



**TUGAS AKHIR - SS141501**

**PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK GULA  
KRISTAL PUTIH DI PG REJO AGUNG BARU MADIUN  
DENGAN DIAGRAM KENDALI MEWMV DAN MEWMA  
MENGUNAKAN PENDEKATAN MODEL *TIME SERIES***

**RETNO PUSPITANINGRUM  
NRP 062114 4000 0035**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Drs. Agus Suharsono, MS  
Novri Suhermi, S.Si, M.Sc.**

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





**TUGAS AKHIR - SS141501**

**PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK GULA  
KRISTAL PUTIH DI PG REJO AGUNG BARU MADIUN  
DENGAN DIAGRAM KENDALI MEWMV DAN MEWMA  
MENGUNAKAN PENDEKATAN MODEL *TIME SERIES***

**RETNO PUSPITANINGRUM  
NRP 062114 4000 0035**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Drs. Agus Suharsono, MS  
Novri Suhermi, S.Si., M.Sc.**

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





**FINAL PROJECT - SS 141501**

**QUALITY CONTROL ANALYSIS IN THE  
PRODUCTION OF WHITE CRYSTAL SUGAR OF  
PG REJO AGUNG BARU MADIUN USING MEWMV  
AND MEWMA CONTROL CHART BASED ON TIME  
SERIES MODEL**

**RETNO PUSPITANINGRUM  
SN 062114 4000 0035**

**Supervisor  
Dr. Drs. Agus Suharsono, MS  
Novri Suhermi, S.Si, M.Sc.**

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



## LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK GULA KRISTAL  
PUTIH DI PG REJO AGUNG BARU MADIUN DENGAN  
DIAGRAM KENDALI MEWMV DAN MEWMA  
MENGUNAKAN PENDEKATAN MODEL *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 :  
**RETNO PUSPITANINGRUM**  
NRP. 062114 4000 0035

Disetujui oleh Pembimbing:  
**Dr. Drs. Agus Suharsono, MS**  
NIP. 19580823 1984031 003

**Novri Suhermi, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 1992201711035

Mengetahui,  
Kepala Departemen



**SURABAYA, JULI 2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK GULA  
KRISTAL PUTIH (GKP) DI PG REJO AGUNG BARU  
MADIUN DENGAN DIAGRAM KENDALI MEWMV DAN  
MEWMA MENGGUNAKAN PENDEKATAN MODEL  
TIME SERIES**

**Nama Mahasiswa** : Retno Puspitaningrum  
**NRP** : 062114 4000 0035  
**Departemen** : Statistika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Drs. Agus Suharsono, MS  
Novri Suhermi, S.Si, M.Sc.

**Abstrak**

*Terdapat 3 standar kualitas pada GKP (Gula Kristal Putih) di PG Rejo Agung Baru, yaitu kadar air (%), warna larutan (IU), dan besar jenis butir (mm). Asumsi yang harus dipenuhi untuk menggunakan diagram kendali adalah data berdistribusi normal dan independen. Namun tidak semua data yang dikendalikan memenuhi asumsi tersebut, penyebabnya adalah terdapat autokorelasi. Autokorelasi antar pengamatan menyebabkan munculnya false alarm. Pendekatan yang dapat dilakukan adalah menggunakan pendekatan residual dari model time series. Karakteristik kualitas GKP saling berkorelasi maka diagram kendali yang tepat dalam penelitian ini adalah diagram kendali MEWMV dan MEWMA. Hasil yang diperoleh dalam pengendalian variabilitas proses adalah dengan menggunakan bobot optimum  $\omega=0.4$  dan  $\lambda=0.2$  variabilitas proses belum terkendali. Sedangkan untuk mean proses dengan pembobot optimum  $\lambda=0.1$  proses belum terkendali secara statistik. Faktor penyebab ketidaksesuaian dalam proses produksi dipengaruhi oleh faktor pekerja, mesin, dan metode. Indeks kapabilitas proses yang diperoleh adalah sebesar nilai  $MP_p$  dan  $MP_{pk}$  kurang dari 1 yaitu masing-masing sebesar 0.528 dan -0.495.*

**Kata Kunci** : Besar Jenis Butir, GKP, Kadar Air, MEWMA, MEWMV, VAR, Warna Larutan

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# QUALITY CONTROL ANALYSIS IN THE PRODUCTION OF WHITE CRYSTAL SUGAR (GKP) OF PG REJO AGUNG BARU MADIUN USING MEWMV AND MEWMA CONTROL CHART BASED ON TIME SERIES MODEL

**Name** : Retno Puspitaningrum  
**SN** : 062114 4000 0035  
**Department** : Statistics  
**Supervisor** : Dr. Drs. Agus Suharsono  
Novri Suhermi, S.Si., M.Sc.

## **Abstract**

*There are 3 quality standards in GKP, moisture (%), color of solution (IU), and grain type (mm). The three characteristics of these qualities are correlated. In the process of quality control using control chart, the basic assumption that must be met is the data has a normal distribution and independent. However, not all data meet these assumptions, the cause is there autocorrelation in observation data. Autocorrelation between observations will lead to the emergence of many false alarms. An approach that can be done if there is autocorrelation in the data is to use the residual approach of the time series model on the control chart. Quality characteristics of GKP are correlated, the control chart used in this research is MEWMV and MEWMA control chart. The results obtained in the process variability control is by using the optimum weight  $\omega = 0.4$  and  $\lambda = 0.2$  there are still 5 observations that are out of control. While for the mean process with optimum weighting  $\lambda = 0.1$  the process has not been statistically controlled. Factors causing non-conformance in GKP production process are influenced by workers, raw materials, measurement, machinery, and methods. The process capability index obtained is  $MPp$  and  $MPpk$  value less than 1 that is 0.528 and -0.495.*

**Keywords:** Color of Solution, GKP, Grain, MEWMA, MEWMV, Moisture, VAR,

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas rahmat dan hidayah yang diberikan Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengendalian Kualitas Statistik Gula Kristal Putih di PG Rejo Agung Baru madiun dengan Diagram Kendali MEWMV dan MEWMA Menggunakan Pendekatan *Time Series*”** dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Sumiyardi dan Ibu Sri Isti Utami, atas segala doa, nasihat, kasih sayang, dan dukungan yang diberikan kepada penulis demi kesuksesan dan kebahagiaan penulis.
2. Dr. Suhartono selaku Ketua Departemen Statistika dan Dr. Sutikno, M.Si. selaku Ketua Program Studi Sarjana yang telah memberikan fasilitas, sarana, dan prasarana.
3. Dr. Drs. Agus Suharsono, MS dan Novri Suhermi, S.Si, M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu dan dengan sangat sabar memberikan bimbingan, saran, dukungan serta motivasi selama penyusunan Tugas Akhir.
4. Dr. Muhammad Mashuri, MT dan Diaz Fitra Aksioma, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji yang telah banyak memberi masukan kepada penulis.
5. Pihak PG Rejo Agung Baru khususnya Mbak Opik selaku pembimbing lapangan yang sangat ramah dan mau membagi ilmu kepada penulis.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen Statistika atas segala bimbingan, masukan, dan ilmu yang telah diberikan.
7. Kakak penulis Rizky Bagus Wijanarko yang telah ikut mendukung dan mendoakan penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir tepat waktu.
8. Sahabat-sahabat penulis di masa perkuliahan, Hepta, Firdha, Ayuk, Agis, Dina, Anggun, Ridza, dan Ria selama ini telah

membantu, mendukung, dan mendengarkan keluh kesah penulis selama masa perkuliahan berlangsung.

9. Sahabat penulis dari SMA, Very, Dila, Intan, Firda, Ulyl, Yoga, dan Anin yang selalu menghibur disaat penulis butuh motivasi walaupun terpisah jarak yang jauh.
10. Teman-teman Statistika ITS 2014 dan semua pihak yang turut membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Besar harapan penulis untuk mendapatkan kritik dan saran yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang terkait.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....  | i       |
| <b>COVER PAGE</b> .....   | ii      |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....  | iii     |
| <b>ABSTRAK</b> .....  | v       |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | vii     |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....   | ix      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | xi      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | xiii    |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | xv      |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....  | xvii    |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....  | 1       |
| 1.1 Latar Belakang.....   | 1       |
| 1.2 Rumusan Masalah.....  | 5       |
| 1.3 Tujuan.....   | 6       |
| 1.4 Manfaat.....  | 6       |
| 1.5 Batasan Masalah.....  | 6       |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....  | 7       |
| 2.1 Analisis <i>Time Series</i> .....   | 7       |
| 2.2 Model <i>Vector Autoregressive (VAR)</i> .....                                | 8       |
| 2.3 Stationeritas.....  | 9       |
| 2.3.1. Transformasi Box-Cox.....  | 9       |
| 2.3.2. Uji Stationer <i>Mean</i> .....  | 10      |
| 2.4 Identifikasi Model VAR.....   | 10      |
| 2.4.1 <i>Cross-Correlation Matrix Function</i> .....                              | 11      |
| 2.4.2 <i>Partial Cross-Correlation Matrix Function</i> .....                      | 12      |
| 2.5 Estimasi Parameter Model.....   | 13      |
| 2.6 Pemeriksaan Model ( <i>Dignostic Check</i> ) dan Pemilihan Model Terbaik..... | 13      |
| 2.6.1 Uji Portmanteau.....  | 13      |
| 2.6.2 Uji Multivariat Normal.....   | 14      |
| 2.7 Korelasi Variabel.....  | 15      |
| 2.8 Pengendalian Kualitas Statistik.....  | 16      |
| 2.8.1 Diagram Kendali MEWMV.....  | 17      |

|                |   |            |
|----------------|---|------------|
| 2.8.2          | Diagram Kendali MEWMA .....   | 21         |
| 2.8.3          | Analisis Kapabilitas Proses .....                                     | 22         |
| 2.9            | Diagram Ishikawa .....  | 23         |
| 2.10           | Proses Produksi GKP di PG Rejo Agung Baru .....                       | 24         |
| <b>BAB III</b> | <b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                                    | <b>29</b>  |
| 3.1            | Sumber Data .....   | 29         |
| 3.2            | Variabel Penelitian .....   | 29         |
| 3.3            | Langkah Penelitian .....  | 30         |
| 3.4            | Diagram Alir Penelitian .....   | 33         |
| <b>BAB IV</b>  | <b>ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>                                  | <b>35</b>  |
| 4.1            | Deskriptif Karakteristik Kualitas GKP .....                           | 35         |
| 4.2            | Pengecekan Autokorelasi .....   | 38         |
| 4.3            | Pemodelan <i>Vector Autoregressive</i> .....                          | 40         |
| 4.3.1          | Identifikasi Kestasioneran Varians Data .....                         | 40         |
| 4.3.2          | Identifikasi Kestasionera Rata-rata Data .....                        | 41         |
| 4.3.3          | Penentuan Orde VAR .....  | 42         |
| 4.3.4          | Estimasi Parameter .....  | 44         |
| 4.3.5          | Pengujian Asumsi Residual .....                                       | 49         |
| 4.4            | Pengendalian Kualitas GKP .....                                       | 51         |
| 4.4.1          | Pengujian Asumsi Diagram Kendali .....                                | 52         |
| 4.4.2          | Pengendalian Kualitas Pada Variabilitas Proses<br>Pembuatan GKP ..... | 52         |
| 4.4.3          | Pengendalian Kualitas Pada Rata-Rata Proses<br>Pembuatan GKP .....    | 58         |
| 4.4.4          | Analisis Kapabilitas Kualitas Proses GKP .....                        | 62         |
| <b>BAB V</b>   | <b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                     | <b>65</b>  |
| 5.1            | Kesimpulan .....  | 65         |
| 5.2            | Saran .....   | 66         |
|                | <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>   | <b>67</b>  |
|                | <b>LAMPIRAN .....</b>   | <b>71</b>  |
|                | <b>BIODATA PENULIS .....</b>  | <b>137</b> |



## DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>Gambar 4.1</b> Histogram (a) Kadar Air (b) Warna Larutan (c) BJB .....                                 | 37      |
| <b>Gambar 4.2</b> Plot ACF Kadar Air .....  | 38      |
| <b>Gambar 4.3</b> Plot ACF Warna Larutan (ICUMSA) .....   | 39      |
| <b>Gambar 4.4</b> Plot ACF BJB .....  | 39      |
| <b>Gambar 4.5</b> Plot MPACF.....   | 42      |
| <b>Gambar 4.6</b> Plot ACF Residual (a) Kadar Air (b) Warna Larutan (c) BJB.....                          | 50      |
| <b>Gambar 4.7</b> Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,2$ $\lambda=0,2$ dan $L=3,3086$ .....                   | 53      |
| <b>Gambar 4.8</b> Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,4$ $\lambda=0,4$ dan $L=3,9219$ .....                   | 54      |
| <b>Gambar 4.9</b> Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,4$ $\lambda=0,2$ dan $L=3,9063$ .....                   | 56      |
| <b>Gambar 4.10</b> Diagram Ishikawa Produk GKP.....   | 57      |
| <b>Gambar 4.11</b> Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,4$ $\lambda=0,2$ dan $L=3,9063$ setelah perbaikan..... | 58      |
| <b>Gambar 4.12</b> Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,1$ .....                                       | 59      |
| <b>Gambar 4.13</b> Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,3$ .....                                       | 60      |
| <b>Gambar 4.14</b> Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,5$ .....                                       | 60      |

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>Tabel 4.1</b> Karakteristik Kualitas GKP.....                                      | 36      |
| <b>Tabel 4.2</b> Identifikasi Kestationeran Varians Data .....                        | 40      |
| <b>Tabel 4.3</b> Identifikasi Kestationeran Varians Data Setelah<br>Transformasi..... | 41      |
| <b>Tabel 4.4</b> Pengujian Stationeritas Data Dalam Rata-rata.....                    | 41      |
| <b>Tabel 4.5</b> Nilai AIC VARI (1,1) hingga VARI (15,1).....                         | 43      |
| <b>Tabel 4.6</b> Estimasi Parameter Model VARI (14,1) .....                           | 44      |
| <b>Tabel 4.7</b> Uji Portmentau Model VAR 14.....                                     | 49      |
| <b>Tabel 4.8</b> Hasil Perhitungan BKA-BKB Diagram Kendali<br>MEWMV.....              | 55      |
| <b>Tabel 4.9</b> Perhitungan Bobot Maksimum Diagram Kendali<br>MEWMA.....             | 61      |
| <b>Tabel 4.10</b> Perhitungan Analisis Kapabilitas Univariat.....                     | 62      |

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR LAMPIRAN

|  | Halaman |
|--|---------|
| <b>Lampiran A.</b> Data Karakteristik Kualitas GKP PG Rejo Agung Baru Madiun.....  | 71      |
| <b>Lampiran B.</b> <i>Time Series Plot</i> Karakteristik Kualitas GKP PG Rejo Agung Baru Madiun.....                             | 72      |
| <b>Lampiran C.</b> Plot Pengujian Stationer Dalam Varians Data Karakteristik Kualitas Kadar Air, Warna Larutan, dan BJB.....     | 73      |
| <b>Lampiran D.</b> Data Karakteristik Kulititas GKP Stationer Dalam Varians.....   | 75      |
| <b>Lampiran E.</b> Pengujian Stationer Dalam Rata-rata dengan Uji ADF Pada <i>Package Software R</i> .....                       | 76      |
| <b>Lampiran F.</b> Syntax VAR (1) Data Karakteristik Kualitas GKP.....   | 78      |
| <b>Lampiran G.</b> Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (1,1) Hingga VARI (15,1).....   | 79      |
| <b>Lampiran H.</b> Output VARI (14,1) Data Karakteristik Kualitas GKP Periode Giling Tahun 2017.....                             | 95      |
| <b>Lampiran I.</b> Residual Pemodelan Data Karakteristik Kualitas GKP PG Rejo Agung Baru Madiun .....                            | 116     |
| <b>Lampiran J.</b> Pengujian Distribusi Multivariat Normal Pada <i>Package Software R</i> .....                                  | 117     |
| <b>Lampiran K.</b> Pengujian Dependensi Variabel dengan Uji Bartlett menggunakan <i>Software SPSS</i> .....                      | 118     |
| <b>Lampiran L.</b> Tabel Nilai L dengan $p=3$ .....  | 119     |
| <b>Lampiran M.</b> Residual Kualitas GKP PG Rejo Agung Baru Madiun Setelah Dilakukan Pembuangan Data <i>Out of Control</i> ..... | 120     |
| <b>Lampiran N.</b> Peta Kendali MEWMV .....  | 121     |
| <b>Lampiran O.</b> Peta Kendali MEWMA.....   | 127     |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Lampiran P.</b> Kapabilitas Proses GKP.....             | 130 |
| <b>Lampiran Q.</b> Syntax MATLAB MEWMV.....                | 132 |
| <b>Lampiran R.</b> Surat Permohonan Ijin Perusahaan.....   | 134 |
| <b>Lampiran S.</b> Surat Keterangan Pengambilan Data ..... | 135 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tebu atau *saccharum officinarum* (*sugarcane*) termasuk tanaman jenis rumput-rumputan yang dimanfaatkan air dari batangnya untuk bahan baku gula. Gula Kristal Putih (GKP) adalah gula kristal yang terbuat dari tebu atau bit melalui proses sulfitasi/karbonatasi/fosfatasi atau proses lainnya sehingga langsung dapat dikonsumsi, hal ini dijelaskan dalam peraturan SNI 3140.3:2010. Gula pasir merupakan kebutuhan pokok strategis yang memegang peran penting di sektor pertanian, khususnya sub sektor perkebunan dalam perekonomian nasional, yaitu sebagai bahan pangan sumber kalori yang menempati urutan ke-4 setelah padi-padian, pangan hewani, minyak dan lemak (Sugiyanto, 2007). Sebagai salah satu bahan pokok, kebutuhan gula terus meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, pendapatan masyarakat, dan berkembangnya industri makanan dan minuman. Berdasarkan data Kementerian Pertanian kebutuhan gula Indonesia pada tahun 2009 adalah sebesar 2,593 juta ton, tahun 2010 sebesar 2,663 juta ton, tahun 2011 sebesar 2,692 juta ton, tahun 2012 sebesar 2,613 juta ton, tahun 2013 sebesar 2,642 juta ton, dan tahun 2014 kebutuhan gula mencapai 2,841 juta ton (Anonim, 2015). Dengan meningkatnya kebutuhan gula ini maka tahun 2019 mendatang pemerintah merencanakan untuk memenuhi program swasembada gula agar tidak melakukan import terus menerus (Idris, 2017). Hal ini menjadi tantangan bagi pabrik gula di seluruh Indonesia untuk mengasihkan gula kualitas premium karena kualitas produk merupakan faktor utama yang dipertimbangkan oleh konsumen untuk memilih suatu barang atau jasa yang mereka inginkan.

