



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENGENDALIAN KUALITAS GULA KRISTAL PUTIH
(GKP) DI PG TJOEKIR JOMBANG (PTPN X)
MENGUNAKAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT
BERBASIS *TIME SERIES***

**MUHAMMAD SALAM TAUFIQI
NRP 062116 4500 0002**

**Dosen Pembimbing
Diaz Fitra Aksioma, M.Si**

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



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENGENDALIAN KUALITAS GULA KRISTAL
PUTIH DI PG TJOEKIR JOMBANG (PTPN X)
MENGUNAKAN DIAGRAM KONTROL
MULTIVARIAT BERBASIS *TIME SERIES***

**MUHAMMAD SALAM TAUFIQI
NRP 062116 45000 002**

**Dosen Pembimbing
Diaz Fitra Aksioma, M.Si**

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



FINAL PROJECT - SS141501

**QUALITY CONTROL OF CRYSTAL WHITE SUGAR
IN PG TJOEKIR JOMBANG (PTPN X) USING
MULTIVARIATE CONTROL CHART BASED ON TIME
SERIES**

**MUHAMMAD SALAM TAUFIQI
SN 062116 45000 002**

**Supervisor:
Diaz Fitra Aksioma, M.Si**

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN KUALITAS GULA KRISTAL
PUTIH (GKP) DI PG TJOEKIR JOMBANG (PTPN X)
MENGUNAKAN DIAGRAM KONTROL
MULTIVARIAT BERBASIS *TIME SERIES***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Muhammad Salam Taufiqi
NRP. 062116 4500 0002

Disetujui oleh Pembimbing:
Diaz Fitra Aksioma, M.Si
NIP. 19870602 201212 2 002

()



Mengetahui,
Kepala Departemen

Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2018

**PENGENDALIAN KUALITAS GULA KRISTAL
PUTIH (GKP) DI PG TJOEKIR JOMBANG (PTPN X)
MENGUNAKAN DIAGRAM KONTROL
MULTIVARIAT BERBASIS *TIME SERIES***

Nama Mahasiswa : **Muhammad Salam Taufiqi**
NRP : **062116 4500 0002**
Departemen : **Statistika-FMKSD-ITS**
Dosen Pembimbing : **Diaz Fitra Aksioma, M.Si**

Abstrak

PG Tjoekir Jombang merupakan salah satu unit usaha dari PTPN X yang bergerak pada bidang pengadaan gula. Salah satu produk utama yang dihasilkan oleh PG Tjoekir Jombang adalah Gula kristal putih yang harus memenuhi kriteria Standar Nasional Indonesia (SNI). Karakteristik kualitas yang digunakan adalah warna larutan gula (ICUMSA) dan Besar Jenis Butir. Kedua karakteristik tersebut memiliki hubungan yaitu jika semakin kecil BJB maka ICUMSA akan semakin putih, hal itu menjelaskan jika semakin putih maka kualitas gula kristal putih semakin baik. Proses monitoring kualitas gula kristal putih dilakukan untuk menjaga kualitas dari gula yang dihasilkan oleh PG Tjoekir Jombang. Pengendalian kualitas menggunakan diagram kontrol multivariat berbasis time series lebih sesuai digunakan karena asumsi yang harus terpenuhi adalah tidak adanya autokorelasi antar pengamatan. Diagram kontrol dibangun berdasarkan hasil residual oleh model terbaik yaitu dengan menggunakan model VAR (3). Hasil diagram kontrol menunjukkan bahwa variabilitas dan rata-rata proses belum terkendali secara statistic. Salah satu penyebabnya adalah terjadinya kerusakan pada mesin saat sedang beroperasi dan faktor tenaga kerja.

Kata Kunci : *Diagram Kontrol, Multivariat, Residual, Time Series, VAR.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

QUALITY CONTROL OF CRYSTAL WHITE SUGAR (GKP) IN PG TJOEKIR JOMBANG (PTPN X) USING MULTIVARIATE DIAGRAM CONTROL BASED ON TIME SERIES

Name : Muhammad Salam Taufiqi
Student Number : 062116 45000 002
Department : Statistics
Supervisor : Diaz Fitra Aksioma, M.Si

Abstract

PG Tjoekir Jombang is one of business unit of PTPN X which is engaged in the field of sugar production. One of the main products produced by PG Tjoekir Jombang is white crystal sugar that meets Indonesian National Standard (SNI). Characteristics of quality used is sugar color (ICUMSA) and Grain Types. Both characteristics have relationship that is if the smaller the grain types, the sugar color will be more white, it explains if the crystal sugar is more white so that the quality of crystal sugar is better. Monitoring process of white crystal sugar quality is done to maintain the quality of sugar produced by PG Tjoekir Jombang. Quality control using multivariate control chart based on time series is preferred because the assumption that must no autocorrelation between observations. The control chart is made based on residual results which generated by the best model obtained. The best model is by using VAR (3) and the result of control chart shows that variability and average of the process are not statistically controlled yet. One of the causes is damaging machine happend while it is being operated, employees factor and several factors..

Keywords : *Control chart, Multivariate, Residual, Time Series, VAR*

(This page intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Rasa syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PENGENDALIAN KUALITAS GULA KRISTAL PUTIH (GKP) DI PG TJOEKIR JOMBANG (PTPN X) MENGGUNAKAN DIAGRAM KONTROL MULTIVARIAT BERBASIS *TIME SERIES*”** dengan lancar dan tepat waktu. Keberhasilan penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari partisipasi dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Sepasang Mutiara Cinta yaitu kedua orang tua penulis yakni Bapak Ahmad Rodli dan Ibu Binti Nadlifah selalu memberikan doa, bimbingan, dukungan, kasih sayang serta kesabarannya dalam mendidik baik secara materil, moril, maupun spiritual.
2. Ibu Diaz Fitra Aksioma, M.Si selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu, perhatian, bimbingan dan pengarahan dengan begitu baik selama menyelesaikan tugas akhir ini dan semoga senantiasa diberkahi oleh-Nya.
3. Bapak Dr. Suhartono, M.Sc selaku Kepala Departemen Statistika dan Bapak Dr. Sutikno, M.Si selaku Koordinator Program Studi Sarjana Departemen Statistika.
4. Bapak Dr. Muhammad Mashuri M.T dan Bapak Novri Suhermi, S.Si., M.Sc, selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu, kritik dan saran membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
5. Bapak Drs Haryono, M.Sc dan Bapak Sjahid Akbar, S.Si., M.Si, selaku dosen wali dan seluruh Bapak/Ibu dosen Statistika atas segala bimbingan, masukan, dan ilmu yang telah diberikan.
6. Bapak Ongko Sanjoyo S.T, selaku pembimbing lapangan di PG Tjoekir Jombang dan seluruh pihak dari PTPN X serta

seluruh pihak PG Tjoekir Jombang yang telah memberikan kesempatan, pengarahan, ilmu dan bimbingan selama penulis mengerjakan tugas akhir ini.

7. Kakak saya Mohammad Habibi Alfaruqi M.Pdi, adik saya Muhammad Alwi Darojati dan Fina Sabila Amanah yang telah ikut mendukung dan mendoakan penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir tepat waktu.
8. Bapak/Ibu pengurus dan donatur dari Yayasan VDMS dan KSE yang telah memberikan beasiswa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.
9. Teman-Teman tercinta Mentari Nur Farida, Aurora, Devin, Nikma, Hanif, Arma, Mas Yoga, Mbak Nendy, Ajeng, Mas Jun dan semua teman-teman saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam mengerjakan Tugas akhir ini.
10. Teman-teman mahasiswa Statistika ITS khususnya teman-teman Lintas Jalur angkatan 2016 dan semua pihak yang telah membantu dalam tugas akhir ini, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis dibalas dengan kebaikan yang lebih oleh Allah SWT. Amin. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis, pembaca, dan semua pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Model Vektor Autoregressive (VAR).....	7
2.2 Stasioneritas.....	8
2.2.1 Stasioner Dalam Mean	8
2.2.2 Stasioner Dalam Varian	9
2.3 Identifikasi Model.....	10
2.3.1 <i>Correlation Matrix Function</i>	10
2.3.2 <i>Partial Autoregression Matrices</i>	11
2.4 Estimasi Parameter Model	12
2.5 Pemeriksaan Diagnosa	13
2.5.1 Uji Distribusi Normal Multivariat.....	13
2.5.2 Uji Portmanteau	14
2.6 Korelasi Variabel.....	15
2.7 Diagram kontrol M	16
2.8 Diagram kontrol T^2 Hotelling Individu.....	17
2.9 Proses Produksi Gula Di PG Tjoekir Jombang	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Sumber Data	25
3.2 Variabel Penelitian.....	25
3.3 Langkah Analisis	27
3.4 Diagram Alir.....	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Eksplorasi Karakteristik Kualitas Gula Kristal Putih	31
4.2 Cek Autokorelasi	33
4.3 Pemodelan <i>Vector Autoregressive</i> (VAR)	35
4.3.1 Identifikasi Stasioneritas Data.....	36
4.3.2 Penentuan Orde <i>Vector Autoregressive</i> (VAR).....	38
4.3.3 Estimasi Parameter Model	40
4.3.4 Pemeriksaan Diagnosa	42
4.4 Pengendalian Kualitas Gula Kristal Putih	44
4.4.1 Pengujian Asumsi Diagram Kontrol	44
4.4.2 Pengendalian Variabilitas Proses	44
4.4.3 Pengendalian Rata-rata Proses	46
4.5 Identifikasi Proses Tidak Terkendali	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN	55

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Diagram proses operasi produksi gula kristal putih.....	23
Gambar 3.1 Diagram alir langkah analisis.....	29
Gambar 3.2 Diagram alir langkah analisis (Lanjutan)	30
Gambar 4.1 Plot ACF untuk karakteristik kualitas ICUMSA....	34
Gambar 4.2 Plot ACF karakteristik kualitas BJB	35
Gambar 4.3 <i>Box-Cox plot</i> karakteristik ICUMSA	36
Gambar 4.4 <i>Box-cox plot</i> transformasi ln ICUMSA.....	37
Gambar 4.5 <i>Box-cox Plot</i> karakteristik kualitas BJB.....	38
Gambar 4.6 Plot MPACF Karakteristik Kualitas	39
Gambar 4.7 Diagram kontrol M	45
Gambar 4.8 Diagram kontrol T^2 Hotelling Individual	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Variabel Penelitian	25
Tabel 3.2 Struktur Data Diagram kontrol	27
Tabel 4.1 Analisa karakteristik kualitas GKP.....	31
Tabel 4.2 Eksplorasi data berdasarkan shift	33
Tabel 4.3 Uji Stasioneritas data dalam Rata-rata.....	38
Tabel 4.4 Minimum Information Criterion Model Awal Karakteristik Kualitas	40
Tabel 4.5 Estimasi Parameter Model VAR (3) Sebelum <i>restrict</i>	40
Tabel 4.5 Estimasi Parameter Model VAR (3) Sebelum <i>restrict</i> (lanjutan)	41
Tabel 4.6 Estimasi Parameter Model VAR (3) Setelah <i>restrict</i>	41
Tabel 4.7 Hasil Uji Portmanteau	42
Tabel 4.7 Hasil Uji Portmanteau (lanjutan).....	43
Tabel 4.8 Perhitungan beberapa titik diagram M	45
Tabel 4.9 Perhitungan beberapa titik diagram T2 Hotelling.....	46

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.....	55
Lampiran 1.1 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.....	56
Lampiran 1.2 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.....	57
Lampiran 1.3 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.....	58
Lampiran 1.4 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.....	59
Lampiran 1.5 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.....	60
Lampiran 1.6 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.....	61
Lampiran 1.7 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.....	62
Lampiran 2 Statistika Deskriptif	63
Lampiran 3 <i>Syntax</i> dan output stasioneritas dalam rata-rata.....	63
Lampiran 4 <i>Syntax</i> dan Output Uji Normal Multivariat	63
Lampiran 5 <i>Syntax</i> SAS VAR (3) Sebelum <i>restrict</i>	64
Lampiran 6 Output SAS Model VAR (3) Sebelum Restrict.....	65
Lampiran 6.1 Lanjutan Output SAS Model VAR (3) Sebelum <i>restrict</i>	66
Lampiran 7 <i>Syntax</i> SAS Model VAR (3) Sesudah Restrict.....	67
Lampiran 8 Output SAS Model VAR (3) Sesudah <i>Restrict</i>	68

Lampiran 8.1 Lanjutan Output SAS Model VAR (3) Sesudah <i>restrict</i>	69
Lampiran 9 <i>Syntax</i> Perhitungan statistik diagram kontrol M dengan Matlab	70
Lampiran 9.1 Lanjutan <i>Syntax</i> Perhitungan statistik diagram kontrol M dengan Matlab	71
Lampiran 10 <i>Syntax</i> Perhitungan statistik diagram kontrol T^2 hotelling dengan Matlab	72
Lampiran 10.1 Lanjutan <i>Syntax</i> Perhitungan statistik diagram kontrol T^2 Hotelling dengan Matlab	73
Lampiran 11 Output Statistik M.....	74
Lampiran 11.1 Lanjutan Output Statistik M.....	75
Lampiran 11.2 Lanjutan Output Statistik M.....	76
Lampiran 11.3 Lanjutan Output Statistik M.....	77
Lampiran 12 Output Statistik T^2 Hotelling Individu	78
Lampiran 12.1 Lanjutan <i>Output</i> Statistik T^2 Hotelling Individu .	79
Lampiran 12.2 Lanjutan <i>Output</i> Statistik T^2 Hotelling Individu .	80
Lampiran 12.3 Lanjutan <i>Output</i> Statistik T^2 Hotelling Individu .	81
Lampiran 13 Pengujian Korelasi Pearson	82
Lampiran 14 Pembuktian rumus 2sigma	82
Lampiran 15 <i>Check sheet</i> PG Tjoekir Jombang tanggal 27-08-2017	83
Lampiran 16 <i>Check sheet</i> PG Tjoekir Jombang tanggal 30-07-2017	84
Lampiran 17 Surat Permohonan Ijin ke Perusahaan.....	85
Lampiran 18 Surat Keterangan	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan gula nasional pada tahun 2017 mencapai 5,7 juta ton dengan rincian 3,2 juta ton untuk kebutuhan industri dan 2,5 juta ton untuk kebutuhan konsumsi rumah tangga (Kemendag, 2017). Besarnya permintaan pasar dalam negeri akan gula belum dapat dipenuhi oleh pemerintah. PTPN sebagai salah satu perusahaan yang bertanggung jawab dalam produksi dan pengadaan gula belum mampu memenuhi kebutuhan gula nasional. Maka dari itu pemerintah melakukan kebijakan dengan mengimpor gula guna memenuhi kebutuhan gula dalam negeri. PTPN X sebagai salah satu kantor perusahaan yang berdomisili di Surabaya dan memiliki 11 pabrik gula yang tersebar di provinsi Jawa Timur. PG Tjoekir yang berada di bawah naungan PTPN X juga turut berkontribusi dalam memenuhi kebutuhan pasar dimana pada tahun 2017 sebanyak 30.642,4 ton gula kristal putih. Pabrik Gula Tjoekir atau biasa disingkat PG.Tjoekir merupakan salah satu unit perusahaan yang dikelola oleh PT Perkebunan Nusantara X (PTPN X) yang bergerak pada bidang industri khususnya gula dengan kapasitas produksi sebesar 4.200 *Ton Cane Per Day* (TCD).

Tingkat kemampuan produksi yang tinggi tentu harus diiringi dengan kualitasnya produksi gula. PG Tjoekir sebagai pabrik yang menghasilkan gula yang merupakan kebutuhan pokok maka tentu perusahaan harus memperhatikan kualitas produknya. Produk utama dari pabrik gula adalah gula kristal Putih (GKP) dengan standar yang telah ditentukan oleh Badan Standard Nasional (BSN). Saat ini pemerintah melalui kementerian perdagangan yang termuat dalam permen dag tahun 2016 yang mengatur mengenai pengawasan SNI wajib terhadap barang produksi dalam negeri atau impor yang diperdagangkan dalam negeri. Berdasarkan peraturan tersebut pabrik gula mulai memperhatikan kualitas GKP yang dihasilkan agar sesuai dengan kualitas yang telah ditetapkan dan produk dapat bersaing di pasar. Kualitas GKP ditentukan oleh

ICUMSA dan besar jenis butir (BJB). Menurut (Payne, 1982) semakin kecil ukuran BJB, maka kristal gula akan semakin putih. ICUMSA kepanjangan dari *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis* merupakan lembaga yang dibentuk untuk menyusun metode analisis kualitas gula (Payne, 1982). Warna gula yang dihasilkan oleh pabrik gula harus memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh BSN. Penelitian yang dilakukan oleh Widiawanti (2014) dengan menggunakan metode *statistical quality control*. Variabel yang digunakan pada penelitian tersebut adalah ICUMSA, BJB dan kadar air dalam menentukan kualitas gula.

Diagram kontrol merupakan salah satu alat statistik yang dapat digunakan dalam mengendalikan kualitas suatu karakteristik. Terdapat dua tipe diagram kontrol yaitu univariat dan multivariat. Diagram kontrol univariat digunakan untuk satu karakteristik kualitas, sedangkan diagram kontrol multivariat digunakan apabila terdapat lebih dari satu karakteristik kualitas dimana antar karakteristik kualitas saling berkorelasi. Secara teori diketahui bahwa produksi gula berasal dari hasil perasan tebu yang disebut nira yang merupakan zat cair, sehingga di duga terdapat depedensi dalam proses pembuatannya yang dilakukan secara terus menerus. Ada beberapa diagram kontrol multivariat salah satunya adalah diagram kontrol T^2 Hotelling, dimana diagram kontrol ini memiliki dua asumsi yang harus terpenuhi yaitu asumsi dependen dan multivariat normal. Sedangkan tidak semua data mengikuti asumsi depedensi karena adanya autokorelasi yang disebabkan proses produksi yang dilakukan secara terus-menerus. Autokorelasi antar observasi memberikan efek dalam diagram kontrol konvensional (Montgomery, 2009). Diagram kontrol T^2 Hotelling Individu dapat digunakan untuk memonitor rata-rata proses sedangkan diagram kontrol M dapat digunakan untuk mengontrol variabilitas secara multivariat untuk data individu (Khoo, 2003). Maka dari itu digunakan pendekatan umum untuk membentuk diagram kontrol yang memiliki autokorelasi dengan menggunakan metode *time*

series, sehingga setiap data observasi yang digunakan adalah residual yang diperoleh dari model *time series* (Alwan, 1988).

Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan diagram kontrol *multivariate* untuk data yang berautokorelasi dengan menggunakan pendekatan *time series* dilakukan oleh Pan dan Jarret (2006) melakukan penelitian tentang diagram kontrol VAR untuk pengendalian proses multivariat (*cross-sectional*) dari data yang berautokorelasi. Pada penelitian tersebut peneliti melakukan estimasi dan pemilihan model terbaik sehingga diperoleh residual dari data kemudian menggunakannya pada diagram kontrol VAR. Requiño dan Souza (2011) melakukan penelitian tentang diagram kontrol T^2 Hotelling untuk memonitoring proses dengan *cross-autocorelation*. Penelitian tersebut membandingkan diagram kontrol T^2 Hotelling dengan menggunakan data mentah dan residual yang diperoleh dengan menggunakan model *time series* VAR (p) diperoleh kesimpulan bahwa dengan menggunakan data mentah yang mengabaikan adanya autokorelasi batas kendali lebih ketat dan memberikan kesalahan mengestimasi parameter, tanda peringatan salah (tidak akurat) pergeseran proses, jika dibandingkan dengan diagram kontrol yang menggunakan residual data.

