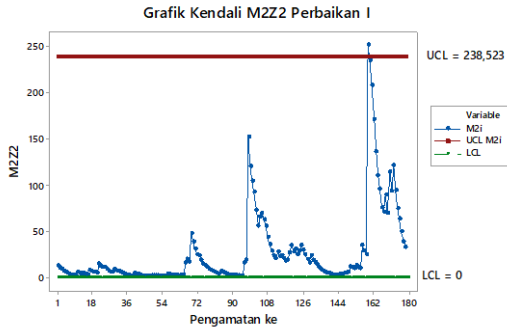
Analisis ini dilakukan untuk memonitor variabilitas proses dan *mean* proses pada pengolahan limbah air di PT JCI Tbk, dimana fase I merupakan data pengolahan limbah air mulai 2 Januari 2018 – 6 Agustus 2018. Fase I digunakan untuk memperoleh batas kendali pada grafik kendali. Pada fase I monitor yang dilakukan untuk memperoleh taksiran parameter yang terkendali, sehingga pada fase I dilakukan monitoring hingga proses pengolahan limbah air terkendali. Pembobotan yang digunakan sebesar 0,11989 dan untuk memperoleh nilai M_2Z^2 pada fase I menggunakan Persamaan (2.29) sedangkan untuk nilai MZ dapat menggunakan Persamaan (2.33). Hasil analisis monitoring variabilitas dan *mean* proses ditunjukkan pada Gambar 4.7

Gambar 4.7 menunjukkan grafik kendal M_2Z^2 dan MZ dengan batas kendali bawah untuk masing-masing grafik kendali adalah nol dan batas kendali atas untuk masing-masing grafik kendali adalah 238,523 dan 10,35. Pada grafik kendali M_2Z^2 dapat dilihat bahwa terdapat 2 pengamatan yang keluar dari batas kendali, pengamatan yang keluar adalah pengamatan ke-161 dan 166. Sehingga variabilitas proses pengolahan limbah air tanggal 2 Januari – 6 Agustus 2018 belum stabil. Pada grafik kendali MZ dapat dilihat tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali sehingga dapat dikatakan bahwa *mean* proses pengolahan limbah 2 Januari – 6 Agustus telah stabil. Pengamatan yang keluar dari batas kendali tidak dimasukkan dalam perhitungan untuk memperoleh grafik kendali yang terkendali. Pengamatan yang diluar dari batas kendali dapat dikeluarkan apabila diketahui penyebab terjadinya pengamatan keluar dari batas kendali dan dilakukan perbaikan pada proses pengolahan limbah air.



Gambar 4.7 Grafik kendali (a) M_2Z^2 (b) MZ Fase I

Penyebab pengamatan keluar dari batas kendali pada Gambar 4.7 adalah karena adanya tumpukan endapan pada penampungan limbah dari boiler dan kotornya filter karbon aktif, sehingga dilakukan pembersihan pada penampung limbah dan filter karbon. Hasil pengendalian proses pengolahan limbah air setelah dilakukan perbaikan dengan mengeluarkan pengamatan yang melebihi dari batas kendali ditunjukkan pada Gambar 4.8 sebagai berikut:

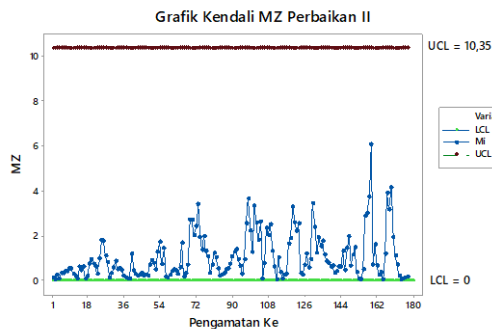
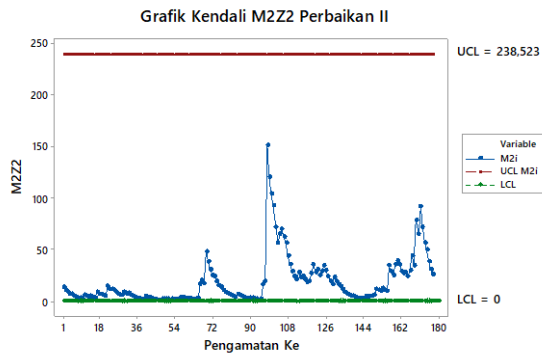


Gambar 4.8 Grafik kendali (a) M_2Z^2 (b) MZ Fase I Perbaikan I

Setelah dilakukan perbaikan dengan tidak memasukkan pengamatan yang keluar dari batas kendali dengan asumsi telah dilakukan perbaikan pada proses pengolahan limbah, diperoleh grafik kendali yang tertera pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa setelah dilakukan perbaikan masih terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali yaitu pengamatan ke-159 pada grafik kendali M_2Z^2 sehingga variabilitas proses belum stabil. Pada grafik kendali MZ tidak ada pengamatan yang keluar dari batas kendali. Berdasarkan pencatatan yang dilakukan penyebab dari pengamatan keluar dari batas kendali adalah karena filter pada pasir silica kotor, sehingga dilakukan pembersihan pada filter pasir silica. Setelah dilakukan perbaikan pada proses pengolahan limbah

dilakukan monitoring kembali pada proses pengolahan limbah dengan mengeluarkan pengamatan yang keluar dari batas kendali sehingga diperoleh grafik kendali baru pada Gambar 4.9.

Perbaikan dilakukan kembali dengan mengeluarkan pengamatan yang keluar dari batas kendai. Sehingga diperoleh grafik kendali baru pada Gambar 4.9 dengan batas kendali atas grafik kendali M_2Z^2 238,523 dan grafik kendali MZ 10,35 tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran O. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses pengolahan limbah air PT JCI Tbk fase I telah stabil baik variabilitas proses maupun *mean* prosesnya.



Gambar 4.9 Grafik kendali (a) M_2Z^2 (b) MZ Fase I Perbaikan II

Parameter *in control* yang diperoleh dari fase I adalah matriks varian-kovarian yang akan digunakan untuk membuat grafik kendali MZ dan M_2Z^2 pada fase II. Sehingga diperoleh parameter matriks varian-kovarian yang *in control* sebagai berikut:

$$\Sigma_{Z_0} = \begin{bmatrix} 1 & -0,07632 \\ -0,07632 & 1 \end{bmatrix}$$

Parameter *in control* matriks Σ_{Z_0} digunakan untuk memonitor *mean* proses pada fase II. Berdasarkan matriks varian-kovarian Σ_{Z_0} dapat diketahui bahwa nilai varian pada masing-masing karakteristik kualitas adalah 1 dan kovarian kedua variabel sebesar -0,07632. Selain diperoleh parameter *in control* pada *mean* proses juga diperoleh parameter matriks varian-kovarian *in control* untuk variabilitas proses sebagai berikut:

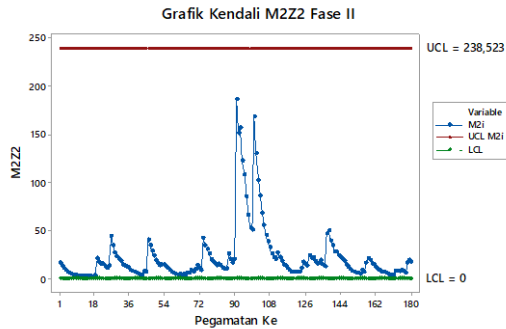
$$\Sigma_{Z_0}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,005824 \\ 0,005824 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks $\Sigma_{Z_0}^2$ menunjukkan parameter *in control* untuk variabilitas proses pada fase II. Berdasarkan matriks varian-kovarian $\Sigma_{Z_0}^2$ diperoleh nilai kovarian untuk kedua karakteristik kualitas sebesar 0,005824. Setelah diperoleh matriks varian-kovarian yang *in control* pada masing-masing grafik kendali yang digunakan untuk membuat grafik kendali fase II. Pada fase II batas kendali yang digunakan berasal dari batas kendali fase I.

4.4.2.3 Pengendalian Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk Fase II Menggunakan Grafik Kendali Kombinasi MEWMA

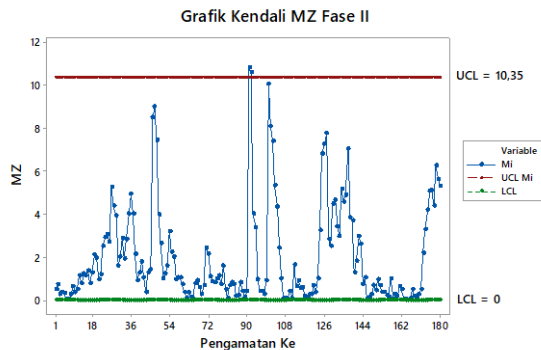
Proses pengolahan limbah air yang digunakan pada fase II mulai tanggal 7 Agustus 2018 – 28 Februari 2019. Fase II dilakukan untuk memonitoring proses variabilitas dan *mean* proses apakah terdapat pergeseran proses. Batas kendali yang digunakan pada fase II adalah batas kendali yang dibentuk dari data fase I. Nilai M_2Z^2 pada fase II diperoleh menggunakan Persamaan (2.34) dan nilai MZ pada fase II diperoleh menggunakan Persamaan

(2.30). Sehingga untuk grafik kendali MZ batas kendalinya sebesar 10,35 dan untuk grafik kendali M_2Z^2 sebesar 238,523 dengan bobot 0,11989. Parameter yang digunakan pada fase II merupakan parameter *in control* pada fase I sehingga diperoleh grafik kendali fase II sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik kendali M_2Z^2 Fase II

Berdasarkan Gambar 4.10 grafik kendali M_2Z^2 pada fase II memiliki batas kendali atas 238,523 dan batas kendali bawah nol menunjukkan bahwa tidak ada pengamatan yang keluar dari batas kendali sehingga dapat dikatakan bahwa variabilitas proses pada proses pengolahan limbah air 7 Agustus 2018 – Februari 2019 telah stabil. Sedangkan grafik kendali *mean* proses fase II ditunjukkan dalam Gambar 4.11 sebagai berikut:



Gambar 4.11 Grafik kendali MZ Fase II

Berdasarkan Gambar 4.11 grafik kendali MZ diketahui bahwa terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali 10,35. Pengamatan yang keluar dari batas kendali grafik kendali MZ adalah pengamatan ke-90 dan 91, sehingga dapat dikatakan bahwa *mean* proses pengolahan limbah air pada tanggal 7 Agustus 2018 – 28 Februari 2019 belum stabil.

4.5 Analisis Kapabilitas Proses Pengolahan Limbah Air PT JCI Tbk

Analisis ini digunakan untuk menaksir kemampuan proses, apakah proses pengolahan limbah air telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan atau tidak. Proses pengolahan limbah dikatakan kapabel jika semua pengukuran proses masuk dalam batas spesifikasi. Untuk mengetahui nilai kapabilitas proses yang telah terkendali menggunakan C_p dan C_{pk} sedangkan untuk proses yang belum terkendali menggunakan P_p dan P_{pk} . Pada pengendalian proses pengolahan limbah yang dilakukan, fase I proses telah stabil baik pada variabilitas proses maupun *mean* proses. Pada fase II dengan menggunakan parameter *in control* fase I diketahui bahwa variabilitas proses telah stabil namun *mean* proses belum stabil. Sehingga untuk mengetahui kapabilitas proses, pengamatan yang digunakan merupakan pengamatan yang telah terkendali yaitu pengamatan pada fase I yang telah terkendali. Nilai C_p dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.38) dan C_{pk} menggunakan Persamaan (2.39) sebagai berikut:

Tabel 4.7 Kapabilitas Proses Pengolahan Limbah Air Univariat

| Karakteristik Kualitas | C_p | C_{pk} |
|------------------------|-------|----------|
| TDS | 5,62 | 2,33 |
| pH | 3,40 | 2,73 |

Tabel 4.7 menunjukkan nilai C_p dan C_{pk} untuk kapabilitas proses secara univariat. Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kedua karakteristik kualitas memiliki nilai C_p dan C_{pk} lebih besar dari 1,33 sehingga dapat dikatakan bahwa proses pengolahan limbah air secara univariat telah kapabel. Setelah diperoleh nilai C_p dan C_{pk} dari setiap karakteristik kualitas selanjutnya dilakukan

perhitungan kapabilitas proses secara multivariat dari Tabel 4.7 yang ditunjukkan dalam Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Kapabilitas Proses Pengolahan Limbah Air Multivariat

| Karakteristik Kualitas | Bobot | MCp | MCpk |
|------------------------|-------|------|------|
| TDS | 0,5 | 4,51 | 2,53 |
| pH | 0,5 | | |

Perhitungan kapabilitas secara multivariat ditunjukkan pada Tabel 4.8 dimana menurut Raissi (2009) jumlah pembobot untuk keseluruhan karakteristik bernilai satu. Suatu proses dikatakan kapabel apabila memiliki nilai $C_p \geq 1,33$ (Montgomery, 2013). Dalam proses pengolahan limbah di PT JCI Tbk kedua karakteristik kualitas memiliki keutamaan yang sama dalam proses pengolahan limbah air sehingga pembobotan yang diberikan pada dua karakteristik kualitas tersebut sama. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai MCp dengan menggunakan Persamaan (2.40) sebesar 4,51 lebih besar dari nilai 1,33 yang artinya secara multivariat proses pengolahan limbah air sudah baik dan telah memenuhi sebaran data yang diinginkan. Sedangkan nilai MCpk yang diperoleh menggunakan Persamaan (2.41) sebesar 2,53 lebih besar dari 1,33 artinya secara multivariat proses pengolahan limbah air memiliki nilai aktual yang tinggi sehingga proses pengolahan limbah telah kapabel.