Pabrik Gula Rejo Agung Baru adalah salah satu pabrik gula yang berdiri dan masih aktif di Kota Madiun, Jawa Timur. Saat awal didirikan, pabrik ini hanya memiliki kapasitas produksi sebesar 2000 TCD. Pada tahun 2008 kapasitas produksi PG Rejo

Agung ditingkatkan menjadi 4500 TCD dan sistem pemurnian diubah menjadi Sulfitasi. Hingga kini PG Rejo Agung memiliki kapasitas produksi sebesar 6000 TCD. Produk utama dari PG Rejo Agung Baru Madiun adalah gula kemasan 50 Kg, 5 Kg, dan 0,5 Kg, dengan produk sampingan tetes, ampas tebu, dan pupuk organik.

Kualitas merupakan kemampuan suatu produk atau jasa untuk memuaskan dan memenuhi kebutuhan konsumen. Pengendalian kualitas adalah kegiatan memastikan apakah kebijakan dalam hal kualitas (standar) dapat tercermin dalam hasil akhir, atau dengan kata lain usaha untuk mempertahankan mutu atau kualitas dari barang-barang yang dihasilkan agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijakan pimpinan. (Assauri, 1993). Peningkatan kualitas produk atau jasa perlu dilakukan oleh suatu perusahaan karena dapat meningkatkan penjualan dan mengurangi biaya karena peningkatan kualitas akan meningkatkan produktivitas dan mengurangi *rework*, bahan sisa, dan biaya garansi (Heizer, Render, & Munson, 2017).

Pengendalian kualitas di PG Rejo Agung Baru salah satunya dilakukan pada produk GKP. Terdapat 3 standar kualitas pada GKP, yaitu kadar air (%), warna larutan (IU), dan besar jenis butir (mm). Ketiga karakteristik kualitas tersebut saling berhubungan, yaitu jika kadar air dalam gula tinggi maka kristal gula akan menggumpal, sedangkan ketika ukuran butir gula kristal semakin besar maka warna larutan gula akan semakin coklat. Sebagai konsumen tentu lebih menyukai gula dengan kristal yang putih. Pengamatan karakteristik kualitas GKP dilakukan satu kali pada setiap shift, terdapat tiga shift kerja di PG Rejo Agung Baru. Pengendalian kualitas GKP yang dilakukan oleh pihak *quality control* dilakukan pada masing-masing karakteristik kualitas, namun pada kenyataannya ketiga variabel tersebut saling berhubungan. Hasil pengendalian kualitas pada masing-masing karakteristik kualitas menunjukkan beberapa nilai pengamatan kadar air, warna larutan, dan besar jenis butir masih



berada di luar batas spesifikasi. Oleh karena itu, Pabrik Gula Rejo Agung dapat menggunakan ilmu statistik untuk melakukan kontrol atau evaluasi proses demi meningkatkan kualitas produk agar sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Dalam pengendalian kualitas statistik dikenal *seven tools quality control* yang terdiri dari lembar pemeriksaan, histogram, diagram pareto, diagram pencar, diagram sebab akibat, *defect concentration diagram*, dan diagram kendali. Diagram kendali adalah alat yang digunakan untuk melihat apakah suatu proses terkendali atau tidak secara statistik. Diagram kendali terdiri dari garis tengah yang menyatakan rata-rata dari nilai karakteristik kualitas, batas kendali atas, dan batas kendali bawah. Batas kendali ini digunakan untuk menentukan apakah suatu pengamatan *in control* atau *out of control* (Montgomery, 2013). Penggunaan diagram kendali pada penelitian disesuaikan pada pengamatan yang dilakukan. Terdapat dua jenis diagram kendali, yaitu diagram kendali univariat yang digunakan untuk mengendalikan proses dengan satu karakteristik kualitas dan diagram kendali multivariat yang digunakan untuk mengendalikan proses dengan karakteristik lebih dari satu di mana variabel kualitas tersebut memiliki hubungan (Heizer, Render, & Munson, 2017).

Pada proses pengendalian kualitas secara statistik menggunakan diagram kendali, asumsi dasar yang harus dipenuhi adalah data memiliki distribusi normal dan independen (Montgomery, 2013). Namun tidak semua data yang dikendalikan memenuhi asumsi dasar tersebut, salah satu penyebabnya adalah terdapat autokorelasi pada data pengamatan. Hal ini dapat terjadi ketika proses yang dilakukan secara terus-menerus atau kontinyu. Autokorelasi antar pengamatan akan membuat batas kendali pada diagram kendali konvensional menjadi semakin ketat dan menyebabkan munculnya banyak *false alarm* dan mengakibatkan terjadinya penurunan kemampuan mendeteksi perubahan proses (Psarakis & Papaleonida, 2007). Pendekatan yang dapat dilakukan jika terdapat autokorelasi pada data adalah dengan

menggunakan pendekatan residual dari model *time series* untuk digunakan pada peta kendali. Residual yang dihasilkan oleh model terbaik *time series* akan memenuhi asumsi independen dan identik (Alwan & Roberts, 1988). Selanjutnya residual yang diperoleh dari model terbaik *time series* tersebut akan dikendalikan menggunakan diagram kendali konvensional.

Karakteristik kualitas GKP saling berkorelasi maka diagram kendali yang tepat dalam penelitian ini adalah diagram kendali multivariat. Diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) merupakan diagram kendali multivariat untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses yang sangat kecil. Diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) merupakan salah satu diagram kendali multivariat yang dapat mendeteksi perubahan rata-rata proses. MEWMA merupakan pengembangan diagram kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) yang digunakan untuk mengontrol kualitas data univariat. Kelebihan dari diagram kendali ini adalah lebih sensitif terhadap pergeseran data, sehingga data yang tidak terkendali akan lebih cepat terdeteksi. Selain itu diagram kendali ini *robust* terhadap distribusi normal (Montgomery, 2013).

Penelitian yang berkaitan dengan diagram kendali *multivariate* untuk data yang berautokorelasi dengan menggunakan pendekatan *time series* dilakukan oleh Jarret dan Pan (2006). Pada penelitian tersebut dilakukan estimasi dan pemilihan model terbaik sehingga diperoleh residual dari data kemudian menggunakannya pada diagram kontrol VAR. Penelitian menggunakan diagram kendali MEWMV dan MEWMA dilakukan oleh Harianja (2016) mengenai analisis kualitas tetes PG Krembong Sidoarjo. Diketahui bahwa variabilitas dan rata-rata proses produksi tetes pada fase satu dan dua belum terkendali. Pembobot optimum dalam mendeteksi variabilitas proses adalah  $\lambda=0,7$  dan  $\omega=0,1$ , sedangkan pembobot optimum dalam mendeteksi rata-rata proses adalah  $\lambda=0,8$ .

Penelitian yang berkaitan dengan metode  $T^2$  Hotelling dengan pendekatan *time series* VAR dilakukan oleh Putri (2015) untuk melakukan pengendalian kualitas tetes di PG Pesantren Baru Kediri. Pada penelitian ini dicari model terbaik untuk variabel tingkat kemurnian dan kadar gula dengan menggunakan metode VAR sehingga diperoleh residual model terbaik yang kemudian dikendalikan dengan menggunakan diagram kendali *Generalized Variance* pada pengendalian varians dan diagram kendali  $T^2$  Hotelling untuk mengendalikan *mean* proses.

Berdasarkan uraian diatas, dalam penelitian ini pengendalian kualitas GKP dilakukan dengan menggunakan diagram kendali MEWMA dan MEWMV dengan pendekatan *time series* VAR. Data yang digunakan adalah data sekunder periode giling Tahun 2017 yang diperoleh dari departemen *Quality Control* PG Rejo Agung Baru Madiun dengan menggunakan tiga variabel kualitas GKP. Ketiga variabel yang diukur adalah kadar air, warna larutan, dan besar jenis butir. Diharapkan hasil analisis penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai pengendalian kualitas GKP secara statistik pada PG Rejo Agung Baru Madiun sehingga dapat dilakukan peningkatan kualitas pada periode giling mendatang.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pengendalian kualitas di Pabrik Gula Rejo Agung Baru dilakukan dengan analisis statistika deskriptif. Karakteristik kualitas proses diukur secara univariat padahal pada ketiga karakteristik kualitas yaitu, kadar air, warna, dan besar jenis butir, memiliki hubungan yang erat yaitu jika kadar air dalam gula tinggi maka kristal gula akan menggumpal, sedangkan ketika ukuran butir gula kristal semakin besar maka warna larutan gula akan semakin coklat. Selain itu diduga data antar pengamatan berautokorelasi dikarenakan proses produksi yang kontinyu. Oleh karena itu akan digunakan diagram kendali MEWMV dan MEWMA dari residual model terbaik *time series* VAR terpilih. Kemudian perlu dilakukan penilaian kebaikan pada proses pembuatan GKP dengan menggunakan indeks kapabilitas proses.

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut memonitor variabilitas dan rata-rata proses pembuatan GKP di PG Rejo Agung Baru Madiun dengan menggunakan diagram kendali MEWMV dan MEWMA dengan pendekatan *time series*, serta menganalisis kapabilitas proses produksi GKP produksi PG Rejo Agung Baru Madiun.

### 1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai informasi untuk PG Rejo Agung Baru Madiun mengenai pengendalian kualitas GKP secara statistik menggunakan diagram kendali kendali MEWMV dan MEWMA dengan pendekatan *time series* sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam pengendalian kualitas pada periode giling selanjutnya.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. Karakteristik kualitas yang digunakan adalah sebanyak 3 dari 11 karakteristik kualitas, yakni besar jenis butir, warna larutan dan kadar air.
2. Pemodelan *time series* hanya menggunakan model VAR.
3. Pembobot yang digunakan pada diagram kendali MEWMV  $0,1 \leq \omega \leq 0,4$  dan  $0,1 \leq \lambda \leq 0,4$  dengan selisih 0,1 tiap pembobotnya. Sedangkan pembobot pada diagram kendali MEWMA adalah  $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$ .

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada proses pengendalian kualitas secara statistik menggunakan diagram kendali, asumsi dasar yang harus dipenuhi adalah data memiliki distribusi normal dan independen (Montgomery, 2013). Ketika data tidak berdistribusi normal multivariat maka dapat digunakan peta kendali yang *robust* terhadap asumsi data berdistribusi normal. Namun tidak semua data yang dikendalikan memenuhi asumsi dasar saling independen antar data pengamatan, salah satu penyebabnya adalah terdapat autokorelasi pada data pengamatan. Hal ini dapat terjadi ketika proses yang dilakukan secara terus-menerus atau kontinyu. Autokorelasi antar pengamatan akan membuat batas kendali pada diagram kendali konvensional menjadi semakin ketat dan menyebabkan munculnya banyak *false alarm* dan mengakibatkan terjadinya penurunan kemampuan mendeteksi perubahan proses (Psarakis & Papaleonida, 2007). Pendekatan yang dapat dilakukan jika terdapat autokorelasi pada data adalah dengan menggunakan pendekatan residual dari model *time series* untuk digunakan pada peta kendali. Residual yang dihasilkan oleh model terbaik *time series* akan memenuhi asumsi independen dan identik (Alwan & Roberts, 1988).

Bab ini membahas mengenai analisis *time series*, *vector autoregressive*, stasioneritas, identifikasi model *time series*, estimasi parameter model, pemeriksaan model (*diagnostic checking*) dan pemilihan model terbaik, uji dependensi variabel, pengendalian kualitas statistik, serta proses produksi GKP di PG Rejo Agung Baru Madiun.

#### 2.1 Analisis *Time Series*

Data deret waktu (*time series*) adalah rangkaian pengamatan yang diambil dari waktu ke waktu dan dicatat secara berurutan menurut urutan waktu kejadiannya dengan interval waktu yang tetap sehingga data periode sekarang memiliki korelasi dengan data periode sebelumnya (Wei, 2006). Terdapat

dua jenis data *time series* yakni univariat dan multivariat. Pada kasus *univariate time series* hanya terdapat satu variabel yang saling berautokorelasi, sedangkan dalam kasus *multivariate time series* terdapat lebih dari satu variabel yang saling berhubungan timbal balik. Salah satu metode yang sering digunakan menurut Wei (2006) dalam *multivariate time series* adalah *Vector Autoregressive (VAR)* karena metode ini mudah digunakan dibanding metode lain.

## 2.2 Model Vector Autoregressive (VAR)

Model *Vector Autoregressive (VAR)* adalah pengembangan model *Univariate Autoregressive (AR)*. Perbedaan antara model VAR dan AR adalah model AR hanya dapat diidentifikasi dengan menggunakan plot ACF sedangkan model VAR dapat diidentifikasi menggunakan plot *Partial Cross-Correlation Matrix Function*. Model VAR digunakan untuk memodelkan data dengan dua atau lebih variabel yang memiliki hubungan. Menurut Wei (2006), bentuk umum dari model VAR adalah sebagai berikut:

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

dengan

$\mathbf{Z}_t$  : vektor berukuran  $m \times 1$  dari variabel pada waktu ke- $t$

$\boldsymbol{\mu}$  : vektor konstanta

$\boldsymbol{\Phi}_1$ : matriks berukuran  $m \times m$  dari parameter ke-1

$\boldsymbol{\Phi}_p$ : matriks berukuran  $m \times m$  dari parameter ke- $p$

$\mathbf{a}_t$  : vektor berukuran  $m \times 1$  yang merupakan residual parameter pada waktu ke- $t$ .

Di mana  $m$  adalah banyaknya karakteristik kualitas. Persamaan (2.1) dapat dibentuk dalam bentuk matriks pada persamaan berikut.

$$\begin{bmatrix} Z_{1,t} \\ \vdots \\ Z_{m,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \vdots \\ \mu_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{111} & \cdots & \phi_{11m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{1m1} & \cdots & \phi_{1mm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{1,t-1} \\ \vdots \\ Z_{m,t-1} \end{bmatrix} + \dots +$$

$$\begin{bmatrix} \phi_{p11} & \cdots & \phi_{p1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{pml} & \cdots & \phi_{pmm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{1,t-p} \\ \vdots \\ Z_{m,t-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ \vdots \\ a_{m,t} \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

## 2.3 Stationeritas

Data yang akan dianalisis menggunakan pemodelan *time series* harus stasioner dalam varians dan *mean*. Suatu data dapat dikatakan stasioner apabila data tersebut berada pada nilai rata-rata yang konstan, tidak bergantung pada waktu dan variansi konstan selama waktu tertentu (Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1983). Untuk menstationerkan data dalam varians digunakan transformasi Box-Cox sedangkan pengujian stationeritas dalam *mean* yang digunakan adalah Augmented Dickey-Fuller.

### 2.3.1. Transformasi Box-Cox

Dalam suatu data *time series* dapat terjadi ketidakstationeran dalam varians. Apabila hal tersebut terjadi maka perlu dilakukan transformasi agar varians stabil. Menurut Wei (2006), transformasi Box-Cox merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk dapat menstabilkan varians. Secara umum dapat digunakan transformasi pangkat yang dikenalkan oleh Box-Cox (1964) pada persamaan sebagai berikut:

$$T(Z_t) = \frac{Z_t^\kappa - 1}{\kappa}, \quad (2.3)$$

$\kappa$  (*rounded value*) dan transformasi yang sering digunakan diberikan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Transformasi Box-Cox

| Nilai $\kappa$ | Transformasi     |
|----------------|------------------|
| -1,0           | $1/Z_t$          |
| -0,5           | $1/\sqrt{Z_t}$   |
| 0              | $\text{Ln } Z_t$ |
| 0,5            | $\sqrt{Z_t}$     |
| 1              | $Z_t$            |

Dari Tabel 2.1 diketahui bahwa suatu data *time series* dikatakan stationer dalam varians apabila nilai  $\kappa$  sama dengan 1.

### 2.3.2. Uji Stationer Mean

Pengujian stationeritas terhadap *mean* dilakukan dengan menggunakan uji Augmented Dickey-Fuller (Gujarati, Damodar, & Porter, 2015). Uji Augmented Dickey-Fuller merupakan perluasan dari uji Dickey-Fuller. Model yang digunakan dalam uji ADF adalah sebagai berikut.

$$\Delta Z_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Z_{t-1} + \sum_{i=1}^k \alpha_i \Delta Z_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (2.4)$$

di mana  $\beta_1$  adalah koefisien,  $\beta_2$  adalah koefisien tren terhadap waktu,  $\delta$  adalah koefisien estimasi pada  $Z_{t-i}$ ,  $\varepsilon_t$  adalah *error* yang bersifat *white noise* murni dan  $\Delta Z_{t-i} = Z_{t-i} - Z_{t-i-1}$ .