Penelitian yang berkaitan dengan dengan pabrik gula yang menggunakan diagram kontrol multivariat diantaranya dilakukan oleh Hidayati (2016) meneliti tentang kualitas nira pada stahap stasiun pemurnian di pabrik gula Toelangan Sidoarjo menggunakan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA. Penelitian tersebut memperoleh hasil bahwa pada variabilitas proses sudah terkendali secara statistik pada fase 1 dan fase 2 dimana diperoleh pembobot terbaik adalah 0,7 dan $\lambda = 0,9$. Penelitian lainnya yaitu dilakukan oleh (Harianja, 2016) dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA dan MEWMV untuk Pengendalian kualitas tetes PG Krembong Sidoarjo yang diperoleh hasil bahwa pada fase 1 variabilitas dan rata-rata proses produksi belum terkendali secara statistik, setelah dilakukan perbaikan pada fase 2 variabilitas dan rata-rata telah terkendali secara statistik.

Namun pada penelitian yang dilakukan oleh Hidayati (2016) dan Harianja (2016) mengabaikan depedensi antar pengamatan (autokorelasi), sehingga batas kendali yang diperoleh menjadi semakin ketat. Penelitian yang dilakukan oleh (Putri, 2015) dengan judul analisis pengendalian kualitas tetes produksi PG Pesantren Baru Kediri menggunakan diagram kontrol *Multivariate* berbasis model *time series* diperoleh hasil bahwa pada fase 1 produksi tetes belum terkendali dalam variabilitas dan rata-rata.

1.2 Rumusan Masalah

Proses pengolahan gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang yang dihasilkan harus memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. Selama ini pengendalian proses produksi di PG Tjoekir Jombang hanya sekedar pada analisa deskriptif. Pada dasarnya kriteria kualitas gula kristal putih ditentukan dari ICUMSA dan besar jenis butir (BJB) dengan melihat spesifikasi karakteristik tersebut, tanpa menerapkan metode statistik. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan pengendalian kualitas menggunakan metode statistik yakni diagram kontrol multivariat berbasis *time series* untuk memonitor proses produksi. Diagram kontrol multivariat berbasis *time series* sesuai digunakan karena terdapat korelasi antara ICUMSA dan besar jenis butir (BJB) serta terdapat autokorelasi (depedensi antar observasi), dimana residual yang diperoleh dari model *time series* akan di buat diagram kontrolnya.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian adalah melakukan monitoring terhadap produk gula kristal putih yang dihasilkan PG Tjoekir Jombang. Pengendalian kualitas gula kristal putih dilihat dari stabilitas proses melalui variabilitas dan rata-rata proses secara multivariat berbasis model *time series*. Diharapkan dengan menggunakan diagram kontrol multivariat dapat mendeteksi proses yang *out of control* pada saat proses pembuatan produk gula kristal putih PG Tjoekir Jombang,

sehingga perusahaan dapat melakukan perbaikan untuk memperoleh hasil produksi yang sesuai spesifikasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi dan saran kepada pabrik gula Tjoekir Jombang, untuk melakukan kontrol pada proses produksi gula kristal putih yang dihasilkan, sehingga pihak perusahaan mampu melakukan perbaikan, jika terjadi pergeseran proses dalam variabilitas maupun rata-rata proses.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk gula kristal putih yang dianalisis adalah pada tahap akhir yaitu pada stasiun puteran yang dihasilkan pada periode giling Juli-Oktober 2017. Variabel yang digunakan adalah ICUMSA (warna larutan) dan Besar Jenis Butir (BJB). Data yang digunakan adalah data sekunder yang diambil sampel setiap 8 jam setiap hari, maka dalam 1 hari ada 3 sampel yang diambil. Pemodelan *time series* hanya menggunakan model VAR orde p . Diagram kontrol multivariat yang dibuat hanya 1 fase.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Diagram kontrol merupakan salah satu alat dalam pengendalian kualitas statistik yang digunakan untuk memonitor atau mengawasi suatu proses. Sebagai salah satu *tools*, diagram kontrol memberikan visualisasi grafik yang menggambarkan karakteristik kualitas. Diagram kontrol mampu menjelaskan kondisi data proses dan mendapatkan informasi yang diperlukan. Ketika variabel yang akan dikendalikan hanya memiliki 1 variabel saja, maka digunakan analisis univariat. Diagram kontrol multivariat akan memberikan hasil yang lebih baik jika menggunakan data multivariat (Montgomery, 2009).

Namun pada kenyataannya sering ditemukan bahwasanya terdapat beberapa variabel yang berhubungan dan harus dikendalikan sehingga diperlukan analisis multivariat dimana antar pengamatan tidak terdapat depedensi (autokorelasi). Pada kenyatannya banyak pengamatan ditemukan terdapat autokorelasi sehingga diperlukan suatu metode yang mampu mengatasi ketika ada autokorelasi dengan menggunakan analisis *time series*. Dalam *time series* terdapat dua jenis data yaitu *univariate time series* dan *multivariate time series*. Pada data multivariat terdapat lebih dari satu variabel yang saling berhubungan timbal balik. Sehingga digunakan *Vektor autoregressive (VAR)* untuk memodelkan data *multivariate time series* (Wei, 2006).

2.1 Model Vektor Autoregressive (VAR)

Model vektor Autoregressive adalah metode peramalan dengan membentuk model-model sebuah vektor dimana variable-variabelnya saling mempengaruhi. Bentuk umum VAR (p) ialah sebagai berikut (Wei, 2006).

$$\begin{aligned} (\mathbf{I} - \Phi_1 B - \dots - \Phi_p B^p) \dot{\mathbf{X}}_t &= \mathbf{a}_t \\ \text{atau} \\ \dot{\mathbf{X}}_t &= \Phi_1 \dot{\mathbf{X}}_{t-1} + \dots - \Phi_p \dot{\mathbf{X}}_{t-p} + \mathbf{a}_t \end{aligned} \quad (2.1)$$

Statistik uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

(2.3)

Dimana :

$$\hat{\delta} = \frac{X_{t-1} \Delta X_{t-1} \sum_{i=1}^p \beta_i}{(X_{t-1})^2 - X_{t-1} \sum_{i=1}^p \beta_i} \quad (2.4)$$

Dari statistik jika dapat diketahui bahwa jika tingkat signifikansi sebesar 0,05 maka H_0 akan ditolak apabila nilai $|\tau| > \tau_{\alpha,n}$ dan apabila ditinjau dengan nilai $P\text{-value} = P(Z > z)$ maka jika didapatkan $P\text{-value} = P(Z > z)$ lebih kecil dari sigifikansi yang digunakan (5%) maka dapat disimpulkan bahwa data telah stasioner dalam *mean*.

2.2.2 Stasioner Dalam Varians

Dalam *time series* apabila data tidak memenuhi stasioneritas dalam varians maka dapat diatasi dengan menggunakan transformasi. Transformasi yang digunakan adalah transformasi Box-Cox, menurut Wei (2006) metode transformasi Box-Cox merupakan metode yang dapat menstabilkan varians. Nilai λ yang digunakan dan transformasi tercantum pada Tabel 2.1. Dikatakan data stasioner apabila nilai *rounded value* (λ) pada suatu data *time series* sama dengan 1 atau dapat juga dilihat dari interval batas atas dan batas bawah memuat angka 1 didalamnya maka dapat dikatakan bahwa data telah stasioner dalam varians. Menurut Sclove (2010), $100(1 - \alpha)\%$ CI dari *rounded value* (λ) pada suatu pengujian stasioneritas dalam varians dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.5 sebagai berikut.

$$\left\{ \lambda : \text{RSS}(\lambda) \leq \text{RSS}(\hat{\lambda}) \left(1 + (t^*)^2 / \text{RDF} \right) \right\} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$$\text{RSS: } \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

$$\text{RDF: } n - p - 1$$

$$t^* : t_{n-p-1; \alpha/2}$$

Berikut ini merupakan tabel untuk menstabilkan varians dengan menggunakan metode transformasi Box-Cox .

Tabel 2.1 Transformasi Box-cox

Nilai λ	Transformasi
-1,0	$1/X_t$
-0,5	$1/\sqrt{X_t}$
0	$\text{Ln } X_t$
0,5	$\sqrt{X_t}$
1	X_t

2.3 Identifikasi Model

Identifikasi model pada *multivariate time series* memiliki kemiripan dengan model *univariate time series*. Apabila terdapat X_1, X_2, \dots, X_n yang merupakan vektor *time series* maka identifikasi dapat dilakukan dengan melihat pola dari fungsi *Correlation Matrix Function* dan *Partial Autoregression Matrices*.

2.3.1 *Correlation Matrix Function*

Menurut Wei (2006), persamaan matriks korelasi untuk sebuah vektor *time series* dengan data pengamatan sebanyak n adalah sebagai berikut.

$$\hat{\rho}(k) = [\hat{\rho}_{ij}(k)] \quad (2.6)$$

Pada persamaan tersebut, $\hat{\rho}_{ij}(k)$ merupakan korelasi silang sampel pada komponen series ke-i dan ke-j sehingga dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\hat{\rho}(k) = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_{i,t} - \bar{X}_i)(X_{j,t+k} - \bar{X}_j)}{\left[\sum_{t=1}^n (X_{i,t} - \bar{X}_i)^2 \sum_{t=1}^n (X_{j,t+k} - \bar{X}_j)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$X_{i,t}$: observasi variabel i pada waktu ke- t

\bar{X}_i : rata-rata variabel i

$X_{j,t+k}$: observasi variabel j dengan k -lag

\bar{X}_j : rata-rata variabel j dengan k -lag

$\hat{\rho}_{ij}(k)$ adalah sebuah estimator yang konsisten dan mendekati distribusi normal pada sebuah proses vektor yang stasioner. Dalam *multivariate time series*, matriks korelasi digunakan untuk menentukan *orde moving average* (MA), sehingga akan semakin kompleks dan rumit apabila saat vektor mempunyai jumlah yang banyak, Tiao dan Box dalam Wei (2006) memperkenalkan metode untuk meringkas matriks korelasi sampel tersebut. Metode koefisien dengan menggunakan tanda (+), (-), dan (.). Tanda (+) mempresentasikan nilai $\hat{\rho}_{ij}(k)$ lebih besar dari 2 kali dari nilai estimasi *standard error* yang bermakna komponen (i,j) memiliki korelasi bernilai positif. Tanda (-) mempresentasikan nilai $\hat{\rho}_{ij}(k)$ lebih kecil dari -2 kali dari nilai estimasi *standard error* yang bermakna komponen (i,j) memiliki korelasi bernilai negatif. Kemudian tanda (.) mempresentasikan nilai $\hat{\rho}_{ij}(k)$ terletak antara ± 2 kali *standard error* yang bermakna tidak terdapat korelasi.

2.3.2 Partial Autoregression Matrices

Parsial Autocorrelation digunakan untuk mengidentifikasi *univariate time series* model AR (p) karena ϕ_{kk} untuk $|k|>p$. Menurut Tiao dan Box (1981) dalam Wei (2006) dalam *vektor time series* matriks autoregresi parsial pada lag k dinotasikan sebagai

$\varphi(k)$. Bentuk umum dari matriks autoregresi parsial adalah sebagai berikut.

$$\varphi(k) = \begin{cases} \mathbf{\Gamma}'(1)[\mathbf{\Gamma}'(0)]' & k = 1 \\ \{\mathbf{\Gamma}'(k)\} - \mathbf{c}'(k)[\mathbf{A}(k)]^{-1}\mathbf{b}'(k)[\mathbf{A}(k)]^{-1}\mathbf{b}(k), & k > 1 \end{cases} \quad (2.8)$$

Apabila nilai $k \geq 2$ maka nilai $\mathbf{A}(k)$, $\mathbf{b}(k)$ dan $\mathbf{c}(k)$ diperoleh dari matriks berikut ini.

$$\mathbf{A}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{\Gamma}(0) & \mathbf{\Gamma}'(1) & \cdots & \mathbf{\Gamma}'(k-2) \\ \mathbf{\Gamma}(0) & \mathbf{\Gamma}(0) & \cdots & \mathbf{\Gamma}'(k-3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{\Gamma}(k-2) & \mathbf{\Gamma}(k-3) & \cdots & \mathbf{\Gamma}(0) \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$\mathbf{b}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{\Gamma}'(k-1) \\ \mathbf{\Gamma}'(k-2) \\ \vdots \\ \mathbf{\Gamma}'(1) \end{bmatrix} \quad \mathbf{c}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{\Gamma}'(1) \\ \mathbf{\Gamma}'(2) \\ \vdots \\ \mathbf{\Gamma}'(k-1) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Dimana $\mathbf{\Gamma}(k)$ merupakan matriks kovarian yang didefinisikan sebagai berikut.

$$\mathbf{\Gamma}(k) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-k} (\mathbf{X}_t - \bar{\mathbf{X}})(\mathbf{X}_{t+k} - \bar{\mathbf{X}}) \quad \text{dengan } k=1,2,\dots \quad (2.11)$$

Untuk memudahkan pengidentifikasian order matrik parsial autoregresi pada serangkaian observasi maka nilai – nilai juga disimbolkan dengan tanda (+), (-), dan (.). Intepretasi tanda pada matriks parsial autoregresi tersebut memiliki kesamaan dengan intepretasi tanda pada fungsi matrik korelasi.

2.4 Estimasi Parameter Model

Menurut Wei (2006), salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan estimasi parameter model VAR (p)

adalah metode *Least Square*. Berikut ini merupakan hipotesis dari metode *Least Square*.

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

$H_1 : \Phi_p \neq 0$ (parameter sudah signifikan)

Statistik uji yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut.

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\Phi}}{SE(\hat{\Phi})} \quad (2.12)$$

Dimana $SE(\hat{\Phi})$ adalah standar error dari nilai taksiran Φ . Tolak H_0 apabila nilai statistik uji $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2, (n-p)}$ atau *P-value* lebih kecil dari taraf signifikansi yang telah ditetapkan (α) sebesar 5%.

2.5 Pemeriksaan Diagnostik

Asumsi selanjutnya yang harus dipenuhi dalam model VAR adalah apabila dalam suatu model parameternya telah signifikan semua ialah residual data bersifat *white noise* dan residual berdistribusi normal multivariat. Untuk melihat apakah residual telah memenuhi asumsi *white noise* adalah dengan melihat plot MCCF dan juga melalui pengujian. Sebuah model memenuhi asumsi *white noise* apabila matriks korelasi dari \hat{a}_t tidak signifikan dan tidak berpola atau dengan kata lain tidak terjadi korelasi antar residual model (Wei, 2006).

2.5.1 Uji Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat merupakan distribusi yang dibentuk dari perluasan distribusi normal univariat untuk data multivariat. Pengujian distribusi normal multivariat dilakukan untuk menguji dugaan bahwa residual data berdistribusi normal multivariat. Variabel random x_1, x_2, \dots, x_p dikatakan residual berdistribusi normal multivariat dengan *probability density function* sebagai berikut.

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

Untuk pengujian normal multivariat menggunakan pengujian *Shapiro-Wilk* dengan hipotesis sebagai berikut.

H_0 : residual berdistribusi normal multivariat

H_1 : residual tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik Uji:

$$W^* = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p W_x \quad (2.13)$$

Tolak H_0 jika nilai $W^* < C_{\alpha;n;p}$ atau $p\text{-value} < \alpha$ yang berarti bahwa data tidak berdistribusi normal multivariat (Alva & Estrada, 2009).

2.5.2 Uji Portmanteau

Pengujian Portmanteau digunakan untuk menguji apakah residual telah memenuhi asumsi *white noise* sampai lag- k atau belum dengan hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

H_0 : $R_k = 0$ (R_1, R_2, \dots, R_p) (Residual model VAR (p) memenuhi asumsi *white noise*).

H_1 : $R_k \neq 0$ (Residual model VAR (p) tidak memenuhi asumsi *white noise*).

Statistik uji yang digunakan :

$$Q_k = n \sum_{i=1}^k tr(\hat{C}_k' \hat{C}_0^{-1} \hat{C}_k \hat{C}_0^{-1}) \quad (2.14)$$

Dimana:

$$C_k = n^{-1} \sum_{k+1}^n \hat{a}_t \hat{a}_{t-k}' \quad (2.15)$$

Keterangan:

n : Ukuran sampel

\hat{C}_0^{-1} : Invers estimator residual matriks varian-covarian Σ

\hat{C}_k : transformasi dari C_k'

C_k' : matriks autokovarians dari vektor residual a_t dengan $k=0,1,2,\dots,n$

Suatu residual dikatakan memenuhi asumsi *white noise* apabila nilai $Q_k < \chi^2_{(p^2k)}$ (Lutkepohl, 2005).

2.6 Korelasi Variabel

Pengujian hubungan residual yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode korelasi *Pearson*. Metode ini dipilih karena terdapat dua variabel yang digunakan yaitu ICUMSA dan BJB. Berdasarkan perhitungan statistik uji pada korelasi *pearson* dapat diketahui tingkat keeratan antar variabel melalui nilai koefisien korelasi r dengan rentang nilai $-1 < r < 1$. Nilai r yang semakin besar menunjukkan tingkat keeratan antar variabel yang semakin tinggi dan sebaliknya. Tanda positif pada koefisien korelasi menunjukkan hubungan antar variabel yang searah, sedangkan tanda negatif pada koefisien korelasi menunjukkan hubungan yang berlawanan arah (Walpole, dkk., 2012). Pada pengujian ini, hipotesis dan statistik uji yang digunakan adalah.

Hipotesis :

$H_0 : \rho = 0$ (tidak terdapat korelasi antar variabel)

$H_1 : \rho \neq 0$ (terdapat korelasi antar variabel)

Statistik Uji :

$$t_{hitung} = \frac{r_{\hat{a}_1\hat{a}_2} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{\hat{a}_1\hat{a}_2}^2}} \quad (2.16)$$

dimana,

$$r_{\hat{a}_1\hat{a}_2} = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{a}_{1t} - \bar{\hat{a}}_1)(\hat{a}_{2t} - \bar{\hat{a}}_2)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (\hat{a}_{1t} - \bar{\hat{a}}_1)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (\hat{a}_{2t} - \bar{\hat{a}}_2)^2}} \quad (2.17)$$

Keterangan: $t = 1, 2, \dots, n$

n adalah banyaknya pengamatan

Tolak H_0 apabila nilai perhitungan statistik uji lebih besar dari pada Tabel t dengan signifikansi sebesar 0.05, dimana dapat ditulis $|t_{hitung}| > t_{(\alpha/2, n-2)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$ dimana $P\text{-Value} = P(Z < z)$ dan diperoleh kesimpulan adanya korelasi antar kedua variabel.

2.7 Diagram kontrol M

Diagram kontrol M dapat digunakan untuk memonitor variabilitas proses secara multivariat untuk pengamatan individu yang didasarkan pada *successive difference* (Khuo, 2003). *Successive difference* yaitu selisih antar vektor pengamatan secara berturut-turut dan digunakan dalam menghitung nilai statistiknya dengan menggunakan rumus $\hat{a}_{t+1} - \hat{a}_t$ dan diperoleh matriks \mathbf{W} yang berdistribusi $N_p(0, 2\Sigma)$ sebagai berikut.