Nilai MCpk yang lebih rendah dari nilai MCp meskipun kedua nilai lebih besar dari 1,33 dapat disebabkan karena adanya karakteristik kualitas yang memiliki nilai yang tinggi. Hasil dari analisis kapabilitas univariat dapat dilihat pada Lampiran Q. Pada hasil analisis kapabilitas dapat dilihat bahwa kurva data pada karakteristik kualitas TDS mendekati nilai USL sehingga tidak berada ditengah antara nilai USL dan LSL. Begitu juga dengan karakteristik kualitas pH data condong mendekati nilai LSL, hal tersebut menyebabkan nilai MCpk lebih rendah dari nilai MCp.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada Bab IV, diperoleh kesimpulan bahwa

1. Pada karakteristik kualitas TDS terdapat pengamatan yang melebihi dari batas spesifikasi yang ditentukan, penyebab TDS tinggi karena adanya endapan pada tangki sedimentasi sehingga menyebabkan zat terlarut pada limbah meningkat. Sedangkan pada karakteristik kualitas pH, nilai pH melebihi batas spesifikasi yang ditentukan karena sedikitnya larutan HCl dan PAC dalam tangki pengolahan limbah.
2. Pemeriksaan autokorelasi data menunjukkan bahwa terdapat autokorelasi pada masing-masing variabel. Model *time series* yang terpilih adalah VAR([1,5,8]).
3. Hasil monitor dengan menggunakan pembobotan 0,11989 diperoleh hasil pada fase I yaitu variabilitas proses dan *mean* proses sudah stabil atau terkendali secara statistik setelah diidentifikasi penyebab pengamatan keluar dari batas kendali. Pada fase II menggunakan matriks varian kovarian *in control* diperoleh hasil bahwa variabilitas proses telah stabil namun *mean* proses belum stabil. Kapabilitas proses diperoleh nilai MPp 4,51 dan MPpk 2,53 yang artinya secara multivariat proses pengolahan limbah air memiliki sebaran data yang baik dan proses pengolahan limbah air telah kapabel.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka saran yang dapat diberikan pada PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk untuk melakukan pembersihan yang terjadwal untuk masing-masing elemen alat pengolahan limbah guna menghindari limbah yang melebihi batas baku mutu karena

kotornya filter pada alat pengolahan limbah. Perusahaan diharapkan melakukan kalibrasi pada alat ukur TDS dan pH secara rutin agar hasil yang diperoleh dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya. Perusahaan diharapkan melakukan pemeriksaan berkala untuk meminimalisir proses pengolahan limbah bergeser dari nilai target.

DAFTAR PUSTAKA

- Alva, J.A., & Estrada, E. G. (2009). A Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 38(11), 1870-1833.
- Alwan, L. C., & Roberts, H. V. (1988). Time-Series Modeling for Statistical Process Control. *Journal of Bussines & Economic Statistics.*, 6(1).
- BPS. (2019, Februari 17). *Jumlah Perusahaan Industri Besar Sedang Menurut Sub Sektor*. Diambil kembali dari <https://www.bps.go.id/dynamictable/2015/09/14/896/jumlah-perusahaan-industri-besar-sedang-menurut-subsektor-2-digit-kbli-2000-2015.html>
- Ekasari, N., Paramitha, N. S., & Mashuri, M. (2018). Pengendalian Kualitas Bahan Bakar Gas PT Indonesia Power UPJP-PGT Pasuruan Grafik kendali Univariate Berbasis Model Time Series. *Jurnal Sains dan Seni ITS*.
- Gujarati, D. N. (2003). *Basic Econometrics, Fourth Edition*. United State Of America : McGraw-Hill
- Huwang, L., Arthur, & Chien-Wei. (2007). Monitoring Multivarite Process Variability for Individual Observation. *Journal of Quality Technology*, 39. pp. 258-278.
- Hyndman, R.J., & Kostenko, A.V. (2008). Forecasting Without Significance Test.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey : Prentice Hall.
- Khoo, M., & Quah, S.H. (2003). Multivariate Control Chart for Process Dispersion Based on Individual Observations. *Jurnal Engineering*, 15(4),639-642.
- Lutkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Germany : Springer.

- Montgomery, D. C. (2013). *Statistical Quality Control, Sixth Edition*. United States : John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods* (3rd ed). New Jersey, USA: McGraw-Hill, Inc.
- Nuriman, M. A., (2018). Pengendalian Kualitas Proses Produksi Pupuk Urea di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. *Tugas Akhir Departemen Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Priyono, T. S., Yuliani, E., & Sayekti, R. W. (2013). Studi Penentuan Status Mutu Air di Sungai Surabaya Untuk Keperluan Bahan Baku Air Minum. *Jurnal Teknik Pengairan*.
- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on the Presence of Priority for Quality Characteristics. *Jurnal of Industrial Engineering International* Vol. 5, No. 9.
- Rinawati. (2016). *Penentuan Kandungan Zat Padat (TDS) di Perairan Teluk Lampung*, 2.
- Reynolds, M.R & Cho, G.H. (2006). Multivariate Control Charts for Monitoring the Mean Vector and Covariance Matrix, *Journal of Quality Technology*, 38(3), 230-252.
- Reynolds, M.R & Stoumbos, Z.G. (2008). Combinations of Multivariate Shewhart and MEWMA Control Charts for Monitoring the Mean Vector and Covarians Matrix. *Journal of Quality Technology*, vol.40, pp 381-393
- Said, N. I. (2008). *Teknologi Pengelolaan Air Minum "Teori dan Pengalaman Praktis"*. Jakarta: Pusat Teknologi Lingkungan, Deputi Bidang Pengembangan Sumber Daya Alam.
- Sektiawan, D. D. (2017). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah*. Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur.

- Tiao, Box. (1981) Coefficient Methods. Dalam Wei, W., W., S. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods, Second Edition*. New York (United States of America) : Pearson Education, Inc.
- Wei, W. W. S. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods, Second Edition*. New York (United State of America) : Pearson Education. Inc.
- Widiyantoro, E. R. (2018) *Pengendalian Kualitas Tetes Tebu di PG Tjoekir Jombang Menggunakan Grafik kendali Multivariate Time Series*. Tugas Akhir Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Karakteristik Kualitas Limbah Air PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk

| Subgroup | TDS | pH |
|----------|------|-----|
| 1 | 1800 | 7,3 |
| 2 | 1820 | 7,4 |
| 3 | 1860 | 7,2 |
| 4 | 1840 | 7 |
| 5 | 1860 | 7 |
| 6 | 1880 | 7,1 |
| 7 | 1720 | 6,9 |
| 8 | 1710 | 7 |
| 9 | 1700 | 6,9 |
| 10 | 1680 | 7 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| 360 | 1430 | 7,1 |
| 361 | 1340 | 7 |
| 362 | 1290 | 6,9 |
| 363 | 1190 | 7,1 |
| 364 | 1180 | 7 |
| 365 | 1210 | 7 |
| 366 | 1040 | 7,6 |
| 367 | 1040 | 7,1 |
| 368 | 1060 | 7 |

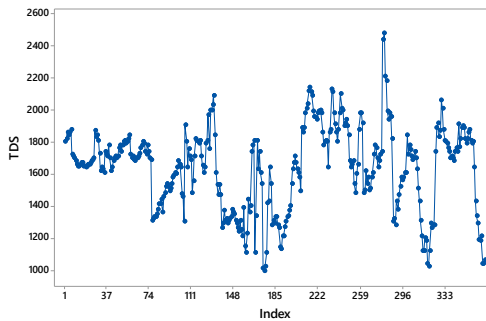
Lampiran B. Karakteristik Data dari Karakteristik Kualitas Limbah Air PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk

Lampiran B1. Statistika Deskriptif

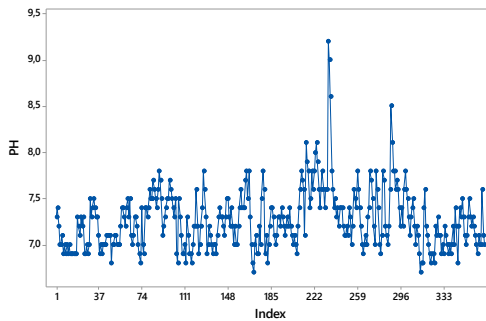
| Statistics | | | | |
|------------|--------|----------|---------|---------|
| Variable | Mean | Variance | Minimum | Maximum |
| TDS | 1638,4 | 67648,3 | 990,0 | 2480,0 |
| pH | 7,2655 | 0,1068 | 6,7000 | 9,2000 |

Lampiran B2. Time Series Plot

Karakteristik Kualitas TDS

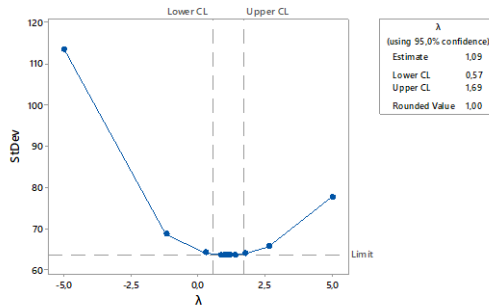


Karakteristik Kualitas pH

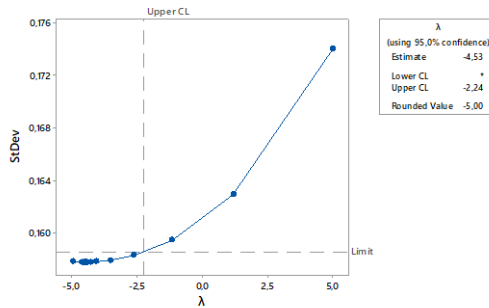


Lampiran C. Pemeriksaan Stasioneritas dalam Varian Karakteristik Kualitas TDS dan pH

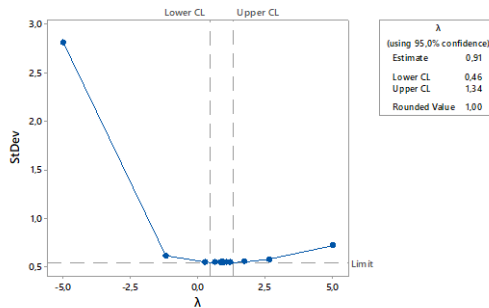
Lampiran C1. Box-Cox Karakteristik Kualitas TDS



Lampiran C2. Box-Cox Karakteristik Kualitas pH



Lampiran C3. Box-Cox Karakteristik Kualitas pH Transformasi



Lampiran D. Data Transformasi Karakteristik Kualitas Limbah
Air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk

| Subgroup | TDS | Trans pH |
|----------|------|----------|
| 1 | 1800 | 4,82376 |
| 2 | 1820 | 4,50652 |
| 3 | 1860 | 5,16818 |
| 4 | 1840 | 5,9499 |
| 5 | 1860 | 5,9499 |
| 6 | 1880 | 5,54253 |
| 7 | 1720 | 6,39373 |
| 8 | 1710 | 5,9499 |
| 9 | 1700 | 6,39373 |
| 10 | 1680 | 5,9499 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| 360 | 1430 | 5,54253 |
| 361 | 1340 | 5,9499 |
| 362 | 1290 | 6,39373 |
| 363 | 1190 | 5,54253 |
| 364 | 1180 | 5,9499 |
| 365 | 1210 | 5,9499 |
| 366 | 1040 | 3,94396 |
| 367 | 1040 | 5,54253 |
| 368 | 1060 | 5,9499 |

Lampiran E. Pengujian Stasioner Dalam Rata-rata dengan Uji ADF Menggunakan *Software R*

Lampiran E1. Uji ADF Karakteristik Kualitas TDS

```
data=read.table("E:/TA.txt",header=TRUE)
tds=as.ts(data[,1])
head(tds)
ph=as.ts(data[,2])
head(ph)
library(tseries)
adf.test(tds)
adf.test(ph)

adf.test(tds)

          Augmented Dickey-Fuller Test

data:  tds
Dickey-Fuller = -3.8892, Lag order = 7,
p-value = 0.0148
alternative hypothesis: stationary
```