Pada pengujian menggunakan Augmented Dickey-Fuller, hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut,

$H_0: \gamma = 0$  (data tidak stationer dalam *mean*)

$H_1: \gamma \neq 0$  (data stationer dalam *mean*)

Statistik uji yang digunakan dalam uji Augmented Dickey-Fuller adalah sebagai berikut.

$$\tau = \frac{\hat{\gamma}}{SE(\hat{\gamma})}. \quad (2.5)$$

Apabila  $|\tau| > \tau_{(\alpha, n)}$  atau *p-value* yaitu  $P(|\tau| > \tau_{(\alpha, n)})$  di mana  $\tau \sim \tau_{(\alpha, n)}$  yang diperoleh kurang dari taraf signifikan yang telah ditetapkan maka tolak  $H_0$  atau dapat disimpulkan bahwa data telah stasioner dalam *mean*. Apabila terjadi ketidakstasioneran dalam *mean* maka dilakukan metode pembedaan atau *differencing* (Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1983).

## 2.4 Identifikasi Model VAR

Identifikasi model pada *multivariat time series* dapat dilakukan dengan melihat pola yang terbentuk dari fungsi *Matrix*



*Cross-Correlation Function* dan *Matrix Partial Cross-Correlation Function*.

### 2.4.1 Cross-Correlation Matrix Function

Menurut Wei (2006), apabila terdapat  $n$  pengamatan, matriks fungsi autokorelasi dituliskan dalam persamaan berikut:

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

$\hat{\rho}_{ij}(k)$  adalah *cross-correlation* sampel untuk komponen ke- $i$  dan ke- $j$  dalam sebuah estimator yang mendekati distribusi normal pada sebuah proses vektor yang stasioner  $\hat{\rho}_{ij}(k)$  dapat diperoleh pada persamaan berikut

$$\hat{\rho}_{ij}(k) = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_{i,t} - \bar{Z}_i)(Z_{j,t+k} - \bar{Z}_j)}{\left( \sum_{t=1}^n (Z_{i,t} - \bar{Z}_i)^2 \sum_{t=1}^n (Z_{j,t} - \bar{Z}_j)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (2.7)$$

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

### 2.4.2 Partial Cross-Correlation Matrix Function

Orde model vektor AR dapat ditentukan dari *partial autocorrelation matrix function*. Menurut Tiao & Box (1981) dalam Wei (2006), *partial autocorrelation matrix function* pada lag  $k$  yang dinotasikan sebagai  $\wp(k)$ , didapatkan dari persamaan berikut

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

Apabila  $k \geq 2$  maka nilai  $\mathbf{A}(k)$ ,  $\mathbf{b}(k)$  dan  $\mathbf{c}(k)$  adalah sebagai berikut.

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

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

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

di mana  $\Gamma(k)$  merupakan matriks kovarians yang dapat diperoleh dari persamaan berikut

$$\Gamma(k) = \frac{1}{n} \sum_{t=k}^{n-k} (\mathbf{z}_t - \bar{\mathbf{z}})(\mathbf{z}_{t-k} - \bar{\mathbf{z}})', \text{ dengan } k=1,2,\dots \quad (2.12)$$

Identifikasi orde nantinya pada serangkaian observasi nilai-nilai yang diperoleh juga disimbolkan dengan metode koefisien yang telah dijelaskan sebelumnya pada *cross correlation matrix function*.

## 2.5 Estimasi Parameter Model

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk estimasi parameter model VAR ( $p$ ) adalah metode *Least Square* dengan estimasi yang diperoleh sebagai berikut (Tsay, 2014).

$$\hat{\phi} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Z} . \quad (2.13)$$

Hipotesis yang digunakan untuk signifikansi parameter yang diperoleh dari metode *least square* adalah sebagai berikut

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

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

Statistik uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut.

$$t = \frac{\hat{\phi}}{SE(\hat{\phi})} . \quad (2.14)$$

$H_0$  tolak apabila  $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2,(n,p)}$  atau *p-value* yang diperoleh kurang dari taraf signifikan yang telah ditetapkan.

## 2.6 Pemeriksaan Model (*Dignostic Check*) dan Pemilihan Model Terbaik

Parameter yang telah signifikan pada model VAR, akan dilakukan pemeriksaan diagnostik pada residual  $\hat{a}_t$ . Model VAR yang dieproleh dikatakan sesuai apabila residual dari model tersebut memenuhi asumsi *white noise* dan asumsi distribusi multivariat normal.

### 2.6.1 Uji *Portmanteau*

Untuk menguji apakah residual telah memenuhi asumsi *white noise* sampai lag ke- $k$  atau belum dapat menggunakan Uji *Portmanteau* dengan hipotesis sebagai berikut.

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

$H_1 : \mathbf{R}_i \neq (R_1, R_2, \dots, R_p) \neq 0$  (residual model VAR ( $p$ ) tidak memenuhi asumsi *white noise*)

Statistik uji yang digunakan pada pengujian *portmanteau* adalah sebagai berikut (Lutkepohl, 2005).

$$Q_k = n \sum_{i=1}^k \text{tr}(\hat{\mathbf{C}}_k' \hat{\mathbf{C}}_0^{-1} \hat{\mathbf{C}}_k \hat{\mathbf{C}}_0^{-1}), \quad (2.15)$$

di mana

$$C_k = n^{-1} \sum_{k+1}^n \hat{\mathbf{a}}_t \hat{\mathbf{a}}_{t-k}' \quad (2.16)$$

dengan,

$n$  : ukuran sampel

$\hat{\mathbf{C}}_0^{-1}$  : invers estimator residual matriks varians-covarian  $\Sigma$

$\hat{\mathbf{C}}_k$  : transformasi dari  $\hat{\mathbf{C}}_k'$

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

$H_0$  ditolak ketika  $Q_k > \chi_{(m^2 K)}^2$  atau  $p$ -value yang diperoleh kurang dari taraf signifikan yang telah ditetapkan.

## 2.6.2 Uji Multivariat Normal

Distribusi multivariat normal adalah perluasan dari distribusi univariat normal dengan jumlah variabel yang lebih dari satu. Distribusi ini digunakan pada sekelompok data yang memiliki hubungan (Johnson & Wichern, 2007). Distribusi normal multivariat diuji dengan pengujian Shapiro Wilk menggunakan hipotesis sebagai berikut (Alva & Estrada, 2009).

$H_0$  : Data berdistribusi normal multivariat

$H_1$  : Data tidak berdistribusi normal multivariat

dengan statistik uji :

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

di mana,

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

dengan

$$d = \sum_{t=1}^n g_t \hat{a}_{(t)}, \quad (2.19)$$

$$S^2 = \sum_{t=1}^n (\hat{a}_t - \bar{a})^2 \quad (2.20)$$

Variabel dikatakan mengikuti distribusi normal multivariat jika nilai statistik uji  $W^*$  mendekati 1, namun jika nilai statistik uji  $W^*$  kecil atau jauh dari 1 maka dikatakan tidak mengikuti distribusi normal multivariat.  $H_0$  ditolak ketika  $W^* > C_{(\alpha, n, m)}$  atau  $p$ -value yaitu  $P(W^* > C_{(\alpha, n, m)})$  di mana  $W^* \sim C_{(\alpha, n, m)}$  bernilai kurang dari  $\alpha$ . Nilai  $g$  adalah nilai koefisien tabel normal.

### 2.6.3 Pemilihan Model Terbaik

*Akaike Informarion Criterion* (AIC) merupakan kriteria yang dapat digunakan untuk menentukan model terbaik (Wei, 2006) pada persamaan berikut:

$$AIC(p) = \ln(|\hat{\Sigma}_p|) + \frac{2pm^2}{n} \quad (2.21)$$

dengan  $|\hat{\Sigma}_p|$  adalah determinan dari matriks varians kovarians residual dan  $m$  adalah jumlah karakteristik kualitas, dan  $n$  adalah ukuran sampel. Model terbaik merupakan model yang memiliki AIC yang kecil.

### 2.7 Korelasi Variabel

Residual yang diperoleh dari hasil analisis akan dianggap sebagai observasi pengamatan yang terbaru. Pengujian korelasi bertujuan untuk mengetahui hubungan antara semua variabel data pengamatan dalam kasus multivariat. Uji korelasi yang digunakan adalah uji Bartlett. Hipotesis yang digunakan dalam uji Bartlett adalah sebagai berikut (Morrison, 1990).

$H_0 : \rho = \mathbf{I}$  (tidak ada korelasi antar variabel)

$H_1 : \rho \neq \mathbf{I}$  (ada korelasi antara variabel)

Statistik uji dalam uji Bartlett dituliskan dalam rumus berikut

$$\chi^2 = -\left(n-1 - \frac{2m+5}{6}\right) \ln|R|. \quad (2.22)$$

Dengan,

$n$  = ukuran sampel

$m$  = jumlah variabel

$R$  = matriks korelasi antar variabel

Variabel dikatakan berkorelasi ketika  $\chi^2 \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}m(m-1))}$  atau  $p$ -value yaitu  $P(\chi^2 \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}m(m-1))})$  di mana  $\chi^2 \sim \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}m(m-1))}$

kurang dari  $\alpha$ .

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ r_{31} & r_{32} & 1 & \cdots & r_{3p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & r_{p3} & \cdots & 1 \end{pmatrix},$$

di mana :

$$r_{jk} = \frac{\sum_{t=1}^n (\hat{a}_{tj} - \bar{a}_j)(\hat{a}_{tk} - \bar{a}_k)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (\hat{a}_{tj} - \bar{a}_j)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (\hat{a}_{tk} - \bar{a}_k)^2}}, \quad (2.23)$$

## 2.8 Pengendalian Kualitas Statistik

Tujuan dari pengendalian kualitas proses menurut Srinivasu (2009) adalah menggambarkan variabilitas dari suatu proses baik yang dapat dikendalikan dan tidak. Salah satu alat dalam pengendalian kualitas adalah diagram kendali atau *control chart*. Diagram kendali adalah alat yang digunakan untuk melihat apakah suatu proses terkendali atau tidak secara statistik.

Terdapat dua jenis karakteristik kualitas, yaitu kualitas variabel dan atribut. Karakteristik kualitas variabel adalah karakteristik kualitas produk yang dinyatakan dengan besaran yang dapat diukur, sedangkan karakteristik kualitas atribut adalah

karakteristik kualitas suatu produk yang dinyatakan dengan kategori tertentu, yaitu cacat dan produk baik. Terdapat dua jenis diagram kendali, yaitu diagram kendali univariat yang digunakan untuk mengendalikan proses dengan satu karakteristik kualitas dan diagram kendali multivariat yang digunakan untuk mengendalikan proses dengan karakteristik lebih dari satu di mana variabel kualitas tersebut memiliki hubungan (Heizer, Render, & Munson, 2017). Salah satu peta kendali untuk memonitor variabilitas proses dengan variabel kualitas lebih dari satu dan memiliki hubungan adalah MEWMV sedangkan peta kendali untuk memonitor rata-rata proses adalah peta kendali MEWMA.

### 2.8.1 Diagram Kendali MEWMV

Diagram kendali MEWMV digunakan untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses pada kasus multivariat tanpa adanya asumsi tidak terjadi perubahan rata-rata proses selama periode pengontrolan berlangsung (Huwang, Yeh, & Wu, 2007). Berikut merupakan perumusan diagram kendali MEWMV

$$\mathbf{V}_n = \omega(\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)(\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)' + (1 - \omega)\mathbf{V}_{n-1}, \quad (2.24)$$

$\omega$  = besar pembobot bernilai  $0 < \omega < 1$  dan

$$\mathbf{V}_0 = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)'$$

Estimasi dari  $y_n$  untuk perubahan rata-rata proses pada waktu ke  $n$  yang didefinisikan sebagai berikut (Lowry dkk., 1992)

$$y_n = \lambda x_n + (1 - \lambda)y_{n-1}, \quad (2.25)$$

dengan  $0 < \lambda < 1$  dan  $y_0 = 0$ , untuk mendeteksi adanya perubahan matriks kovarians dapat dilakukan dengan persamaan berikut

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

$n$  adalah banyaknya pengamatan yang dilakukan dengan  $m$  adalah banyaknya variabel karakteristik kualitas. Untuk mengetahui perubahan dalam matriks kovarians, maka harus didefinisikan suatu matriks  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{C}$  adalah matriks diagonal berukuran  $n \times n$

dengan  $\omega$  sebagai elemen *smoothing constant*. Matriks ini menunjukkan suatu nilai pembobot dari  $\mathbf{V}_n$  yang dapat dituliskan

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} (1-\omega)^{n-1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \omega(1-\omega)^{n-2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & \omega(1-\omega) & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \omega \end{bmatrix}.$$

Untuk masing-masing nilai  $n$ , persamaan (2.24) dapat dijabarkan sebagai berikut.

Untuk  $n = 1$ ,

$$\mathbf{V}_1 = \omega(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)' + (1 - \omega)\mathbf{V}_0.$$

Untuk  $n = 2$ ,

$$\mathbf{V}_2 = \omega(\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)(\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)' + \omega(1 - \omega)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)' + (1 - \omega)^2\mathbf{V}_0.$$

Untuk  $n = 3$ ,

$$\mathbf{V}_3 = \omega(\mathbf{x}_3 - \mathbf{y}_3)(\mathbf{x}_3 - \mathbf{y}_3)' + \omega(1 - \omega)(\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)(\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)' + \omega(1 - \omega)^2(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)' + (1 - \omega)^3\mathbf{V}_0.$$

Dan seterusnya, berlaku untuk semua pengamatan. Secara umum persamaan (2.21) dapat dituliskan sebagai berikut

$$\mathbf{V}_n = \sum_{i=1}^n \omega(1-\omega)^{n-1}(\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i)(\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i)' + (1-\omega)^n\mathbf{V}_0 \quad (2.27)$$

Persamaan (2.25) memiliki penjabaran yang serupa dengan persamaan (2.24) pada masing-masing nilai  $n$ , sebagai berikut.

Untuk  $n = 1$

$$\mathbf{y}_1 = \lambda\mathbf{x}_1$$

Untuk  $n = 2$

$$\mathbf{y}_2 = \lambda\mathbf{x}_2 + \lambda(1 - \lambda)\mathbf{x}_1$$

Untuk  $n = 3$

$$\mathbf{y}_3 = \lambda\mathbf{x}_3 + \lambda(1 - \lambda)\mathbf{x}_2 + \lambda(1 - \lambda)^2\mathbf{x}_1$$

Dan seterusnya, berlaku untuk semua pengamatan. Secara umum persamaan (2.25) dapat dituliskan sebagai berikut

$$\mathbf{y}_n = \sum_{i=1}^n \lambda(1-\lambda)^{n-1}\mathbf{x}_i \quad (2.28)$$



Persamaan (2.28) disubstitusikan ke dalam  $x_t - y_t$  didapatkan persamaan baru sebagai berikut

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_t - \mathbf{y}_t &= \mathbf{x}_t - \sum_{j=1}^t \lambda(1-\lambda)^{t-j} \mathbf{x}_j \\ &= (1-\lambda)\mathbf{x}_t - \lambda(1-\lambda)\mathbf{x}_{t-1} - \dots - \lambda(1-\lambda)^{t-1}\mathbf{x}_1, \end{aligned} \quad (2.29)$$

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

Persamaan (2.29) dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$\begin{aligned} (\mathbf{X} - \mathbf{Y}) &= \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)' \\ (\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)' \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)' \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1-\lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda & \vdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\lambda(1-\lambda)^{n-1} & \dots & -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{x}'_1 \\ \mathbf{x}'_2 \\ \vdots \\ \mathbf{x}'_n \end{bmatrix} \\ &= (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})\mathbf{X} \end{aligned} \quad (2.30)$$

$\mathbf{I}_n$  adalah matriks identitas berukuran  $n \times n$  yang dapat dituliskan sebagai berikut

$$\mathbf{I}_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

dengan  $\mathbf{M}$  adalah matriks segitiga bawah berukuran  $n \times n$  dengan  $\lambda$  sebagai bobot yang telah ditetapkan.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & \dots & 0 \\ \lambda(1-\lambda) & \lambda & \vdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda(1-\lambda)^{n-1} & \dots & \lambda(1-\lambda) & \lambda \end{bmatrix}$$

Persamaan (2.27) juga dapat dituliskan dengan persamaan berikut

$$\mathbf{V}_n = (\mathbf{X} - \mathbf{Y})' \mathbf{C} (\mathbf{X} - \mathbf{Y}). \quad (2.31)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.30) ke persamaan (2.31) maka diperoleh,

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_n &= \mathbf{X}(\mathbf{I}_n - \mathbf{M})' \mathbf{C} (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})\mathbf{X} \\ &= \mathbf{X}' \mathbf{Q} \mathbf{X} \end{aligned} \quad (2.32)$$

di mana  $\mathbf{Q}$  adalah matriks bujur sangkar berukuran  $n \times n$

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})' \mathbf{C} (\mathbf{I}_n - \mathbf{M}) \quad (2.33)$$

Dari persamaan (2.32), nilai  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  dapat diperoleh dengan persamaan berikut,

$$\begin{aligned}\text{tr}(\mathbf{V}_n) &= \text{tr}(\mathbf{X}'\mathbf{Q}\mathbf{X}) \\ &= \text{tr}(\mathbf{Q}\mathbf{X}\mathbf{X}')\end{aligned}\quad (2.34)$$

dengan,

$$\mathbf{Q}\mathbf{X}\mathbf{X}' = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \cdots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \vdots & q_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & q_{n2} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^m x_{1k}^2 & \sum_{k=1}^m x_{1k}x_{2k} & \cdots & \sum_{k=1}^m x_{1k}x_{tk} \\ \sum_{k=1}^m x_{1k}x_{2k} & \sum_{k=1}^m x_{2k}^2 & \vdots & \sum_{k=1}^m x_{2k}x_{tk} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{k=1}^m x_{1k}x_{nk} & \sum_{k=1}^m x_{2k}x_{nk} & \cdots & \sum_{k=1}^m x_{nk}^2 \end{bmatrix}$$

Sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}\text{tr}(\mathbf{V}_n) &= \sum_{j=1}^n q_{1j} \left( \sum_{k=1}^m x_{1k}x_{jk} \right) + \sum_{j=1}^n q_{2j} \left( \sum_{k=1}^m x_{2k}x_{jk} \right) + \cdots + \sum_{j=1}^n q_{nj} \left( \sum_{k=1}^m x_{nk}x_{jk} \right) \\ &= \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n q_{tj} \left( \sum_{k=1}^m x_{tk}x_{jk} \right)\end{aligned}\quad (2.35)$$

Saat  $p=1$  persamaan  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  akan menjadi persamaan EWMA. Saat proses dalam keadaan terkontrol dapat ditunjukkan perhitungan untuk mendapatkan  $E(\text{tr}(\mathbf{V}_n))$ .

$$\begin{aligned}E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] &= \sum_{t=1}^n q_{tt} E \left( \sum_{k=1}^m x_{tk}^2 \right) + \sum_{t=1}^n \sum_{j \neq t}^n q_{tj} E \left( \sum_{k=1}^m x_{tk}x_{jk} \right) \\ &= m \sum_{t=1}^n q_{tt} = m \text{tr}(\mathbf{Q}).\end{aligned}\quad (2.36)$$

Untuk mendapatkan batas kendali dari  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  harus didapatkan nilai  $\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)]$  terlebih dahulu.

$$\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] = \text{Var} \left[ \sum_{t=1}^n q_{tt} \sum_{k=1}^m x_{tk}^2 + 2 \sum_{t=1}^n \sum_{j < t}^n q_{tj} \sum_{k=1}^m x_{tk}x_{jk} \right]$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{t=1}^n q_{tt}^2 \text{Var} \left( \sum_{k=1}^m x_{tk}^2 \right) + 4 \sum_{t=1}^n \sum_{j<1}^n q_{tj}^2 \text{Var} \left( \sum_{k=1}^m x_{tk} x_{jk} \right) \\
&= 2m \sum_{t=1}^n q_{tt}^2 + 4m \sum_{t=1}^n \sum_{j<1}^n q_{tj}^2 \\
&= 2m \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n q_{tj}^2 . \tag{2.37}
\end{aligned}$$

Sehingga dapat ditunjukkan batasan kendali untuk setiap  $n$  berdasarkan  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  diberikan oleh

$$E[\text{tr}(\mathbf{V}_t)] \pm L \sqrt{\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_t)]} = m \text{tr}(\mathbf{Q}) \pm L \sqrt{2m \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n q_{tj}^2} . \tag{2.38}$$

$L$  merupakan konstanta yang bergantung pada  $p$  (banyaknya karakteristik kualitas) dan nilai  $\omega$  dan  $\lambda$  yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai batas kendali MEWMV dilakukan melalui simulasi Monte Carlo dengan ARL 370 (Huwang, Yeh, & Wu, 2007).

### 2.8.2 Diagram Kendali MEWMA

Diagram Kendali MEWMA adalah diagram kendali yang digunakan untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses yang kecil pada kasus multivariat. MEWMA merupakan pengembangan diagram kendali EWMA yang digunakan untuk mengontrol kualitas data univariat. Kelebihan dari diagram MEWMA adalah tahan terhadap asumsi distribusi normal, bila data tidak memenuhi asumsi distribusi normal multivariat maka diagram kendali MEWMA masih dapat digunakan (Montgomery, 2013).

Perumusan diagram kendali MEWMA didefinisikan sebagai berikut.

$$\mathbf{M}_t = \lambda \mathbf{z}_t + (1 - \lambda) \mathbf{M}_{t-1} \tag{2.39}$$

di mana  $\lambda$  adalah pembobot yang bernilai  $0 \leq \lambda \leq 1$  dan  $\mathbf{M}_0 = 0$ . Pada diagram kendali ini dapat digunakan nilai pembobot yang

sama atau tidak pada masing-masing karakteristik kualitas. Apabila tidak ada alasan pemilihan pembobot yang berbeda untuk masing-masing karakteristik kualitas maka pembobot  $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_p = \lambda$ . Titik pengamatan yang diplotkan di diagram kendali adalah sebagai berikut

$$T_t^2 = \mathbf{M}_t' \Sigma_{M_t}^{-1} \mathbf{M}_t \quad (2.40)$$

$$\Sigma_{M_t} = \frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2t}] \Sigma \quad (2.41)$$

Data dikatakan *out of control* ketika nilai  $T_i^2$  lebih besar dari  $h_4$ . Nilai  $h_4$  merupakan batas kendali atas (BKA) sedangkan batas kendali bawah (BKB) untuk diagram kendali MEWMA sama dengan 0 karena nilai  $T_t^2$  yang selalu positif sehingga batas pengendali bawah (LCL) yang paling minimum dari suatu nilai yang positif adalah 0 (Montgomery, 2013).

### 2.8.3 Analisis Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses adalah analisis guna menaksir kemampuan proses pada suatu produk dalam memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Analisis kemampuan proses merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan program peningkatan kualitas. Proses dikatakan kapabel jika dalam keadaan terkendali, memenuhi batas spesifikasi, dan tingkat akurasi dan presisi tinggi. Presisi adalah ukuran pendekatan antara suatu pengamatan dengan yang lain. Sedangkan akurasi adalah ukuran kedekatan pengamatan dengan nilai target dalam spesifikasi.

Untuk mengetahui kapabel tidaknya suatu proses untuk karakteristik univariat dapat dilihat dari nilai  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $C_{pc}$ ,  $C_{pkm}$ . Menurut *Automotive Industry Action Group* (AIAG) (1991), Keempat indikator tersebut digunakan ketika proses dalam keadaan terkendali secara statistik. Sedangkan jika proses tidak terkendali secara statistik maka menggunakan indikator  $P_p$  dan  $P_{pk}$ .

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma} \quad (2.42)$$

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{BSA - \bar{x}}{3\sigma}, \frac{\bar{x} - BSB}{3\sigma} \right\} \quad (2.43)$$

Keterangan:

BSA : Batas Spesifikasi Atas

BSB : Batas Spesifikasi Bawah

Indeks nilai kapabilitas multivariat dapat ditulis sebagai berikut (Raissi, 2009).

$$MP_p = \sum_{k=1}^m W_k P_p(X_k) \quad (2.44)$$

$$MP_{pk} = \sum_{k=1}^m W_k P_{pk}(X_k) \quad (2.45)$$

Keterangan:

$MP_p$  : Tingkat presisi data multivariat

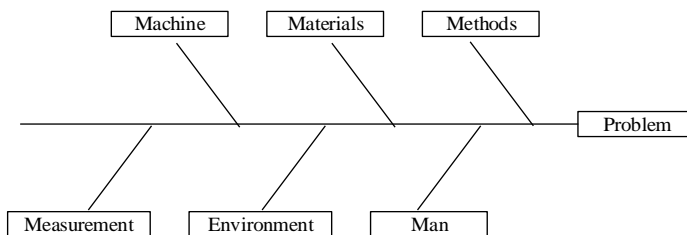
$MP_{pk}$  : Tingkat akurasi data multivariat

$W_i$  merupakan pembobotan dengan  $\sum_{i=1}^p W_i = 1$ . Presisi adalah ukuran kedekatan antara satu pengamatan dengan pengamatan lain. Sedangkan akurasi adalah ukuran kedekatan hasil pengamatan dengan nilai target.

## 2.9 Diagram Ishikawa

Ketika cacat, error, atau masalah telah teridentifikasi maka hal yang harus dilakukan adalah menganalisis penyebab yang berpotensi menimbulkan kecacatan tersebut. Diagram sebab akibat adalah alat yang biasa digunakan untuk menganalisis akar penyebab yang berpotensi menimbulkan kecacatan.

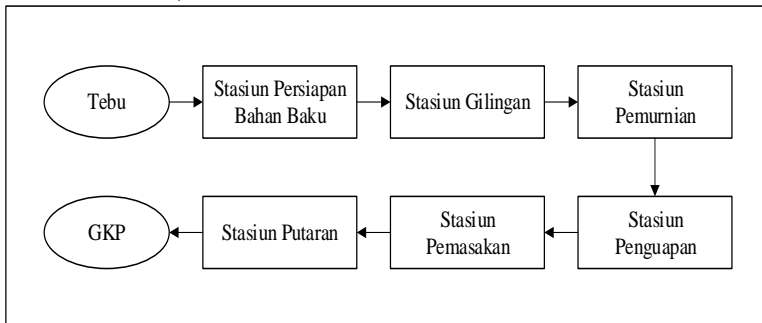
Untuk memudahkan menganalisis faktor penyebab, pada umumnya faktor penyebab dikelompokkan menjadi 5M+1E yaitu, *man, materials, methode, machines, measurement, and environment* (Montgomery, 2013).



**Gambar 2.1** Diagram Sebab Akibat

## 2.10 Proses Produksi GKP di PG Rejo Agung Baru

Berikut ini merupakan tahapan proses pembuatan di Pabrik Gula Rejo Agung Baru Madiun, terdapat 6 stasiun pada proses pembuatan gula di PG Rejo Agung Baru Madiun (Sari & Al-Hanif, 2017).



Gambar 2.2 Proses Produksi GKP

### 1. Stasiun Persiapan Bahan Baku

Pada stasiun persiapan bahan baku ini dilakukan proses pencatatan asal tebu dan dilakukan proses seleksi kelayakan tebu. Klasifikasi tebu yang diterima di PG Rejo Agung Baru Madiun adalah sebagai berikut:

- a. Manis, tebu yang diolah menjadi gula memiliki brix lebih dari 15%
- b. Bersih, maksud dari bersih disini adalah bersih dari daun, dari akar dan tanah, serta bukan merupakan tebu lidi. Hal ini dilakukan agar proses putaran berjalan dengan baik,
- c. Segar, yaitu tebu yang setelah ditebang tidak lebih dari 36 jam.

### 2. Stasiun Gilingan

Proses penggilingan dilakukan pada tebu yang telah melewati proses penilaian mutu tebu. Pada stasiun gilingan ini berujuan untuk mengambil nira dari batang tebu semaksimal mungkin dan menekan sedikit mungkin kehilangan gula yang terikut dengan ampas. Tebu yang telah terpilih dengan syarat MBS (Manis, Bersih dan Segar) kemudian akan dipotong menjadi

bagian yang lebih kecil menggunakan mesin *Cane Cutter* hingga sel-sel tebu terbuka dan nira akan mudah diperah dari serabutnya lalu masuk pada mesin *Hammer Shredder* untuk di tumbuk agar bukaan sel-sel tebu terbuka dengan output sabut tebu. Kemudian sabut masuk ke *roll* gilingan 1 sampai 5 dengan output ampas. Ampas dari gilingan I ditambahkan nira dari gilingan III lalu dibawa ke gilingan II. Nira dari gilingan I dan II dialirkan menuju penampungan dan diberi kapur sebagai *pre-liming*, lalu dialirkan ke *DSM screen* untuk dilakukan penyaringan. Ampas dari gilingan II ditambah nira dari gilingan IV lalu dibawa ke gilingan III. Nira dari gilingan III ditampung dan ditambah ampas dari gilingan I, sementara ampasnya ditambah nira dari gilingan V dan air imbibisi kemudian dibawa ke gilingan IV. Nira dari gilingan IV ditampung lalu dialirkan ke ampas gilingan III. Ampas dari gilingan IV ditambahkan air imbibisi dan dibawa ke gilingan V. Ampas dari gilingan V dibawa menuju stasiun ketel untuk digunakan sebagai bahan bakar.

Penambahan air imbibisi bertujuan untuk memaksimalkan ekstraksi nira. Kandungan air pada bagase akan berkurang karena ekstraksi, sehingga ketika kandungan air terlalu kecil pemerahan tidak dapat dilanjutkan. Air imbibisi tidak diberikan seluruhnya pada ampas gilingan terakhir saja, melainkan gilingan III dan IV untuk mencegah terjadinya ampas selip.

### **3. Stasiun Pemurnian**

Pada stasiun pemurnian ini akan dilakukan pemisahan kotoran dalam nira mentah. Penghilangan kotoran tersebut hanya sekitar 10-25% dapat dihilangkan dari jumlah kotoran yang ada. Nira mentah dari stasiun gilingan masuk ke peti nira tertimbang setelah itu nira mentah ditambah dengan asam fosfat dengan kadar 300 ppm. Setelah itu masuk juice heater kemudian dialirkan ke defekator 1 yang diberi susu kapur dengan kualitas tinggi (90-95%). Penambahan susu kapur bertujuan untuk menaikkan pH nira menjadi 10-10,5. Di dalam defekator 1 terdapat proses pengadukan agar didapatkan nira yang homogen. Setelah dari defekator 1, kemudian dialirkan menuju tabung sulfitasi untuk

menurunkan pH nira menjadi 7-7,2 lalu nira masuk kedalam reaction tank untuk kembali menyempurnakan reaksi yang terjadi pada nira. Kemudian dipanaskan kembali pada defekator II sampai suhu 105°C. Setelah itu nira dialirkan pada flash tank untuk menghilangkan gas-gas yang tak terembunkan dan dapat mengganggu proses pengendapan. Setelah itu nira mengalir ke *Single Tray Clarifier* untuk diendapkan dengan memisahkan nira jernih dan nira kotor.

#### **4. Stasiun Penguapan**

Stasiun penguapan ini bertujuan untuk menguapkan air dalam nira sehingga tersisa nira kental. Terdapat 5 evaporator dan 2 VK (Voor Kooker) masing –masing pada seri barat dan timur. Nira encer dari proses pemurnian selanjutnya masuk voorkoker (pre-evaporator) yang berfungsi untuk mengurangi beban kerja evaporator. Selanjutnya nira masuk pada penguapan 1 kemudian dipanaskan menggunakan uap bekas berasal dari gilingan lalu nira masuk ke badan penguapan 2. Pada badan penguapan 2 nira dipanaskan dengan uap berasal dari penguapan 1 lalu nira masuk ke penguapan 3. Pada badan penguapan 3 nira dipanaskan dengan uap berasal dari badan penguapan 2 lalu nira masuk ke badan penguapan 4. Pada badan penguapan 4 nira dipanaskan dengan uap berasal dari badan penguapan 3 lalu nira masuk ke badan penguapan 5, uap dari badan 5 dialirkan ke kondensor. Penguapan dilakukan sampai nira mencapai kekentalan 30-35°Be. Nira yang telah memenuhi standar kekentalan yang telah ditentukan akan masuk ke sulfurtower kemudian ditransfer ke stasiun pemasakan.

#### **5. Stasiun Pemasakan**

Pada stasiun pemasakan terdapat 3 pan yaitu pan masakan A, C dan D. Masing-masing pan digunakan untuk mengkristalkan nira kental dengan bantuan uap air.

Setelah dari sulfur tower, nira akan masuk pertama kali pada pan masakan A dengan ditambah klare I dan bibit gula C. Pemasakan dilakukan sampai terbentuk kristal yang bagus dan tidak terdapat pasir palsu. Apabila terdapat pasir palsu maka



harus dihilangkan dengan menambahkan air panas. Keberadaan pasir palsu dapat menyumbat saringan pada unit putaran sehingga dapat mengganggu penyaringan dan merusak alat. Kemudian ditambah lagi nira kental sulfitasi secara bertahap sampai volume 200 HL. Apabila masih ada pasir palsu maka ditambah air secukupnya. Penambahan akhir dari bahan sampai volume 250 HL kemudian dituakan, setelah tua maka diturunkan ke palung pendingin. Pan masakan A menghasilkan *masscuite* yang selanjutnya diturunkan ke palung pendingin dan masuk ke puteran A

Pada masakan C, stroop A dimasukkan lalu dipanaskan sampai pekat dan keluar benang. Kemudian ditambahkan gula D2 dan dikentalkan. Apabila masih terdapat pasir palsu akan ditambahkan dengan air panas, penambahan bahan maksimal 300 HL. Setelah masak, masakan C diturunkan ke palung pendingin dan menghasilkan *masscuite* C yang kemudian masuk ke puteran C.

Untuk masakan D bahan yang digunakan adalah stroop C dan klare III yang berisi nira kental. Kemudian dipanaskan sampai tua, apabila terdapat pasir palsu maka ditambah dengan air panas. Penambahan bahan sampai volume 400 HL dan dipanaskan sampai tua, setelah tua maka diturunkan pada palung pendingin, kemudian *masscuite* dipompa ke puteran D.

## **6. Stasiun Putaran**

Setelah masakan didinginkan proses selanjutnya adalah pemisahan kristal gula dari larutan induknya dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dilakukan pada stasiun putaran. Larutan induk yang dipisahkan dapat berupa tetes, klare, dan stroop dari inti kristal.