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1' \\ w_2' \\ \vdots \\ w_{n-1}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\hat{a}_2 - \hat{a}_1)' \\ (\hat{a}_3 - \hat{a}_2)' \\ \vdots \\ (\hat{a}_n - \hat{a}_{n-1})' \end{bmatrix}, \text{dimana } t=1,2,\dots,n-1 \quad (2.18)$$

Matriks \mathbf{W} yang diperoleh dan berdistribusi $N_p(0, 2\Sigma)$ jika dikalikan dengan $\frac{1}{\sqrt{2}}$ maka akan menjadi $\frac{1}{\sqrt{2}}\mathbf{W}$ yang berdistribusi $N_p(0, \Sigma)$. Apabila diketahui bahwa $CC' = \Sigma$ dimana \mathbf{C} adalah matriks non-singular atau determinan tidak sama dengan 0 berukuran $m \times m$ dan misal.

$$\mathbf{U} = \frac{1}{\sqrt{2}} C^{-1} \mathbf{W} \quad (2.19)$$

$$\mathbf{U} = \frac{1}{\sqrt{2}} C^{-1} (\hat{a}_{t+1} - \hat{a}_t) \quad (2.20)$$

Maka,

$$\begin{aligned}
\mathbf{U}'\mathbf{U} &= \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{C}^{-1} \mathbf{W} \right]' \left[\frac{1}{\sqrt{2}} \mathbf{C}^{-1} \mathbf{W} \right] \\
\mathbf{U}'\mathbf{U} &= \frac{1}{2} \mathbf{W}' (\mathbf{C}^{-1})' (\mathbf{C}^{-1}) \mathbf{W} \\
\mathbf{U}'\mathbf{U} &= \frac{1}{2} \mathbf{W}' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} \mathbf{W} \\
\mathbf{U}'\mathbf{U} &= \frac{1}{2} (\hat{\mathbf{a}}_{t+1} - \hat{\mathbf{a}}_t)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\hat{\mathbf{a}}_{t+1} - \hat{\mathbf{a}}_t) \quad (2.21)
\end{aligned}$$

Dimana $\mathbf{U}'\mathbf{U} = \mathbf{M}_t \sim \chi_p^2$, sehingga perhitungan statistik dalam diagram kontrol M adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{M}_t = \frac{1}{2} (\hat{\mathbf{a}}_{t+1} - \hat{\mathbf{a}}_t)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\hat{\mathbf{a}}_{t+1} - \hat{\mathbf{a}}_t) \quad (2.22)$$

Untuk memperoleh titik $t=1$ dapat dihitung dengan Persamaan (2.22) sebagai berikut.

$$\mathbf{M}_1 = \frac{1}{2} (\hat{\mathbf{a}}_{1+1} - \hat{\mathbf{a}}_1)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\hat{\mathbf{a}}_{1+1} - \hat{\mathbf{a}}_1)$$

Dengan menggunakan statistik M yang berdistribusi χ_p^2 pada Persamaan (2.22) maka batas kendali diagram kendali M adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{BKA} &= \chi_{p, \alpha/2}^2 \\
\text{BKB} &= \chi_{p, 1-\alpha/2}^2
\end{aligned}$$

2.8 Diagram kontrol T^2 Hotelling Individu

Suatu proses produksi terkadang memiliki karakteristik kualitas yang lebih dari satu, sehingga hal tersebut dinamakan proses produksi yang bersifat multivariat (Montgomery, 2009). Beberapa industri menghasilkan suatu produk, dimana ukuran subgroup yang digunakan adalah 1. Kondisi ini dikarenakan karena produk yang dihasilkan adalah homogen. Pada diagram kontrol T^2 Hotelling data yang digunakan akan dihitung rata-rata dan matriks

kovariannya dengan menggunakan perhitungan kovarians sebagai berikut.

$$\mathbf{S}_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{\mathbf{a}}_i - \bar{\mathbf{a}})(\hat{\mathbf{a}}_i - \bar{\mathbf{a}})' \quad (2.21)$$

Jika menggunakan perhitungan kovarians pada Persamaan (2.21) kurang efektif dalam mendeteksi pergeseran vektor rata-rata. Hal tersebut dikarenakan nilai dari matriks varians kovarians belum cukup dekat dengan nilai matriks varians kovarians yang sesungguhnya (bias). Maka digunakan metode *Successive difference* (menggunakan selisih dua vektor pengamatan secara berurutan) untuk mendapatkan matriks varians kovarian. *Successive difference* diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\mathbf{v}_t = \hat{\mathbf{a}}_{t+1} - \hat{\mathbf{a}}_t, \quad t = 1, 2, \dots, n-1 \quad (2.22)$$

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} v_1' \\ v_2' \\ \vdots \\ v_{n-1}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\hat{a}_2 - \hat{a}_1)' \\ (\hat{a}_3 - \hat{a}_2)' \\ \vdots \\ (\hat{a}_n - \hat{a}_{n-1})' \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Dimana \mathbf{v} merupakan vektor selisih antara vektor data ke- t dan vektor data ke $t+1$. Kemudian matriks kovarians dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\mathbf{S}_2 = \frac{1}{2(n-1)} \mathbf{V}'\mathbf{V} \quad (2.24)$$

Setelah didapatkan matriks varians kovarians pada persamaan (2.24), selanjutnya menghitung nilai statistik T^2 hotelling individu dengan persamaan sebagai berikut.

$$\mathbf{T}_t^2 = (\hat{\mathbf{a}}_t - \bar{\mathbf{a}})' \mathbf{S}_2^{-1} (\hat{\mathbf{a}}_t - \bar{\mathbf{a}}), \quad t=1,2,\dots,n \quad (2.25)$$

Untuk memperoleh titik $t=1$ dapat dihitung dengan Persamaan (2.22) sebagai berikut.

$$T_1^2 = (\hat{\mathbf{a}}_1 - \bar{\hat{\mathbf{a}}})' S_2^{-1} (\hat{\mathbf{a}}_1 - \bar{\hat{\mathbf{a}}})$$

Seperti halnya dengan diagram kontrol yang lain, pengendalian kualitas secara multivariat dengan diagram kendali T^2 Hotelling Individu memiliki batasan kontrol untuk fase I sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{BKA} &= \frac{(n-1)^2}{n} \beta_{\alpha, p/2, (n-p-1)/2} \\ \text{BKB} &= 0 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Keterangan : n = banyaknya pengamatan, t=1,2,3,...,n
p = banyaknya karakteristik kualitas (variabel)

2.9 Proses Produksi Gula Di PG Tjoekir Jombang

Produk utama pabrik gula adalah GKP (gula kristal putih) merupakan produk yang paling utama yang harus dihasilkan oleh pabrik gula. Di kabupaten jombang terdapat dua pabrik gula milik pemerintah yang dibawah naungan PT. Perkebunan Nusantara (PTPN X) yaitu PG Djombang Baru dan PG Tjoekir yang berlokasi di desa cukir kecamatan diwek kab. Jombang. Tidak berbeda dengan PG yang lain yang harus memproduksi gula dari tebu para petani tebu di daerah tersebut, tak terkecuali di pabrik gula Tjoekir dan hasil sampingnya adalah ampas, tetes dan blotong. Proses pemurniannya menggunakan bahan kimia yaitu dengan memanfaatkan belerang dan kapur untuk pemisahan dari nira jernihnya. Bahan baku pabrik gula Tjoekir berasal dari petani tebu disekitar pabrik gula didirikan yaitu di desa cukir, kecamatan diwek. Mayoritas bahan baku tebu yang di produksi oleh pabrik gula Tjoekir berasal dari kecamatan Gudo, Diwek, Jogoroto, Mojoagung, Mojowarno, Wonosalam, dan Ngoro. Tebu yang akan diproses menjadi gula kristal putih harus melalui beberapa stasiun diantaranya yaitu stasiun gilingan, stasiun penguapan, stasiun pemurnian, stasiun masakan, stasiun puteran dan yang terakhir adalah stasiun penyelesaian, setelah itu baru di bawa ke dalam gudang. Produksi gula dari bahan bakunya yang dikirim oleh para petani yang dibawa oleh truk-truk untuk di timbang di lakukan

pengecekan mengenai kadar gula yang ada dalam tebu, sebelum tebu masuk kedalam stasiun gilingan, tebu yang masuk harus di timbang terlebih dahulu. Sistem penggilingan di pabrik gula menggunakan *FIFO (First In First Out)* yang artinya yang datang lebih awal, akan keluar lebih awal. Berikut ini adalah proses yang akan dilalui tebu sehingga menghasilkan gula.

1. Stasiun Gilingan

Stasiun penggilingan atau ekstraksi adalah proses untuk membuat gula yang didapatkan dari nira yang dieras dari tebu. Proses ini bertujuan untuk mengambil nira yang ada dalam tebu sebanyak mungkin dengan cara yang efektif dan efisien. Proses yang terjadi untuk memperoleh nira adalah memisahkan gula dari ampasnya dan menghasilkan nira mentah. Nira mentah yang dihasilkan pada proses ini untuk selanjutnya ditimbang terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam tahap selanjutnya yaitu stasiun pemurnian. Tebu dari *emplacement* di angkut dengan lori dan truk kemudian diangkat dengan menggunakan *crane hoist* untuk diletakkan di meja tebu. Selanjutnya, tebu dipotong menjadi bagian yang lebih kecil dengan menggunakan mesin *Cane Cutter* dan dilanjutkan ke urigrator. Serpihan tebu dari urigrator dibawa ke gilingan dengan menggunakan *cane carrie II*. Setelah itu tebu menuju ke gilingan I dan terjadi proses pemerahan tebu. Ampas dari gilingan satu kemudian diproses kembali dan masuk pada gilingan II kemudian hasilnya ditampung dengan hasil pemerahan ampas pada gilingan III. Hasil pada gilingan III disebut air imbibisi dan ampasnya dibawa ke gilingan IV yang telah ditambahkan air imbibisi dengan suhu 60-100⁰c (derajat Celsius) yang bertujuan untuk melarutkan gula yang masih ada dalam ampas tebu supaya dapat mengurangi kehilangan gula dalam ampas. Ampas tebu dari gilingan terakhir akan digunakan untuk bahan bakar ketel, sedangkan ampas halus dijadikan blotong. Blotong sendiri masih bisa dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar.

2. Stasiun Pemurnian

Tujuan dari proses pemurnian adalah menghilangkan sebanyak mungkin kotoran yang terdapat pada nira mentah hasil pada stasiun gilingan. Namun tetap menjaga kualitas sukrosa maupun gula reduksi tidak mengalami kerusakan. Nira mentah yang dihasilkan kemudian dicampur dengan asam fosfat dan susu kapur kemudian disaring dan ditampung dalam bak penampungan nira kemudian diairkan pada panas pendahuluan I (PP I). Dalam tahap ini nira dipanaskan secara bertahap dengan suhu 70-90⁰c (derajat Celsius) dengan tujuan membunuh kuman dan mikroorganisme yang dapat mengganggu pembentukan gula kristal dan membantu mempercepat terjadinya reaksi antara susu kapur dan nira mentah pada defekator. Kemudian masuk ke Flash Tank I untuk mengeluarkan gas-gas yang ada dalam nira untuk mencapai nira murni. Pada defekator I, nira mengalami defekasi yaitu penambahan susu sampai pH netral. Selanjutnya adalah proses sulfitasi yang bertujuan untuk menetralkan kelebihan susu kapur dengan memberikan gas SO₂. Nira hasil sulfitasi masuk pada PP II untuk mengeluarkan gas dan udara yang mengganggu proses pengendapan. Selanjutnya nira masuk peti pengendapan (Door Clarifier) untuk memisahkan nira jernih dengan nira kotor. Nira jernih yang dihasilkan kemudian masuk pada ke *Clear Juice Tank* untuk dialirkan ke stasiun penguapan.

3. Stasiun Penguapan

Selanjutnya adalah stasiun penguapan dimana tujuan dari stasiun ini adalah untuk menguapkan kandungan air dalam nira encer sehingga didapatkan nira kental. Di PG Tjoekir memiliki 6 badan penguap (BP) yang terdiri 3 BP secara seri, 2 BP secara paralel dan 1 BP secara bergiliran setiap hari dibersihkan. Nira encer dari stasiun pemurnian masuk ke BP I yang dipanaskan dengan uap pada stasiun gilingan suhu 120⁰C, uap nira dari BP I dengan suhu 100⁰C digunakan untuk memanaskan BP II dan seterusnya sampai dihasilkan nira kental. Nira kental dari BP

terakhir di bawa menuju bejana sulfitator. Sulfitasi selain sebagai pemucatan, juga berfungsi untuk menurunkan pH sampai 5,6 Nira kental yang dihasilkan akan dibawa ke Stasiun masakan.

4. Stasiun Masakan

Pada stasiun masakan tujuannya adalah memperoleh kristal gula yang baik dengan cara kristalisasi. Syarat utama terbentuknya kristal dari suatu larutan adalah larutan induk harus dibuat dalam kondisi lewat jenuh (*super saturated*). Yang dimaksud dengan kondisi lewat jenuh adalah kondisi dimana pelarut (*solvent*) mengandung zat terlarut (*solute*) melebihi kemampuan pelarut tersebut untuk melarutkan solute. Selanjutnya tahapan yang dilalui untuk mendapatkan kristal putih dengan cara pemekatan nira kental, pembentukan kristal inti, pembesaran kristal dan penuaan masakan.

5. Stasiun Puteran

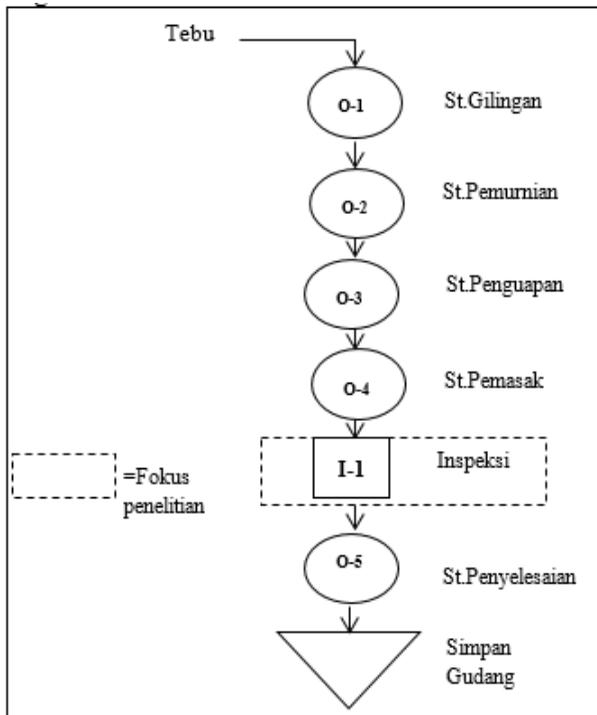
Pada proses ini memiliki tujuan memisahkan kristal gula dari larutannya (*stroop*). Pada dasarnya proses pengkristalan terjadi dalam pan masakan yang merupakan suatu campuran dari larutan dan kristal sukrosa. Putaran yang di pakai PG Tjoekir yang pertama adalah batch centrifugal dimana alat ini dilengkapi 3 saringan. Fungsi dari batch centrifugal adalah untuk memutar gula A dan SHS, untuk memisahkan gula dengan *stroop* di dalam putaran. Selanjutnya adalah putaran continous centrifugal yang merupakan alat yang digunakan untuk memutar gula D₁, D₂, dan C.

6. Stasiun Penyelesaian

Pada stasiun penyelesaian ini adalah menyelesaikan hasil dari putaran sehingga menghasilkan gula produksi. Tugas utama dari unit ini adalah mengeringkan kristal gula. Gula SHS (Gula Kristal Putih) yang dihasilkan dari putaran turun ke talang goyang yang berfungsi sebagai pengeringan awal dan membawa gula SHS menuju *Wet Sugar Elevator*. Gula yang sudah kering kemudian ditimbang dan di Packing dalam karung yang berukuran kurang lebih 1 karung memiliki berat 50 kg. dan setelah itu kantong gula

yang sudah di jahit dengan rapi di masukkan ke dalam gudang dan siap untuk dipasarkan.

Berikut ini adalah Diagram proses operasi produksi gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang



Gambar 2.1 Diagram Proses operasi produksi gula kristal putih

(Halaman ini Sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh di divisi *quality assurance* (QA) di PG Tjoekir Jombang. Data yang digunakan merupakan data dari salah satu stasiun yaitu stasiun puteran. Pengambilan sampel gula kristal putih terletak di bagian paling bawah dari sugar bin sebelum gula masuk ke dalam kemasan. Sampel yang diambil kurang lebih sebanyak 300 gram dengan menggunakan gelas plastik dan diletakkan kedalam wadah yang lebih besar (gelas ukur berukuran besar) untuk selanjutnya di analisis di laboratorium. Pada tahap tersebut terdapat dua variabel kualitas yang menentukan kualitas gula kristal putih yaitu kualitas warna gula (ICUMSA) dan Besar Jenis Butir (BJB). Proses produksi gula kristal putih terjadi pada musim giling tebu yaitu bulan Juli-Oktober 2017. Pengambilan sampel dilakukan setiap 8 jam sekali yaitu pada pukul 07.00 WIB (*shift 1*), pukul 16.00 WIB (*Shift 2*), dan pukul 00.00 WIB (*Shift 3*) sehingga dalam 1 hari diambil sampel sebanyak 3.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel yang memiliki hubungan dan pengaruh besar pada kualitas gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan	Batas Spesifikasi
X ₁	ICUMSA	IU	81-200
X ₂	BJB	mm	0,8-1,2

Berikut ini adalah penjelasan mengenai karakteristik kualitas gula kristal putih yang di tampilkan pada Tabel 3.1

1. ICUMSA (x_1)

Warna larutan gula atau yang biasa disebut ICUMSA. ICUMSA merupakan zat warna yang terkandung dalam butir

kristal gula. Salah satu paramater untuk menentukan kualitas gula adalah ICUMSA dimana satuan ICUMSA adalah Internasional Unit (IU). Semakin kecil ICUMSA-nya, mutu gula cenderung makin baik dan warna juga makin putih cermerlang. ICUMSA dijadikan sebagai standar kualitas pengukuran terhadap produk gula kristal putih. Pengukuran warna larutan gula (ICUMSA) menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 426 nm dan 620 nm.