Lampiran E2. Uji ADF Karakteristik Kualitas pH

```
> adf.test(ph)

          Augmented Dickey-Fuller Test

data:  ph
Dickey-Fuller = -4.5478, Lag order = 7,
p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary

warning message:
In adf.test(ph) : p-value smaller than printed
p-value
```

Lampiran F. Syntax VAR (1) Data Karakteristik Kualitas Limbah
Air PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk

```

data JPF;
input TDS PH;
datalines;

1800    4.82376
1820    4.50652
1860    5.16818
1840    5.94990
1860    5.94990
1880    5.54253
1720    6.39373
.       .
.       .
.       .
1340    5.94990
1290    6.39373
1190    5.54253
1180    5.94990
1210    5.94990
1040    3.94396
1040    5.54253
1060    5.94990

;
proc varmax data=JPF;
model TDS PH/p=(1 5 8) noint method=ls
      minic=(p=1 q=0)
      lagmax=40
      print=(corry parcoef pcorr pcancorr roots);
output lead=1 out=limbah1;
run;
proc export data=WORK.limbah1
outfile='E:\VAR[1,5,8].xls'
dbms=excel97
replace;
run;

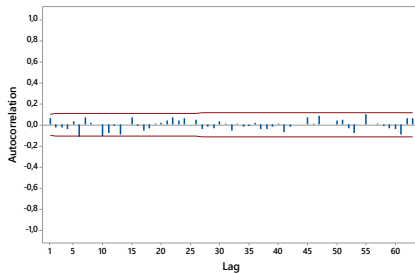
```

Lampiran G. Identifikasi Orde VAR

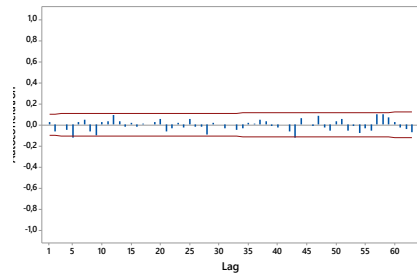
| Schematic Representation of Partial Autoregression | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Variable/ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lag | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| TDS | + | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| PH | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| | + is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Variable/ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lag | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| TDS | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| PH | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| | + is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Lampiran H. Cek Autokorelasi Residual VAR([1,5,8])**Lampiran H1.** Uji Portmanteau VAR([1,5,8])

| lag | | df | P-value | lag | | df | P-value |
|-----|-------|----|---------|-----|--------|-----|---------|
| 9 | 39,61 | 4 | <,0001 | 25 | 95,58 | 68 | 0,0154 |
| 10 | 45,61 | 8 | <,0001 | 26 | 97,75 | 72 | 0,0234 |
| 11 | 48,47 | 12 | <,0001 | 27 | 99,07 | 76 | 0,039 |
| 12 | 53,86 | 16 | <,0001 | 28 | 105,79 | 80 | 0,0284 |
| 13 | 58,86 | 20 | <,0001 | 29 | 109,65 | 84 | 0,0316 |
| 14 | 59,53 | 24 | <,0001 | 30 | 113,61 | 88 | 0,0345 |
| 15 | 63,43 | 28 | 0,0001 | 31 | 119,22 | 92 | 0,0297 |
| 16 | 68,28 | 32 | 0,0002 | 32 | 121,03 | 96 | 0,043 |
| 17 | 69,77 | 36 | 0,0006 | 33 | 122,17 | 100 | 0,0654 |
| 18 | 70,83 | 40 | 0,0019 | 34 | 122,67 | 104 | 0,102 |
| 19 | 76,61 | 44 | 0,0017 | 35 | 124,23 | 108 | 0,136 |
| 20 | 78,39 | 48 | 0,0037 | 36 | 125,73 | 112 | 0,1771 |
| 21 | 85,05 | 52 | 0,0026 | 37 | 136,23 | 116 | 0,0966 |
| 22 | 87,97 | 56 | 0,0041 | 38 | 138,63 | 120 | 0,1174 |
| 23 | 90,52 | 60 | 0,0066 | 39 | 141,18 | 124 | 0,1387 |
| 24 | 92,95 | 64 | 0,0105 | 40 | 141,68 | 128 | 0,1929 |

Lampiran H2. Plot ACF Residual VAR([1,5,8])

(a) TDS



(b) pH

Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk

| The VARMAX Procedure | | | | | | |
|----------------------|------|----------------------------|---------|-----------|-----------|---------|
| | | Number of Observations | | 368 | | |
| | | Number of Pairwise Missing | | 0 | | |
| Variable | Type | N | Mean | StdDev | Min | Max |
| TDS | DEP | 368 | 1638 | 260.09283 | 990.00000 | 2480 |
| PH | DEP | 368 | 5.07374 | 1.00298 | 1.51726 | 7.40672 |

| Cross-Correlation Matrices of Endogenous (Dependent) Series | | | |
|---|----------|----------|----------|
| Lag | Variable | TDS | PH |
| 0 | TDS | 1.00000 | -0.16422 |
| | PH | -0.16422 | 1.00000 |
| 1 | TDS | 0.88351 | -0.14530 |
| | PH | -0.14700 | 0.69652 |
| 2 | TDS | 0.76386 | -0.11044 |
| | PH | -0.15018 | 0.45593 |
| 3 | TDS | 0.65993 | -0.05168 |
| | PH | -0.18364 | 0.31938 |
| 4 | TDS | 0.57513 | -0.02283 |
| | PH | -0.19363 | 0.24727 |
| 5 | TDS | 0.50815 | -0.03473 |
| | PH | -0.18288 | 0.25677 |
| 6 | TDS | 0.43285 | -0.07273 |
| | PH | -0.15943 | 0.28882 |
| 7 | TDS | 0.38438 | -0.11430 |
| | PH | -0.14265 | 0.25983 |
| 8 | TDS | 0.31778 | -0.13059 |
| | PH | -0.12415 | 0.17966 |
| 9 | TDS | 0.25005 | -0.14509 |
| | PH | -0.11751 | 0.13518 |
| 10 | TDS | 0.18706 | -0.15007 |
| | PH | -0.09529 | 0.17398 |
| 11 | TDS | 0.15159 | -0.15831 |
| | PH | -0.05707 | 0.21080 |
| 12 | TDS | 0.13436 | -0.17545 |
| | PH | -0.02769 | 0.23586 |
| 13 | TDS | 0.11823 | -0.17660 |
| | PH | -0.00359 | 0.20232 |
| 14 | TDS | 0.12326 | -0.17905 |
| | PH | -0.00206 | 0.15053 |
| 15 | TDS | 0.12540 | -0.17924 |
| | PH | 0.01565 | 0.12378 |
| 16 | TDS | 0.11027 | -0.15724 |
| | PH | 0.05021 | 0.10459 |
| 17 | TDS | 0.09783 | -0.14839 |
| | PH | 0.04861 | 0.12193 |

**Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air
Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk (Lanjutan)**

| | | | |
|----|-----|---------|----------|
| 18 | TDS | 0.10016 | -0.13773 |
| | PH | 0.03646 | 0.13099 |
| 19 | TDS | 0.11370 | -0.11122 |
| | PH | 0.02125 | 0.13103 |

the VARMAX Procedure
Cross-Correlation Matrices of
Endogenous (Dependent) Series

| Lag | Variable | TDS | PH |
|-----|----------|----------|----------|
| 20 | TDS | 0.12587 | -0.13102 |
| | PH | 0.00204 | 0.11683 |
| 21 | TDS | 0.13538 | -0.15409 |
| | PH | -0.02424 | 0.06194 |
| 22 | TDS | 0.13504 | -0.13540 |
| | PH | -0.05068 | 0.04834 |
| 23 | TDS | 0.12120 | -0.10882 |
| | PH | -0.07488 | 0.04997 |
| 24 | TDS | 0.10517 | -0.07273 |
| | PH | -0.07684 | 0.04105 |
| 25 | TDS | 0.07345 | -0.05094 |
| | PH | -0.07219 | 0.04361 |
| 26 | TDS | 0.04435 | -0.04484 |
| | PH | -0.04488 | 0.00134 |
| 27 | TDS | 0.00417 | -0.03835 |
| | PH | -0.02565 | -0.02783 |
| 28 | TDS | -0.02735 | -0.04405 |
| | PH | -0.01434 | -0.04906 |
| 29 | TDS | -0.05283 | -0.03953 |
| | PH | -0.03214 | -0.01645 |
| 30 | TDS | -0.06745 | -0.05568 |
| | PH | -0.01608 | -0.00163 |
| 31 | TDS | -0.08889 | -0.03508 |
| | PH | 0.00367 | -0.00426 |
| 32 | TDS | -0.11032 | -0.01632 |
| | PH | -0.00841 | -0.00352 |
| 33 | TDS | -0.11748 | 0.00955 |
| | PH | -0.02165 | -0.01609 |
| 34 | TDS | -0.12707 | 0.03666 |
| | PH | -0.03507 | -0.00817 |
| 35 | TDS | -0.13233 | 0.05296 |
| | PH | -0.05783 | 0.01995 |
| 36 | TDS | -0.13457 | 0.08582 |
| | PH | -0.09893 | 0.03499 |
| 37 | TDS | -0.13680 | 0.09418 |
| | PH | -0.14314 | 0.04436 |
| 38 | TDS | -0.12759 | 0.12043 |
| | PH | -0.13779 | 0.02488 |

Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk (Lanjutan)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-------------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| The VARMAX Procedure | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schematic Representation of Cross Correlations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Variable/ Lag | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | |
| TDS | +- | +- | +- | +- | + | + | + | + | + | +- | +- | +- | +- | +- | +- | +- | +- | +- | - | - | + | + | +- | +- |
| PH | +- | +- | +- | +- | +- | +- | +- | +- | +- | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| + is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schematic Representation of Cross Correlations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Variable/ Lag | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TDS | - | - | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PH | .. | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| + is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Minimum Information Criterion | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lag | MA 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AR 0 | 15.465295 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AR 1 | 9.0106601 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Partial Autoregression Matrices | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lag | Variable | TDS | PH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | TDS | 0.88318 | -0.51020 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | -0.00012253 | 0.69130 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | TDS | -0.08283 | -11.01197 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | 0.00028537 | -0.05396 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | TDS | -0.00868 | -18.10372 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | 0.00058334 | 0.05104 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | TDS | 0.01974 | 3.29739 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | -0.00018611 | 0.02803 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | TDS | 0.03226 | 3.31059 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | -0.00039429 | 0.12009 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | TDS | -0.06254 | 1.94357 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | -0.00043215 | 0.10300 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | TDS | 0.09656 | -1.59240 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | -0.00037395 | -0.01762 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | TDS | -0.12379 | 2.66897 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | -0.00004331 | -0.06494 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | TDS | -0.05351 | -3.03081 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | -0.00032940 | 0.01694 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | TDS | -0.03711 | 11.02472 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PH | -0.00010232 | 0.12581 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk (Lanjutan)

| The VARMAX Procedure | | | |
|---------------------------------|----------|-------------|-----------|
| Partial Autoregression Matrices | | | |
| Lag | Variable | TDS | PH |
| 11 | TDS | 0.08571 | 9.23934 |
| | PH | -0.00014246 | 0.03989 |
| 12 | TDS | 0.02110 | -0.87820 |
| | PH | -0.00009703 | 0.03850 |
| 13 | TDS | 0.00835 | 1.89966 |
| | PH | 0.00015045 | -0.04792 |
| 14 | TDS | 0.06513 | -1.78379 |
| | PH | -0.00018765 | -0.01501 |
| 15 | TDS | -0.00464 | 13.03078 |
| | PH | -0.00018731 | 0.01319 |
| 16 | TDS | -0.07610 | 11.10294 |
| | PH | 0.00032767 | -0.02786 |
| 17 | TDS | 0.03751 | -13.34275 |
| | PH | -0.00017076 | 0.03158 |
| 18 | TDS | 0.05149 | -4.72419 |
| | PH | 0.00004144 | -0.01302 |
| 19 | TDS | 0.01440 | -2.45760 |
| | PH | 0.00041887 | 0.02127 |
| 20 | TDS | 0.01168 | -3.98978 |
| | PH | -0.00074658 | -0.01057 |
| 21 | TDS | 0.01713 | -6.68847 |
| | PH | -0.00024860 | -0.08961 |
| 22 | TDS | -0.01198 | -7.27485 |
| | PH | 0.00054103 | 0.03683 |
| 23 | TDS | -0.03868 | -9.42804 |
| | PH | 0.00005156 | -0.00441 |
| 24 | TDS | 0.00299 | 7.35781 |
| | PH | 0.00030400 | -0.04337 |
| 25 | TDS | -0.07898 | 0.17412 |
| | PH | -0.00000543 | 0.01834 |
| 26 | TDS | -0.01739 | 12.67472 |
| | PH | -0.00015549 | -0.06604 |
| 27 | TDS | -0.08052 | -1.68623 |
| | PH | 0.00017381 | 0.01834 |
| 28 | TDS | 0.03260 | 1.85478 |
| | PH | -0.00022395 | -0.00688 |
| 29 | TDS | -0.05434 | -11.80103 |
| | PH | 0.00016534 | 0.04187 |
| 30 | TDS | 0.03766 | 14.05028 |
| | PH | -0.00047204 | -0.05725 |
| 31 | TDS | -0.06731 | -3.53680 |
| | PH | 0.00062797 | 0.01147 |
| 32 | TDS | 0.00962 | -12.54694 |
| | PH | 0.00016013 | 0.02223 |
| 33 | TDS | 0.01545 | -4.36056 |
| | PH | 0.00030740 | 0.00590 |