Terdapat 3 bagian pada stasiun putaran, yaitu:

### **a. Unit putaran SHS (*Superior High Sugar*)**

Bahan unit putaran SHS merupakan masakan pan A yang kemudian akan menghasilkan gula SHS. Saat proses pemutaran dilakukan pula pencucian (*washing*) dengan air siraman dan air siraman tersebut menyemprot lapisan masakan yang menempel di

dinding saringan puteran. Pada saat ini akan terjadi pemisahan larutan induk dan kristalnya. Proses dilanjutkan dengan *steaming* yang berfungsi untuk membersihkan kristal gula dengan menembus kristal gula dengan *steam* yang bertekanan tertentu sehingga lapisan molasse yang masih melekat dapat terlepas. Selanjutnya dilakukan penurunan kecepatan putaran.

b. Unit putaran C

Hasil pemutaran ini adalah gula yang digunakan sebagai bahan masakan A dan stroopnya untuk bahan masakan pan D

c. Unit putaran D

Unit putaran D terdiri dari dua jenis yaitu putaran D1 dan D2. Pada putaran D1 menghasilkan gula D1 dan tetes sedangkan putaran D2 bertujuan untuk memurnikan gula D1 menjadi D2. Gula D2 ini kemudian digunakan untuk masakan C dan niranya diolah untuk masakan A. Dalam proses pemutaran dan pencucian kristal digunakan air dingin sebagai siraman agar diperoleh kristal gula yang bersih.

Proses terakhir adalah proses penyelesaian. Hasil dari putaran SHS masih mengandung kadar air 0,5-2%, serta ukuran kristal yang bervariasi. Karena itu gula memerlukan pengeringan dan pemisahan dari gula halus dan gula kasar. Gula yang berasal dari stasiun putaran masuk ke talang goyan. Talang goyang berfungsi untuk membawa gula menuju *sugar dryer and cooler* untuk dikeringkan dan membuat gula supaya tidak menggumpal. Setelah gula masuk ke dalam *sugar dryer and cooler*, gula disimpan pada *sugar bin* kemudian dilanjutkan pengemasan dan pengepakan kemasan per 50kg.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder kualitas GKP mulai 1 Juni 2017 – 10 September 2017 yang diperoleh dari departemen *Quality Control* PG Rejo Agung Baru yang didapatkan pada tanggal 4 Januari 2018. Pengukuran tiga karakteristik kualitas dilakukan satu kali pada tiap shift di stasiun putaran dan penyelesaian, terdapat tiga shift berlaku di PG Rejo Agung Baru Madiun, yaitu shift 1 pukul 06.00-14.00, shift 2 pukul 14.00-22.00, dan shift 3 pukul 22.00-06.00. Pengukuran kualitas dilakukan dengan cara mengambil sampel SHS sebanyak 300 gram dari sugar *dryer and cooler* kemudian dilakukan pengecekan di laboratorium.

#### 3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan kualitas GKP dengan penjelasan sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Variabel Penelitian

| <b>Variabel</b> | <b>Keterangan</b> | <b>Satuan</b> | <b>Spesifikasi</b> |
|-----------------|-------------------|---------------|--------------------|
| X <sub>1</sub>  | Kadar air         | %             | Maks 0,1           |
| X <sub>2</sub>  | Warna larutan     | IU            | 81-200             |
| X <sub>3</sub>  | Besar jenis butir | Mm            | 0,8-1,2            |

- X<sub>1</sub>: Kadar air adalah jumlah air (%) yang terdapat dalam gula. Gula yang mengandung kadar air tinggi cepat mengalami penurunan mutu atau kerusakan dalam penyimpanan. Selain itu kadar air yang tinggi pada gula berpengaruh pada warna gula, semakin tinggi kadar air maka warna gula akan semakin coklat (Payne, 1982).
- X<sub>2</sub>: Warna larutan gula yaitu suatu parameter nilai kemurnian yang berkaitan dengan warna kejernihan larutan gula yang diukur berdasarkan standar internasional dalam satuan internasional unit (IU). Semakin besar indeks semakin gelap warna larutan.

$X_3$ : Besar jenis butir adalah ukuran rata-rata butir kristal putih gula yang dinyatakan dalam milimeter. Semakin besar ukuran kristal gula maka warna gula akan semakin coklat (Payne, 1982).

Ketiga variabel ini adalah variabel utama yang diukur dalam pengendalian GKP yang saling berhubungan, di mana jika kadar air dalam gula tinggi maka kristal gula akan menggumpal, sedangkan ketika ukuran butir gula kristal semakin besar maka warna gula akan semakin coklat.

Berikut merupakan struktur data berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan.

**Tabel 3.2** Struktur Data

| Pengamatan ke- | $X_1$       | $X_2$       | $X_3$       |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
| 1              | $x_{11}$    | $x_{21}$    | $x_{31}$    |
| 2              | $x_{12}$    | $x_{22}$    | $x_{32}$    |
| $\vdots$       | $\vdots$    | $\vdots$    | $\vdots$    |
| 267            | $x_{1,267}$ | $x_{2,267}$ | $x_{3,267}$ |

### 3.3 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dikerjakan dalam pengendalian rata-rata proses dan variabilitas data berautokorelasi adalah sebagai berikut.

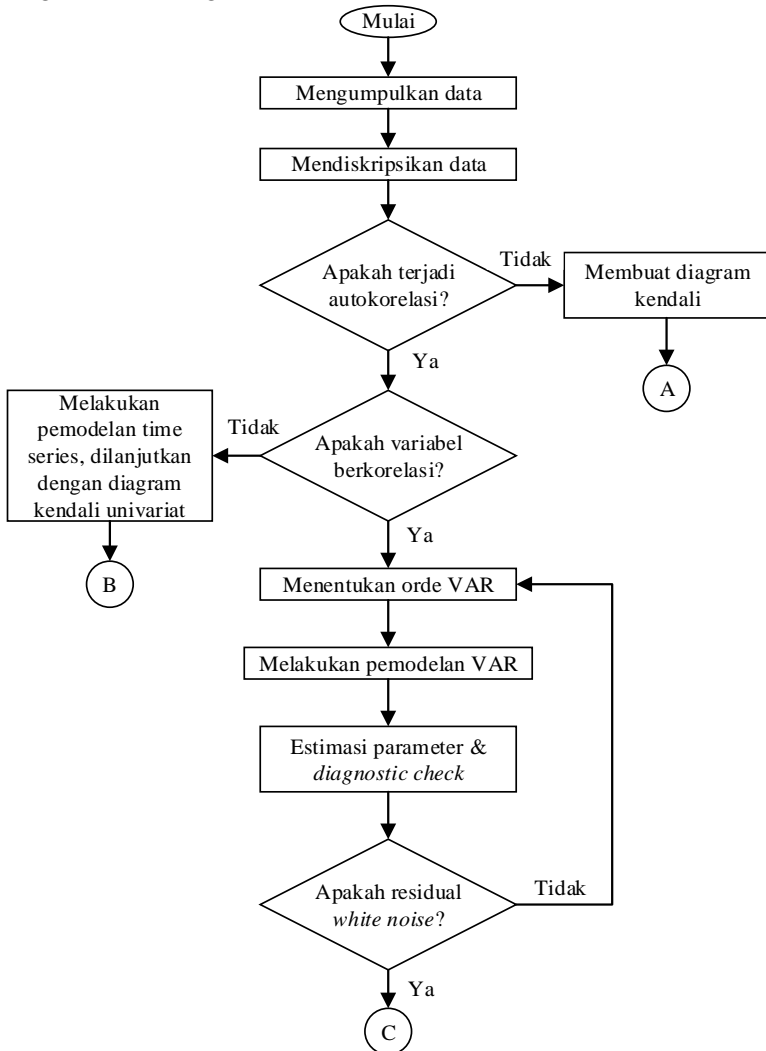
1. Mendefinisikan karakteristik pada setiap variabel kadar air, warna, dan besar jenis butir dengan statistika deskriptif.
2. Membentuk model *time series* terbaik sehingga diperoleh residual untuk seluruh karakteristik kualitas menggunakan VAR dengan tahanan sebagai berikut.
  - a. Menguji *stasioneritas* masing-masing karakteristik kualitas secara individu meliputi stasioneritas dalam varians dan *mean* menggunakan transformasi Box – Cox dan uji Augmented Dickey – Fuller *Test*.
  - b. Mengidentifikasi orde model VAR dengan MPACF dengan menggunakan persamaan (2.12).
  - c. Melakukan estimasi parameter model VAR menggunakan persamaan (2.13)

- d. Melakukan pengujian signifikansi parameter menggunakan persamaan (2.14)
  - e. Menghitung residual model *time series*
  - f. Melakukan pemeriksaan asumsi *white noise* menggunakan uji portmanteau dengan persamaan (2.15)
  - g. Melakukan pengujian distribusi multivariat normal dengan persamaan (2.17)
3. Melakukan pengujian asumsi dependensi dengan persamaan (2.22)
  4. Melakukan pengendalian variabilitas proses dengan diagram kendali MEWMV dan menetapkan pembobot optimal dengan langkah berikut.
    - a. Membuat matriks  $\mathbf{C}$  dengan ukuran  $n \times n$ , dengan diagonal utama  $\omega$ .
    - b. Membuat matriks  $\mathbf{M}$  yang merupakan matriks segitiga bawah dengan elemennya  $\lambda$
    - c. Membuat matriks  $\mathbf{I}_n$ , merupakan matriks identitas berukuran  $n \times n$ .
    - d. Menghitung matriks  $\mathbf{Q}$  yang digunakan untuk mendapatkan  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  sebagai matriks karakteristik kualitas yang akan dikendalikan dengan persamaan (2.33)
    - e. Menghitung nilai  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  sesuai persamaan (2.34).
    - f. Membuat  $E(\text{tr}(\mathbf{V}_n))$  berdasarkan persamaan (2.36) dan menghitung  $\text{Var}(\text{tr}(\mathbf{V}_n))$  berdasar persamaan (2.37).
    - g. Menentukan batas diagram kontrol setiap pengamatan ke- $n$  dengan persamaan (2.38).
    - h. Memplot nilai  $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$  dengan berbagai kombinasi pembobot  $\lambda$  dan  $\omega$  yang sudah ditetapkan.
    - i. Memilih pembobot  $\lambda$  dan  $\omega$  diagram kendali MEWMV yang optimum.
  5. Melakukan pengendalian rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMA dan menetapkan pembobot optimal dengan langkah berikut.
    - a. Menetapkan pembobot  $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$ .

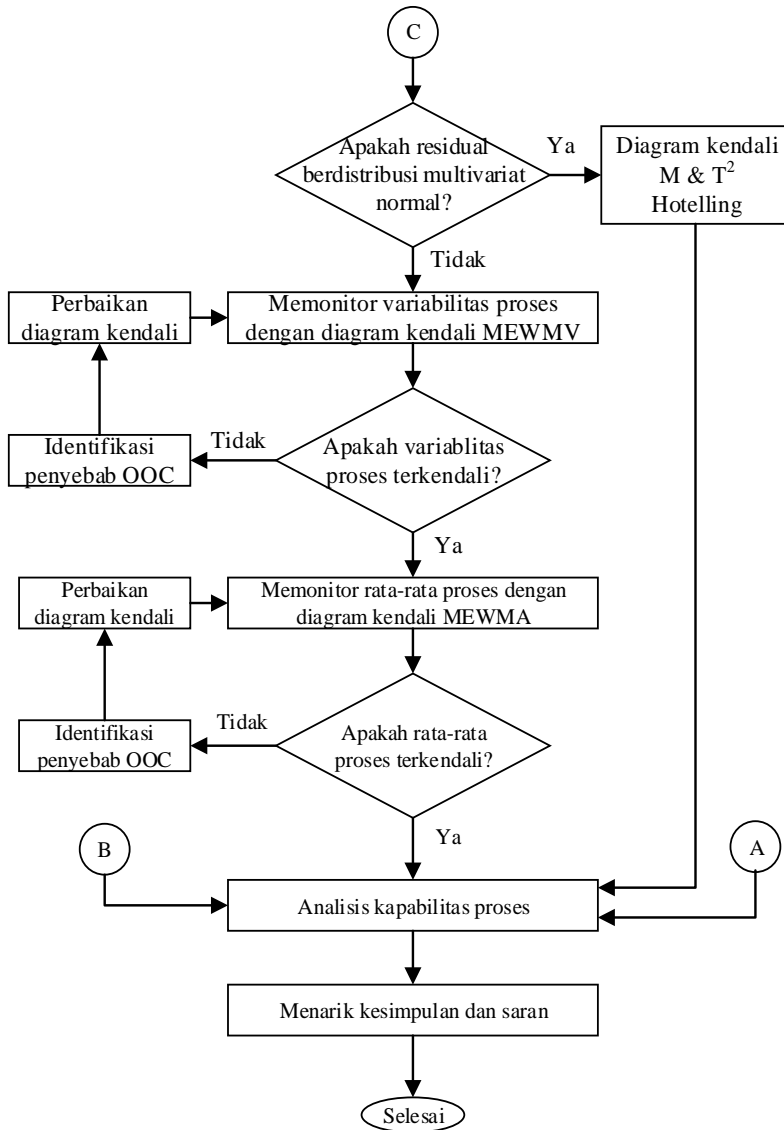
- b. Menghitung vektor MEWMA  $\mathbf{M}_t$  dengan persamaan (2.39).
  - c. Menghitung varians kovarians  $\Sigma_{M_t}$  dengan persamaan (2.41).
  - d. Menghitung statistik MEWMA yaitu  $T_t^2$  dengan persamaan (2.40).
  - e. Memplot  $T_t^2$  dengan BKA =  $h_4$  dan BKB = 0 yang diperoleh berdasar pembobotan  $\lambda$  yang ditetapkan.
  - f. Memilih pembobot  $\lambda$  diagram kendali MEWMA yang optimum.
6. Menentukan kapabilitas proses untuk mengetahui apakah dengan persamaan (2.44) dan (2.45)
  7. Melakukan intepretasi dan menarik kesimpulan.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini langkah analisis digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

PG Rejo Agung Baru merupakan salah satu pabrik gula yang berdiri di Kota Madiun, Jawa Timur. Pada awal didirikan, pabrik ini hanya memiliki kapasitas produksi sebesar 2000 TCD. Pada Tahun 2008 kapasitas produksi ditingkatkan menjadi 4500 TDC dan sistem pemurnian diubah menjadi sulfitasi. Hingga kini kapasitas produksi telah mencapai 6000 TCD. Produk utama dari PG Rejo Agung Baru adalah gula kemasan 50 kg, 5 kg, dan 0,5 kg, dengan produk sampingan berupa tetes, ampas tebu, dan pupuk organik.

Pengendalian kualitas yang dilakukan pada GKP diukur berdasarkan tiga variabel yaitu kadar air, warna larutan (ICUMSA), dan BJB. Jika kadar air dalam gula tinggi maka kristal gula akan menggumpal, sedangkan ketika ukuran butir gula kristal semakin besar maka warna larutan gula akan semakin coklat. Sebagai konsumen tentu lebih menyukai gula dengan kristal yang putih.

Analisis dan pembahasan yang akan dilakukan terhadap ketiga variabel kualitas GKP adalah melakukan analisa deskriptif untuk mengetahui karakteristik data kemudian dilanjutkan dengan melihat adanya autokorelasi antar pengamatan. Langkah berikutnya memodelkan VAR sehingga diperoleh residual yang bebas autokorelasi dan mencerminkan proses pada data yang sebenarnya. Berikutnya melakukan pengendalian variabilitas dengan diagram kendali MEWMV dan pengendalian mean proses dengan peta kendali MEWMA.

#### **4.1 Deskriptif Karakteristik Kualitas GKP**

Melakukan analisa deskriptif pada ketiga karakteristik kualitas GKP dilakukan untuk mengetahui gambaran umum karakteristik dari data. Berikut merupakan statistika deskriptif untuk karakteristik kualitas kadar air, warna larutan, dan BJB pada GKP periode giling Tahun 2017.

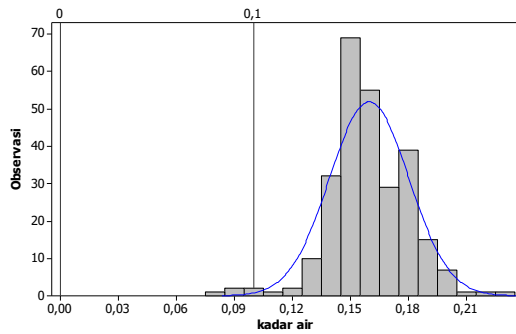
**Tabel 4.1** Karakteristik Kualitas GKP

| <b>Karakteristik Kualitas</b> | <b>Spesifikasi</b> | <b>Rata-Rata</b> | <b>Varians</b> | <b>Minimum</b> | <b>Maximum</b> |
|-------------------------------|--------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Kadar Air                     | Maks 0,1           | 0,160            | 0,000420       | 0,08           | 0,23           |
| Warna Larutan                 | 81-200             | 426,84           | 12179,01       | 86,90          | 675,03         |
| BJB                           | 0,8-1,2            | 0,850            | 0,010970       | 0,56           | 1,23           |

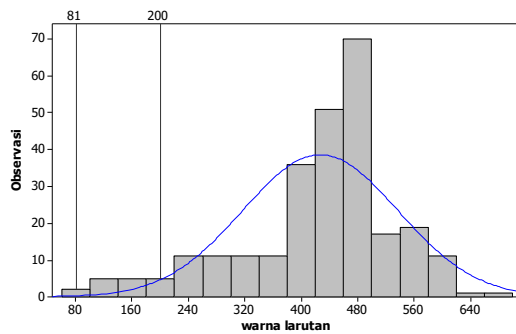
Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar air selama periode giling tahun 2017 sebesar 0,16 dengan kadar air minimum sebesar 0,08 dan maksimum sebesar 0,23. Nilai rata-rata kadar air berada diluar batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan yakni maksimal 0,1. Nilai varians sebesar 0,00042 dapat dikatakan cukup kecil, hal ini menandakan bahwa kadar air GKP periode giling tahun 2017 cukup homogen, karena jarak antar data relatif kecil.

Rata-rata warna larutan GKP periode giling tahun 2017 sebesar 426,84 dengan nilai minimum 86,9 dan nilai maksimum sebesar 675,03. Rata-rata warna larutan GKP berada di luar batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan. Varians dari warna larutan cukup besar yakni 12179,01. Hal ini menandakan bahwa warna larutan GKP periode giling tahun 2017 heterogen, karena jarak antar data cukup besar.