2. Besar Jenis Butir (x_2)

Berat Jenis Butir atau yang biasa disingkat BJB merupakan ukuran rata-rata butir kristal gula yang dinyatakan dalam mm. Semakin tinggi tingkat keseragaman kristal, maka kualitas kristal gula semakin baik. Hal ini menunjukkan bahwa apabila besar jenis butir semakin kecil sesuai dengan spesifikasi dari SNI, maka warna larutan gula (ICUMSA) semakin putih. Pengukuran BJB di pabrik gula Tjoekir mengikuti prosedur yang telah ditetapkan SNI tahun 2010 (BSN, 2010). Cara mengukur besar jenis butir yaitu dengan meletakkan contoh gula pada bagian atas satu set ayakan, dimana satu set ayakan dengan ukuran 12 mesh, 16 mesh, 20 mesh, 30 mesh dan 50 mesh. Contoh gula kemudian diayak dan akan terjadi pemisahan masing-masing ukuran fraksi (ada 6 fraksi). Hasil setiap fraksi di timbang dan menghitung persentase bobot dari contoh gula dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Fraksi I} = \frac{(k \times 100)}{Y} \times 4,8 = q, \quad \text{Fraksi IV} = \frac{(n \times 100)}{Y} \times 14,1 = t$$

$$\text{Fraksi II} = \frac{(I \times 100)}{Y} \times 7,1 = r, \quad \text{Fraksi V} = \frac{(o \times 100)}{Y} \times 24,0 = u$$

$$\text{Fraksi III} = \frac{(k \times 100)}{Y} \times 10 = s, \quad \text{Fraksi VI} = \frac{(P \times 100)}{Y} \times 48,0 = v$$

sehingga $Z = q + r + s + t + u + v$, *Besar Jenis butir (BJB)* = $\frac{100}{Z} \times 10 \text{ mm}$

Struktur data yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Struktur Data Diagram kontrol

Fase	Pengamatan ke-	Karakteristik Kualitas	
		ICUMSA	BJB
Satu	1	\hat{a}_{11}	\hat{a}_{12}
	2	\hat{a}_{21}	\hat{a}_{22}
	⋮	⋮	⋮
	n_1	$\hat{a}_{n_1 1}$	$\hat{a}_{n_1 2}$

3.3 Langkah Analisis

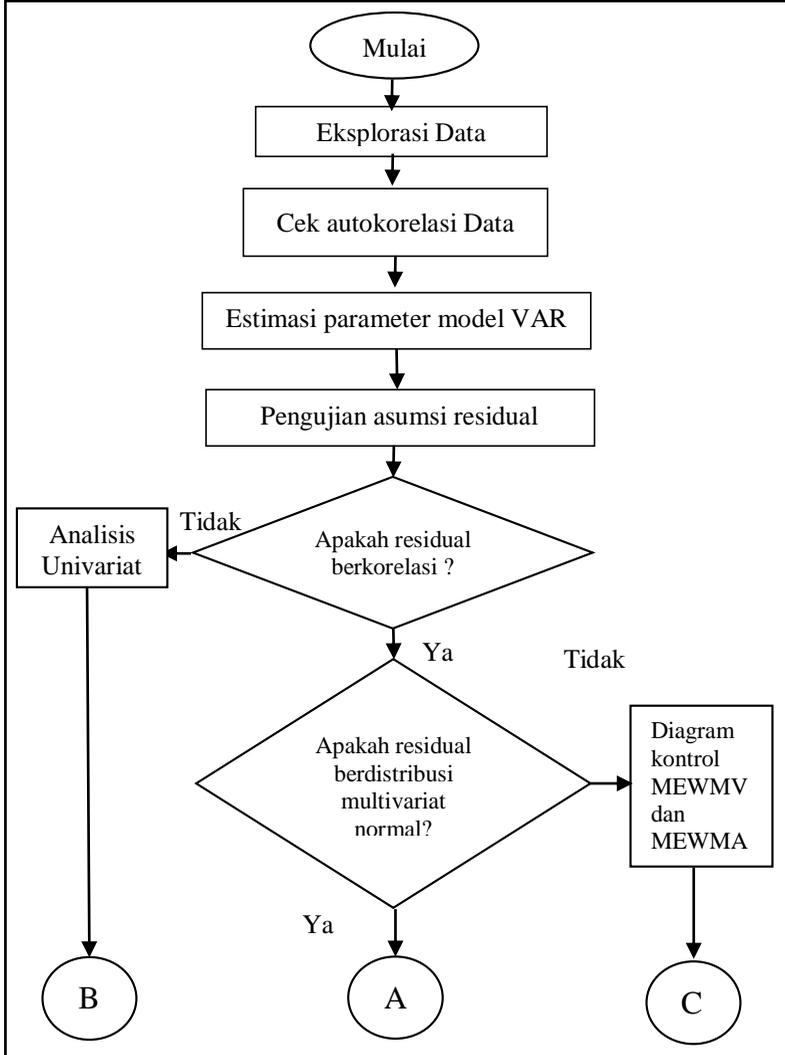
Langkah analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan eksplorasi data dari karakteristik kualitas gula kristal putih.
2. Cek Autokorelasi
3. Menentukan Model dengan menggunakan VAR menggunakan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Menguji stasioneritas masing - masing karakteristik kualitas secara individu meliputi stasioneritas dalam mean dan varians menggunakan transformasi *Box – Cox*, *plot ACF* dan *Augmented Dickey – Fuller Test*.
 - b. Mengidentifikasi order model VAR menggunakan *partial autoregression matrices*.
 - c. Mengestimasi parameter dari model VAR yang terbentuk.
 - d. Menguji diagnostik model meliputi uji signifikansi parameter, uji residual *white noise* dan residual berdistribusi normal multivariat.

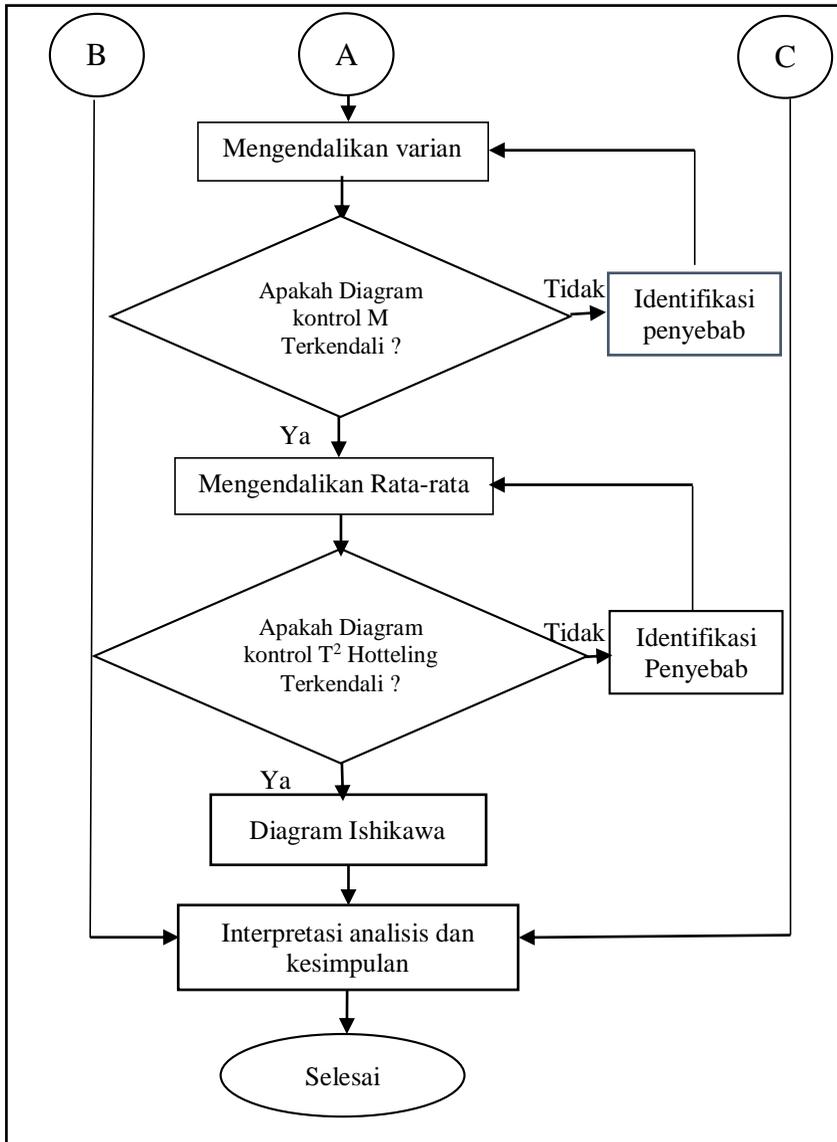
4. Pengujian asumsi depedensi residual antar variabel dengan pengujian korelasi antar residual variabel yaitu variabel ICUMSA dan BJB dengan menggunakan korelasi *Pearson* pada persamaan (2.16).
5. Melakukan pengendalian kualitas produk dengan membuat diagram kontrol M untuk mengendalikan variabilitas proses. Langkah-langkah yang digunakan untuk membuat diagram kontrol M sebagai berikut.
 - a. Menghitung M_i sesuai persamaan (2.22)
 - b. Menetapkan batas kendali pada tiap pengamatan
6. Diagram kontrol T^2 Hotelling Individu untuk mengendalikan rata-rata proses. Langkah-langkah yang digunakan sebagai berikut.
 - a. Menghitung V dengan persamaan (2.23).
 - b. Menghitung matriks varian kovarian Σ .
 - c. Menghitung nilai statistik T^2 Hotelling Individu.
 - d. Menetapkan batas kendali setiap pengamatan.
7. Membuat diagram Ishikawa.
8. Menarik kesimpulan.

3.4 Diagram Alir

Langkah analisis diatas dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram alir langkah analisis



Gambar 3. 2 Diagram alir langkah analisis (Lanjutan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bagian analisis dan pembahasan akan menjelaskan mengenai hasil analisis statistika deskriptif dari karakteristik kualitas gula Kristal putih yaitu ICUMSA (warna gula) dan berat jenis butir (BJB) yang dihasilkan oleh pabrik gula Tjoekir Jombang dengan diawali bahwa tiap pengamatan tidak ada autokorelasi, kemudian akan dibuat diagram kontrol multivariat yang sudah memenuhi asumsi.

4.1 Eksplorasi Karakteristik Kualitas Gula Kristal Putih

Eksplorasi karakteristik pada kualitas Gula Kristal putih yang diproduksi oleh pabrik gula Tjoekir dilakukan untuk memberikan gambaran secara umum tentang hasil gula kristal putih. Gambaran umum tersebut meliputi rata-rata, varians, nilai minimum dan maksimum dari masing-masing karakteristik kualitas. Berikut ini adalah hasil analisis statistika deskriptif pada musim giling tahun 2017 di PG. Tjoekir Jombang yang disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Analisa karakteristik kualitas GKP

Bln	karakteristik kualitas	Rata-rata	Varians	Min	Max	BSB	BSA
Juli	ICUMSA	256,900	17404,200	122,00	606,00	81,0	200,0
	BJB	0,764	0,005	0,62	0,94	0,8	1,2
Agt	ICUMSA	154,360	1639,190	106,00	299,00	81,0	200,0
	BJB	0,719	0,005	0,60	1,00	0,8	1,2
Sep	ICUMSA	161,660	1397,640	107,00	329,00	81,0	200,0
	BJB	0,778	0,003	0,61	0,88	0,8	1,2
Okt	ICUMSA	181,840	1486,750	121,00	267,00	81,0	200,0
	BJB	0,775	0,003	0,64	0,85	0,8	1,2

Tabel 4.1 menjelaskan bahwa karakteristik kualitas gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang pada periode musim giling tahun 2017 yang beroperasi antara kurun waktu dari bulan Juli-bulan Oktober yang dijelaskan tiap bulannya. Berdasarkan Tabel 4.1 diperoleh pada bulan Juli bahwa rata-rata karakteristik kualitas

ICUMSA sebesar 256,900 IU dengan varians sebesar 17404,200 dimana ICUMSA terendah yaitu 122 IU dan yang tertinggi sebesar 606 IU, sedangkan untuk rata-rata karakteristik kualitas BJB sebesar 0,764 mm dengan varians sebesar 0,00541 dan nilai terendahnya adalah 0,620. Pada bulan Juli karakteristik kualitas yang dihasilkan jauh berbeda jika dibandingkan dengan bulan-bulan yang lainnya, hal ini disebabkan karena pada awal musim giling kondisi mesin masih belum stabil karena baru pertama kali dioperasikan untuk mulai giling setelah beberapa bulan tidak beroperasi. Hal ini menyebabkan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan tidak bisa tercapai. Rata-rata produk GKP yang dihasilkan pada bulan Juli melewati batas spesifikasi atas.

Pada bulan Agustus 2017 rata-rata karakteristik kualitas ICUMSA lebih baik jika dibandingkan dengan bulan sebelumnya. Pada bulan Agustus rata-rata ICUMSA sebesar 154,360 IU dengan varians sebesar 1639,190 dan nilai karakteristik terendah adalah 106 mm, sedangkan yang tertinggi adalah 299 IU. Pada karakteristik kualitas BJB memiliki rata-rata pada bulan Agustus sebesar 0,719 mm dan kualitas yang dihasilkan hampir sama karena nilai varians yang sangat kecil yaitu 0,005 dengan nilai terendah BJB adalah 0,600 mm dan yang tertinggi adalah 1 mm. Jika dibandingkan dengan bulan Juli proses produksi pada bulan Agustus lebih terkendali, namun masih melewati batas spesifikasi atas untuk karakteristik ICUMSA dan melewati batas spesifikasi bawah untuk karakteristik kualitas BJB. Selanjutnya jika ditinjau dari bulan Juli-Oktober rata-rata dan tingkat keragaman yang paling tinggi yaitu terdapat pada bulan Juli untuk semua karakteristik kualitas.

Selanjutnya adalah melakukan eksplorasi karakteristik kualitas data berdasarkan *shift* yang ada di PG Tjoekir Jombang untuk mengetahui perbedaan antar *shift*. Berikut ini disajikan Tabel 4.2 eksplorasi data berdasarkan *shift*.

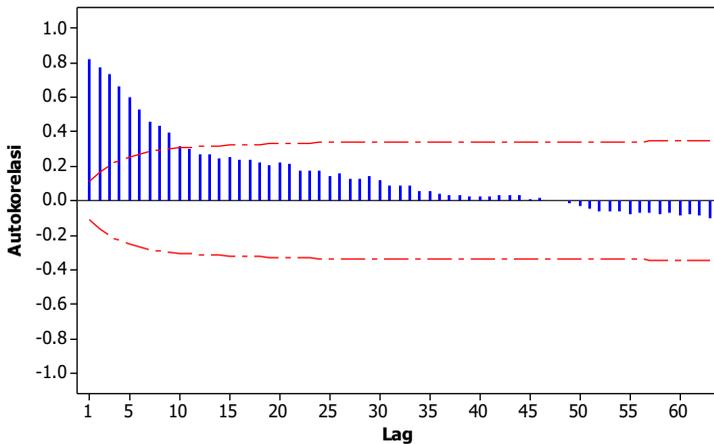
Tabel 4.2 Eksplorasi data berdasarkan *shift*

Variabel	Shift	Rata-rata	Varians	Min	Maks
ICUMSA	1	192,290	7746,180	106,00	600,00
BJB	1	0,768	0,004	0,600	0,88
ICUMSA	2	183,970	5990,050	110,00	597,00
BJB	2	0,754	0,004	0,620	0,93
ICUMSA	3	178,820	5910,680	106,00	606,00
BJB	3	0,751	0,005	0,610	1,00

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui perbedaan antar *shift* yang ada di pabrik gula Tjoekir Jombang. Hasil pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan antar *shift* dalam memproduksi gula kristal putih. Karakteristik kualitas ICUMSA pada *shift* 2 dan *shift* 3 memiliki nilai rata-rata yang tidak berbeda jauh jika dibandingkan dengan *shift* 1 dan hal ini diperkuat dengan nilai varians yang hampir sama pada *shift* 2 dan *shift* 3. Pada karakteristik kualitas BJB semua *shift* baik *shift* 1, *shift* 2 dan *shift* 3 memiliki nilai rata-rata yang tidak berbeda jauh. Nilai varians yang cenderung sama, memberikan kesimpulan bahwa tidak terdapat perbedaan antar *shift* dalam memproduksi gula kristal putih.

4.2 Cek Autokorelasi

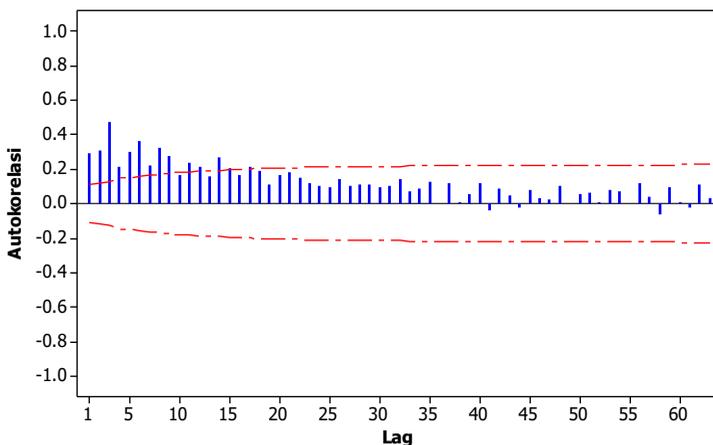
Salah satu asumsi yang harus terpenuhi ketika untuk membuat diagram kontrol adalah bahwa antar pengamatan harus independen atau tidak ada autokorelasi. Pengecekan ada atau tidaknya autokorelasi pada karakteristik kualitas dapat menggunakan plot ACF (*Autocorrelation Function*). Plot ACF mampu mendeteksi adanya autokorelasi dengan melihat apabila ada lag yang keluar dari batas signifikansi atas maupun bawah. Berikut ini adalah pengecekan autokorelasi pada masing-masing karakteristik kualitas gula kristal putih (GKP) di pabrik gula Tjoekir jombang selama 1 periode musim giling yaitu bulan Juli sampai bulan Oktober 2017.



Gambar 4. 1 Plot ACF untuk karakteristik kualitas ICUMSA

Berdasarkan Gambar 4.1 plot ACF untuk karakteristik kualitas ICUMSA menunjukkan adanya autokorelasi pada pengamatan. Hal tersebut dapat diketahui dari beberapa lag yang keluar dari batas signifikansi atas, dimana batas signifikansi (*confidence Interval*) ditunjukkan oleh garis merah. Hal ini menjelaskan bahwa karakteristik kualitas ini dipengaruhi oleh kejadian sebelumnya, sehingga ketika akan membuat diagram kontrol secara konvensional akan memberikan hasil yang kurang sesuai. Akibatnya hasil yang akan diberikan kepada perusahaan nantinya akan bersifat bias.

Selanjutnya adalah plot ACF untuk karakteristik kualitas besar jenis butir (BJB) di pabrik gula Tjoekir Jombang selama kurang lebih 1 periode musim giling yang terlaksana pada bulan Juli hingga Oktober 2017. BJB sendiri merupakan salah satu karakteristik penting dalam menentukan gula kristal putih, sehingga diperlukan kontrol terhadap kualitas salah satunya pada pengukuran. Sama halnya dengan variabel sebelumnya, BJB juga harus memenuhi asumsi independen atau bebas autokorelasi.



Gambar 4. 2 Plot ACF karakteristik kualitas BJB

Pada Gambar 4.2 menerangkan bahwa terdapat autokorelasi pada data karakteristik kualitas BJB. Hal ini ditunjukkan oleh adanya beberapa lag yang keluar batas signifikansi atas (*confidence Interval*). Hal ini mengindikasikan bahwa antar pengamatan dengan pengamatan yang lain masih terdapat depedensi. Berdasarkan masing-masing karakteristik kualitas yang berautokorelasi maka digunakan pemodelan dengan *time series* untuk mendapatkan residual yang bebas autokorelasi.