Lampiran I ([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk (Lanjutan)

Schematic Representation of Partial Autoregression

| Variable/ Lag | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| TDS | + | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| PH | . | + | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |

+ is $> 2 \times \text{std error}$, - is $< -2 \times \text{std error}$, . is between

Partial Cross Correlation Matrices

| Lag | Variable | TDS | PH |
|-----|----------|----------|-------------|
| 1 | TDS | 0.88350 | -0.00033675 |
| | PH | -0.00206 | 0.69098 |
| 2 | TDS | -0.07623 | 0.04627 |
| | PH | -0.06463 | -0.06063 |
| 3 | TDS | 0.00242 | 0.09421 |
| | PH | -0.10636 | 0.03998 |
| 4 | TDS | 0.01769 | -0.03296 |
| | PH | 0.01937 | 0.02990 |
| 5 | TDS | 0.03020 | -0.07700 |
| | PH | 0.01949 | 0.12183 |
| 6 | TDS | -0.06365 | -0.09066 |
| | PH | 0.01143 | 0.10427 |
| 7 | TDS | 0.09687 | -0.05238 |

The VARMAX Procedure

Partial Cross Correlation Matrices

| Lag | Variable | TDS | PH |
|-----|----------|----------|----------|
| 8 | TDS | -0.12439 | -0.01442 |
| | PH | 0.01560 | -0.06374 |
| 9 | TDS | -0.05168 | -0.06290 |
| | PH | -0.01775 | 0.01526 |
| 10 | TDS | -0.04241 | -0.03281 |
| | PH | 0.06488 | 0.13370 |
| 11 | TDS | 0.08085 | -0.01822 |
| | PH | 0.05384 | 0.04643 |
| 12 | TDS | 0.02140 | -0.01732 |
| | PH | -0.00511 | 0.03811 |
| 13 | TDS | 0.00741 | 0.03060 |
| | PH | 0.01105 | -0.04690 |
| 14 | TDS | 0.06559 | -0.02331 |
| | PH | -0.01044 | -0.01630 |
| 15 | TDS | -0.01077 | -0.03436 |
| | PH | 0.07616 | 0.02204 |
| 16 | TDS | -0.08092 | 0.04885 |
| | PH | 0.06489 | -0.02042 |

Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk (Lanjutan)

| Schematic Representation of Partial Cross Correlations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| Variable/ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
| Lag | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TDS | + | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |  |
| PH | + | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... | ..... |  |
| + is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| The VARMAX Procedure | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Partial Canonical Correlations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lag | PCanCorr1 | PCanCorr2 | Chi-Square | DF | ChiSq | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0.88351 | 0.69098 | 461.70 | 4 | <.0001 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0.10012 | 0.07603 | 5.78 | 4 | 0.2158 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0.12224 | 0.08277 | 7.95 | 4 | 0.0933 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0.04450 | 0.02623 | 0.97 | 4 | 0.9142 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 0.14412 | 0.03594 | 8.01 | 4 | 0.0912 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0.14778 | 0.03790 | 8.43 | 4 | 0.0772 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0.11013 | 0.02086 | 4.54 | 4 | 0.3384 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0.12559 | 0.06493 | 7.20 | 4 | 0.1259 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 0.08141 | 0.02340 | 2.58 | 4 | 0.6311 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 0.15636 | 0.02265 | 8.94 | 4 | 0.0627 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 0.09790 | 0.04837 | 4.26 | 4 | 0.3724 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 0.04436 | 0.01639 | 0.80 | 4 | 0.9390 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 0.05626 | 0.01219 | 1.18 | 4 | 0.8820 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 0.06975 | 0.01881 | 1.85 | 4 | 0.7637 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 0.08212 | 0.02898 | 2.68 | 4 | 0.6133 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 0.11572 | 0.01312 | 4.77 | 4 | 0.3113 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 0.09528 | 0.01148 | 3.23 | 4 | 0.5197 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 0.06332 | 0.00749 | 1.42 | 4 | 0.8402 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 0.07510 | 0.01779 | 2.08 | 4 | 0.7213 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 0.12613 | 0.02459 | 5.75 | 4 | 0.2188 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | 0.10560 | 0.03029 | 4.19 | 4 | 0.3812 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 0.09773 | 0.03576 | 3.75 | 4 | 0.4413 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | 0.06506 | 0.01009 | 1.50 | 4 | 0.8274 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 0.07350 | 0.03220 | 2.21 | 4 | 0.6963 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 0.07898 | 0.01833 | 2.25 | 4 | 0.6890 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 0.09464 | 0.03296 | 3.43 | 4 | 0.4879 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | 0.08270 | 0.01431 | 2.40 | 4 | 0.6623 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 0.04802 | 0.00398 | 0.79 | 4 | 0.9399 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 0.09366 | 0.00346 | 2.98 | 4 | 0.5616 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 0.11856 | 0.03776 | 5.23 | 4 | 0.2642 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | 0.12079 | 0.01200 | 4.97 | 4 | 0.2908 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | 0.07629 | 0.02914 | 2.24 | 4 | 0.6916 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | 0.05630 | 0.02543 | 1.28 | 4 | 0.8650 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | 0.03903 | 0.00479 | 0.52 | 4 | 0.9719 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | 0.08744 | 0.02062 | 3.07 | 4 | 0.5464 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk (Lanjutan)

Schematic Representation
of Parameter Estimates

Variable/
Lag AR1 AR5 AR8

TDS +.
PH .+ .+ ..

+ is $> 2 \times \text{std error}$, -
is $< -2 \times \text{std error}$, .
is between, * is N/A

Model Parameter Estimates

| Equation | Parameter | Estimate | Std Error | T Ratio | Prob>\|T\| | Variable |
|----------|-----------|-------------|------------|---------|---------|----------|
| TDS | AR1_1_1 | 0.92258 | 0.02879 | 32.04 | 0.0001 | TDS(t-1) |
| | AR1_1_2 | 4.76524 | 6.45569 | 0.74 | 0.4609 | PH(t-1) |
| | AR5_1_1 | 0.04334 | 0.03876 | 1.12 | 0.2643 | TDS(t-5) |
| | AR5_1_2 | 3.07989 | 6.58439 | 0.47 | 0.6402 | PH(t-5) |
| | AR8_1_1 | -0.01496 | 0.03300 | -0.45 | 0.6505 | TDS(t-8) |
| PH | AR8_1_2 | 7.31668 | 6.52484 | 1.12 | 0.2629 | PH(t-8) |
| | AR1_2_1 | 0.00013583 | 0.00017360 | 0.78 | 0.4345 | TDS(t-1) |
| | AR1_2_2 | 0.71677 | 0.03892 | 18.42 | 0.0001 | PH(t-1) |
| | AR5_2_1 | 0.00032905 | 0.00023370 | 1.41 | 0.1600 | TDS(t-5) |
| | AR5_2_2 | 0.15540 | 0.03970 | 3.91 | 0.0001 | PH(t-5) |
| | AR8_2_1 | -0.00013630 | 0.00019894 | -0.69 | 0.4937 | TDS(t-8) |
| | AR8_2_2 | 0.01892 | 0.03934 | 0.48 | 0.6308 | PH(t-8) |

Covariance Matrix for the Innovation

| Variable | TDS | PH |
|----------|----------|----------|
| TDS | 14738 | -5.47595 |
| PH | -5.47595 | 0.53574 |

Information Criteria

| | |
|--|----------|
| AICC(Corrected AIC) | 9.004465 |
| HQC(Hannan-Quinn Criterion) | 9.054842 |
| AIC(Akaike Information Criterion) | 9.003335 |
| SBC(Schwarz Bayesian Criterion) | 9.132872 |
| FPEC(Final Prediction Error Criterion) | 8130.206 |

Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk (Lanjutan)

| Schematic Representation of Residual Cross Correlations | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Variable/ Lag | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | |
| TDS | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PH | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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

| Portmanteau Test for Residual Cross Correlations | | | |
|--|----------------|-------------|--------|
| To Lag | Chi- Square | Prob> DF | ChiSq |
| 9 | 39.61 | 4 | <.0001 |
| 10 | 45.61 | 8 | <.0001 |
| 11 | 48.47 | 12 | <.0001 |
| 12 | 53.86 | 16 | <.0001 |
| 13 | 58.86 | 20 | <.0001 |
| 14 | 59.53 | 24 | <.0001 |
| 15 | 63.43 | 28 | 0.0001 |
| 16 | 68.28 | 32 | 0.0002 |
| 17 | 69.77 | 36 | 0.0006 |
| 18 | 70.83 | 40 | 0.0019 |
| 19 | 76.61 | 44 | 0.0017 |
| 20 | 78.39 | 48 | 0.0037 |
| 21 | 85.05 | 52 | 0.0026 |
| 22 | 87.97 | 56 | 0.0041 |
| 23 | 90.52 | 60 | 0.0066 |
| 24 | 92.95 | 64 | 0.0105 |
| 25 | 95.58 | 68 | 0.0154 |
| 26 | 97.75 | 72 | 0.0234 |
| 27 | 99.07 | 76 | 0.0390 |
| 28 | 105.79 | 80 | 0.0284 |
| 29 | 109.65 | 84 | 0.0316 |
| 30 | 113.61 | 88 | 0.0345 |
| 31 | 119.22 | 92 | 0.0297 |
| 32 | 121.03 | 96 | 0.0430 |
| 33 | 122.17 | 100 | 0.0654 |
| 34 | 122.67 | 104 | 0.1020 |
| 35 | 124.23 | 108 | 0.1360 |
| 36 | 125.73 | 112 | 0.1771 |
| 37 | 136.23 | 116 | 0.0966 |
| 38 | 138.63 | 120 | 0.1174 |

Lampiran I. Output VAR([1,5,8]) Karakteristik Kualitas Air Limbah PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk (Lanjutan)

| Univariate Model Diagnostic Checks | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------|----------|---------|--------|--|--|--|--|
| Variable | R-square | StdDev | F Value | Prob>F | | | | |
| TDS | 0.7875 | 121.4004 | 262.45 | <.0001 | | | | |
| PH | 0.4798 | 0.7319 | 65.31 | <.0001 | | | | |

| Univariate Model Diagnostic Checks | | | | | |
|------------------------------------|-----------|---------|--------|---------|--------|
| Variable | Normality | Prob> | ARCH1 | F Value | Prob>F |
| | DW(1) | ChiSq | ChiSq | | |
| TDS | 1.87 | 1414.71 | <.0001 | 0.07 | 0.7867 |
| PH | 1.94 | 19.78 | <.0001 | 0.26 | 0.6136 |

| Univariate Model Diagnostic Checks | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| Variable | AR1 | | AR1-2 | | AR1-3 | | AR1-4 | |
| | F Value | Prob>F | F Value | Prob>F | F Value | Prob>F | F Value | Prob>F |
| TDS | 1.45 | 0.2301 | 0.89 | 0.4105 | 0.63 | 0.5945 | 0.61 | 0.6564 |
| PH | 0.24 | 0.6231 | 0.82 | 0.4424 | 0.57 | 0.6329 | 0.69 | 0.6020 |

| Roots of AR Characteristic Polynomial | | | | | |
|---------------------------------------|----------|-----------|---------|-----------|----------|
| Index | Real | Imaginary | Modulus | ATAN(I/R) | Degree |
| 1 | 0.99841 | 0 | 0.9984 | 0 | 0 |
| 2 | 0.88489 | 0 | 0.8849 | 0 | 0 |
| 3 | 0.55122 | 0.15990 | 0.5739 | 0.2823 | 16.1768 |
| 4 | 0.55122 | -0.15990 | 0.5739 | -0.2823 | -16.1768 |
| 5 | 0.45462 | 0.55383 | 0.7165 | 0.8835 | 50.6183 |
| 6 | 0.45462 | -0.55383 | 0.7165 | -0.8835 | -50.6183 |
| 7 | 0.25800 | 0.63195 | 0.6826 | 1.1832 | 67.7917 |
| 8 | 0.25800 | -0.63195 | 0.6826 | -1.1832 | -67.7917 |
| 9 | -0.06278 | 0.53171 | 0.5354 | 1.6883 | 96.7334 |
| 10 | -0.06278 | -0.53171 | 0.5354 | -1.6883 | -96.7334 |

| Forecasts | | | | |
|-----------|-----|-------------------|----------------------|---------------|
| Variable | Obs | Standard Forecast | 95% Confidence Error | Limits |
| TDS | 369 | 1099.2 | 121.4 | 861.3 1337.2 |
| PH | 369 | 5.6515 | 0.7319 | 4.2169 7.0861 |