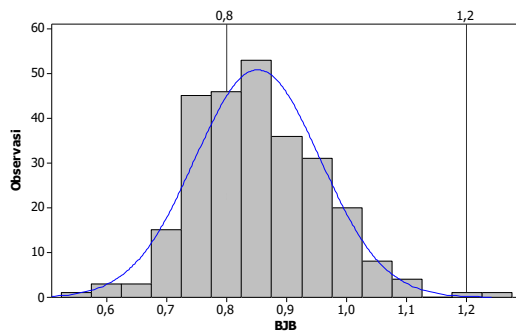
Nilai rata-rata, nilai minimum, dan nilai maksimum dari karakteristik kualitas BJB dari GKP periode giling tahun 2017 secara berturut-turut adalah sebesar 0,85, 0,56, dan 1,23. Nilai rata-rata berada dalam batas spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan, sedangkan nilai minimum dan maksimum BJB berada di luar spesifikasi. Varians dari BJB relatif kecil yakni 0,01097, nilai varians yang kecil ini menunjukkan bahwa data BJB homogen, dengan jarak antar data relatif kecil. Untuk melihat persebaran dari data maka dapat dilihat dari bentuk histogram data. Berikut merupakan histogram data masing-masing karakteristik kualitas.



(a)



(b)



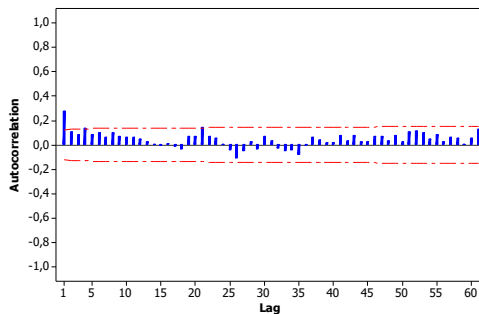
(c)

**Gambar 4.1** Histogram (a) Kadar Air (b) Warna Larutan (c) BJB

Dari Gambar 4.1 (a) diketahui bahwa bentuk histogram data kadar air menyerupai lonceng. Namun kebanyakan pengamatan nilai kadar air berada di luar batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan, maksimal 0,1, yaitu sebesar 98,13% pengamatan masih berada diluar batas. Selanjutnya disajikan pada Gambar 4.1 (b) dari data warna larutan diketahui 95,13% pengamatan berada di luar batas spesifikasi yaitu 80-200. Sedangkan untuk Gambar 4.1 (c) dari data BJB terdapat 31,08% pengamatan berada di luar batas spesifikasi yaitu antara 0,8-1,2.

#### 4.2 Pengecekan Autokorelasi

Pengecekan autokorelasi pada data karakteristik kualitas GKP merupakan langkah pertama yang dilakukan, ada tidaknya autokorelasi pada data dapat dilihat dari plot ACF masing-masing data karakteristik kualitas yang terdapat pada Lampiran A. Berikut merupakan plot ACF untuk karakteristik kualitas kadar air.

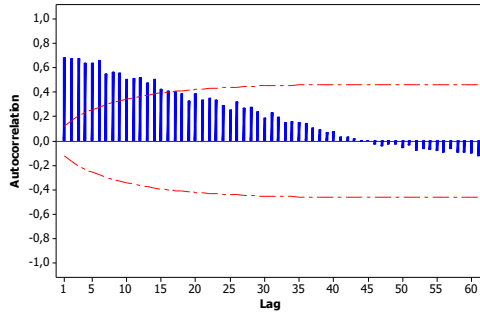


**Gambar 4.2** Plot ACF Kadar Air

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa beberapa lag ACF Kadar Air melewati batas *confidence interval*. Hal ini menandakan bahwa pada data karakteristik kualitas kadar air memiliki autokorelasi.

Selanjutnya dilakukan pengecekan autokorelasi pada data karakteristik kualitas warna larutan (ICUMSA). Berikut

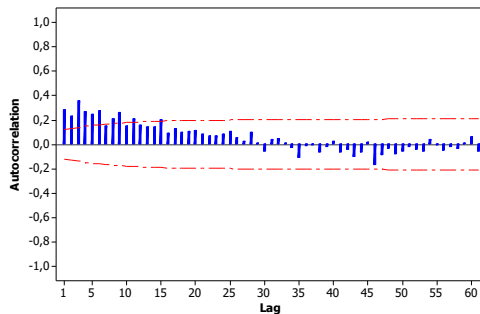
merupakan plot ACF untuk karakteristik kualitas warna larutan (ICUMSA).



**Gambar 4.3** Plot ACF Warna Larutan (ICUMSA)

Pada Gambar 4.3 diketahui bahwa data karakteristik kualitas warna larutan (ICUMSA) memiliki autokorelasi. Hal ini ditunjukkan dari terdapat beberapa lag ACF yang melewati batas *confidence interval*.

Selanjutnya dilakukan pengecekan autokorelasi pada data karakteristik kualitas BJB. Plot ACF untuk karakteristik kualitas BJB ditunjukkan pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.4** Plot ACF BJB

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa beberapa lag ACF BJB melewati batas *confidence interval*. Hal ini

menandakan bahwa pada data karakteristik kualitas BJB memiliki autokorelasi.

### 4.3 Pemodelan *Vector Autoregressive*

Pemodelan VAR dilakukan untuk memperoleh residual dari model VAR terbaik. Residual yang diperoleh akan mencerminkan proses dari data asli. Residual dari model VAR terbaik ini bebas autokorelasi sehingga residual ini dapat digunakan pada analisis diagram kendali MEWMV dan MEWMA. Langkah pada pemodelan VAR adalah melakukan identifikasi kestasioneran data karakteristik kadar air, warna larutan, dan BJB, menentukan orde VAR, estimasi parameter model VAR, serta pengujian asumsi residual model VAR.

#### 4.3.1 Identifikasi Kestasioneran Varians Data

Pada pemodelan VAR, langkah awal yang dilakukan adalah melakukan identifikasi kestasioneran data dalam varians dan rata-rata. Untuk melihat apakah data telah stationer dalam varians dapat dilihat dari nilai *rounded value*, batas bawah dan batas. Apabila data tidak stationer dalam varians maka dilakukan transformasi data. Berikut merupakan hasil dari identifikasi kestasioneran data dalam varians pada masing-masing variabel karakteristik kualitas GKP.

**Tabel 4.2** Identifikasi Kestasioneran Varians Data

| <b>Karakteristik Kualitas</b> | <b><i>Rounded Value</i></b> | <b>Batas Bawah</b> | <b>Batas Atas</b> |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| Kadar Air                     | 1                           | 0,54               | 2,04              |
| Warna Larutan                 | 0,5                         | 0,09               | 0,75              |
| BJB                           | -0,5                        | -1,38              | 0,44              |

Dari Tabel 4.2 diketahui bahwa variabel karakteristik kualitas kadar air telah memiliki *rounded value* sebesar 1, hal ini menandakan bahwa data telah stationer dalam varians dan tidak perlu dilakukan transformasi pada data. Sedangkan pada variabel karakteristik kualitas warna larutan dan BJB masing-masing memiliki *rounded value* sebesar 0,5 dan -0,5. Hal ini berarti bahwa variabel karakteristik warna larutan dan BJB belum stationer dalam varians, sehingga perlu dilakukan transformasi

data. Untuk variabel karakteristik kualitas warna larutan yang memiliki *rounded value* sebesar 0,5 dilakukan transformasi  $1/\sqrt{Z_t}$ , sedangkan untuk variabel karakteristik kualitas BJB yang memiliki *rounded value* -0,5 dilakukan transformasi  $\sqrt{Z_t}$ . Setelah dilakukan transformasi diperoleh hasil sebagai berikut.

**Tabel 4.3** Identifikasi Kestasioneran Varians Data Setelah Transformasi

| <b>Karakteristik Kualitas</b> | <b>Rounded Value</b> | <b>Batas Bawah</b> | <b>Batas Atas</b> |
|-------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| Warna Larutan                 | 1,00                 | 0,23               | 1,59              |
| BJB                           | 1,00                 | -0.93              | 2.90              |

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa untuk data warna larutan dan BJB telah stationer dalam varians setelah dilakukan transformasi sesuai dengan *rounded value* yang diperoleh dari Tabel 4.2. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *rounded value* telah bernilai 1.

### 4.3.2 Identifikasi Kestasioneran Rata-rata Data

Untuk mengetahui apakah suatu data telah stationer dalam rata-rata digunakan uji ADF. Apabila data tidak stationer dalam rata-rata maka dilakukan *differencing* pada data tersebut. Uji ADF dilakukan pada data yang telah stationer dalam varians yang terdapat pada Lampiran D dan hasil dari uji ADF ditunjukkan pada Lampiran E. Berikut merupakan rangkuman dari uji ADF yang dilakukan untuk mengetahui kestasioneran data karakteristik kualitas GKP dalam rata-rata.

**Tabel 4.4** Pengujian Stationeritas Data Dalam Rata-rata

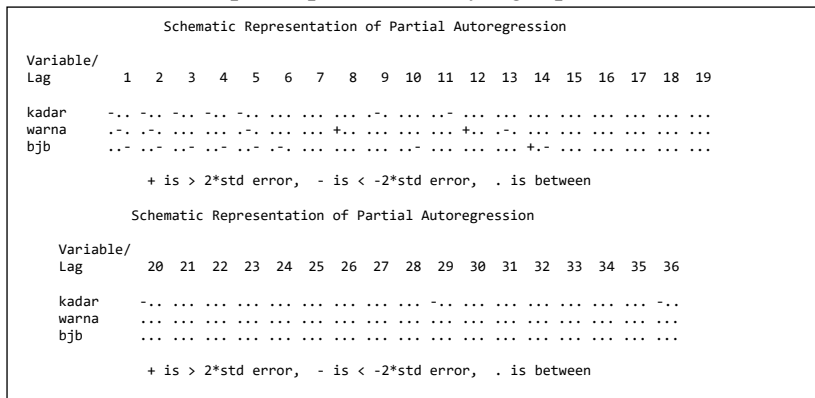
| <b>Karakteristik Kualitas</b> | <b>p-value</b> |
|-------------------------------|----------------|
| Kadar Air                     | 0,010          |
| Warna Larutan                 | 0,577          |
| BJB                           | 0,010          |

Berdasarkan Table 4.4 *p-value* dari karakteristik kualitas kadar air dan BJB bernilai 0,01 yang kurang dari alpha sebesar 0,05 maka keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$  data karakteristik kualitas kadar air dan BJB stationer dalam rata-rata. Sedangkan *p-value* karakteristik kualitas warna larutan sebesar

0,577 lebih dari alpha sebesar 0,05 sehingga keputusan yang diambil adalah gagal tolak  $H_0$  atau data karakteristik warna larutan tidak stationer dalam *mean*, sehingga perlu dilakukan *differencing* lag 1 untuk membuat data menjadi stationer.

### 4.3.3 Penentuan Orde VAR

Dalam menentukan orde VAR dari sebuah rangkaian data time series maka dapat dilihat dari plot MPACF. Dengan menggunakan data Lampiran D diperoleh hasil pada Lampiran H dan tanda pada plot MPACF diperoleh berdasarkan persamaan (2.7). Berikut merupakan plot MPACF yang diperoleh.



**Gambar 4.5** Plot MPACF

Berdasarkan Gambar 4.5, panjang lag MPACF yang terbentuk hingga lag 36 terdapat simbol (+), (-), dan (.). Simbol (+) menggambarkan bahwa nilai estimator lebih besar dua kali nilai estimasi *standard error* yang berarti bahwa suatu variabel karakteristik kualitas memiliki korelasi yang positif dengan dirinya sendiri atau dengan variabel karakteristik kualitas lain. Simbol (-) menggambarkan bahwa nilai estimator lebih kecil dua kali nilai estimasi *standard error* yang berarti bahwa suatu variabel karakteristik kualitas memiliki korelasi yang negatif dengan dirinya sendiri atau dengan variabel karakteristik kualitas lain. Sedangkan simbol (.) menggambarkan nilai estimator terletak diantara  $\pm$  dua kali estimasi *standard error* yang berarti



bahwa suatu variabel karakteristik kualitas tidak memiliki korelasi dengan dirinya sendiri atau dengan variabel karakteristik kualitas lain. Berdasarkan Gambar 4.5 diketahui bahwa lag yang signifikan pada ketiga karakteristik adalah hingga lag 14.

Selain itu untuk penentuan orde VAR dapat dilihat melalui nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) yang apabila semakin kecil nilainya maka model *time series* semakin baik. Berikut merupakan nilai AIC dari VARI (1,1) hingga VARI (15,1).

**Tabel 4.5** Nilai AIC VARI (1,1) hingga VARI (15,1)

| <b>Model Time Series</b> | <b>AIC</b> |
|--------------------------|------------|
| VARI (1,1)               | -11,7128   |
| VARI (2,1)               | -12,0834   |
| VARI (3,1)               | -12,1641   |
| VARI (4,1)               | -12,1930   |
| VARI (5,1)               | -12,3180   |
| VARI (6,1)               | -12,3282   |
| VARI (7,1)               | -12,3035   |
| VARI (8,1)               | -12,2967   |
| VARI (9,1)               | -12,2774   |
| VARI (10,1)              | -12,2442   |
| VARI (11,1)              | -12,2316   |
| VARI (12,1)              | -12,2370   |
| VARI (13,1)              | -12,2194   |
| VARI (14,1)              | -12,2228   |
| VARI (15,1)              | -12,1556   |

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa model *time series* yang memiliki AIC terkecil adalah VARI (6,1). Namun model ini tidak dipilih karena residual dari model ini tidak memenuhi asumsi *white noise* yang mana asumsi ini harus dipenuhi untuk menghilangkan autokorelasi pada data. Untuk melihat hasil uji portmanteau pada masing-masing model VAR dapat dilihat pada Lampiran G. Hanya model VARI (14,1) yang menghasilkan uji portmanteau dan ACF masing-masing residual karakteristik kualitas yang telah memenuhi asumsi *white noise*, selain itu nilai AIC dari model VARI (14,1) tergolong cukup kecil. Sehingga model VAR yang terbentuk dari data kualitas GKP periode giling Tahun 2017 adalah VARI (14,1).

#### 4.3.4 Estimasi Parameter

Untuk membuktikan bahwa model VAR yang terbentuk memiliki parameter yang signifikan maka dapat melihat estimasi parameter model VAR. Pada pemodelan VAR ini diutamakan model yang memenuhi asumsi residual yang *white noise* untuk menghasilkan residual yang bebas autokorelasi sehingga data residual dapat digunakan untuk membuat peta kendali multivariat.

Estimasi parameter dari model VARI (14,1) menghasilkan 126 parameter. Dengan menggunakan data pada Lampiran D dan hasilnya ditunjukkan pada Lampiran H. Berikut merupakan parameter yang signifikan dari model VARI (14,1).

**Tabel 4.6** Estimasi Parameter Model VARI (14,1)

| Variabel Karakteristik Kualitas | Parameter       | Nilai           | <i>P-value</i> | Variabel          |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|
| Kadar Air                       | <b>AR 1_1_1</b> | <b>-0,70401</b> | <b>0,0001</b>  | <b>kadar(t-1)</b> |
|                                 | AR 1_1_2        | 0,00019         | 0,8090         | warna(t-1)        |
|                                 | AR 1_1_3        | -0,00988        | 0,6681         | bjb(t-1)          |
|                                 | <b>AR 2_1_1</b> | <b>-0,62574</b> | <b>0,0001</b>  | <b>kadar(t-2)</b> |
|                                 | AR 2_1_2        | 0,00030         | 0,7532         | warna(t-2)        |
|                                 | AR 2_1_3        | 0,00611         | 0,8428         | bjb(t-2)          |
|                                 | <b>AR 3_1_1</b> | <b>-0,52237</b> | <b>0,0001</b>  | <b>kadar(t-3)</b> |
|                                 | AR 3_1_2        | -0,00041        | 0,6963         | warna(t-3)        |
|                                 | AR 3_1_3        | -0,01034        | 0,7753         | bjb(t-3)          |
|                                 | <b>AR 4_1_1</b> | <b>-0,36757</b> | <b>0,0004</b>  | <b>kadar(t-4)</b> |
|                                 | AR 4_1_2        | 0,00023         | 0,8300         | warna(t-4)        |
|                                 | AR 4_1_3        | -0,02282        | 0,5596         | bjb(t-4)          |
|                                 | <b>AR 5_1_1</b> | <b>-0,40904</b> | <b>0,0001</b>  | <b>kadar(t-5)</b> |
|                                 | AR 5_1_2        | 0,00050         | 0,6565         | warna(t-5)        |
|                                 | AR 5_1_3        | -0,01988        | 0,6260         | bjb(t-5)          |
|                                 | <b>AR 6_1_1</b> | <b>-0,34562</b> | <b>0,0015</b>  | <b>kadar(t-6)</b> |
|                                 | AR 6_1_2        | -0,00009        | 0,9387         | warna(t-6)        |
|                                 | AR 6_1_3        | -0,04603        | 0,2758         | bjb(t-6)          |
|                                 | <b>AR 7_1_1</b> | <b>-0,32650</b> | <b>0,0027</b>  | <b>kadar(t-7)</b> |