4.3 Pemodelan *Vector Autoregressive* (VAR)

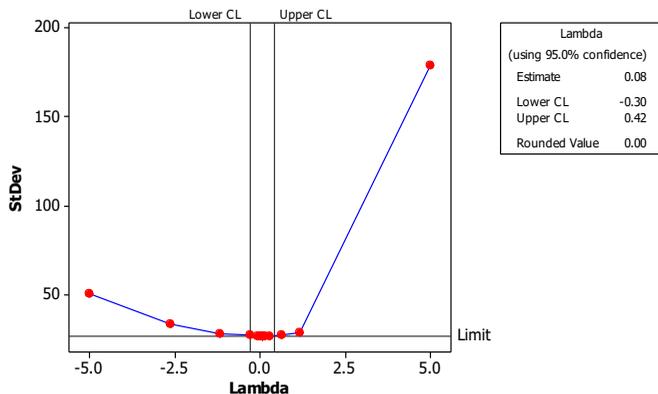
Model *vector autoregressive* merupakan salah satu model yang digunakan untuk mendeskripsikan hubungan antara beberapa variabel *time series*. Dalam hal ini ingin diketahui model *vector autoregressive* untuk karakteristik kualitas di PG Tjoekir Jombang. Seperti halnya dalam pemodelan secara univariat dengan menggunakan ARIMA, pemodelan VAR mempunyai beberapa tahapan, tahapan pertama yaitu melakukan uji stasioneritas data. Apabila data belum stasioner dalam *varians*, maka dilakukan transformasi data agar data stasioner dalam *varians* dan ketika data

belum stasioner dalam *mean*, maka dilakukan *differencing* agar data stasioner dalam *mean*. Untuk memudahkan dalam melakukan analisis dan interpretasi ketika ada salah satu karakteristik kualitas (variabel) yang ditransformasi maupun di *differencing*, maka karakteristik kualitas (variabel) yang lain juga diberikan perlakuan yang sama.

4.3.1 Identifikasi Stasioneritas Data

Sama halnya seperti dalam *univariate time series* (ARIMA), pemodelan menggunakan metode VAR (*Multivariate time series*) juga harus memenuhi asumsi yang dibutuhkan. maka asumsi awal yang harus dipenuhi adalah stasioneritas dalam varians dan rata-rata. Pengujian stasioneritas dalam varians dilakukan menggunakan nilai *rounded value* serta memperhatikan rentang batas atas dan bawah apabila memuat nilai 1 maka dapat dikatakan stasioner dalam varians, sedangkan pengujian stasioneritas dalam rata - rata digunakan dengan melihat *time series plot* atau melalui uji ADF.

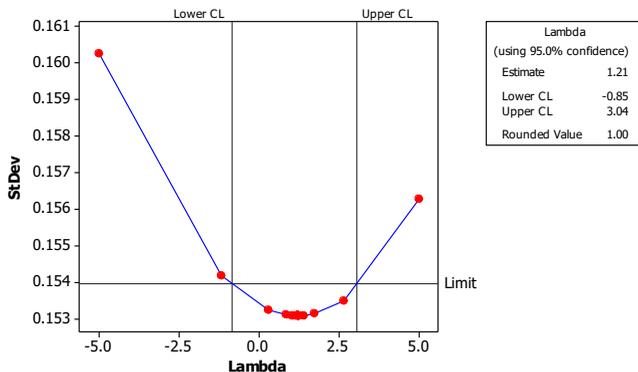
Berikut ini adalah pengujian stasioneritas dalam varians untuk masing-masing karakteristik kualitas yang digunakan oleh pabrik gula Tjoekir Jombang dalam memuat gula Kristal putih.



Gambar 4. 3 plot Box-Cox karakteristik ICUMSA

Data telah stasioner dalam varians (data menyebar stasioner disekitar garis tengah) jika *rounded value* yang dihasilkan Box-Cox bernilai 1 atau pada rentang LCL dan UCL memuat nilai 1. Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa nilai *rounded value* tidak bernilai 1 yaitu sebesar 0.00 serta LCL (batas bawah) sebesar -0,30 dan UCL (batas atas) sebesar 0,42 yang berarti mengidentifikasi tidak memuat nilai 1, sehingga data karakteristik kualitas ICUMSA belum stasioner dalam varians. Perlu dilakukan transformasi data dengan menggunakan transformasi ln karena nilai *rounded value* sebesar 0,00, maka transformasi yang paling sesuai untuk digunakan adalah dengan melakukan transformasi ln dan diharapkan data stasioner dalam varians.

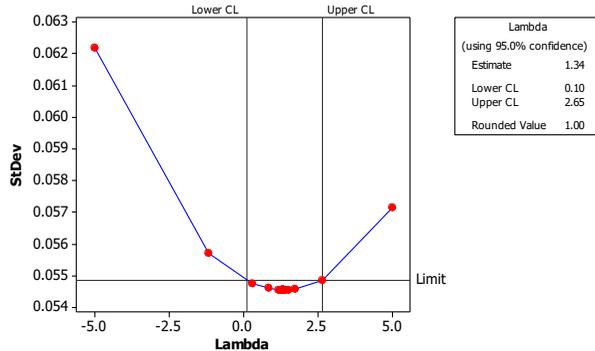
Berikut ini adalah Box-cox hasil dari transformasi karakteristik kualitas ICUMSA dengan menggunakan transformasi ln.



Gambar 4. 4 Plot *Box-cox* transformasi ln ICUMSA

Berdasarkan Gambar 4.4 plot Box-cox menunjukkan bahwa nilai *rounded value* yang dihasilkan oleh Box-Cox sebesar 1 dan rentang LCL sebesar -0,85 dan UCL sebesar 3,04 sehingga memuat nilai 1. Dapat disimpulkan setelah dilakukan transformasi data, karakteristik kualitas ICUMSA telah stasioner dalam varians.

Selanjutnya adalah pengujian stasioneritas dalam varinas untuk karakteristik kualitas BJB.



Gambar 4.5 Plot Box-cox karakteristik kualitas BJB

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa karakteristik kualitas BJB telah memenuhi asumsi stasioner dalam varians karena nilai *rounded value* yang dihasilkan sebesar 1 dan rentang LCL (Batas bawah) yaitu sebesar 0,10 dan UCL (Batas atas) sebesar 2,65 yang berarti memuat nilai 1, sehingga dapat disimpulkan bahwa data karakteristik kualitas BJB telah stasioner dalam varians.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian stasioneritas dalam rata-rata untuk masing-masing variabel yaitu variabel ICUMSA dan BJB dengan menggunakan pengujian *Augmented Dickey Fuller Test* atau biasa disingkat *ADF test* dengan menggunakan hipotesis sebagai berikut,

H_0 : Data karakteristik kualitas tidak stasioner dalam rata - rata.

H_1 : Data karakteristik kualitas stasioner dalam rata - rata.

Nilai statistik uji diperoleh dari persamaan 2.3 dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.3 ditampilkan rangkuman dari hasil pengujian stasioneritas dalam rata - rata sebagai berikut.

Tabel 4.3 Uji Stasioneritas data Dalam Rata-rata

Karakteristik Kualitas	<i>P-Value</i>
ICUMSA	<0.01
BJB	0.02002

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa nilai *p-value* yang diperoleh lebih kecil dari taraf signifikan yang digunakan yaitu sebesar 0.05, sehingga dapat diambil keputusan tolak H_0 yang berarti bahwa data karakteristik kualitas ICUMSA dan BJB telah stasioner dalam rata-rata (*mean*), sehingga tidak diperlukan proses *differencing*.

4.3.2 Penentuan Orde *Vector Autoregressive* (VAR)

Semua karakteristik kualitas ICUMSA dan BJB telah memenuhi asumsi stasioner terhadap varians dan rata-rata, maka dapat dilanjutkan dengan menduga model awal VAR menggunakan plot MPACF. Plot MPACF data ICUMSA dan BJB adalah sebagai berikut.

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
ICUMSA	+	.	+	+
BJB	++	.	+	.	.	.	+	.	+
+ is > 2*stud error, - is < -2*stud error, . is between																				

Gambar 4. 6 Plot MPACF Karakteristik Kualitas

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada lag 1, 2, 3, 6, 8 dan 13 terdapat simbol plus (+) yang menandakan bahwa pada lag tersebut signifikan karena melewati batas signifikansi atas, sehingga dapat diduga model VAR memuat lag-lag tersebut. Selain menggunakan plot MPACF, penentuan model VAR juga dapat dilakukan berdasarkan nilai *minimum information criterion* model. Hal ini digunakan untuk menentukan panjang lag yang signifikan. Pemilihan model VAR dilakukan dengan memilih model yang memiliki nilai *minimum information criterion* terkecil. Nilai *Minimum Information Criterion* untuk menentukan model awal karakteristik kualitas di tampilan pada Tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4. 4 *Minimum Information Criterion* Model Awal Karakteristik Kualitas

Lag	MA (0)	MA (1)	MA (2)	MA (3)	MA (4)	MA (5)
AR (0)	-7,3941	-7,4452	-7,5050	-7,6816	-7,7277	-7,8082
AR (1)	-8,1270	-8,2983	-8,2898	-8,3678	-8,4306	-8,4263
AR (2)	-8,2623	-8,3070	-8,3590	-8,3873	-8,4106	-8,4242
AR (3)	-8,4871	-8,4525	-8,4358	-8,4454	-8,4334	-8,4318
AR (4)	-8,4661	-8,4514	-8,4396	-8,4423	-8,4264	-8,4219
AR (5)	-8,4625	-8,4520	-8,4286	-8,4399	-8,4240	-8,4036

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa orde yang memiliki nilai *Minimum information criterion* terkecil terdapat pada lag AR (3) dan MA (0). Sehingga dugaan model awal yang terbentuk adalah VAR (3).

4.3.3 Estimasi Parameter Model

Estimasi parameter digunakan untuk membuktikan bahwa model yang terbentuk menghasilkan parameter yang signifikan. Model dikatakan baik apabila suatu model yang terbentuk menghasilkan parameter yang signifikan dan residual memenuhi asumsi white noise dan berdistribusi multivariat normal.

Tidak semua parameter dapat digunakan dalam model, sehingga perlu dilakukan pembatasan atau *restrict* pada parameter yang tidak signifikan. Hasil estimasi dan uji signifikansi parameter model VAR(3) sebelum dilakukan *restrict* (mengeluarkan satu persatu parameter yang tidak signifikan) adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Estimasi Parameter Model VAR (3) Sebelum *Restrict*

Equation	Parameter	Estimasi	P-value	Variabel
ICUMSA	ϕ_{010}	0,96362	0,0001	1
	ϕ_{111}	0,35937	0,0001	ICUMSA(t-1)
	ϕ_{112}	0,07098	0,5803*	BJB(t-1)
	ϕ_{211}	0,18930	0,0009	ICUMSA(t-2)
	ϕ_{212}	-0,12902	0,3104*	BJB(t-2)
	ϕ_{311}	0,27488	0,0001	ICUMSA(t-3)

Tabel 4. 5 Estimasi Parameter Model VAR (3) Sebelum *Restrict* (Lanjutan)

	ϕ_{312}	0,26810	0,0374	BJB(t-3)
	ϕ_{020}	-0,30941	0,0023	1
	ϕ_{121}	0,02637	0,2406*	ICUMSA(t-1)
	ϕ_{122}	0,07599	0,1532*	BJB(t-1)
BJB	ϕ_{221}	0,01028	0,6598*	ICUMSA(t-2)
	ϕ_{222}	0,14157	0,0074	BJB(t-2)
	ϕ_{321}	0,00101	0,9632*	ICUMSA(t-3)
	ϕ_{322}	0,37414	0,0001	BJB(t-3)

Restrict dilakukan satu persatu dari parameter yang paling tidak signifikan. Terdapat 6 parameter yang ter-*restrict*. Hasil penaksiran dan uji signifikansi parameter setelah dilakukan *restrict* adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Estimasi Parameter Model VAR (3) Setelah *Restrict*

Equation	Parameter	Estimasi	P-value	Variabel
	ϕ_{010}	1,01474	0,0001	1
	ϕ_{111}	0,36408	0,0001	ICUMSA(t-1)
	ϕ_{112}	0,00000	-	BJB(t-1)
ICUMSA	ϕ_{211}	0,17706	0,0014	ICUMSA(t-2)
	ϕ_{212}	0,00000	-	BJB(t-2)
	ϕ_{311}	0,27536	0,0001	ICUMSA(t-3)
	ϕ_{312}	0,26255	0,0342	BJB(t-3)
	ϕ_{020}	-0,32921	0,0001	1
	ϕ_{121}	0,03958	0,0077	ICUMSA(t-1)
	ϕ_{122}	0,00000	-	BJB(t-1)
BJB	ϕ_{221}	0,00000	-	ICUMSA(t-2)
	ϕ_{222}	0,16350	0,0014	BJB(t-2)
	ϕ_{321}	0,00000	-	ICUMSA(t-3)
	ϕ_{322}	0,39272	0,0001	BJB(t-3)

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa semua parameter telah signifikan dimana nilai *p-value* parameter < 0.05 . Berdasarkan hasil uji signifikansi parameter dari model VAR (3) yang telah dilakukan *Restrict* dapat diketahui bahwa terdapat hubungan saling mempengaruhi antara variabel karakteristik kualitas ICUMSA dan BJB, dimana karakteristik kualitas masing-masing dipengaruhi dari pengamatan 1 sampai dengan 3 *shift* sebelumnya. Bentuk matematis dari estimasi parameter model VAR (3) dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$X_t = \phi_0 + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \phi_3 X_{t-3} + a_t$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_{1,t} \\ \dot{X}_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,01474 \\ -0,2921 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,36408 & 0,03958 \\ 0,0000 & 0,00000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X}_{1,t-1} \\ \dot{X}_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,17706 & 0,00000 \\ 0,00000 & 0,16350 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X}_{1,t-2} \\ \dot{X}_{2,t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,27536 & 0,00000 \\ 0,26255 & 0,39272 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X}_{1,t-3} \\ \dot{X}_{2,t-3} \end{bmatrix}$$

Selanjutnya dilakukan *diagnostic checking* yaitu memeriksa dan menguji apakah residual memenuhi asumsi *white noise* dengan uji Portmanteau.

4.3.4 Pemeriksaan Diagnostik

Pada tahap ini setelah dilakukan estimasi parameter, selanjutnya ialah memeriksa asumsi dari model apakah telah terpenuhi yaitu asumsi residual *white noise* dan berdistribusi normal. Asumsi *white noise* menunjukkan bahwa residual tersebut merupakan variabel random yang tidak berkorelasi dan Asumsi distribusi normal dengan mean nol dan varians konstan.

Asumsi *white noise* dimana pengujian yang dilakukan dengan uji Portmanteau. Berikut ini adalah hasil dari uji portmanteau.

Tabel 4. 7 Hasil Uji Portmanteau

Lag ke	Qk	df	$\chi^2_{(0,05;df)}$	<i>P-value</i>
4	8,67	4	9,4877	0,0699
5	11,98	8	15,5073	0,1523
6	14,54	12	21,0261	0,2678

Tabel 4. 7 Hasil Uji Portmanteau (Lanjutan)

7	19,86	16	26,2962	0,2268
8	28,92	20	31,4104	0,0894
9	33,96	24	36,4150	0,0854
10	35,20	28	41,3371	0,1642
11	40,66	32	46,1943	0,1403
12	42,55	36	50,9985	0,2098
13	45,74	40	55,7585	0,2459
14	52,21	44	60,4809	0,185
15	59,35	48	65,1708	0,1261
16	60,89	52	69,8322	0,1864
17	63,90	56	74,4683	0,2187
18	71,26	60	79,0819	0,1516
19	73,20	64	83,6753	0,2018
20	75,01	68	88,2502	0,2618

Berdasarkan uji Portmanteau pada Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa semua lag memiliki nilai statistik uji Qk kurang dari $\chi^2_{(0.05;df)}$ atau *p-value* lebih dari 0,05. Dengan hipotesis nol adalah residual data memenuhi asumsi *white noise*, maka hipotesis nol gagal ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa residual data memenuhi asumsi *white noise*.

Langkah selanjutnya setelah asumsi *white noise* terpenuhi adalah melakukan pengujian untuk residual berdistribusi multivariat normal. Hasil uji dengan *Shapiro-Wilk* diperoleh *P-value* sebesar 0,1653 lebih besar dari taraf signifikan yang digunakan yaitu 0,05. Dengan H_0 adalah residual data berdistribusi multivariat normal, maka H_0 gagal ditolak dan dapat disimpulkan bahwa residual data telah memenuhi asumsi residual berdistribusi normal multivariat.

4.4 Pengendalian Kualitas Gula Kristal Putih

Sebelum membuat peta kendali ada beberapa asumsi yang harus dipenuhi terlebih dahulu yaitu asumsi korelasi antar karakteristik. Pada kasus diagram kontrol multivariat berbasis model *time series* maka residual masing – masing karakteristik kualitas yang dilakukan pengujian korelasi dan distribusi multivariat normal.

4.4.1 Pengujian Asumsi Korelasi

Asumsi yang harus dipenuhi adalah korelasi antar karakteristik kualitas dan distribusi multivariat normal. Untuk pengujian distribusi multivariat normal pada residual, telah dilakukan pada tahapan pemodelan VAR. Hipotesis yang digunakan untuk pengujian korelasi terhadap residual ICUMSA dan BJB sebagai berikut.

$H_0 : \rho = 0$ (tidak terdapat korelasi antar residual secara empiris)

$H_1 : \rho \neq 0$ (terdapat korelasi antar residual secara empiris)

Berdasarkan hasil uji korelasi *pearson* pada Lampiran 13 didapatkan nilai *p-value* sebesar 0,009 lebih kecil jika dibandingkan dengan alpha 0,05 sehingga di dapatkan keputusan tolak H_0 yang mengartikan bahwa terdapat korelasi antar residual ICUMSA dan BJB secara empiris. Semua asumsi baik asumsi korelasi antar residual karakteristik kualitas dan asumsi distribusi multivariat normal telah terpenuhi maka selanjutnya dapat membuat diagram kontrol M dan diagram kontrol T^2 Hotelling Individu.

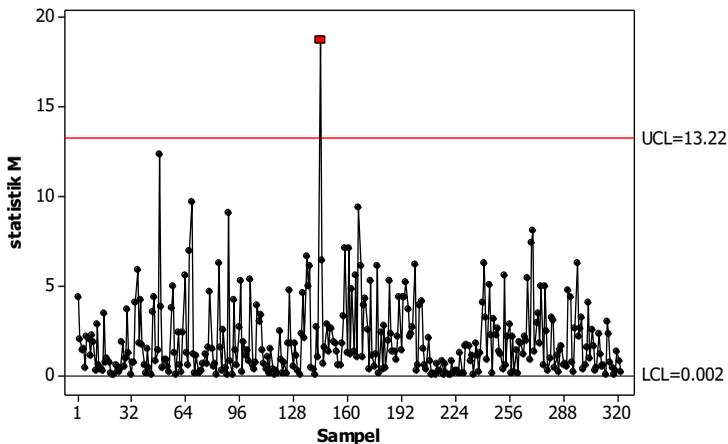
4.4.2 Pengendalian Variabilitas Proses

Pada tahap ini akan mengendalikan variabilitas proses di PG Tjoekir Jombang Menggunakan Diagram kendali M. Apabila terjadi proses yang tidak terkendali maka dilakukan identifikasi faktor penyebab (*assignable causes*) tidak terkendalinya suatu proses tersebut. Hasil dari batas kendali pada penelitian ini sebagai masukan kepada PG Tjoekir Jombang untuk bisa digunakan pada proses produksi musim selanjutnya. Dalam memperoleh nilai statistik M dapat ditunjukkan beberapa titik sebagai berikut.

Tabel 4. 8 Perhitungan beberapa titik Diagram kontrol M

Obs	\hat{a}_1	\hat{a}_2	<i>Successive Difference</i>		M_i	LCL	UCL
1	0,2663	0,0462	-0,0167	-0,2255	4,3113	0,0027	13,2153
2	0,2496	-0,1793	-0,0334	0,1513	2,0251	0,0027	13,2153
3	0,2161	-0,0280	-0,2196	0,0744	1,3503	0,0027	13,2153
4	-0,0035	0,0465	0,1253	0,1286	1,4794	0,0027	13,2153
5	0,1218	0,1751	-0,1092	-0,0616	0,4309	0,0027	13,2153
6	0,0126	0,1135	0,2836	-0,0892	2,1216	0,0027	13,2153
7	0,2962	0,0242	-0,3734	-0,0270	2,0072	0,0027	13,2153
8	-0,0773	-0,0028	0,0987	-0,1006	1,1098	0,0027	13,2153
9	0,0214	-0,1034	...	...	...	0,0027	13,2153

Berikut ini hasil monitoring variabilitas proses produksi tetes menggunakan diagram kontrol M yang disajikan dalam bentuk gambar.