**Lampiran J. Residual Pemodelan Karakteristik Kualitas Limbah
Air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk**

| Subgroup | TDS[1,5,8] | PH[1,5,8] |
|----------|------------|-----------|
| 1 | * | * |
| 2 | * | * |
| 3 | * | * |
| 4 | * | * |
| 5 | * | * |
| 6 | * | * |
| 7 | * | * |
| 8 | * | * |
| 9 | -12,3939 | 0,520808 |
| 10 | -23,5293 | -0,23764 |
| 11 | -26,8173 | 0,576686 |
| 12 | -22,1875 | -0,27969 |
| 13 | -8,74709 | 0,558605 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |
| 355 | -126,163 | -0,38086 |
| 356 | -39,4844 | 0,628247 |
| 357 | 2,9283 | 0,339302 |
| 358 | -189,434 | -1,69652 |
| 359 | -27,1503 | 1,282084 |
| 360 | -13,694 | 0,673127 |

Lampiran K. Pengujian Distribusi Normal Multivariat dengan Uji Shapiro-Wilk menggunakan *Software R*

```
> mshapiro.test(data)

      Shapiro-wilk normality test

data:  Z
W = 0.83263, p-value < 2.2e-16
```

Lampiran L. Pengujian Dependensi Karakteristik Kualitas**Lampiran L1.** Output Uji Dependensi Data Karakteristik Kualitas
Limbah Air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk**KMO and Bartlett's Test**

| | | |
|--|------|--------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. | | ,500 |
| Approx. Chi-Square | | 12,749 |
| Bartlett's Test of Sphericity | df | 1 |
| | Sig. | ,000 |

Lampiran L2. Output Uji Dependensi Residual Karakteristik
Kualitas Limbah Air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk**KMO and Bartlett's Test**

| | | |
|--|------|-------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. | | ,500 |
| Approx. Chi-Square | | 1,370 |
| Bartlett's Test of Sphericity | df | 1 |
| | Sig. | ,242 |

Lampiran M. Hasil Simulasi Batas Kontrol Grafik Kendali M_2Z^2

| | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| UCL | 261 | 257 | 253 | 250,5 | 242,01 | 238,5 | 238,48 | 238,52 |
| ARL | 551,87 | 497,27 | 488,47 | 436,07 | 373,12 | 372,15 | 375,86 | 370,87 |
| LAMDA | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 |
| RUN KE | RL KE- | | | | | | | |
| 1 | 996 | 437 | 853 | 263 | 489 | 661 | 92 | 124 |
| 2 | 419 | 103 | 799 | 25 | 143 | 383 | 1000 | 189 |
| 3 | 816 | 117 | 450 | 46 | 459 | 6 | 390 | 166 |
| 4 | 262 | 399 | 201 | 562 | 507 | 259 | 390 | 934 |
| 5 | 1000 | 459 | 819 | 353 | 63 | 159 | 1000 | 191 |
| 6 | 275 | 354 | 1000 | 11 | 699 | 208 | 45 | 206 |
| 7 | 1000 | 1000 | 539 | 162 | 412 | 172 | 139 | 252 |
| 8 | 776 | 50 | 963 | 213 | 510 | 864 | 62 | 204 |
| 9 | 1000 | 737 | 251 | 426 | 231 | 528 | 110 | 423 |
| 10 | 1000 | 720 | 571 | 69 | 16 | 814 | 125 | 98 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 93 | 970 | 501 | 422 | 375 | 107 | 209 | 63 | 166 |
| 94 | 326 | 1000 | 175 | 81 | 444 | 469 | 166 | 107 |
| 95 | 34 | 241 | 658 | 808 | 136 | 143 | 350 | 166 |
| 96 | 182 | 1000 | 240 | 127 | 22 | 286 | 165 | 1000 |
| 97 | 321 | 244 | 251 | 5 | 50 | 370 | 160 | 1000 |
| 98 | 118 | 47 | 995 | 416 | 142 | 103 | 584 | 38 |
| 99 | 26 | 468 | 349 | 662 | 1000 | 231 | 410 | 584 |
| 100 | 22 | 112 | 331 | 71 | 86 | 55 | 195 | 21 |

Lampiran N. Hasil Simulasi Batas Kontrol Grafik Kendali MZ

| | | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| UCL | 5 | 7 | 9 | 15 | 12 | 11 | 10 | 10,5 | 10,35 |
| ARL | 36,9 | 92,86 | 223,8 | 803,1 | 556,27 | 403,68 | 324,73 | 401,03 | 370,98 |
| LAMDA | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 | 0,1199 |
| RUN KE | RL KE- | | | | | | | | |
| 1 | 51 | 149 | 328 | 1000 | 328 | 1000 | 31 | 254 | 459 |
| 2 | 17 | 58 | 549 | 1000 | 1000 | 163 | 113 | 283 | 138 |
| 3 | 11 | 64 | 252 | 1000 | 158 | 83 | 1000 | 113 | 77 |
| 4 | 5 | 144 | 284 | 719 | 966 | 91 | 233 | 540 | 305 |
| 5 | 63 | 74 | 395 | 1000 | 737 | 306 | 219 | 231 | 233 |
| 6 | 26 | 69 | 478 | 1000 | 1000 | 700 | 90 | 310 | 335 |
| 7 | 14 | 146 | 479 | 160 | 283 | 609 | 454 | 323 | 16 |
| 8 | 75 | 36 | 638 | 553 | 899 | 90 | 124 | 643 | 17 |
| 9 | 5 | 31 | 144 | 1000 | 782 | 277 | 145 | 870 | 231 |
| 10 | 40 | 57 | 15 | 1000 | 39 | 19 | 95 | 412 | 12 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 94 | 18 | 164 | 96 | 177 | 152 | 475 | 319 | 54 | 1000 |
| 95 | 41 | 119 | 12 | 1000 | 742 | 105 | 99 | 276 | 628 |
| 96 | 32 | 312 | 158 | 354 | 1000 | 82 | 767 | 1000 | 18 |
| 97 | 6 | 45 | 7 | 1000 | 1000 | 396 | 1000 | 24 | 799 |
| 98 | 63 | 103 | 771 | 1000 | 1000 | 162 | 30 | 393 | 336 |
| 99 | 42 | 133 | 21 | 1000 | 1000 | 610 | 84 | 275 | 1000 |
| 100 | 34 | 198 | 57 | 1000 | 214 | 977 | 54 | 7 | 1 |

Lampiran O. Hasil Perhitungan Grafik kendali M_2Z^2 dan MZ Fase I yang Telah Terkendali

| NO | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | $M_2Z^2_i$ | UCL M2i | M2i Yang Keluar |
|----|-----------|--------|----------------|------------|---------|-----------------|
| 1 | 0,1061313 | 10,35 | 0 | 12,885018 | 238,523 | 0 |
| 2 | 0,0213731 | 10,35 | 0 | 10,248832 | 238,523 | 0 |
| 3 | 0,2281398 | 10,35 | 0 | 8,8395007 | 238,523 | 0 |
| 4 | 0,0884968 | 10,35 | 0 | 7,1379559 | 238,523 | 0 |
| 5 | 0,3022831 | 10,35 | 0 | 6,2272563 | 238,523 | 0 |
| 6 | 0,3279042 | 10,35 | 0 | 4,8801785 | 238,523 | 0 |
| 7 | 0,3911767 | 10,35 | 0 | 3,8542772 | 238,523 | 0 |
| 8 | 0,4098285 | 10,35 | 0 | 3,0201626 | 238,523 | 0 |
| 9 | 0,5072603 | 10,35 | 0 | 2,4405848 | 238,523 | 0 |
| 10 | 0,5174915 | 10,35 | 0 | 1,9198595 | 238,523 | 0 |
| 11 | 0,271498 | 10,35 | 0 | 6,2009129 | 238,523 | 0 |
| 12 | 0,1793114 | 10,35 | 0 | 4,8066409 | 238,523 | 0 |
| 13 | 0,0854676 | 10,35 | 0 | 3,7731326 | 238,523 | 0 |
| 14 | 0,5948555 | 10,35 | 0 | 4,6650579 | 238,523 | 0 |
| 15 | 0,4264516 | 10,35 | 0 | 3,6158313 | 238,523 | 0 |
| 16 | 0,5981943 | 10,35 | 0 | 3,0329626 | 238,523 | 0 |
| 17 | 0,0881761 | 10,35 | 0 | 8,2768287 | 238,523 | 0 |
| 18 | 0,1817351 | 10,35 | 0 | 6,613239 | 238,523 | 0 |
| 19 | 0,7280317 | 10,35 | 0 | 6,2874822 | 238,523 | 0 |
| 20 | 0,9240015 | 10,35 | 0 | 5,9536506 | 238,523 | 0 |
| 21 | 0,7475096 | 10,35 | 0 | 4,657892 | 238,523 | 0 |
| 22 | 0,5962331 | 10,35 | 0 | 14,739169 | 238,523 | 0 |
| 23 | 0,2829507 | 10,35 | 0 | 11,611627 | 238,523 | 0 |
| 24 | 0,9591293 | 10,35 | 0 | 11,034591 | 238,523 | 0 |

| NO | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | M ₂ Z _i | UCL M2i | M2i Yang Keluar |
|----|-----------|--------|-------------------|-------------------------------|---------|--------------------|
| 25 | 1,7992582 | 10,35 | 0 | 10,803784 | 238,523 | 0 |
| 26 | 1,769244 | 10,35 | 0 | 8,5144321 | 238,523 | 0 |
| 27 | 1,1045817 | 10,35 | 0 | 6,7841525 | 238,523 | 0 |
| 28 | 0,7957964 | 10,35 | 0 | 5,9707708 | 238,523 | 0 |
| 29 | 0,1118906 | 10,35 | 0 | 6,0856197 | 238,523 | 0 |
| 30 | 0,3243251 | 10,35 | 0 | 8,828784 | 238,523 | 0 |
| 31 | 0,5586472 | 10,35 | 0 | 7,1250554 | 238,523 | 0 |
| 32 | 0,854267 | 10,35 | 0 | 7,2713248 | 238,523 | 0 |
| 33 | 0,5017189 | 10,35 | 0 | 5,8752797 | 238,523 | 0 |
| 34 | 0,5234203 | 10,35 | 0 | 4,6230747 | 238,523 | 0 |
| 35 | 0,4580835 | 10,35 | 0 | 3,6366912 | 238,523 | 0 |
| 36 | 0,1800974 | 10,35 | 0 | 3,086003 | 238,523 | 0 |
| 37 | 0,120661 | 10,35 | 0 | 2,4204158 | 238,523 | 0 |
| 38 | 0,0645756 | 10,35 | 0 | 1,8801667 | 238,523 | 0 |
| 39 | 0,0670624 | 10,35 | 0 | 1,4617697 | 238,523 | 0 |
| 40 | 1,172122 | 10,35 | 0 | 4,4508901 | 238,523 | 0 |
| 41 | 0,4441174 | 10,35 | 0 | 4,262671 | 238,523 | 0 |
| 42 | 0,2986218 | 10,35 | 0 | 3,351822 | 238,523 | 0 |
| 43 | 0,2027277 | 10,35 | 0 | 2,8159756 | 238,523 | 0 |
| 44 | 0,2587727 | 10,35 | 0 | 2,1979086 | 238,523 | 0 |
| 45 | 0,3260284 | 10,35 | 0 | 1,7611686 | 238,523 | 0 |
| 46 | 0,2118624 | 10,35 | 0 | 1,3684023 | 238,523 | 0 |
| 47 | 0,2289109 | 10,35 | 0 | 1,0656596 | 238,523 | 0 |
| 48 | 0,1915287 | 10,35 | 0 | 1,5283753 | 238,523 | 0 |
| 49 | 0,7006001 | 10,35 | 0 | 2,2823011 | 238,523 | 0 |
| 50 | 0,8851732 | 10,35 | 0 | 2,2931568 | 238,523 | 0 |