**Tabel 4.6** Estimasi Parameter Model VARI (14,1) (lanjutan)

| Variabel<br>Karakteristik<br>Kualitas | Parameter       | Nilai           | <i>P-value</i> | Variabel          |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-------------------|
| Kadar Air                             | AR 7_1_2        | -0,00191        | 0,1034         | warna(t-7)        |
|                                       | AR 7_1_3        | -0,02177        | 0,6109         | bjb(t-7)          |
|                                       | <b>AR 8_1_1</b> | <b>-0,23859</b> | <b>0,0272</b>  | <b>kadar(t-8)</b> |
|                                       | <b>AR 8_1_2</b> | <b>-0,00264</b> | <b>0,0242</b>  | <b>warna(t-8)</b> |
|                                       | AR 8_1_3        | -0,03590        | 0,4048         | bjb(t-8)          |
|                                       | AR 9_1_1        | -0,18968        | 0,0747         | kadar(t-9)        |
|                                       | <b>AR 9_1_2</b> | <b>-0,00334</b> | <b>0,0049</b>  | <b>warna(t-9)</b> |
|                                       | AR 9_1_3        | -0,02069        | 0,6285         | bjb(t-9)          |
|                                       | AR 10_1_1       | -0,18740        | 0,0691         | kadar(t-10)       |
|                                       | AR 10_1_2       | -0,00150        | 0,2079         | warna(t-10)       |
|                                       | AR 10_1_3       | -0,02188        | 0,5954         | bjb(t-10)         |
|                                       | AR 11_1_1       | -0,12001        | 0,2190         | kadar(t-11)       |
|                                       | AR 11_1_2       | -0,00116        | 0,3266         | warna(t-11)       |
|                                       | AR 11_1_3       | -0,03460        | 0,3747         | bjb(t-11)         |
|                                       | AR 12_1_1       | -0,07888        | 0,3716         | kadar(t-12)       |
|                                       | AR 12_1_2       | -0,00004        | 0,9748         | warna(t-12)       |
|                                       | AR 12_1_3       | 0,02986         | 0,4092         | bjb(t-12)         |
|                                       | AR 13_1_1       | -0,06283        | 0,4229         | kadar(t-13)       |
|                                       | AR 13_1_2       | 0,00001         | 0,9894         | warna(t-13)       |
|                                       | AR 13_1_3       | -0,01695        | 0,5805         | bjb(t-13)         |
| AR 14_1_1                             | -0,01764        | 0,7841          | kadar(t-14)    |                   |
| AR 14_1_2                             | -0,00145        | 0,0782          | warna(t-14)    |                   |
| AR 14_1_3                             | -0,01178        | 0,6154          | bjb(t-14)      |                   |
| Warna<br>Larutan                      | AR 1_2_1        | -2,48872        | 0,6798         | kadar(t-1)        |
|                                       | <b>AR 1_2_2</b> | <b>-0,67927</b> | <b>0,0001</b>  | <b>warna(t-1)</b> |
|                                       | AR 1_2_3        | 1,80851         | 0,3686         | bjb(t-1)          |
|                                       | AR 2_2_1        | 6,82231         | 0,3546         | kadar(t-2)        |
|                                       | <b>AR 2_2_2</b> | <b>-0,48966</b> | <b>0,0001</b>  | <b>warna(t-2)</b> |
|                                       | AR 2_2_3        | 2,28344         | 0,3963         | bjb(t-2)          |
| AR 3_2_1                              | 0,30400         | 0,9708          | kadar(t-3)     |                   |

**Tabel 4.6** Estimasi Parameter Model VARI (14,1) (lanjutan)

| <b>Variabel<br/>Karakteristik<br/>Kualitas</b> | <b>Parameter</b> | <b>Nilai</b>    | <b><i>P-value</i></b> | <b>Variabel</b>    |
|--|------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Warna  | <b>AR 3_2_2</b>  | <b>-0,30528</b> | <b>0,0010</b>         | <b>warna(t-3)</b>  |
| Larutan  | AR 3_2_3         | 0,30402         | 0,9233                | bjb(t-3)           |
|  | AR 4_2_1         | 3,93165         | 0,6591                | kadar(t-4)         |
|  | <b>AR 4_2_2</b>  | <b>-0,25980</b> | <b>0,0057</b>         | <b>warna(t-4)</b>  |
|  | AR 4_2_3         | -2,91582        | 0,3929                | bjb(t-4)           |
|  | AR 5_2_1         | 3,54472         | 0,6995                | kadar(t-5)         |
|  | AR 5_2_2         | -0,18071        | 0,0637                | warna(t-5)         |
|  | AR 5_2_3         | -5,15178        | 0,1486                | bjb(t-5)           |
|  | AR 6_2_1         | 5,49049         | 0,5578                | kadar(t-6)         |
|  | AR 6_2_2         | -0,02941        | 0,7714                | warna(t-6)         |
|  | AR 6_2_3         | -5,82084        | 0,1147                | bjb(t-6)           |
|  | AR 7_2_1         | 10,23564        | 0,2761                | kadar(t-7)         |
|  | AR 7_2_2         | -0,15402        | 0,1315                | warna(t-7)         |
|  | AR 7_2_3         | -4,00163        | 0,2841                | bjb(t-7)           |
|  | AR 8_2_1         | 9,84624         | 0,2937                | kadar(t-8)         |
|  | <b>AR 8_2_2</b>  | <b>-0,21135</b> | <b>0,0387</b>         | <b>warna(t-8)</b>  |
|  | AR 8_2_3         | -4,04212        | 0,2825                | bjb(t-8)           |
|  | AR 9_2_1         | 3,46290         | 0,7081                | kadar(t-9)         |
|  | AR 9_2_2         | -0,18776        | 0,0688                | warna(t-9)         |
|  | AR 9_2_3         | -5,11698        | 0,1710                | bjb(t-9)           |
|  | AR 10_2_1        | -0,64375        | 0,9427                | kadar(t-10)        |
|  | <b>AR 10_2_2</b> | <b>-0,23116</b> | <b>0,0263</b>         | <b>warna(t-10)</b> |
|  | AR 10_2_3        | -2,57776        | 0,4734                | bjb(t-10)          |
|  | AR 11_2_1        | 3,79622         | 0,6552                | kadar(t-11)        |
|  | <b>AR 11_2_2</b> | <b>-0,22205</b> | <b>0,0321</b>         | <b>warna(t-11)</b> |
|  | AR 11_2_3        | -5,45312        | 0,1095                | bjb(t-11)          |
|  | AR 12_2_1        | 4,38236         | 0,5691                | kadar(t-12)        |
|  | AR 12_2_2        | -0,13655        | 0,1770                | warna(t-12)        |
|  | AR 12_2_3        | -1,23593        | 0,6951                | bjb(t-12)          |
|  | AR 13_2_1        | -9,97275        | 0,1454                | kadar(t-13)        |

**Tabel 4.6** Estimasi Parameter Model VARI (14,1) (lanjutan)

| Variabel Karakteristik | Parameter       | Nilai           | <i>P-value</i>  | Variabel          |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Warna Larutan          | AR 13_2_2       | -0,09738        | 0,2881          | warna(t-13)       |
|                        | AR 13_2_3       | -2,43697        | 0,3625          | bjb(t-13)         |
|                        | AR 14_2_1       | 1,03217         | 0,8542          | kadar(t-14)       |
|                        | AR 14_2_2       | 0,07155         | 0,3169          | warna(t-14)       |
|                        | AR 14_2_3       | -0,88949        | 0,6636          | bjb(t-14)         |
| BJB                    | AR 1_3_1        | 0,10411         | 0,6120          | kadar(t-1)        |
|                        | AR 1_3_2        | -0,00356        | 0,1346          | warna(t-1)        |
|                        | <b>AR 1_3_3</b> | <b>-0,89501</b> | <b>0,0001</b>   | <b>bjb(t-1)</b>   |
|                        | AR 2_3_1        | -0,14157        | 0,5722          | kadar(t-2)        |
|                        | AR 2_3_2        | -0,00534        | 0,0639          | warna(t-2)        |
|                        | <b>AR 2_3_3</b> | <b>-0,88204</b> | <b>0,0001</b>   | <b>bjb(t-2)</b>   |
|                        | AR 3_3_1        | -0,30440        | 0,2828          | kadar(t-3)        |
|                        | <b>AR 3_3_2</b> | <b>-0,00685</b> | <b>0,0284</b>   | <b>warna(t-3)</b> |
|                        | <b>AR 3_3_3</b> | <b>-0,69466</b> | <b>0,0001</b>   | <b>bjb(t-3)</b>   |
|                        | AR 4_3_1        | -0,38107        | 0,2097          | kadar(t-4)        |
|                        | <b>AR 4_3_2</b> | <b>-0,01011</b> | <b>0,0016</b>   | <b>warna(t-4)</b> |
|                        | <b>AR 4_3_3</b> | <b>-0,59706</b> | <b>0,0001</b>   | <b>bjb(t-4)</b>   |
|                        | AR 5_3_1        | -0,26782        | 0,3918          | kadar(t-5)        |
|                        | <b>AR 5_3_2</b> | <b>-0,01314</b> | <b>0,0001</b>   | <b>warna(t-5)</b> |
|                        | <b>AR 5_3_3</b> | <b>-0,52195</b> | <b>0,0001</b>   | <b>bjb(t-5)</b>   |
|                        | AR 6_3_1        | -0,06985        | 0,8265          | kadar(t-6)        |
|                        | <b>AR 6_3_2</b> | <b>-0,01282</b> | <b>0,0003</b>   | <b>warna(t-6)</b> |
|                        | <b>AR 6_3_3</b> | <b>-0,37789</b> | <b>0,0028</b>   | <b>bjb(t-6)</b>   |
|                        | AR 7_3_1        | 0,00078         | 0,9980          | kadar(t-7)        |
|                        | AR 7_3_2        | -0,00618        | 0,0758          | warna(t-7)        |
|                        | <b>AR 7_3_3</b> | <b>-0,40591</b> | <b>0,0016</b>   | <b>bjb(t-7)</b>   |
| AR 8_3_1               | 0,30034         | 0,3465          | kadar(t-8)      |                   |
| AR 8_3_2               | -0,00171        | 0,6210          | warna(t-8)      |                   |
| <b>AR 8_3_3</b>        | <b>-0,35987</b> | <b>0,0053</b>   | <b>bjb(t-8)</b> |                   |
| AR 9_3_1               | 0,53535         | 0,0900          | kadar(t-9)      |                   |

**Tabel 4.6** Estimasi Parameter Model VARI (14,1) (lanjutan)

| Variabel<br>Karakteristik<br>Kualitas | Parameter        | Nilai           | <i>P-value</i>     | Variabel           |
|---------------------------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| BJB                                   | AR 9_3_2         | -0,00412        | 0,2397             | warna(t-9)         |
|                                       | <b>AR 9_3_3</b>  | <b>-0,29199</b> | <b>0,0222</b>      | <b>bjb(t-9)</b>    |
|                                       | AR 10_3_1        | 0,33034         | 0,2792             | kadar(t-10)        |
|                                       | AR 10_3_2        | -0,00373        | 0,2903             | warna(t-10)        |
|                                       | <b>AR 10_3_3</b> | <b>-0,31934</b> | <b>0,0096</b>      | <b>bjb(t-10)</b>   |
|                                       | AR 11_3_1        | 0,44664         | 0,1237             | kadar(t-11)        |
|                                       | AR 11_3_2        | -0,00170        | 0,6283             | warna(t-11)        |
|                                       | AR 11_3_3        | -0,21231        | 0,0673             | bjb(t-11)          |
|                                       | <b>AR 12_3_1</b> | <b>0,67945</b>  | <b>0,0100</b>      | <b>kadar(t-12)</b> |
|                                       | AR 12_3_2        | -0,00138        | 0,6881             | warna(t-12)        |
|                                       | <b>AR 12_3_3</b> | <b>-0,22334</b> | <b>0,0384</b>      | <b>bjb(t-12)</b>   |
|                                       | AR 13_3_1        | 0,36591         | 0,1166             | kadar(t-13)        |
|                                       | AR 13_3_2        | -0,00207        | 0,5057             | warna(t-13)        |
|                                       | AR 13_3_3        | -0,17598        | 0,0542             | bjb(t-13)          |
| <b>AR 14_3_1</b>                      | <b>0,39719</b>   | <b>0,0387</b>   | <b>kadar(t-14)</b> |                    |
| AR 14_3_2                             | -0,00405         | 0,0967          | warna(t-14)        |                    |
| <b>AR 14_3_3</b>                      | <b>-0,16260</b>  | <b>0,0202</b>   | <b>bjb(t-14)</b>   |                    |

Berdasarkan Tabel 4.6 diketahui bahwa pada kolom pertama merupakan variabel karakteristik kualitas GKP yaitu kadar air, warna larutan, dan BJB. Kolom kedua menunjukkan parameter mana yang signifikan pada masing-masing variabel karakteristik kualitas dan nilai dari parameter tersebut ditunjukkan pada kolom ketiga. Besarnya *p-value* masing-masing parameter terdapat pada kolom keempat dengan taraf signifikan sebesar 0,05 diperoleh 35 parameter signifikan dan 91 parameter tidak signifikan. Menurut Hyndman dan Kostenko (2008) pengujian signifikansi dan asumsi dapat diabaikan, sebab yang diutamakan adalah kebaikan model untuk memperoleh ramalan yang tepat sehingga pada penelitian ini parameter yang tidak signifikan tetap dimasukkan dalam model dan residual model

VARI (14,1) ini yang akan dikendalikan menggunakan diagram kendali.

### 4.3.5 Pengujian Asumsi Residual

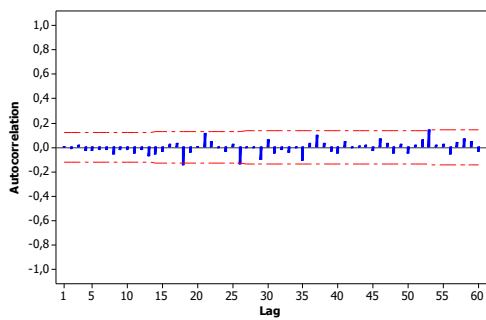
Untuk memperoleh residual yang bebas dari autokorelasi maka terdapat asumsi yang harus dipenuhi oleh residual, yakni residual yang *white noise*. Suatu residual dikatakan *white noise* apabila seluruh lag memenuhi nilai *p-value* yang lebih besar dari alpha yaitu 0,05 atau secara visual semua lag berada pada batas *confidence interval* pada plot ACF. Sedangkan untuk pengujian residual memiliki distribusi multivariat normal atau tidak dapat dilihat dengan uji Shapiro Wilk.

Dengan menggunakan data pada Lampiran D dan hasil dari pengujian Portmanteau dapat dilihat pada Lampiran H yang kemudian pada Tabel 4.7 ditampilkan rangkuman dari uji portmentau yang dilakukan.

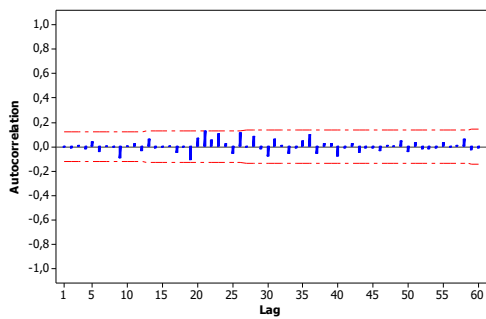
**Tabel 4.7** Uji Portmentau Model VAR 14

| Lag | $\chi^2_{(m^2k)}$ | Q <sub>k</sub> | <i>p-value</i> | Lag | $\chi^2_{(m^2k)}$ | Q <sub>k</sub> | <i>P-value</i> |
|-----|-------------------|----------------|----------------|-----|-------------------|----------------|----------------|
| 15  | 16,92             | 26,21          | 0,0019         | 26  | 133,26            | 115,8          | 0,2865         |
| 16  | 28,87             | 29,56          | 0,0419         | 27  | 143,25            | 121,57         | 0,3676         |
| 17  | 40,11             | 40,69          | 0,0441         | 28  | 153,20            | 127,91         | 0,4358         |
| 18  | 51,00             | 49,13          | 0,0710         | 29  | 163,12            | 140,24         | 0,3613         |
| 19  | 61,66             | 56,45          | 0,1177         | 30  | 173,00            | 152,79         | 0,2922         |
| 20  | 72,15             | 61,08          | 0,2367         | 31  | 182,86            | 158,81         | 0,3571         |
| 21  | 82,53             | 78,09          | 0,0955         | 32  | 192,70            | 167,23         | 0,3729         |
| 22  | 92,81             | 85,48          | 0,1324         | 33  | 202,51            | 173,57         | 0,4309         |
| 23  | 103,01            | 94,35          | 0,1473         | 34  | 212,30            | 180,01         | 0,4858         |
| 24  | 113,15            | 99,45          | 0,2326         | 35  | 222,08            | 192,24         | 0,4208         |
| 25  | 123,23            | 105,74         | 0,3030         | 36  | 231,83            | 202,66         | 0,3952         |

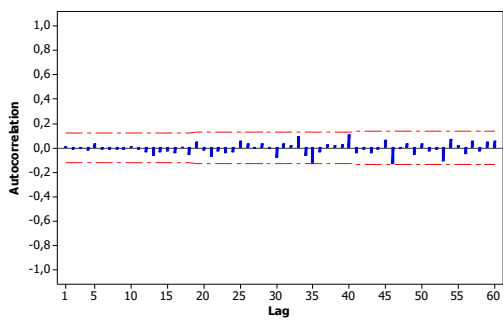
Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa terdapat beberapa lag yang memiliki nilai *p-value* kurang dari 0,05 sehingga dapat dikatakan bahwa masih terdapat autokorelasi. Namun untuk melihat apakah data sudah terbebas dari autokorelasi juga dapat dilihat berdasarkan plot ACF residual masing-masing karakteristik kualitas. Berikut merupakan plot ACF resisual dengan data residual terdapat pada Lampiran I.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.6** Plot ACF Residual (a) Kadar Air (b) Warna Larutan (c) BJB



Gambar 4.6 merupakan plot ACF dari residual yang terbentuk dari model VARI (14,1) untuk data karakteristik kualitas GKP periode giling Tahun 2017. Pada Gambar 4.6 terdapat 3 plot ACF, (a) plot ACF residual kadar air, plot (b) merupakan plot ACF residual warna larutan dan plot ACF (c) adalah plot ACF residual BJB. Dalam plot ACF tersebut, garis vertikal menggambarkan tentang besarnya autokorelasi yang terjadi pada tiap lag dan garis horizontal berwarna merah dan terputus menggambarkan tentang *confidence interval* yang terbentuk pada plot ACF.