**Gambar 4. 7** Diagram kontrol M

Gambar 4.7 merepresentasikan tentang hasil monitoring variabilitas produksi gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang menggunakan diagram kontrol M. Berdasarkan Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa terdapat pengamatan yang berada di luar batas

kendali atas. Nilai batas kendali atas yakni sebesar 13,22 dan batas kendali bawah sebesar 0,002. Pengamatan yang berada diluar batas kendali adalah pada subgrup ke 145 yaitu pada tanggal 27 agustus 2017 shift 3. Dari Gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya data yang berada diluar batas kendali menandakan bahwa variabilitas proses produksi gula kristal putih PG Tjoekir Jombang pada musim giling tahun 2017 belum terkendali secara statistik. Langkah selanjutnya untuk mengeluarkan pengamatan yang tidak terkendali harus mengetahui penyebab utama proses tidak terkendali dengan melihat *check sheet*. Pada Lampiran 14 diketahui bahwa pada *shift* 3 terjadi kerusakan pada mesin yaitu tepatnya pada stasiun penguapan, maka dilakukan perbaikan pada diagram kendali dengan mengeluarkan pengamatan ke 145.

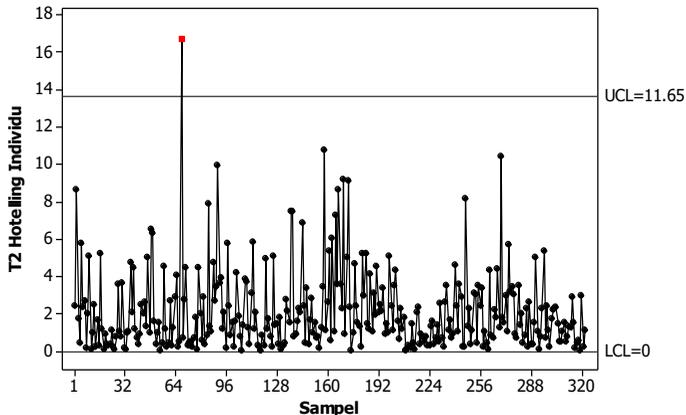
4.4.3 Pengendalian Rata-rata Proses

Setelah variabilitas proses produksi gula kristal putih terkendali, selanjutnya adalah melakukan analisis untuk memonitoring rata – rata proses produksi gula kristal putih yang dihasilkan PG Tjoekir Jombang pada musim giling tahun 2017 menggunakan diagram kontrol T^2 Hotteling individual dengan asumsi bahwa masalah yang terjadi pada kondisi mesin telah dilakukan perbaikan, sehingga kondisi mesin menjadi baik. Berikut ini adalah perhitungan untuk mendapatkan beberapa titik pada diagram kontrol T^2 Hotteling individual.

Tabel 4.9 Perhitungan beberapa titik Diagram kontrol T^2 Hotelling Individu

Obs	\hat{a}_1	\hat{a}_2	<i>Successive Difference</i>		T^2	LCL	UCL
1	0,2663	0,0462	-0,0167	-0,2255	2,3843	0,0000	11,6500
2	0,2496	-0,1793	-0,0334	0,1513	8,6557	0,0000	11,6500
3	0,2161	-0,0280	-0,2196	0,0744	1,7114	0,0000	11,6500
4	-0,0035	0,0465	0,1253	0,1286	0,4011	0,0000	11,6500
5	0,1218	0,1751	-0,1092	-0,0616	5,7409	0,0000	11,6500
6	0,0126	0,1135	0,2836	-0,0892	2,3529	0,0000	11,6500
7	0,2962	0,0242	-0,3734	-0,0270	2,7086	0,0000	11,6500
8	-0,0773	-0,0028	0,0987	-0,1006	0,1713	0,0000	11,6500
9	0,0214	-0,1034	...	...	...	0,0000	11,6500

Berikut ini adalah ilustrasi gambar hasil monitoring rata-rata proses produksi gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang dengan menggunakan diagram kontrol T^2 Hotelling Individu.



Gambar 4. 8 Diagram kontrol T^2 Hotelling Individu

Gambar 4.8 menjelaskan hasil tentang monitoring rata-rata gula kristal putih menggunakan diagram kontrol T^2 Hotelling Individu. Berdasarkan Gambar 4.8 diperoleh nilai batas kendali atas sebesar 11,65 dan batas kendali bawah sebesar 0 dan dapat diketahui bahwa ada pengamatan yang keluar dari batas kendali atas. Pengamatan yang berada diluar batas kendali adalah pada subgrup ke 68 yaitu pada tanggal 30 juli 2017 *shift* 1. Pada lampiran 15 menunjukkan bahwa salah satu penyebab utama yaitu terdapat kerusakan pada stasiun gilingan yang terjadi pada pukul 13.00-13.25 WIB. Karena adanya data pengamatan yang berada diluar batas kendali maka menandakan bahwa secara statistik rata – rata proses produksi gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang belum terkendali.

4.5 Identifikasi Proses Tidak Terkendali

Maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mencari faktor penyebab proses produksi gula kristal putih pada musim

giling 2017 tidak terkendali. Pada proses produksi diketahui bahwa terdapat 5 faktor penyebab suatu data pengamatan tidak terkendali dalam proses produksi gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang yaitu faktor tenaga kerja, Lingkungan, bahan baku, pengukuran, dan mesin. Faktor tenaga kerja dapat disebabkan oleh ketidakdisiplinan para pekerja dan tingkat kemampuan antar pekerja berbeda. Faktor lingkungan dapat disebabkan oleh adanya gangguan listrik yang padam. Faktor bahan baku yang dapat disebabkan oleh material yang digiling memiliki kualitas yang tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh pabrik gula seperti usia tebu yang terlalu tua atau masih muda, kondisi tebu kotor atau kurang dibersihkan dan disebabkan oleh jenis tebu yang berbeda.

Faktor mesin yang merupakan faktor utama penyebab proses tidak terkendali. Kerusakan mesin dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian setting awal pada saat masa perbaikan mesin yang biasa dilakukan setelah masa musim giling dan berlanjut sampai mendekati musim giling. Masa perbaikan mesin giling terjadi pada bulan November hingga bulan Mei setiap tahunnya ketika akan mendekati musim giling pada periode selanjutnya. Selain itu ketidaksesuaian yang disebabkan oleh faktor mesin juga dapat dipengaruhi oleh *maintenance* (perawatan) mesin dimana mesin-mesin yang digunakan mayoritas sudah tua sehingga diperlukan kalibrasi sebelum menggunakannya. Kemudian faktor pengukuran dapat disebabkan kesalahan pembacaan nilai pada alat ukur dimana ada beberapa alat ukur yang digunakan dalam menghitung karakteristik kualitas seperti refraktometer yang digunakan untuk mengukur warna larutan ICUMSA selain itu faktor yang lain juga dapat disebabkan oleh kurang telitinya pekerja dalam melakukan pengukuran dan pengambilan sampel data. Dari kelima faktor penyebab tersebut ada 3 faktor utama yaitu faktor pengukuran, mesin dan bahan baku merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap ketidaksesuaian proses produksi gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang pada musim giling 2017.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan diketahui di PG Tjoekir Jombang diperoleh hasil bahwa rata-rata dan varians tertinggi ICUMSA yaitu pada awal musim giling yakni pada bulan Juli 2017, hal ini disebabkan karena pada awal musim giling kondisi mesin produksi GKP masih belum stabil (lancar) atau masih dalam kondisi *burning up*. Pemodelan *time series* terbaik yaitu dengan menggunakan model VAR (3). Hasil diagram kendali M dan T² Hotelling Individu yang dibentuk berdasarkan residual diperoleh bahwa produksi gula kristal putih di PG Tjoekir Jombang belum terkendali secara statistik dari variabilitas dan rata-ratanya juga masih terdapat yang keluar. Setelah dilakukan inspeksi ternyata terdapat kerusakan mesin yang menjadi penyebab proses tidak terkendali. Hal itu diketahui dari adanya pengamatan yang keluar batas kendali atas.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dan hasil, maka saran yang bisa diberikan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. PG Tjoekir Jombang harus melakukan perbaikan proses khususnya pada mesin dengan melakukan pengecekan terhadap mesin yang akan digunakan secara berkala dan mengganti komponen yang sering mengalami kerusakan. Salah satunya adalah melakukan pengecekan terhadap kondisi rantai yang digunakan dan *setting* mesin yang mana dapat menyebabkan produksi gula kristal putih yang tidak terkendali secara statistik. Selain itu pihak manajemen PG Tjoekir Jombang perlu memperhatikan faktor lain yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian proses produksi.

(Halaman ini Sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Alva, J., & Estrada, E. (2009). *A Generalization Of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality*. *Communication in Statistics-Theory and Methods* Vol 38: Issues 11,1870-1883.
- Alwan, L.C. & Roberts, H. V., (1988). *Time Series Modeling for Statistical Process Control*. *Journal Of Bussiness & Economic Statistics*, Vol 6, No 1 (Jan.,1988), pp.87-95.
- BSN. (2010). *Gula Kristal Bagian 3 Putih*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Gujarati, D. N. (2003). *Basic Econometrics, Fourth Edition*. United States Of America : McGraw-Hill.
- Harianja, D. M. (2016). *Analisis Pengendalian Kualitas Tetes PG Kremboong Sidoarjo Menggunakan Diagram Kontrol MEWMA dan MEWMV*. Tugas Akhir Jurusan Statistika. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hidayati, T. (2016). *Analisis Pengendalian Kualitas Nira Tahap Pemurnian di Pabrik Gula Toelangan Sidoaro Menggunakan Diagram Kontrol MEWMV dan MEWMA*. Tugas Akhir Jurusan Statistika. Surabaya: ITS.
- Huwang, L., Yeh, A. B., & Wu, C.-W. (2007). *A Multivariate EWMA kontrol Chart for Monitoring Process Variability with Individual Observations*. *IIE Transactions*, 37, 1023-1035.
- Jarrett. J., E., Pan. X., (2006). *Vektor Autoregression and Monitoring Multivariate Autocorrelated Processes*. *Journal Computational & Data Analysis* 51 (2007), 3862-3870.
- Kemendag. (2017). *Pemerintah Akan Impor Gula 1 Juta Ton Lebih*. Tersedia di <http://regional.kompas.com/read/2017/03/17/00244031/2017.pemerintah.akan.impor.gula.1.juta.ton.lebih> Diakses pada tanggal 27 Februari 2018.

- Khoo, M., & Quah, S.H. (2003). *Multivariate Control Chart For Process Dispersion Based On Individual Observations*. *Journal Quality Engineering*, 15(4),639-642.
- Lutkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Germany: Springer.
- Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., & Rigdon, S. E. (1992). A Multivariate Weighted Moving Average Kontrol Chart. *Technometrics*, 34(1), 46-53.
- Montgomery, D. C. (2009). *Statistical Quality Kontrol, Sixth Edition*. United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Payne, J. H. (1982). *Unit Operations In Cane Sugar Production* (4 ed.). Amsterdam: Elsevier Science Publishing Company Inc.
- PTPN X. (2018). *Unit Usaha Gula*. Tersedia di <http://ptpn10.co.id/page/unit-usaha>. Diakses pada tanggal 28 Februari 2018 .
- Putri, R. S. (2015). *Analisis Pengendalian Kualitas Tetets Produksi PG Pesantren Baru Kediri Menggunakan Diagram Multivariate Berbasis Model Time Series*. Tugas Akhir Jurusan Statistika. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Raissi, S. (2009). Multivariate process capability indices on the presence of priority for quality characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, Vol. 5, No. 9, 27-36.
- Requeijo, J., G., Souza, A., M. (2011). T^2 Control Chart to Processes With Cross – Autocorrelaion. Proceedings of the 41st International on Computers & Industrial Engineering. Los Angeles, USA.
- 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.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability & Statistics for Engineers & Scientiests*. Ninth Edition. New Jersey: Prentice Hall.

- Widiaswanti, E. (2014). *Penggunaan Metode Statistical Quality Control (SQC) Untuk Pengendalian Kualitas Produk*. Industri Inovatif, Vol 4. No.2, pp.6-12.
- Wei, W. W. S. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods, Second Edition*. New York (United States of America): Pearson Education, Inc.

(Halaman Ini Sengaja dikosogkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.

Tan- ggal	Shift	GKP		Tan- ggal	Shift	GKP	
		ICUMSA	BJB			ICUMSA	BJB
7 Juli 2017	shift 1	600	0.82	14 Juli 2017	shift 1	248	0.81
	shift 2	527	0.84		shift 2	279	0.72
	shift 3	552	0.90		shift 3	263	0.77
8 Juli 2017	shift 1	600	0.87	15 Juli 2017	shift 1	274	0.78
	shift 2	597	0.71		shift 2	259	0.75
	shift 3	606	0.84		shift 3	244	0.72
9 Juli 2017	shift 1	481	0.87	16 Juli 2017	shift 1	213	0.76
	shift 2	493	0.93		shift 2	227	0.77
	shift 3	468	0.94		shift 3	242	0.78
10 Juli 2017	shift 1	551	0.88	18 Juli 2017	shift 1	281	0.70
	shift 2	388	0.89		shift 2	237	0.73
	shift 3	399	0.79		shift 3	193	0.75
11 Juli 2017	shift 1	284	0.77	19 Juli 2017	shift 1	293	0.77
	shift 2	309	0.81		shift 2	256	0.78
	shift 3	259	0.73		shift 3	218	0.78
12 Juli 2017	shift 1	239	0.88	20 Juli 2017	shift 1	213	0.72
	shift 2	254	0.81		shift 2	182	0.77
	shift 3	247	0.85		shift 3	243	0.67
13 Juli 2017	shift 1	251	0.85	21 Juli 2017	shift 1	167	0.78
	shift 2	267	0.69		shift 2	175	0.87
	shift 3	259	0.77		shift 3	159	0.68

Lampiran 1.1 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.

Tanggal	Shift	GKP		Tanggal	Shift	GKP	
		ICUMSA	BJB			ICUMSA	BJB
22 Juli 2017	shift 1	177	0.83	29 Juli 2017	shift 1	129	0.67
	shift 2	191	0.77		shift 2	150	0.71
	shift 3	205	0.71		shift 3	140	0.69
23 Juli 2017	shift 1	161	0.71	30 Juli 2017	shift 1	124	0.79
	shift 2	175	0.68		shift 2	122	0.62
	shift 3	188	0.65		shift 3	123	0.71
24 Juli 2017	shift 1	170	0.79	31 Juli 2017	shift 1	145	0.73
	shift 2	251	0.68		shift 2	177	0.91
	shift 3	225	0.71		shift 3	157	0.70
25 Juli 2017	shift 1	259	0.67	1 Agt 2017	shift 1	128	0.69
	shift 2	159	0.82		shift 2	140	0.69
	shift 3	165	0.67		shift 3	134	0.69
26 Juli 2017	shift 1	178	0.70	2 Agt 2017	shift 1	141	0.68
	shift 2	150	0.79		shift 2	124	0.69
	shift 3	131	0.66		shift 3	133	0.69
27 Juli 2017	shift 1	152	0.72	3 Agt 2017	shift 1	147	0.74
	shift 2	133	0.75		shift 2	163	0.67
	shift 3	196	0.69		shift 3	155	0.71
28 Juli 2017	shift 1	131	0.73	4 Agt 2017	shift 1	124	0.64
	shift 2	164	0.74		shift 2	185	0.71
	shift 3	173	0.75		shift 3	155	0.68

Lampiran 1.2 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.

Tan- gal	Shift	GKP		Tan- gal	Shift	GKP	
		ICUMSA	BJB			ICUMSA	BJB
5 Agt 2017	shift 1	123	0.62	12 Agt 2017	shift 1	179	0.86
	shift 2	130	0.69		shift 2	121	0.67
	shift 3	127	0.66		shift 3	150	0.71
6 Agt 2017	shift 1	193	0.75	13 Agt 2017	shift 1	164	0.77
	shift 2	177	0.76		shift 2	122	0.67
	shift 3	160	0.77		shift 3	196	0.72
7 Agt 2017	shift 1	120	0.78	14 Agt 2017	shift 1	167	0.65
	shift 2	118	0.80		shift 2	173	0.75
	shift 3	115	0.82		shift 3	170	0.70
8 Agt 2017	shift 1	111	0.60	15 Agt 2017	shift 1	121	0.66
	shift 2	114	0.67		shift 2	115	0.64
	shift 3	113	0.64		shift 3	118	0.65
9 Agt 2017	shift 1	111	0.72	16 Agt 2017	shift 1	110	0.62
	shift 2	146	0.71		shift 2	113	0.70
	shift 3	129	0.72		shift 3	112	0.66
10 Agt 2017	shift 1	112	0.84	17 Agt 2017	shift 1	106	0.67
	shift 2	113	0.65		shift 2	111	0.66
	shift 3	106	0.70		shift 3	109	0.67
11 Agt 2017	shift 1	125	0.83	18 Agt 2017	shift 1	167	0.65
	shift 2	110	0.68		shift 2	156	0.66
	shift 3	148	0.75		shift 3	162	0.66

Lampiran 1.3 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.

Tan- ggal	Shift	GKP		Tan- ggal	Shift	GKP	
		ICUMSA	BJB			ICUMSA	BJB
19 Agt 2017	shift 1	155	0.65	26 Agt 2017	shift 1	299	0.81
	shift 2	150	0.67		shift 2	210	0.70
	shift 3	112	0.61		shift 3	169	0.72
20 Agt 2017	shift 1	136	0.75	27 Agt 2017	shift 1	154	0.78
	shift 2	163	0.67		shift 2	187	0.71
	shift 3	150	0.71		shift 3	165	0.82
21 Agt 2017	shift 1	120	0.69	28 Agt 2017	shift 1	229	0.75
	shift 2	142	0.70		shift 2	168	0.71
	shift 3	140	0.69		shift 3	232	0.78
22 Agt 2017	shift 1	120	0.69	29 Agt 2017	shift 1	188	0.79
	shift 2	179	0.70		shift 2	174	0.70
	shift 3	116	0.76		shift 3	191	0.79
23 Agt 2017	shift 1	125	0.65	30 Agt 2017	shift 1	229	0.73
	shift 2	217	0.80		shift 2	251	0.83
	shift 3	227	0.65		shift 3	193	0.98
24 Agt 2017	shift 1	149	0.74	31 Agt 2017	shift 1	246	0.75
	shift 2	187	0.80		shift 2	218	0.73
	shift 3	195	0.77		shift 3	237	1.00
25 Agt 2017	shift 1	201	0.84	1- Sep- 17	shift 1	218	0.80
	shift 2	152	0.79		shift 2	198	0.66
	shift 3	113	0.72		shift 3	192	0.80

Lampiran 1.4 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.