| NO | MZ _i | UCL M _i | M _i Yang Keluar | M ₂ Z _{2i} | UCL M _{2i} | M _{2i} Yang Keluar |
|----|-----------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 51 | 0,7622304 | 10,35 | 0 | 1,7849956 | 238,523 | 0 |
| 52 | 0,5034376 | 10,35 | 0 | 1,3936047 | 238,523 | 0 |
| 53 | 1,2788172 | 10,35 | 0 | 1,8994724 | 238,523 | 0 |
| 54 | 1,7019006 | 10,35 | 0 | 1,8075278 | 238,523 | 0 |
| 55 | 0,726286 | 10,35 | 0 | 1,6802195 | 238,523 | 0 |
| 56 | 1,4216585 | 10,35 | 0 | 2,0409307 | 238,523 | 0 |
| 57 | 0,1373495 | 10,35 | 0 | 3,9749869 | 238,523 | 0 |
| 58 | 0,1203016 | 10,35 | 0 | 3,9989132 | 238,523 | 0 |
| 59 | 0,2286402 | 10,35 | 0 | 3,1321947 | 238,523 | 0 |
| 60 | 0,3839904 | 10,35 | 0 | 3,2164706 | 238,523 | 0 |
| 61 | 0,4991132 | 10,35 | 0 | 2,5217462 | 238,523 | 0 |
| 62 | 0,4293583 | 10,35 | 0 | 2,002135 | 238,523 | 0 |
| 63 | 0,2907362 | 10,35 | 0 | 2,2461588 | 238,523 | 0 |
| 64 | 0,5671431 | 10,35 | 0 | 2,3494923 | 238,523 | 0 |
| 65 | 1,6874437 | 10,35 | 0 | 3,2618831 | 238,523 | 0 |
| 66 | 0,1726828 | 10,35 | 0 | 16,113425 | 238,523 | 0 |
| 67 | 0,3174434 | 10,35 | 0 | 20,043785 | 238,523 | 0 |
| 68 | 0,6935655 | 10,35 | 0 | 16,966388 | 238,523 | 0 |
| 69 | 2,6917364 | 10,35 | 0 | 48,040426 | 238,523 | 0 |
| 70 | 2,6999273 | 10,35 | 0 | 38,55597 | 238,523 | 0 |
| 71 | 2,008779 | 10,35 | 0 | 30,212599 | 238,523 | 0 |
| 72 | 2,3930686 | 10,35 | 0 | 25,064161 | 238,523 | 0 |
| 73 | 3,3875007 | 10,35 | 0 | 24,017724 | 238,523 | 0 |
| 74 | 1,9344983 | 10,35 | 0 | 18,99488 | 238,523 | 0 |
| 75 | 1,3438127 | 10,35 | 0 | 14,826532 | 238,523 | 0 |
| 76 | 1,9641175 | 10,35 | 0 | 13,073262 | 238,523 | 0 |

| NO | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | M ₂ Z _i | UCL M ₂ i | M ₂ i Yang Keluar |
|-----|-----------|--------|-------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 77 | 1,3025064 | 10,35 | 0 | 10,2671125 | 238,523 | 0 |
| 78 | 1,0546549 | 10,35 | 0 | 8,4245493 | 238,523 | 0 |
| 79 | 0,3034896 | 10,35 | 0 | 7,5064088 | 238,523 | 0 |
| 80 | 0,6980369 | 10,35 | 0 | 6,6694491 | 238,523 | 0 |
| 81 | 1,2156366 | 10,35 | 0 | 6,1331687 | 238,523 | 0 |
| 82 | 1,0369932 | 10,35 | 0 | 4,857295 | 238,523 | 0 |
| 83 | 0,5055445 | 10,35 | 0 | 4,0067895 | 238,523 | 0 |
| 84 | 0,2001019 | 10,35 | 0 | 7,0394055 | 238,523 | 0 |
| 85 | 0,2433519 | 10,35 | 0 | 5,4931296 | 238,523 | 0 |
| 86 | 0,3299768 | 10,35 | 0 | 4,3262337 | 238,523 | 0 |
| 87 | 0,4774666 | 10,35 | 0 | 3,511911 | 238,523 | 0 |
| 88 | 0,5288421 | 10,35 | 0 | 2,9243787 | 238,523 | 0 |
| 89 | 0,7191678 | 10,35 | 0 | 2,4584296 | 238,523 | 0 |
| 90 | 1,0703242 | 10,35 | 0 | 2,93844 | 238,523 | 0 |
| 91 | 1,2778135 | 10,35 | 0 | 2,4014617 | 238,523 | 0 |
| 92 | 1,3663021 | 10,35 | 0 | 1,9434793 | 238,523 | 0 |
| 93 | 0,9527178 | 10,35 | 0 | 1,5409892 | 238,523 | 0 |
| 94 | 0,6338725 | 10,35 | 0 | 1,2907735 | 238,523 | 0 |
| 95 | 0,2617131 | 10,35 | 0 | 2,0731756 | 238,523 | 0 |
| 96 | 0,9550761 | 10,35 | 0 | 16,095661 | 238,523 | 0 |
| 97 | 2,54443 | 10,35 | 0 | 19,00839 | 238,523 | 0 |
| 98 | 3,6568981 | 10,35 | 0 | 151,08116 | 238,523 | 0 |
| 99 | 2,1949218 | 10,35 | 0 | 119,76339 | 238,523 | 0 |
| 100 | 1,2522214 | 10,35 | 0 | 104,133 | 238,523 | 0 |
| 101 | 3,3041892 | 10,35 | 0 | 92,217753 | 238,523 | 0 |
| 102 | 2,5897399 | 10,35 | 0 | 71,90216 | 238,523 | 0 |

| NO | MZ _i | UCL M _i | M _i Yang Keluar | M ₂ Z _{2i} | UCL M _{2i} | M _{2i} Yang Keluar |
|-----|-----------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 103 | 1,7759718 | 10,35 | 0 | 55,823497 | 238,523 | 0 |
| 104 | 2,5977784 | 10,35 | 0 | 65,268412 | 238,523 | 0 |
| 105 | 0,0824214 | 10,35 | 0 | 69,279505 | 238,523 | 0 |
| 106 | 0,7645017 | 10,35 | 0 | 62,403503 | 238,523 | 0 |
| 107 | 2,3324971 | 10,35 | 0 | 55,96214 | 238,523 | 0 |
| 108 | 2,0195851 | 10,35 | 0 | 43,515523 | 238,523 | 0 |
| 109 | 2,4945528 | 10,35 | 0 | 35,458758 | 238,523 | 0 |
| 110 | 1,3010731 | 10,35 | 0 | 28,27454 | 238,523 | 0 |
| 111 | 0,624849 | 10,35 | 0 | 24,081369 | 238,523 | 0 |
| 112 | 0,0281688 | 10,35 | 0 | 21,043243 | 238,523 | 0 |
| 113 | 1,0052979 | 10,35 | 0 | 27,281058 | 238,523 | 0 |
| 114 | 0,3648186 | 10,35 | 0 | 22,996095 | 238,523 | 0 |
| 115 | 0,0860027 | 10,35 | 0 | 23,544533 | 238,523 | 0 |
| 116 | 0,230484 | 10,35 | 0 | 20,691339 | 238,523 | 0 |
| 117 | 0,2913969 | 10,35 | 0 | 17,835771 | 238,523 | 0 |
| 118 | 1,6300569 | 10,35 | 0 | 19,18067 | 238,523 | 0 |
| 119 | 1,8792367 | 10,35 | 0 | 26,730231 | 238,523 | 0 |
| 120 | 3,2847284 | 10,35 | 0 | 34,970117 | 238,523 | 0 |
| 121 | 2,5615455 | 10,35 | 0 | 27,93287 | 238,523 | 0 |
| 122 | 2,2148227 | 10,35 | 0 | 30,48238 | 238,523 | 0 |
| 123 | 2,5315523 | 10,35 | 0 | 24,657161 | 238,523 | 0 |
| 124 | 0,3049818 | 10,35 | 0 | 28,997988 | 238,523 | 0 |
| 125 | 0,2535599 | 10,35 | 0 | 34,418076 | 238,523 | 0 |
| 126 | 0,6816181 | 10,35 | 0 | 29,210091 | 238,523 | 0 |
| 127 | 1,2009857 | 10,35 | 0 | 24,319675 | 238,523 | 0 |
| 128 | 0,5592135 | 10,35 | 0 | 19,386167 | 238,523 | 0 |

| NO | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | M ₂ Z ₂ i | UCL M2i | M2i Yang Keluar |
|-----|-----------|--------|----------------|---------------------------------|---------|-----------------|
| 129 | 0,9249932 | 10,35 | 0 | 15,946824 | 238,523 | 0 |
| 130 | 3,4221748 | 10,35 | 0 | 23,348676 | 238,523 | 0 |
| 131 | 2,3539771 | 10,35 | 0 | 18,719574 | 238,523 | 0 |
| 132 | 1,2064026 | 10,35 | 0 | 16,420502 | 238,523 | 0 |
| 133 | 1,9167211 | 10,35 | 0 | 14,21883 | 238,523 | 0 |
| 134 | 1,523125 | 10,35 | 0 | 11,036292 | 238,523 | 0 |
| 135 | 1,7438143 | 10,35 | 0 | 8,8918639 | 238,523 | 0 |
| 136 | 1,1202162 | 10,35 | 0 | 7,0747538 | 238,523 | 0 |
| 137 | 0,8548633 | 10,35 | 0 | 5,9534726 | 238,523 | 0 |
| 138 | 0,7605851 | 10,35 | 0 | 4,9598638 | 238,523 | 0 |
| 139 | 0,6282597 | 10,35 | 0 | 4,5519598 | 238,523 | 0 |
| 140 | 0,6347299 | 10,35 | 0 | 3,5603427 | 238,523 | 0 |
| 141 | 0,3152345 | 10,35 | 0 | 3,0715243 | 238,523 | 0 |
| 142 | 0,4212782 | 10,35 | 0 | 2,6176066 | 238,523 | 0 |
| 143 | 0,6045393 | 10,35 | 0 | 2,4500924 | 238,523 | 0 |
| 144 | 0,6079961 | 10,35 | 0 | 2,7602407 | 238,523 | 0 |
| 145 | 1,2934299 | 10,35 | 0 | 4,3092498 | 238,523 | 0 |
| 146 | 0,4506976 | 10,35 | 0 | 3,8231121 | 238,523 | 0 |
| 147 | 1,4387026 | 10,35 | 0 | 5,1278795 | 238,523 | 0 |
| 148 | 1,9782586 | 10,35 | 0 | 4,6122592 | 238,523 | 0 |
| 149 | 0,6541975 | 10,35 | 0 | 5,5031456 | 238,523 | 0 |
| 150 | 1,1339488 | 10,35 | 0 | 11,761312 | 238,523 | 0 |
| 151 | 1,4562859 | 10,35 | 0 | 10,441672 | 238,523 | 0 |
| 152 | 0,3644947 | 10,35 | 0 | 9,4909858 | 238,523 | 0 |
| 153 | 0,0924043 | 10,35 | 0 | 12,79836 | 238,523 | 0 |
| 154 | 0,0536595 | 10,35 | 0 | 10,947547 | 238,523 | 0 |

| NO | MZ _i | UCL M _i | M _i Yang Keluar | M ₂ Z ₂ ⁱ | UCL M ₂ ⁱ | M ₂ ⁱ Yang Keluar |
|-----|-----------------|--------------------|----------------------------|--|---------------------------------|---|
| 155 | 0,483121 | 10,35 | 0 | 9,8290267 | 238,523 | 0 |
| 156 | 2,8595913 | 10,35 | 0 | 33,913904 | 238,523 | 0 |
| 157 | 2,9636189 | 10,35 | 0 | 28,283814 | 238,523 | 0 |
| 158 | 3,7175337 | 10,35 | 0 | 24,575859 | 238,523 | 0 |
| 159 | 6,0479418 | 10,35 | 0 | 35,204609 | 238,523 | 0 |
| 160 | 0,677296 | 10,35 | 0 | 39,557997 | 238,523 | 0 |
| 161 | 1,5969014 | 10,35 | 0 | 35,353869 | 238,523 | 0 |
| 162 | 0,6317641 | 10,35 | 0 | 29,024664 | 238,523 | 0 |
| 163 | 0,2526597 | 10,35 | 0 | 26,35908 | 238,523 | 0 |
| 164 | 0,3615652 | 10,35 | 0 | 27,832089 | 238,523 | 0 |
| 165 | 0,0243215 | 10,35 | 0 | 23,610558 | 238,523 | 0 |
| 166 | 1,1737219 | 10,35 | 0 | 29,783966 | 238,523 | 0 |
| 167 | 3,8873421 | 10,35 | 0 | 44,265091 | 238,523 | 0 |
| 168 | 3,1521742 | 10,35 | 0 | 34,445189 | 238,523 | 0 |
| 169 | 4,1444539 | 10,35 | 0 | 78,644469 | 238,523 | 0 |
| 170 | 1,9023297 | 10,35 | 0 | 64,544412 | 238,523 | 0 |
| 171 | 1,0989495 | 10,35 | 0 | 91,586414 | 238,523 | 0 |
| 172 | 0,6815151 | 10,35 | 0 | 71,164005 | 238,523 | 0 |
| 173 | 0,2063369 | 10,35 | 0 | 56,660678 | 238,523 | 0 |
| 174 | 0,0327802 | 10,35 | 0 | 49,473382 | 238,523 | 0 |
| 175 | 0,0782394 | 10,35 | 0 | 38,535152 | 238,523 | 0 |
| 176 | 0,1163321 | 10,35 | 0 | 30,237745 | 238,523 | 0 |
| 177 | 0,1488521 | 10,35 | 0 | 25,752083 | 238,523 | 0 |

Lampiran P. Grafik kendali M_2Z^2 dan MZ Fase II

| No | MZ _i | UCL M _i | M _i Yang Keluar | M ₂ Z ² _i | UCL M ₂ i | M ₂ i Yang Keluar |
|----|-----------------|--------------------|----------------------------|--|----------------------|------------------------------|
| 1 | 0,5107894 | 10,35 | 0 | 16,431583 | 238,523 | 0 |
| 2 | 0,7162551 | 10,35 | 0 | 13,203407 | 238,523 | 0 |
| 3 | 0,2799992 | 10,35 | 0 | 10,724267 | 238,523 | 0 |
| 4 | 0,3435979 | 10,35 | 0 | 8,4164148 | 238,523 | 0 |
| 5 | 0,2871554 | 10,35 | 0 | 6,975804 | 238,523 | 0 |
| 6 | 0,057274 | 10,35 | 0 | 6,0573952 | 238,523 | 0 |
| 7 | 0,058814 | 10,35 | 0 | 4,8801944 | 238,523 | 0 |
| 8 | 0,2500998 | 10,35 | 0 | 4,1880418 | 238,523 | 0 |
| 9 | 0,6364109 | 10,35 | 0 | 3,8393976 | 238,523 | 0 |
| 10 | 0,3724473 | 10,35 | 0 | 3,010933 | 238,523 | 0 |
| 11 | 0,4728246 | 10,35 | 0 | 3,215562 | 238,523 | 0 |
| 12 | 1,1272235 | 10,35 | 0 | 3,1885066 | 238,523 | 0 |
| 13 | 0,7879263 | 10,35 | 0 | 3,017825 | 238,523 | 0 |
| 14 | 1,2440284 | 10,35 | 0 | 2,8459807 | 238,523 | 0 |
| 15 | 1,1466909 | 10,35 | 0 | 2,5478138 | 238,523 | 0 |
| 16 | 1,3740926 | 10,35 | 0 | 2,5864606 | 238,523 | 0 |
| 17 | 0,7452041 | 10,35 | 0 | 2,1039561 | 238,523 | 0 |
| 18 | 1,2528022 | 10,35 | 0 | 2,2428873 | 238,523 | 0 |
| 19 | 2,102367 | 10,35 | 0 | 2,9197818 | 238,523 | 0 |
| 20 | 1,929957 | 10,35 | 0 | 20,653776 | 238,523 | 0 |
| 21 | 0,9634573 | 10,35 | 0 | 17,187544 | 238,523 | 0 |
| 22 | 1,1602263 | 10,35 | 0 | 14,966986 | 238,523 | 0 |
| 23 | 2,4896892 | 10,35 | 0 | 15,369826 | 238,523 | 0 |
| 24 | 2,9285306 | 10,35 | 0 | 12,749261 | 238,523 | 0 |

| No | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | M ₂ Z ₂ i | UCL M ₂ i | M ₂ i Yang Keluar |
|----|-----------|--------|----------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 25 | 3,0539391 | 10,35 | 0 | 10,296739 | 238,523 | 0 |
| 26 | 2,6761053 | 10,35 | 0 | 13,159667 | 238,523 | 0 |
| 27 | 5,2554973 | 10,35 | 0 | 43,712921 | 238,523 | 0 |
| 28 | 4,3595889 | 10,35 | 0 | 33,941318 | 238,523 | 0 |
| 29 | 3,8932602 | 10,35 | 0 | 26,548279 | 238,523 | 0 |
| 30 | 1,6023026 | 10,35 | 0 | 23,219131 | 238,523 | 0 |
| 31 | 1,9776745 | 10,35 | 0 | 19,936593 | 238,523 | 0 |
| 32 | 2,8453468 | 10,35 | 0 | 18,136156 | 238,523 | 0 |
| 33 | 1,9187737 | 10,35 | 0 | 14,278965 | 238,523 | 0 |
| 34 | 2,8012311 | 10,35 | 0 | 12,903501 | 238,523 | 0 |
| 35 | 4,0239744 | 10,35 | 0 | 12,617254 | 238,523 | 0 |
| 36 | 4,9026756 | 10,35 | 0 | 11,474935 | 238,523 | 0 |
| 37 | 3,9942892 | 10,35 | 0 | 8,9119616 | 238,523 | 0 |
| 38 | 2,1122305 | 10,35 | 0 | 7,5006725 | 238,523 | 0 |
| 39 | 0,9039418 | 10,35 | 0 | 6,5266596 | 238,523 | 0 |
| 40 | 1,289718 | 10,35 | 0 | 5,6122388 | 238,523 | 0 |
| 41 | 1,7752726 | 10,35 | 0 | 5,0000873 | 238,523 | 0 |
| 42 | 1,0356582 | 10,35 | 0 | 4,0654359 | 238,523 | 0 |
| 43 | 0,3569092 | 10,35 | 0 | 4,2315653 | 238,523 | 0 |
| 44 | 1,2592317 | 10,35 | 0 | 8,0109621 | 238,523 | 0 |
| 45 | 1,3995977 | 10,35 | 0 | 6,4951778 | 238,523 | 0 |
| 46 | 8,4743975 | 10,35 | 0 | 40,26468 | 238,523 | 0 |
| 47 | 8,9560226 | 10,35 | 0 | 34,293339 | 238,523 | 0 |
| 48 | 7,4324728 | 10,35 | 0 | 28,188717 | 238,523 | 0 |
| 49 | 3,9781632 | 10,35 | 0 | 23,984605 | 238,523 | 0 |
| 50 | 2,643571 | 10,35 | 0 | 18,74917 | 238,523 | 0 |

| No | MZ _i | UCL M _i | M _i Yang Keluar | M ₂ Z _{2i} | UCL M _{2i} | M _{2i} Yang Keluar |
|----|-----------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 51 | 0,9746129 | 10,35 | 0 | 16,484328 | 238,523 | 0 |
| 52 | 1,230331 | 10,35 | 0 | 13,557911 | 238,523 | 0 |
| 53 | 1,5822521 | 10,35 | 0 | 14,051823 | 238,523 | 0 |
| 54 | 3,1969597 | 10,35 | 0 | 14,021354 | 238,523 | 0 |
| 55 | 2,2348038 | 10,35 | 0 | 12,496825 | 238,523 | 0 |
| 56 | 2,0092767 | 10,35 | 0 | 10,58907 | 238,523 | 0 |
| 57 | 0,9704227 | 10,35 | 0 | 8,5954032 | 238,523 | 0 |
| 58 | 1,0445089 | 10,35 | 0 | 6,8445032 | 238,523 | 0 |
| 59 | 1,0360357 | 10,35 | 0 | 5,8414355 | 238,523 | 0 |
| 60 | 0,7100064 | 10,35 | 0 | 4,7696062 | 238,523 | 0 |
| 61 | 0,3612097 | 10,35 | 0 | 3,906259 | 238,523 | 0 |
| 62 | 0,072875 | 10,35 | 0 | 4,5525406 | 238,523 | 0 |
| 63 | 0,3385235 | 10,35 | 0 | 4,0310569 | 238,523 | 0 |
| 64 | 0,1127641 | 10,35 | 0 | 4,6155327 | 238,523 | 0 |
| 65 | 0,0463379 | 10,35 | 0 | 3,5986019 | 238,523 | 0 |
| 66 | 0,7822891 | 10,35 | 0 | 5,9705951 | 238,523 | 0 |
| 67 | 0,9003115 | 10,35 | 0 | 5,4812377 | 238,523 | 0 |
| 68 | 0,5832361 | 10,35 | 0 | 8,4728248 | 238,523 | 0 |
| 69 | 0,253917 | 10,35 | 0 | 6,8110369 | 238,523 | 0 |
| 70 | 0,6664867 | 10,35 | 0 | 9,5816124 | 238,523 | 0 |
| 71 | 2,4202965 | 10,35 | 0 | 13,575457 | 238,523 | 0 |
| 72 | 2,1297666 | 10,35 | 0 | 10,699877 | 238,523 | 0 |
| 73 | 1,1082087 | 10,35 | 0 | 8,8417291 | 238,523 | 0 |
| 74 | 0,8468616 | 10,35 | 0 | 41,602899 | 238,523 | 0 |
| 75 | 0,8231658 | 10,35 | 0 | 34,134437 | 238,523 | 0 |
| 76 | 0,9895907 | 10,35 | 0 | 30,981286 | 238,523 | 0 |

| No | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | M ₂ Z ² i | UCL M2i | M2i Yang Keluar |
|-----|-----------|--------|----------------|---------------------------------|---------|-----------------|
| 77 | 1,1493848 | 10,35 | 0 | 26,00859 | 238,523 | 0 |
| 78 | 0,7396369 | 10,35 | 0 | 20,2441 | 238,523 | 0 |
| 79 | 1,5962666 | 10,35 | 0 | 17,608218 | 238,523 | 0 |
| 80 | 0,505943 | 10,35 | 0 | 15,431194 | 238,523 | 0 |
| 81 | 0,0838059 | 10,35 | 0 | 13,073888 | 238,523 | 0 |
| 82 | 0,6628494 | 10,35 | 0 | 15,02839 | 238,523 | 0 |
| 83 | 0,7918091 | 10,35 | 0 | 13,112798 | 238,523 | 0 |
| 84 | 0,7333737 | 10,35 | 0 | 10,575373 | 238,523 | 0 |
| 85 | 0,162754 | 10,35 | 0 | 9,8273446 | 238,523 | 0 |
| 86 | 0,2301964 | 10,35 | 0 | 10,308639 | 238,523 | 0 |
| 87 | 0,8203738 | 10,35 | 0 | 25,357344 | 238,523 | 0 |
| 88 | 0,3853837 | 10,35 | 0 | 20,064515 | 238,523 | 0 |
| 89 | 0,1313444 | 10,35 | 0 | 16,269869 | 238,523 | 0 |
| 90 | 0,415194 | 10,35 | 0 | 20,31987 | 238,523 | 0 |
| 91 | 10,793472 | 10,35 | 1 | 186,41688 | 238,523 | 0 |
| 92 | 10,573733 | 10,35 | 1 | 150,79776 | 238,523 | 0 |
| 93 | 3,9991811 | 10,35 | 0 | 156,89877 | 238,523 | 0 |
| 94 | 3,3815674 | 10,35 | 0 | 121,84251 | 238,523 | 0 |
| 95 | 0,9285872 | 10,35 | 0 | 107,36809 | 238,523 | 0 |
| 96 | 0,382026 | 10,35 | 0 | 84,488896 | 238,523 | 0 |
| 97 | 0,419976 | 10,35 | 0 | 65,831547 | 238,523 | 0 |
| 98 | 0,2593678 | 10,35 | 0 | 52,141694 | 238,523 | 0 |
| 99 | 0,9117241 | 10,35 | 0 | 50,361018 | 238,523 | 0 |
| 100 | 10,018695 | 10,35 | 0 | 167,80649 | 238,523 | 0 |
| 101 | 8,0645634 | 10,35 | 0 | 130,18959 | 238,523 | 0 |
| 102 | 7,3861181 | 10,35 | 0 | 102,35366 | 238,523 | 0 |

| No | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | M ₂ Z ₂ i | UCL M ₂ i | M ₂ i Yang Keluar |
|-----|-----------|--------|----------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 103 | 5,3176254 | 10,35 | 0 | 85,495258 | 238,523 | 0 |
| 104 | 4,3143585 | 10,35 | 0 | 68,01684 | 238,523 | 0 |
| 105 | 2,3927223 | 10,35 | 0 | 55,462603 | 238,523 | 0 |
| 106 | 0,983478 | 10,35 | 0 | 44,695817 | 238,523 | 0 |
| 107 | 0,0931242 | 10,35 | 0 | 38,049936 | 238,523 | 0 |
| 108 | 0,0893652 | 10,35 | 0 | 31,994036 | 238,523 | 0 |
| 109 | 0,0156837 | 10,35 | 0 | 25,385145 | 238,523 | 0 |
| 110 | 0,4029233 | 10,35 | 0 | 21,944281 | 238,523 | 0 |
| 111 | 0,0839603 | 10,35 | 0 | 19,9288 | 238,523 | 0 |
| 112 | 1,6194721 | 10,35 | 0 | 26,701801 | 238,523 | 0 |
| 113 | 0,6218659 | 10,35 | 0 | 22,21198 | 238,523 | 0 |
| 114 | 0,9103812 | 10,35 | 0 | 18,26709 | 238,523 | 0 |
| 115 | 0,5576559 | 10,35 | 0 | 14,537895 | 238,523 | 0 |
| 116 | 0,5720752 | 10,35 | 0 | 13,14331 | 238,523 | 0 |
| 117 | 0,1955143 | 10,35 | 0 | 10,58229 | 238,523 | 0 |
| 118 | 0,1423602 | 10,35 | 0 | 8,3119414 | 238,523 | 0 |
| 119 | 0,2865642 | 10,35 | 0 | 6,8607567 | 238,523 | 0 |
| 120 | 0,2816878 | 10,35 | 0 | 6,6384665 | 238,523 | 0 |
| 121 | 0,6652122 | 10,35 | 0 | 6,7991827 | 238,523 | 0 |
| 122 | 0,3461623 | 10,35 | 0 | 6,8781524 | 238,523 | 0 |
| 123 | 1,0148429 | 10,35 | 0 | 6,6507456 | 238,523 | 0 |
| 124 | 3,2154706 | 10,35 | 0 | 10,32838 | 238,523 | 0 |
| 125 | 6,7913442 | 10,35 | 0 | 16,933737 | 238,523 | 0 |
| 126 | 7,2511077 | 10,35 | 0 | 15,147744 | 238,523 | 0 |
| 127 | 7,7262989 | 10,35 | 0 | 13,454419 | 238,523 | 0 |
| 128 | 2,8295984 | 10,35 | 0 | 23,803316 | 238,523 | 0 |