Tan- ggal	Shift	GKP		Tan- ggal	Shift	GKP	
		ICUMSA	BJB			ICUMSA	BJB
2- Sep- 17	shift 1	329	0.79	9- Sep- 17	shift 1	113	0.79
	shift 2	292	0.81		shift 2	145	0.88
	shift 3	151	0.82		shift 3	118	0.77
3- Sep- 17	shift 1	204	0.67	10- Sep- 17	shift 1	147	0.88
	shift 2	165	0.74		shift 2	116	0.83
	shift 3	178	0.61		shift 3	129	0.66
4- Sep- 17	shift 1	155	0.70	11- Sep- 17	shift 1	174	0.76
	shift 2	128	0.83		shift 2	119	0.80
	shift 3	107	0.81		shift 3	161	0.66
5- Sep- 17	shift 1	158	0.79	12- Sep- 17	shift 1	122	0.81
	shift 2	154	0.79		shift 2	169	0.74
	shift 3	158	0.74		shift 3	125	0.70
6- Sep- 17	shift 1	168	0.66	13- Sep- 17	shift 1	170	0.79
	shift 2	184	0.85		shift 2	182	0.64
	shift 3	176	0.80		shift 3	163	0.83
7- Sep- 17	shift 1	174	0.68	14- Sep- 17	shift 1	163	0.80
	shift 2	189	0.77		shift 2	176	0.82
	shift 3	117	0.78		shift 3	122	0.81
8- Sep- 17	shift 1	112	0.70	15- Sep- 17	shift 1	175	0.83
	shift 2	115	0.85		shift 2	151	0.80
	shift 3	126	0.68		shift 3	136	0.86

Lampiran 1.5 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.

Tanggal	Shift	GKP		Tanggal	Shift	GKP	
		ICUMSA	BJB			ICUMSA	BJB
16-Sep-17	shift 1	135	0.81	23-Sep-17	shift 1	165	0.80
	shift 2	183	0.83		shift 2	180	0.80
	shift 3	162	0.80		shift 3	154	0.77
17-Sep-17	shift 1	169	0.80	24-Sep-17	shift 1	190	0.70
	shift 2	164	0.81		shift 2	191	0.80
	shift 3	169	0.80		shift 3	164	0.74
18-Sep-17	shift 1	191	0.83	25-Sep-17	shift 1	130	0.78
	shift 2	195	0.81		shift 2	126	0.80
	shift 3	173	0.80		shift 3	144	0.80
19-Sep-17	shift 1	150	0.80	26-Sep-17	shift 1	173	0.77
	shift 2	137	0.80		shift 2	184	0.80
	shift 3	151	0.80		shift 3	149	0.80
20-Sep-17	shift 1	137	0.81	27-Sep-17	shift 1	248	0.80
	shift 2	129	0.80		shift 2	144	0.80
	shift 3	135	0.81		shift 3	194	0.76
21-Sep-17	shift 1	172	0.80	28-Sep-17	shift 1	259	0.84
	shift 2	160	0.80		shift 2	180	0.70
	shift 3	150	0.80		shift 3	193	0.80
22-Sep-17	shift 1	131	0.80	29-Sep-17	shift 1	206	0.80
	shift 2	116	0.77		shift 2	114	0.71
	shift 3	154	0.80		shift 3	134	0.80

Lampiran 1.6 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.

Tanggal	Shift	GKP		Tanggal	Shift	GKP	
		ICUMSA	BJB			ICUMSA	BJB
30-Sep-17	shift 1	154	0.68	8-Oct-17	shift 1	214	0.83
	shift 2	119	0.74		shift 2	155	0.68
	shift 3	167	0.79		shift 3	165	0.64
1-Oct-17	shift 1	182	0.80	9-Oct-17	shift 1	250	0.81
	shift 2	128	0.67		shift 2	216	0.80
	shift 3	155	0.74		shift 3	210	0.64
2-Oct-17	shift 2	229	0.73				
	shift 3	190	0.81				
3-Oct-17	shift 1	174	0.85	10-Oct-17	shift 1	245	0.83
	shift 2	208	0.74		shift 2	218	0.81
	shift 3	220	0.77		shift 3	172	0.80
4-Oct-17	shift 1	182	0.81	11-Oct-17	shift 1	255	0.81
	shift 2	181	0.76		shift 2	167	0.80
	shift 3	131	0.71		shift 3	159	0.80
5-Oct-17	shift 1	172	0.72	13-Oct-17	shift 1	229	0.79
	shift 2	185	0.79		shift 2	248	0.81
	shift 3	124	0.72		shift 3	209	0.76
6-Oct-17	shift 1	151	0.81	14-Oct-17	shift 1	161	0.83
	shift 2	162	0.65		shift 2	182	0.80
	shift 3	134	0.69		shift 3	193	0.76
7-Oct-17	shift 1	263	0.80	15-Oct-17	shift 1	212	0.84
	shift 2	167	0.65		shift 2	137	0.80
	shift 3	133	0.75		shift 3	206	0.80

Lampiran 1.7 Lanjutan data karakteristik kualitas Gula Kristal Putih di PG Tjoekir Jombang Musim giling Tahun 2017.

Tanggal	Shift	GKP		Tanggal	Shift	GKP	
		ICUMSA	BJB			ICUMSA	BJB
16- Oct- 17	shift 1	173	0.81	22- Oct- 17	shift 1	158	0.81
	shift 2	154	0.80		shift 2	189	0.74
	shift 3	197	0.71		shift 3	194	0.80
17- Oct- 17	shift 1	121	0.81	23- Oct- 17	shift 1	154	0.84
	shift 2	154	0.80		shift 2	195	0.80
	shift 3	184	0.68		shift 3	190	0.81
18- Oct- 17	shift 1	145	0.84	24- Oct- 17	shift 1	203	0.80
	shift 2	149	0.76		shift 2	227	0.80
	shift 3	146	0.80		shift 3	202	0.80
19- Oct- 17	shift 1	191	0.83	25- Oct- 17	shift 1	267	0.83
	shift 2	133	0.72		shift 2	239	0.80
	shift 3	126	0.80		shift 3	259	0.81
20- Oct- 17	shift 1	183	0.82				
	shift 2	135	0.73				
	shift 3	130	0.80				
21- Oct- 17	shift 1	170	0.83				
	shift 2	141	0.69				
	shift 3	128	0.80				

Lampiran 2 Statistika Deskriptif

Variable	Mean	Variance	Minimum	Maximum
icumsa_juli	256.9	17404.2	122.0	606.0
BJB_juli	0.76431	0.00541	0.62000	0.94000
ICUMSA_agt	154.36	1639.19	106.00	299.00
BJB_agt	0.71970	0.00511	0.60000	1.00000
ICUMSA_sept	161.66	1397.64	107.00	329.00
BJB_sept	0.77829	0.00307	0.61000	0.88000
ICUMSA_okt	181.84	1486.75	121.00	267.00

Lampiran 3 Syntax dan output stasioneritas dalam rata-rata

```
> data1=as.ts(data.fix[,1])
> data2=as.ts(data.fix[,2])
> adf.test(data1)
      Augmented Dickey-Fuller Test
data:  data1
Dickey-Fuller = -4.212, Lag order = 6, p-value = 0
.01
alternative hypothesis: stationary

warning message:
In adf.test(data1) : p-value smaller than printed
p-value
> adf.test(data2)
      Augmented Dickey-Fuller Test
data:  data2
Dickey-Fuller = -3.7866, Lag order = 6, p-value =
0.02002
alternative hypothesis: stationary
```

Lampiran 4 Syntax dan Output Uji Normal Multivariat

```
> RESI.FIX <- read.delim("E:/20 APRIL/RESI FIX.txt")
> View(RESI.FIX)
> library("mvShapiroTest", lib.loc="~/R/win-library/3.4")
> uji=as.matrix(RESI.FIX)
```

```
> mvShapiro.Test(uji)
```

Generalized Shapiro-Wilk test for Multivariate
Normality by Villasenor-Alva and Gonzalez-Estrada

```
data: uji
```

```
MVW = 0.99381, p-value = 0.1653
```

Lampiran 5 Syntax SAS VAR (3) Sebelum *restrict*

```
data gula;
input ICUMSA BJB;
datalines;
6.4    -0.20
6.3    -0.17
6.3    -0.11
6.4    -0.14
6.4    -0.34
6.4    -0.17
6.2    -0.14
6.2    -0.07
6.1    -0.06
:      :
5.3    -0.22
5.6    -0.19
5.5    -0.22
5.6    -0.21
;
proc varmax data=gula;
model ICUMSA BJB /p=3 dftest lagmax=20 minic=(p=5)
method=ls
print=(corry parcoef pcorr pancorr roots);
output lead=6 out=gula1;
run;
proc print data=gula1;
run;
```

Lampiran 6 Output SAS Model VAR (3) Sebelum *Restrict*

```

The SAS System      17:31 Thursday, July 1, 2018

The VARMAX Procedure

Number of Observations      326
Number of Pairwise Missing    0

Variable   Type        N        Mean        StdDev        Min        Max
x1         DEP         326       5.15706     0.38077       4.70000     6.40000
x2         DEP         326      -0.28101     0.09172      -0.51000     0

Dickey-Fuller Unit Root Tests

Variable   Type        Rho    Prob<Rho    Tau    Prob<Tau
x1         Zero Mean   -0.29458  0.6155    -0.59    0.4617
           Single Mean -44.635   0.0016    -5.16    <.0001
           Trend      -45.39    0.0007    -5.04    0.0002
x2         Zero Mean   -7.15949  0.0641    -1.88    0.0581
           Single Mean -185.606  0.0001    -8.22    <.0001
           Trend      -147.898  0.0001    -8.62    <.0001

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
x1       ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++
x2       ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++ ++

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

Minimum Information Criterion

Lag      MA 0      MA 1      MA 2      MA 3      MA 4      MA 5
AR 0     -7.894121  -7.445231  -7.505004  -7.681689  -7.727781  -7.808195
AR 1     -8.127002  -8.298932  -8.289754  -8.367887  -8.430609  -8.426272
AR 2     -8.282326  -8.30704   -8.359047  -8.387273  -8.410614  -8.42416
AR 3     -8.437185  -8.452474  -8.485835  -8.445438  -8.438387  -8.431884
AR 4     -8.466087  -8.451406  -8.489592  -8.442384  -8.426408  -8.42159
AR 5     -8.462487  -8.452031  -8.428563  -8.439949  -8.424009  -8.403582

```

Lampiran 6.1 Lanjutan Output SAS Model VAR (3) Sebelum Restrict

Model Parameter Estimates						
Equation	Parameter	Estimate	Std Error	T Ratio	Prob>|T|	Variable
x1	CONST1	0.96862	0.24286	3.97	0.0001	1
	AR1_1_1	0.35937	0.05420	6.63	0.0001	x1(t-1)
	AR1_1_2	0.07098	0.12823	0.55	0.5803	x2(t-1)
	AR2_1_1	0.18930	0.05639	3.36	0.0009	x1(t-2)
	AR2_1_2	-0.12902	0.12699	-1.02	0.3104	x2(t-2)
	AR3_1_1	0.27488	0.05301	5.19	0.0001	x1(t-3)
x2	AR3_1_2	0.26810	0.12827	2.09	0.0374	x2(t-3)
	CONST2	-0.30941	0.10051	-3.08	0.0023	1
	AR1_2_1	0.02637	0.02248	1.18	0.2406	x1(t-1)
	AR1_2_2	0.07599	0.05307	1.43	0.1532	x2(t-1)
	AR2_2_1	0.01028	0.02334	0.44	0.6598	x1(t-2)
	AR2_2_2	0.14157	0.05256	2.69	0.0074	x2(t-2)
	AR3_2_1	0.00101	0.02194	0.05	0.9632	x1(t-3)
	AR3_2_2	0.37414	0.05809	7.05	0.0001	x2(t-3)

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	
x1
x2

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

Portmanteau Test for Residual Cross Correlations				
To Lag	Chi-Square	DF	Prob>ChiSq	
4	5.28	4	0.2598	
5	8.89	8	0.3516	
6	11.28	12	0.5048	
7	16.49	16	0.4196	
8	25.35	20	0.1883	
9	29.74	24	0.1935	
10	30.62	28	0.3844	
11	35.94	32	0.2391	
12	38.17	36	0.3710	
13	41.15	40	0.4201	
14	47.05	44	0.3488	
15	53.91	48	0.2586	
16	54.99	52	0.3619	
17	57.42	56	0.4223	
18	64.53	60	0.3213	
19	66.43	64	0.3933	
20	68.04	68	0.4759	

Lampiran 7 *Syntax SAS Model VAR (3) Sesudah Restrict*

```

data gula;
input ICUMSA BJB;
datalines;
6.4    -0.20
6.3    -0.17
6.3    -0.11
6.4    -0.14
6.4    -0.34
6.4    -0.17
6.2    -0.14
6.2    -0.07
6.1    -0.06
6.3    -0.13
:      :
5.3    -0.22
5.6    -0.19
5.5    -0.22
5.6    -0.21
;
proc varmax data=gula;
model ICUMSA BJB /p=3 dftest lagmax=20 minic=(p=5)
method=ls
print=(corry parcoef pcorr pcancorr roots);
Restrict AR(3,2,1)=0, AR(1,1,2)=0, AR(2,2,1)=0,
AR(2,1,2)=0, AR(1,2,2)=0;
output lead=6 out=gula1;
run;
proc print data=gula1;
run;
proc export data=WORK.GULA1
  outfile = 'E:\VAR(3).xls'
  dbms = excel97
replace;
run;

```

Lampiran 8 Output SAS Model VAR (3) Sesudah *Restrict*

```

The SAS System      17:31 Thursday, July 1, 2018  52

The VARMAX Procedure

Type of Model      VAR(3)
Estimation Method  Least Squares Estimation

Constant Estimates

Variable      Constant
x1            1.01474
x2           -0.82921

AR Coefficient Estimates

Lag  Variable      x1      x2
1   x1            0.86408      0
    x2            0.08958      0
2   x1            0.17708      0
    x2            0            0.16350
3   x1            0.27586      0.26255
    x2            0            0.89272

Model Parameter Estimates

Equation  Parameter      Estimate      Std Error      T Ratio      Prob>|T|      Variable
x1        CONST1      1.01474      0.21150      4.80      0.0001      1
          AR1_1_1      0.86408      0.05277      6.90      0.0001      x1(t-1)
          AR1_1_2      0            0            .            .            x2(t-1)
          AR2_1_1      0.17708      0.05510      3.21      0.0014      x1(t-2)
          AR2_1_2      0            0            .            .            x2(t-2)
          AR3_1_1      0.27586      0.05246      5.25      0.0001      x1(t-3)
          AR3_1_2      0.26255      0.12841      2.18      0.0342      x2(t-3)
x2        CONST2      -0.82921      0.08452      -8.90      0.0001      1
          AR1_2_1      0.08958      0.01476      2.68      0.0077      x1(t-1)
          AR1_2_2      0            0            .            .            x2(t-1)
          AR2_2_1      0            0            .            .            x1(t-2)
          AR2_2_2      0.16350      0.05071      3.22      0.0014      x2(t-2)
          AR3_2_1      0            0            .            .            x1(t-3)
          AR3_2_2      0.89272      0.05082      7.80      0.0001      x2(t-3)

```


Lampiran 9 *Syntax* Perhitungan statistik diagram kontrol M dengan Matlab

```

clc;
clear all;

%Program Peta Kendali M
data=importdata('E:\data.xlsx')
alpha=input('masukkan nilai alpha: ')
[m,p]=size(data);

%Menghitung Successive Difference
n=m-1;
for i=1:n
for j=1:p
k=i+1;
V(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
end
end

%Menghitung Statistik M
S=cov(data)
inv_S=inv(S);
Vt=V.';
for j=1:n
M(j,1)=(1/2)*V(j,:)*inv_S*Vt(:,j);
end

%Menghitung Batas Kendali
ucl=chi2inv(1-(alpha/2),p);
lcl=chi2inv(alpha/2,p);

```

Lampiran 9.1 Lanjutan *Syntax* Perhitungan statistik diagram kontrol M dengan Matlab

```

%Peta Kendali
for j=1:n
bka(j,1)=ucl;
end
for j=1:n
bkb(j,1)=lcl;
end
x=1:n
y=M
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-')
title('Peta Kendali M Fase I')
xlabel('Observasi ke-')
ylabel('M')
text(k,ucl,'BKA')
text(k,lcl,'BKB')

%Jumlah Observasi Yang Keluar
for j=1:n
if(M(j,1)>ucl)|(M(j,1)<lcl)
o(j,1)=j; else o(j,1)=0
end;
end;
obs=sum(o)
%Observasi Yang Keluar
for j=1:n
if(M(j,1)>ucl)|(M(j,1)<lcl)
obs(j,1)=j; else obs(j,1)=0
end;
end;
obs_out=obs

```

Lampiran 10 *Syntax* Perhitungan statistik diagram kontrol T^2 hotelling dengan Matlab

```

%Program Diagram Kontrol T Hotelling Individu
clear all;
clc
%Input Data
xdata=xlsread('E:/data.xlsx');
%Menghitung Peta Kendali T_Hotelling
alpha=0.0027
[m,p]=size(xdata);

%Menghitung successive difference V
n=m-1
for i=1:1:n
for j=1:1:p
k=i+1
v(i,j)=xdata(k,j)-xdata(i,j);
end
end
%Menghitung Matriks Kovarians
vt=v'
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v
%Menghitung Statistik T Hotelling
inv_s=inv(s)
rata=mean(xdata)
for j=1:1:p
for i=1:1:m
thot1(i,j)=xdata(i,j)-rata(1,j)
end
end
thot2=thot1';
for i=1:1:m
T(i,1)=thot1(i,:)*inv_s*thot2(:,i);
end
%Menghitung Batas Kontrol

```

Lampiran 10.1 Lanjutan *Syntax* Perhitungan statistik diagram kontrol T^2 Hotelling dengan Matlab

```

a=p/2;
b=(m-p-1)/2;
ucl=((m-1)^2)/m*betainv((1-alpha),a,b);
lcl=0;
%Membuat Diagram Kontrol
for i=1:1:m
bka(i,1)=ucl
end
for i=1:1:m
bkb(i,1)=lcl
end
x=1:m
y=T
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-');
xlabel('Pengamatan ke-');
ylabel('T Hotelling');
text(k,ucl,'BKA=11.6489');
text(k,lcl,'BKB=0')

%Jumlah Pengamatan yang Keluar Batas Kontrol
for i=1:1:m
if(T(i,1)>ucl)|(T(i,1)<lcl);
o(i,1)=1;else o(i,1)=0;
end;
end;
out=sum(o)
%Jumlah Pengamatan yang Keluar Batas Kontrol
for i=1:1:m
if (T(i,1)>ucl)|(T(i,1)<lcl);
obs(i,1)=i;else obs(i,1)=0
end;
end;
obs_out=obs;

```

Lampiran 11 Output Statistik M

Obs-ke	Statistik M	Obs-ke	Statistik M	Obs-ke	Statistik M
1	4.3113	27	1.8453	53	0.8643
2	2.0251	28	0.4891	54	0.476
3	1.3503	29	0.9577	55	0.1796
4	1.4794	30	3.6513	56	3.7122
5	0.4309	31	1.2424	57	4.9383
6	2.1216	32	0.0399	58	1.2272
7	2.0072	33	0.6726	59	0.047
8	1.1098	34	0.7086	60	2.3884
9	2.1864	35	4.0523	61	0.5476
10	1.8523	36	5.8806	62	0.1997
11	0.2434	37	1.7419	63	2.354
12	2.8337	38	4.1942	64	5.572
13	0.5512	39	1.6594	65	1.2167
14	0.3371	40	0.5257	66	0.5612
15	0.2776	41	0.059	67	6.9179
16	3.4265	42	1.4815	68	9.6446
17	0.7178	43	0.396	69	1.1558
18	0.9129	44	0.0219	70	0.1002
19	0.7088	45	3.54	71	1.1055
20	0.0588	46	4.3614	72	0.0805
21	0.009	47	0.7664	73	0.2015
22	0.002	48	1.4196	74	0.2778
23	0.53	49	12.3481	75	0.5937
24	0.4882	50	3.78	76	1.1823
25	0.1493	51	0.361	77	0.6546
26	0.3524	52	0.8658	78	1.5683