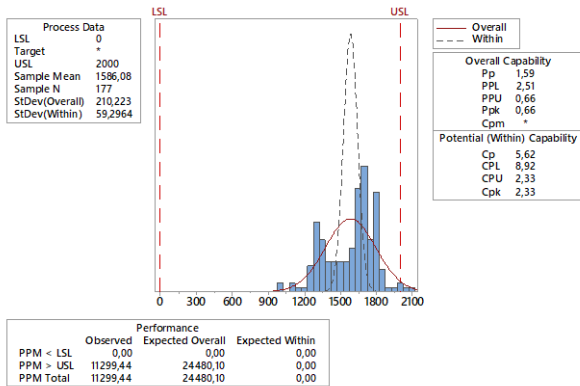
| No | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | M ₂ Z ₂ i | UCL M2i | M2i Yang Keluar |
|-----|-----------|--------|----------------|---------------------------------|---------|-----------------|
| 129 | 2,4850519 | 10,35 | 0 | 21,447778 | 238,523 | 0 |
| 130 | 4,4642276 | 10,35 | 0 | 21,909048 | 238,523 | 0 |
| 131 | 4,6442515 | 10,35 | 0 | 17,942263 | 238,523 | 0 |
| 132 | 3,4263311 | 10,35 | 0 | 15,036776 | 238,523 | 0 |
| 133 | 2,9461603 | 10,35 | 0 | 16,292635 | 238,523 | 0 |
| 134 | 5,1549877 | 10,35 | 0 | 18,799524 | 238,523 | 0 |
| 135 | 4,5591114 | 10,35 | 0 | 14,740522 | 238,523 | 0 |
| 136 | 4,8925437 | 10,35 | 0 | 12,557235 | 238,523 | 0 |
| 137 | 7,035786 | 10,35 | 0 | 46,964254 | 238,523 | 0 |
| 138 | 3,8129635 | 10,35 | 0 | 49,898309 | 238,523 | 0 |
| 139 | 3,6847294 | 10,35 | 0 | 39,198572 | 238,523 | 0 |
| 140 | 1,2579485 | 10,35 | 0 | 34,080501 | 238,523 | 0 |
| 141 | 1,8140116 | 10,35 | 0 | 27,820146 | 238,523 | 0 |
| 142 | 2,9372392 | 10,35 | 0 | 27,489636 | 238,523 | 0 |
| 143 | 2,5838545 | 10,35 | 0 | 23,868441 | 238,523 | 0 |
| 144 | 0,723275 | 10,35 | 0 | 22,300378 | 238,523 | 0 |
| 145 | 1,0361548 | 10,35 | 0 | 19,601554 | 238,523 | 0 |
| 146 | 0,0736863 | 10,35 | 0 | 18,100047 | 238,523 | 0 |
| 147 | 0,1485434 | 10,35 | 0 | 14,247194 | 238,523 | 0 |
| 148 | 0,2854627 | 10,35 | 0 | 11,413333 | 238,523 | 0 |
| 149 | 0,6699928 | 10,35 | 0 | 9,6354224 | 238,523 | 0 |
| 150 | 0,4676717 | 10,35 | 0 | 7,8780309 | 238,523 | 0 |
| 151 | 0,9347061 | 10,35 | 0 | 7,145371 | 238,523 | 0 |
| 152 | 0,6703509 | 10,35 | 0 | 5,6351692 | 238,523 | 0 |
| 153 | 0,3708608 | 10,35 | 0 | 5,4466234 | 238,523 | 0 |
| 154 | 0,3693754 | 10,35 | 0 | 5,2024973 | 238,523 | 0 |
| 155 | 0,2053392 | 10,35 | 0 | 8,6754945 | 238,523 | 0 |

| No | MZi | UCL Mi | Mi Yang Keluar | M ₂ Z ₂ i | UCL M ₂ i | M ₂ i Yang Keluar |
|-----|-----------|--------|----------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 156 | 0,1163657 | 10,35 | 0 | 6,9981243 | 238,523 | 0 |
| 157 | 1,0047222 | 10,35 | 0 | 15,944506 | 238,523 | 0 |
| 158 | 0,0529281 | 10,35 | 0 | 20,797475 | 238,523 | 0 |
| 159 | 0,2770661 | 10,35 | 0 | 19,302679 | 238,523 | 0 |
| 160 | 0,1595025 | 10,35 | 0 | 15,522115 | 238,523 | 0 |
| 161 | 0,6290761 | 10,35 | 0 | 14,207691 | 238,523 | 0 |
| 162 | 0,4732058 | 10,35 | 0 | 11,014182 | 238,523 | 0 |
| 163 | 0,0366764 | 10,35 | 0 | 10,01257 | 238,523 | 0 |
| 164 | 0,058084 | 10,35 | 0 | 8,9520605 | 238,523 | 0 |
| 165 | 0,0073855 | 10,35 | 0 | 7,0480186 | 238,523 | 0 |
| 166 | 0,0803332 | 10,35 | 0 | 6,2545631 | 238,523 | 0 |
| 167 | 0,4855825 | 10,35 | 0 | 6,153708 | 238,523 | 0 |
| 168 | 0,1790456 | 10,35 | 0 | 5,0636688 | 238,523 | 0 |
| 169 | 0,0805889 | 10,35 | 0 | 3,9773958 | 238,523 | 0 |
| 170 | 0,2455778 | 10,35 | 0 | 3,4159731 | 238,523 | 0 |
| 171 | 0,5139403 | 10,35 | 0 | 3,7849658 | 238,523 | 0 |
| 172 | 2,1849664 | 10,35 | 0 | 7,3231492 | 238,523 | 0 |
| 173 | 3,2869235 | 10,35 | 0 | 7,796557 | 238,523 | 0 |
| 174 | 4,1706727 | 10,35 | 0 | 7,7801096 | 238,523 | 0 |
| 175 | 5,0436705 | 10,35 | 0 | 8,1196856 | 238,523 | 0 |
| 176 | 5,1136259 | 10,35 | 0 | 7,3059179 | 238,523 | 0 |
| 177 | 4,3870408 | 10,35 | 0 | 5,8997076 | 238,523 | 0 |
| 178 | 6,2187848 | 10,35 | 0 | 16,151118 | 238,523 | 0 |
| 179 | 5,5956685 | 10,35 | 0 | 19,372254 | 238,523 | 0 |
| 180 | 5,2784374 | 10,35 | 0 | 17,088368 | 238,523 | 0 |

Lampiran Q. Kapabilitas Proses Pengolahan Limbah Air

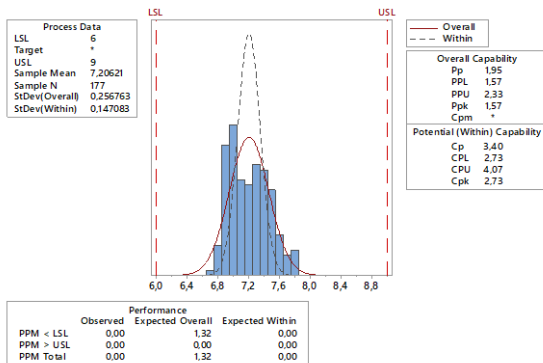
Lampiran Q1. Kapabilitas Proses Karakteristik Kualitas TDS

Process Capability Report for TDS



Lampiran Q2. Kapabilitas Proses Karakteristik Kualitas pH

Process Capability Report for pH



Lampiran R. Surat Penerimaan Perusahaan



PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk.

Jl. Margomulyo No. 36 - 38 Surabaya - 60163, Indonesia
Tel : (62-31) 7490601 Fax : 7490609 Website : www.japfacomfeed.co.id

No. 107/HRD/AKS/V/2019

Surabaya, 27 Mei 2019

Kepada Yth :
Kepala Departemen Statistika,
Fakultas Matematika, Komputasi dan Sains Data,
Institut Teknologi Sepuluh Noverber Surabaya,
Kampus ITS Sukolili,
Surabaya 60111

Perihal : Surat Penerimaan

Dengan Hormat,

Membalas Surat Bapak No. 37847/IT2.VI.9.2/TU.00.09/2019, Tertanggal 8 Mei 2019 perihal Permohonan Ijin untuk melaksanakan pengambilan data penelitian Tugas Akhir atas nama :

| No | Nama | Asal/Univ. | Tujuan | Jurusan |
|----|--|------------|-----------------------------|------------|
| 1 | ILMA TAMARINA ARBA (06211745000021) (1317105021) | ITS | Tugas Akhir (Penelitian) | STATISTIKA |

Dengan ini diberitahukan bahwa kami mengijinkan Mahasiswa di atas untuk melakukan kegiatan tersebut pada :

Tanggal : 13 Mei 2019 s/d 13 Juni 2019
Tempat : PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk.
JL. Margomulyo No. 36-38 Surabaya
Pembimbing : Andrea Thrisiawan Pradhana (HSE Supervisor)

Demikian pemberitahuan kami, atas perhatiannya kami ucapkan terimakasih.

Hormat Kami,


JAPFA
 PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk.
Agung Kurnia Sejati
 Head Of HRD Sub Dept.

Lampiran S. Surat Keterangan Data

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Ilma Tamarina Arba

NRP : 06211745000021

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit

Margomulyo

Divisi/ bagian : HSE Departemen HRD

sejak tanggal 13 Mei 2019 sampai dengan 13 Juni 2019 untuk keperluan Tugas Akhir Semester Genap 2018/2019.

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

Surabaya, Juni 2019

HSE Supervisor

JAPEA

PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk.

(Andrea Thrisiawan Pradhana)

*(coret yang tidak perlu)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ilma Tamarina Arba yang kerap dipanggil Ilma. Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 27 Januari 1996 anak ke empat dari empat bersaudara, dari pasangan Sulkan Syafi'i dan Nur Hendah. Penulis tinggal dengan orang tua di Sidoarjo dan telah menempuh pendidikan formal dimulai dari SD Muhammadiyah 1&2 Taman (2002-2008), SMP Negeri 22 Surabaya (2008-2011), dan SMA Negeri 15 Surabaya (2011-2014). Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan studinya di Departemen Statistika

Bisnis Fakultas Vokasi ITS (2014-2017) Surabaya yang juga merupakan keluarga besar "*PIONEER*". Setelah lulus dari jenjang pendidikan vokasi, penulis melanjutkan studi sarjananya kembali di Departemen Statistika ITS (2017-2019). Pada masa studi perguruan tinggi penulis aktif dalam kegiatan yang mengembangkan *soft skill* dengan mengikuti kegiatan kepanitiaan. Pada masa studi diploma penulis terdaftar menjadi Staff Departemen Hubungan Luar HIMADATA-ITS Periode 2015/2016 dan pada tahun akhir penulis melanjutkan berkegiatan di himpunan dan menjadi Ketua Departemen Hubungan Luar HIMADATA-ITS Periode 2016/2017. Tak hanya mengembangkan skill dalam kampus, ketika melanjutkan studi sarjana penulis juga mengembangkan *soft skill* diluar kampus dengan bekerja *part time* di *Garlick Store*. Dalam masa studi perguruan tinggi penulis mendapatkan kesempatan untuk kerja praktek di PT PELINDO III dan PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Apabila memiliki keperluan atau ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui *e-mail* ilmatamarina@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)