Lampiran 11.1 Lanjutan Output Statistik M

Obs-ke	Statistik M	Obs-ke	Statistik M	Obs-ke	Statistik M
79	4.6636	105	0.2841	131	0.2578
80	1.4833	106	0.7165	132	0.022
81	0.4429	107	3.9143	133	2.2753
82	0.5984	108	3.0018	134	4.5568
83	0.042	109	3.3402	135	2.0342
84	6.2691	110	1.3645	136	6.6055
85	1.4997	111	0.6402	137	4.9684
86	0.2095	112	0.3217	138	6.0656
87	2.5281	113	0.9866	139	0.3635
88	0.3669	114	0.0563	140	0.3386
89	0.0282	115	1.4686	141	0.0403
90	9.0449	116	0.2984	142	2.6626
91	0.762	117	0.0502	143	0.9779
92	0.0133	118	0.2767	144	18.7747
93	4.1877	119	0.0771	145	6.3966
94	1.3778	120	2.4394	146	0.6329
95	0.5528	121	0.8495	147	1.5582
96	2.6418	122	0.057	148	2.8331
97	5.2894	123	0.7215	149	1.2719
98	0.1831	124	0.0915	150	2.6147
99	1.8286	125	1.7957	151	2.6211
100	1.0855	126	4.7566	152	1.8719
101	1.3768	127	1.7694	153	1.7406
102	0.7402	128	0.4659	154	1.3037
103	5.2965	129	1.7485	155	0.5765
104	0.5831	130	1.1117	156	0.5571

Lampiran 11.2 Lanjutan Output Statistik M

Obs-ke	Statistik M	Obs-ke	Statistik M	Obs-ke	Statistik M
157	1.7343	183	0.367	209	0.7685
158	3.3106	184	1.9198	203	3.8544
159	7.0506	185	5.2275	204	4.1398
160	1.2628	186	2.3159	205	1.4565
161	7.1004	187	1.2965	206	0.5187
162	1.1574	188	1.275	207	0.2988
163	4.7903	189	0.8224	208	2.0836
164	1.3038	190	2.1556	209	0.7685
165	5.5651	191	4.3598	210	0.0505
166	0.9837	192	1.359	211	0.0816
167	9.3219	193	4.3617	212	0.018
168	6.0593	194	4.3704	213	0.5979
169	1.0066	195	5.1985	214	0.1381
170	3.9048	196	3.679	215	0.2542
171	4.2575	197	2.1459	216	0.7448
172	2.4922	198	2.2593	217	0.0269
173	0.324	199	2.6439	218	0.588
174	5.2412	200	6.1396	219	0.0665
175	1.1113	201	0.2245	220	0.0374
176	0.4487	202	0.5278	221	0.0082
177	1.1506	203	3.8544	222	0.7841
178	6.0921	204	4.1398	269	7.3961
179	0.0607	205	1.4565	270	8.0535
180	2.3628	206	0.5187	271	1.338
181	0.2933	207	0.2988	272	2.9315
182	2.7316	208	2.0836	273	3.4493

Lampiran 11.3 Lanjutan Output Statistik M

Obs-ke	Statistik M	Obs-ke	Statistik M	Obs-ke	Statistik M
274	1.7994	291	4.7328	308	0.3594
275	4.9359	292	4.356	309	2.2897
276	0.5474	293	0.6897	310	1.1689
277	4.9427	294	0.1301	311	0.4531
278	2.4619	295	2.5863	312	0.5439
279	0.2625	296	6.2228	313	0.0241
280	0.8938	297	2.1576	314	3.0063
281	3.2166	298	2.6296	315	2.2908
282	3.0492	299	3.2173	316	0.6748
283	0.3744	300	0.3053	317	0.3963
284	1.0793	301	0.5461	318	0.0172
285	0.1756	302	1.5572	319	0.2402
286	1.3652	303	4.0728	320	1.2758
287	1.6378	304	0.9041	321	0.7603
288	0.5306	305	2.5054	322	0.1771
289	0.6607	306	1.5777		
290	0.4498	307	0.2613		

Lampiran 12 Output Statistik T^2 Hotelling Individu

Obs Ke-	T^2 Hotelling	Obs Ke-	T^2 Hotelling	Obs Ke-	T^2 Hotelling
1	2.3843	27	0.7682	53	1.0089
2	8.6557	28	3.5988	54	1.4917
3	1.7114	29	1.0498	55	0.0426
4	0.4011	30	0.7657	56	0.4137
5	5.7409	31	3.676	57	4.5588
6	2.3529	32	0.1693	58	1.2122
7	2.7086	33	0.0642	59	0.2604
8	0.1713	34	0.9592	60	0.4577
9	2.0251	35	1.0218	61	2.6824
10	5.1026	36	4.765	62	0.3118
11	0.0734	37	2.0603	63	1.2319
12	0.9488	38	4.4428	64	2.8804
13	2.5045	39	1.1494	65	4.0656
14	0.2496	40	0.7126	66	0.2152
15	1.6428	41	0.371	67	0.5239
16	0.2614	42	0.888	68	16.713
17	5.236	43	2.4778	69	0.6895
18	1.1733	44	2.0245	70	2.7774
19	0.0945	45	2.5928	71	4.436
20	0.9288	46	1.3152	72	0.3222
21	0.3873	47	4.982	73	0.4324
22	0.3091	48	0.9484	74	0.5082
23	0.3543	49	6.5019	75	0.2071
24	1.1433	50	6.2907	76	0.699
25	0.2223	51	1.5616	77	1.8145
26	0.1192	52	0.3317	78	0.1068

Lampiran 12.1 Lanjutan Output Statistik T^2 Hotelling Individu

Obs Ke-	T^2 Hotelling	Obs Ke-	T^2 Hotelling	Obs Ke-	T^2 Hotelling
79	4.4903	105	0.7436	131	0.1129
80	1.9698	106	0.0238	132	0.3286
81	0.5766	107	1.3785	133	0.4608
82	2.9221	108	3.871	134	2.7596
83	0.3907	109	3.7134	135	2.1304
84	0.851	110	1.2267	136	1.5561
85	7.9134	111	0.3975	137	7.4646
86	1.3119	112	3.1205	138	7.4465
87	1.0607	113	5.84	139	0.7615
88	4.7437	114	1.1815	140	0.8874
89	2.6603	115	2.0625	141	1.584
90	3.4661	116	0.2721	142	2.3044
91	9.9356	117	0.2535	143	2.0421
92	3.6333	118	0.0299	144	6.8668
93	3.8993	119	0.8466	145	2.4105
94	1.18	120	0.2662	146	0.4562
95	2.051	121	4.9289	147	3.3576
96	0.1729	122	1.1995	148	0.3566
97	5.7817	123	1.7488	149	1.6438
98	2.4246	124	0.7893	150	2.7969
99	0.8628	125	0.2234	151	0.9681
100	1.5137	126	5.1086	152	1.5087
101	0.2332	127	1.3927	153	0.7104
102	1.5941	128	1.4549	154	0.7508
103	4.2051	129	0.3815	155	0.1448
104	1.8404	130	1.7683	156	1.2353

Lampiran 12.2 Lanjutan Output Statistik T² Hotelling Individu

Obs Ke-	T2 Hotelling	Obs Ke-	T2 Hotelling	Obs Ke-	T2 Hotelling
157	3.4645	183	2.9319	209	0.0114
158	10.7286	184	5.195	210	0.0831
159	1.0889	185	1.4647	211	0.263
160	2.6427	186	1.193	212	0.1852
161	5.3601	187	4.1018	213	1.4418
162	0.5943	188	1.0653	214	0.4337
163	6.0565	189	3.0636	215	0.0844
164	1.0264	190	1.9262	216	2.0599
165	7.2884	191	4.5569	217	2.3426
166	3.5975	192	2.0667	218	0.3964
167	8.6085	193	2.4521	219	0.8854
168	3.5958	194	2.166	220	0.4771
169	2.2993	195	3.3568	221	0.6724
170	9.1993	196	0.9389	222	0.7414
171	0.8986	197	1.4739	223	0.2675
172	5.0053	198	0.9708	224	0.2902
173	9.1347	199	5.0548	225	1.3425
174	2.3236	200	2.3947	226	1.5929
175	0.0023	201	1.1166	227	0.3679
176	0.9864	202	3.4932	228	0.6936
177	4.6671	203	4.3101	229	1.3556
178	2.4331	204	1.566	230	0.5061
179	1.5189	205	0.6485	231	2.5685
180	1.3453	206	2.3075	232	0.6731
181	0.2585	207	1.1668	233	0.2018
182	5.1948	208	1.8085	234	2.6359

Lampiran 12.3 Lanjutan Output Statistik T² Hotelling Individu

Obs Ke-	T2 Hotelling	Obs Ke-	T2 Hotelling	Obs Ke-	T2 Hotelling	Obs Ke-	T2 Hotelling
235	3.5312	261	0.1014	287	2.6368	313	1.2451
236	1.1236	262	4.344	288	0.3931	314	2.8961
237	1.6544	263	0.8591	289	0.3564	315	1.5245
238	0.7009	264	0.6742	290	1.494	316	0.1424
239	0.9274	265	2.1923	291	5.0003	317	0.4619
240	4.6064	266	1.7728	292	1.0805	318	0.5894
241	2.4148	267	4.3615	293	0.1226	319	0.036
242	1.0281	268	1.259	294	0.751	320	2.9804
243	3.6074	269	10.4277	295	2.2868	321	0.2051
244	2.8579	270	1.7824	296	5.3578	322	1.1301
245	0.2537	271	1.5281	297	0.7216		
246	0.2554	272	2.9605	298	2.4132		
247	8.1753	273	1.0609	299	1.1294		
248	1.3404	274	5.7082	300	0.2022		
249	2.3022	275	3.1828	301	1.7201		
250	0.3435	276	3.4655	302	2.1823		
251	1.1232	277	3.0497	303	2.25		
252	3.119	278	0.9242	304	2.3266		
253	3.0104	279	0.6895	305	1.4652		
254	0.4218	280	3.4748	306	0.4661		
255	3.5314	281	1.381	307	0.4715		
256	2.4407	282	1.9783	308	1.0483		
257	3.3558	283	0.439	309	1.5035		
258	0.2426	284	0.8568	310	0.5066		
259	1.0648	285	2.2745	311	0.7898		
260	0.4402	286	0.1963	312	1.3451		

Lampiran 13 Pengujian korelasi Pearson**Correlations: RES1, RES2**

Pearson correlation of RES1 and RES2 = 0.145
 P-Value = 0.009

Lampiran 14 Pembuktian rumus 2Σ **Membuktikan bahwa Matriks W berdistribusi $N_p(0, 2\Sigma)$**

$$X_1, X_2, \dots, X_n \stackrel{iidn}{\sim} N_p(\mu, \Sigma)$$

Maka

$$X_t \stackrel{iidn}{\sim} N_p(\mu, \Sigma), X_{t-1} \stackrel{iidn}{\sim} N_p(\mu, \Sigma)$$

$$X_t - X_{t-1} \sim N(E(X_t - X_{t-1}), \text{Var}(X_t - X_{t-1}))$$

$$E(X_t - X_{t-1}) = E(X_t) - E(X_{t-1})$$

$$= \mu - \mu$$

$$= 0$$

$$\text{Var}(X_t - X_{t-1}) = \text{Var}(X_t) + \text{Var}(X_{t-1}) - 2\text{Cov}(X_t - X_{t-1})$$

$$= \Sigma + \Sigma - 2(0)$$

$$= 2\Sigma$$

Keterangan

$2\text{Cov}(X_t - X_{t-1}) = 0$, karena Independen sehingga kovarians sama dengan nol.

Lampiran 15 Check Sheet PG Tjoekir tanggal 27-08-2017

Perencanaan waktu & Jam		27 Agustus 2017	
Person. Jam	Jam		
7	07:00	*	
8	08:00	*	
9	09:00	*	
10	10:00	*	
11	11:00	*	
12	12:00	*	
13	13:00	*	
14	14:00	*	
15	15:00	*	
16	16:00	*	
17	17:00	*	
18	18:00	*	
19	19:00	*	
20	20:00	*	
21	21:00	*	
22	22:00	*	
23	23:00	*	
24	00:00	*	
25	01:00	*	
26	02:00	*	
27	03:00	*	
28	04:00	*	
29	05:00	*	
30	06:00	*	M

Tebu 15 orang

Kode Jam Berhenti
Parameter Jam

Jam Berhenti - A
A - Kurang sir
B - Bst telet
C - RN dalam
D - Hari raya dipertungkan
E - Lain-lain

Jam Berhenti - B-1
F - St. Gilingan
G - St. Boiler
H - St. Power House
I - P.M.P
J - Instrumen
K - Operasional

Jam Berhenti - B-2
L - St. Penjualan
M - St. Pengisian
N - St. Kristalisasi
O - St. Pulveran
P - P.M.P
Q - Operasional

Jam Berhenti - C
R - Hari raya tak dipertungkan
S - Bencana alam
T - Lain-lain
U - Waktu numing tes

Lampiran 16 Check Sheet PG Tjoekir tanggal 30-07-2017

Persamaan waktu & Jam Besrn. Jam	Jam	=	Jam Berhenti & Uraiananya		Kode
			Keterangan Jam Berhenti		
7	07:00	=			
8	08:00	=			
9	09:30	=			
10	10:00	=			
11	11:30	=			
12	12:00	=			
13	13:00	=	Rantai IMC no 1 loncat	F	
14	14:00	=	Rantai IMC no 1 loncat	F	
15	15:00	=			
16	16:00	=			
17	17:00	=			
18	18:00	=			
19	19:00	=			
20	20:00	=			
21	21:00	=			
22	22:00	=			
23	23:00	=			
24	00:00	=			
25	01:00	=			
26	02:00	=			
27	03:00	=			
28	04:00	=			
29	05:00	=			
30	06:00	=			
Tebu TS digiling =					
			Kode Jam Berhenti		
			Kode Parameter Jami		
			Jam Berhenti - A		
			- Kurang air		
			B - BBT telat		
			C - PLN padam		
			D - Hari raya diperhitungkan		
			E - Lain-lain		
			Jam Berhenti - B-1		
			F - St. Gilingan		
			G - St. Boiler		
			H - St. Power House		
			I - P.M.P		
			J - Instrumen		
			K - Operasional		
			Jam Berhenti - B-2		
			L - St. Pemurnian		
			M - St. Penguapan		
			N - St. Kristalisasi		
			O - St. Putearan		
			P - P.M.P		
			Q - Operasional		
			Jam Berhenti C		
			R - Hari raya tak diperhitungkan		
			S - Bencana alam		
			T - Lain-lain		
			U Waktu running tes		

Lampiran 17 Surat Permohonan Ijin ke Perusahaan



PT Perkebunan Nusantara X

Jalan Jembatan Merah No. 3-11 Surabaya 60175

Telepon : (031) 3523143 (Hunting) Fax : (031) 3523167

Homepage : <http://www.ptpn10.co.id>

E-mail : contact@ptpn10.co.id

Nomor : IC-RUPA-2/17.8
Lampiran : -
Perihal : **IJIN PENELITIAN**

23 Januari 2018

Kepada :
**FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA,
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**
Kampus ITS Sukolilo
Surabaya 60112

Menunjuk surat dari PT. Perkebunan Nusantara X No. 0037721TZ.V1B.2TU.00.09/2018 tanggal 16 Januari 2018 perihal pengendalian data tugas akhir, dengan ini diberitahukan bahwa pada dasarnya kami dapat menyetujui/memberikan ijin kepada Mahasiswa Lembaga Saudara untuk melaksanakan Penelitian dan pengumpulan data guna penyusunan Tugas Akhir di unit kerja PT. Perkebunan Nusantara X.

- Nama : **Muhammad Balam Taufiq** NRP. 06211645000002 (1316 105 002)
- Sekolah : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Fakultas / Jurusan : Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data /Statistika
- Tingkat/Semester : -
- Waktu : **29 Januari s/d 31 Mei 2018**
- Judul : Peningkatan Kualitas Limbah di PG Tipekr Jombang
- Tempat : PG Tipekr

Bagi Mahasiswa dibarukan memiliki BPJS Ketenagakerjaan selama Penelitian dan jika penelitian tersebut belum selesai sampai dengan durasi waktu yang tercantum diatas, maka ybs WAJIB melakukan Perpanjangan Surat Setelah selesai melaksanakan kegiatan tersebut, WAJIB untuk menyerahkan laporannya dalam bentuk Softcopy (dimasukkan dalam CD dan diben label) kepada Divisi SDM & HI Kantor Pusat PT. Perkebunan Nusantara X, Jl. Jembatan Merah No. 3 - 11 Surabaya.

Demikian harapannya maklum.

Tindakan :
- General Manager PG Tipekr



Lampiran 18 Surat Keterangan**SURAT KETERANGAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Muhammad Salam Taufiqi

NRP : 06211645000002

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PG Tjoekir Jombang

Divisi/ bagian : *Quality Assurance*

sejak tanggal 29 Januari 2018 sampai dengan 31 Mei 2018 untuk keperluan Tugas Akhir/ ~~Thesis~~ Semester ~~Gasal~~/Genap* 2017/ 2018.

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

Jombang, 1 Februari 2018

Assistant Manager

Quality Assurance

PT. PERKEBUNAN MUSANTARA X

PG. Tjoekir

Orngko Sanjoyo S.T

NIP 000101923

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Muhammad Salam Taufiqi. Penulis terlahir di kota santri yaitu Kab. Jombang Pada tanggal 24 Desember 1993. Pendidikan formal yang pernah ditempuh penulis yaitu di MI AL ASY'ARIAH Banjarsari, SMPN 1 Perak, SMAN 2 Jombang kemudian melanjutkan pendidikan ke Jenjang yang lebih tinggi yaitu masuk PTN pada tahun 2012 di Diploma III Statistika ITS. Setelah

lulus Diploma III penulis bekerja di Jombang selama 1 tahun di sebuah perusahaan yang bergerak pada bidang contractor. Penulis melanjutkan pendidikan Lintas Jalur S1 Statistika ITS. Selama kuliah penulis mendapatkan beberapa beasiswa yaitu PPA, Van Deventer Maas Stichting (VDMS), dan Karya Salemba Empat (KSE) dan berbagai kegiatan pernah diikuti oleh penulis yaitu lolos seleksi lomba entrepreneur tingkat nasional dan lolos seleksi lomba Technology For Indonesia yang diadakan oleh PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk yang bekerjasama dengan KSE. Selain itu penulis juga pernah mendapatkan hibah dana PKM-Penelitian pada tahun 2015. Penulis pernah mengikuti kegiatan pelatihan diantaranya yaitu LKMM Pra-TD, LKMM TD, DIKLATSAR Kopma ITS, MAHAMERU YOUTH CAMP 2.0, dan PGN LEADERSHIP AND INNOVATION CAMP I. Segala kritik dan saran serta diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dapat dikirimkan melalui e-mail m007salam@gmail.com or salam16@mhs.statistika.its.ac.id.