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat pula diketahui bahwa lag ACF residual pada masing-masing karakteristik kualitas berada dalam *confidence interval* yang berarti bahwa sudah tidak terjadi autokorelasi pada data residual yang dihasilkan dari model VAR 14 data karakteristik kualitas GKP periode giling tahun 2017. Sehingga residual inilah yang akan dilakukan pengendalian kualitasnya dengan diagram kendali.

Selanjutnya dilakukan pengecekan apakah residual berdistribusi multivariat normal atau tidak dengan menggunakan uji Shapiro Wilk. Data yang digunakan pada uji Shapiro Wilk terdapat pada Lampiran I.

*P-value* dari pengujian Shapiro Wilk untuk residual model VARI (14,1) adalah sebesar 0,002101. *P-value* ini lebih kecil dari alpha yaitu sebesar 0,05 sehingga keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$ , hal ini berarti bahwa residual model VARI (14,1) tidak berdistribusi multivariat normal.

#### **4.4 Pengendalian Kualitas GKP**

Langkah yang dilakukan dalam pengendalian kualitas GKP produksi PG Rejo Agung Baru Madiun adalah menguji korelasi antar variabel karakteristik kualitas GKP kemudian dilanjutkan dengan pengujian distribusi multivariat normal. Setelah dilakukan pengujian asumsi, langkah yang dilakukan yaitu pengendalian variabilitas dan rata-rata. Selanjutnya yaitu menghitung kapabilitas proses.

#### 4.4.1 Pengujian Asumsi Diagram Kendali

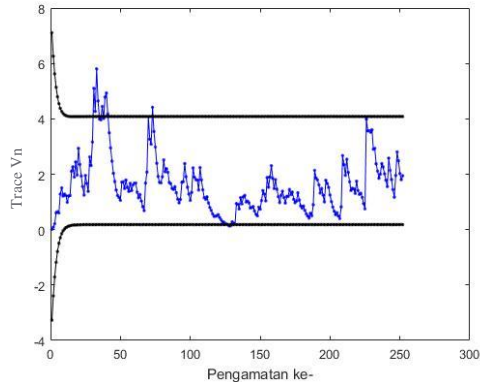
Asumsi yang harus terpenuhi agar dapat melakukan pengendalian kualitas secara multivariat adalah adanya dependensi antar variabel karakteristik kualitas dan data berdistribusi multivariat normal. Dalam menggunakan diagram kontrol dengan data berbasis *time series*, pengujian asumsi dilakukan pada residual karakteristik kualitas dari model yang telah diperoleh. Pengujian asumsi multivariat normal telah dilakukan pada saat pengujian asumsi model VAR. Dengan menggunakan data pada Lampiran I diperoleh *chi square* dari uji Bartlett data residual karakteristik kualitas GKP sebesar 12,205 dengan *p-value* sebesar 0,007. Jika *chi square* hitung dibandingkan dengan *chi square* tabel sebesar 7,815 atau *p-value* dibandingkan dengan alpha sebesar 0,05 maka keputusan yang diambil adalah tolak  $H_0$  yang berarti varians dari matriks korelasi dari residual masing-masing karakteristik kualitas tidak sama dengan matriks identitas atau terdapat korelasi pada matriks kovariansnya.

#### 4.4.2 Pengendalian Kualitas Pada Variabilitas Proses Pembuatan GKP

Setelah dilakukan pengujian asumsi dan hasil pengujian residual telah memenuhi asumsi, maka langkah selanjutnya yaitu membentuk diagram kendali variabilitas proses dengan menggunakan diagram kendali MEWMV, di mana titik yang diplot pada diagram kendali adalah nilai yang telah dilakukan pembobotan sebelumnya yaitu  $\text{Tr}(V_n)$ .

Huwang (2007) menyatakan bahwa nilai pembobot  $\omega$  dan  $\lambda$  yang kurang dari 0.4 dapat memberikan hasil pengontrolan terhadap variabilitas proses yang terjadi lebih sensitif, oleh karena itu pada penelitian ini digunakan pembobot  $\omega$  dan  $\lambda$  yang kurang dari sama dengan 0.4 yaitu 0,1, 0,2, 0,3, dan 0,4. Pembobotan  $\omega$  dan  $\lambda$  dilakukan secara kombinasi, dimulai dari  $\omega=0,1$   $\lambda=0,1$  kemudian  $\omega =0,1$   $\lambda=0,2$  hingga  $\omega=0,4$   $\lambda=0,4$  kemudian dipilih pembobot yang paling optimum. Batas kendali dipengaruhi oleh nilai L yang terdapat pada Lampiran L. Apabila terjadi proses

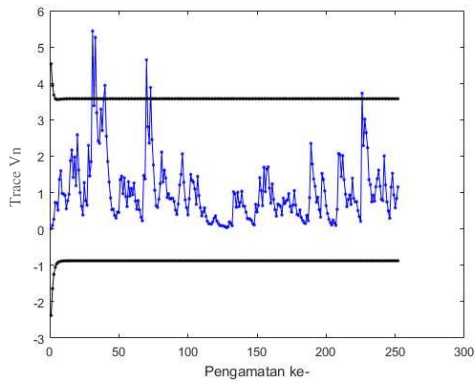
yang tidak terkendali maka dilakukan identifikasi faktor penyebab tidak terkendalinya proses tersebut. Berikut merupakan plot  $tr(V_n)$  dengan  $\omega=0,2$   $\lambda=0,2$ .



**Gambar 4.7** Diagram Kendali MEWMV  $\omega=0,2$   $\lambda=0,2$   $L=3,3086$

Dari Gambar 4.7 diketahui bahwa sumbu mendatar menunjukkan pengamatan dan sumbu vertikal merupakan nilai  $tr(V_n)$  pada pengamatan ke  $i$ , di mana  $i=1,2, 3,\dots,252$ . Nilai batas kendali batas kendali berbeda-beda pada tiap pengamatan yang diperoleh dari persamaan (2.37) kemudian diperoleh batas kendali atas (BKA) yang maksimum sebesar 4,0856 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0,1811. Berdasarkan nilai pembobot  $\omega=0,2$   $\lambda=0,2$  dan  $L = 3,3086$ , terlihat terdapat 12 data *out of control*.

Selanjutnya dilakukan pengendalian varians dengan menggunakan bobot  $\omega=0,2$   $\lambda=0,2$  dan  $L = 3,3086$ , diagram kendali MEWMV disajikan pada Gambar 4.8. Nilai batas kendali batas kendali berbeda-beda pada tiap pengamatan, kemudian diperoleh BKA yang maksimum sebesar 3,5767 dan BKB sebesar -0,8767. Berdasarkan nilai pembobot  $\omega=0,2$   $\lambda=0,2$  dan  $L = 3,3086$ , terlihat terdapat 6 data *out of control* yang berarti bahwa variabilitas proses produksi GKP cukup baik dibandingkan dengan pembobot sebelumnya.



**Gambar 4.8** Diagram Kendali MEWMAV  $\omega=0,4$   $\lambda=0,4$   $L=3,9219$

Kemudian dilakukan pengendalian dengan pembobot  $\omega=0,2$   $\lambda=0,4$  dan  $L=3,3213$  untuk pengendalian variabilitas, dengan menggunakan pembobot ini diketahui terdapat 13 data *out of control* dengan BKA sebesar 2,6240 dan BKB sebesar 0,0760. Selisih antara BKA dan BKB pembobot ini sebesar 2,5480 sedangkan untuk selisih BKA dan BKB pembobot  $\omega=0,4$   $\lambda=0,4$  dan  $L=3,9219$  lebih lebar dibandingkan dengan pembobot  $\omega=0,2$   $\lambda=0,4$  yang berarti bahwa dengan pembobot  $\omega=0,2$   $\lambda=0,4$  diagram kendali MEWMAV untuk mengendalikan variabilitas proses lebih sensitif. Untuk percobaan dengan menggunakan pembobot  $\omega$  dan  $\lambda$  lainnya dapat dilihat pada Lampiran N.

Setelah dilakukan pengontrolan dengan berbagai pembobot didapatkan hasil perhitungan batas diagram masing-masing diagram kendali. Untuk mengetahui diagram kendali MEWMAV yang paling sensitif dalam mendeteksi varians proses, dilakukan perhitungan  $|BKA - BKB|$  dan didapatkan hasil sebagai berikut.

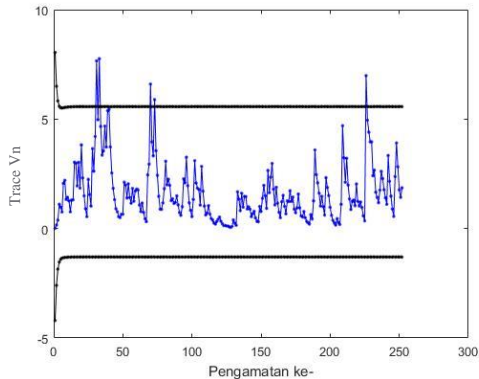
**Tabel 4.8** Hasil Perhitungan BKA-BKB pada Diagram Kendali MEWMV

| $\omega$   | $\lambda$  | L             | Tr(Vn)<br>max | BKA           | BKB            | Max<br>tr(Vn)-<br>BKA | BKA-<br>BKB   | Out of<br>control |
|------------|------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|---------------|-------------------|
| 0,1        | 0,1        | 2,7900        | 4,8400        | 3,9057        | 1,2100         | 0,9343                | 2,6957        | 63                |
| 0,1        | 0,2        | 2,7939        | 5,8052        | 3,2733        | 0,9934         | 2,5319                | 2,2798        | 64                |
| 0,1        | 0,3        | 2,7949        | 5,8068        | 2,6670        | 0,7918         | 3,1398                | 1,8753        | 62                |
| 0,1        | 0,4        | 2,7988        | 5,4384        | 2,0945        | 0,6055         | 3,3439                | 1,4890        | 62                |
| 0,2        | 0,1        | 3,3105        | 4,8400        | 4,8756        | 0,2402         | 0,0356                | 4,6355        | 15                |
| 0,2        | 0,2        | 3,3086        | 5,8052        | 4,0856        | 0,1811         | 1,7196                | 3,9046        | 12                |
| 0,2        | 0,3        | 3,3164        | 5,8068        | 3,3356        | 0,1229         | 2,4712                | 3,2131        | 14                |
| 0,2        | 0,4        | 3,3213        | 5,4384        | 2,6240        | 0,0760         | 2,8144                | 2,5480        | 13                |
| 0,3        | 0,1        | 3,6484        | 4,8400        | 5,7717        | -0,6559        | 0,9317                | 6,4277        | 8                 |
| 0,3        | 0,2        | 3,6523        | 5,8052        | 4,8395        | -0,5728        | 0,9657                | 5,4123        | 8                 |
| 0,3        | 0,3        | 3,6602        | 5,8068        | 3,9520        | -0,4932        | 1,8548                | 4,4452        | 9                 |
| 0,3        | 0,4        | 3,6699        | 5,4384        | 3,1118        | 0,4118         | 2,3266                | 3,5236        | 9                 |
| 0,4        | 0,1        | 3,8984        | 4,8400        | 6,6407        | -1,5249        | 1,8007                | 8,1656        | 7                 |
| <b>0,4</b> | <b>0,2</b> | <b>3,9063</b> | <b>5,8052</b> | <b>5,5684</b> | <b>-1,3018</b> | <b>0,2368</b>         | <b>6,8702</b> | <b>5</b>          |
| 0,4        | 0,3        | 3,9121        | 5,8068        | 4,5438        | -1,0850        | 1,2630                | 5,6288        | 6                 |
| 0,4        | 0,4        | 3,9219        | 5,4384        | 3,5767        | -0,8767        | 1,8617                | 4,4534        | 6                 |

Dalam menentukan pembobot optimum dapat dilihat dari jumlah pengamatan *out of control* yang paling minimum. Namun akan lebih baik dengan memperhatikan nilai  $|\max \text{tr}(Vn) - \text{BKA}|$  yang merupakan nilai *error*, karena semakin kecil selisishnya, maka probabilitas suatu pengamatan jatuh di luar batas kendali tanpa adanya *assignable cause* akan lebih kecil. Selain itu juga dapat dilihat dari selisish BKA dan BKB yang lebih sempit.

Tabel 4.8 menunjukkan beberapa kombinasi nilai pembobot dalam pembuatan peta kendali MEWMV. Dilihat dari jumlah pengamatan yang *out of control* pembobot dengan  $\omega=0,4$   $\lambda=0,2$  memiliki jumlah pengamatan out of control terkecil yaitu 5. Sedangkan jika dilihat dari selisish nilai  $|\max \text{tr}(Vn) - \text{BKA}|$  yang terkecil adalah pembobot  $\omega=0,2$   $\lambda=0,1$  yaitu sebesar 0,0356 dan selisish terkecil kedua adalah pembobot  $\omega=0,4$   $\lambda=0,2$  yaitu sebesar 0,2368. Selain itu juga dapat dilihat dari selisish BKA dan BKB semakin sempit selisish BKA dan BKB maka semakin sensitif pula diagram kendali MEWMV. Dengan mempertimbangkan ketiga cara untuk menentukan pembobot optimum maka ditentukan bahwa pembobot yang optimum untuk

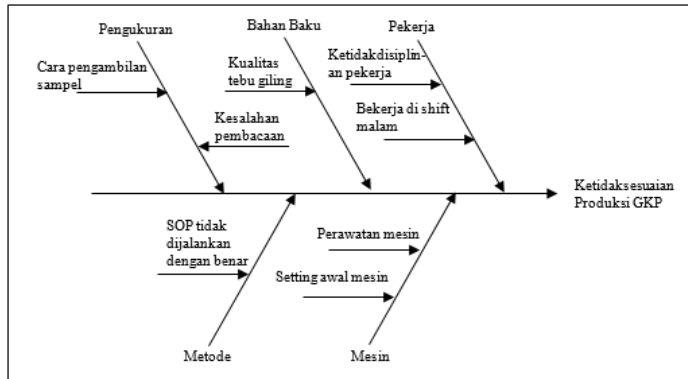
mendeteksi variabilitas adalah  $\omega=0,4$   $\lambda=0,2$ . Berikut merupakan diagram kendali MEWMV dengan pembobot  $\omega=0,4$   $\lambda=0,2$ .



**Gambar 4. 9** Diagram Kendali MEWMV  $\omega=0.4$   $\lambda=0.2$  dan  $L=3.9063$

Dilihat dari Gambar 4.9 pada diagram kendali MEWMV dengan pembobot  $\omega=0,4$   $\lambda=0,2$  terlihat adanya data yang berada di luar batas, hal ini menandakan bahwa variabilitas proses produksi GKP PG Rejo Agung Baru madiun belum terkendali secara statistik.

Setelah dilakukan pengendalian variabilitas proses, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengendalian rata-rata proses. Namun sebelum itu perlu dilakukan identifikasi faktor penyebab (*assignable cause*) tidak terkendalnya suatu proses tersebut. Berikut merupakan diagram ishikawa yang merepresentasikan faktor penyebab tidak terkendalnya data pengamatan pada proses produksi GKP selama periode giling tahun 2017.

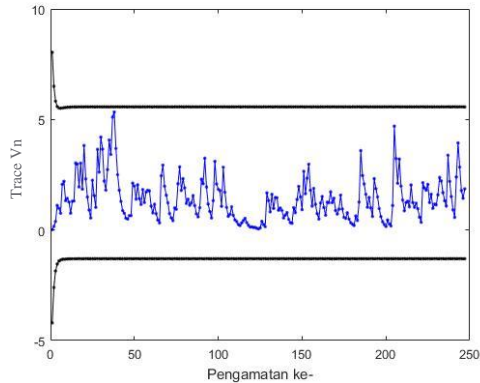


**Gambar 4.10** Diagram Ishikawa Produk GKP

Gambar 4.10 menjelaskan mengenai faktor penyebab terjadinya ketidaksesuaian produksi GKP di PG Rejo Agung Baru terdapat lima penyebab utama yaitu pengukuran, bahan baku, pekerja, metode, dan mesin. Dari faktor utama pengukuran mungkin saja terjadi kesalahan pada saat pengambilan sampel gula dan saat mengecek nilai kualitas terjadi kesalahan baca. Pada faktor bahan baku disebabkan karena kualitas tebu yang digiling kurang baik atau masih terdapat banyak kotoran. Pada faktor utama pekerja disebabkan karena ketidaksiplinan pekerja saat memasak gula dan faktor kelalaian saat bekerja pada shift malam. Faktor metode disebabkan karena SOP yang tidak dijalankan dengan benar. Faktor mesin disebabkan karena setting awal mesin yang tidak tepat dan perawatan mesin pada saat masa *maintenance*.

Tahap selanjutnya adalah dilakukan perbaikan peta kendali dengan cara mengeluarkan pengamatan yang *out of control*. Pada diagram kendali MEWMV dengan pembobot optimum diketahui terdapat 5 pengamatan yang *out of control*, pembuangan data dilakukan dari data yang memiliki selisih nilai  $tr(Vn)$  dengan BKA yang paling besar. Iterasi pembuangan data terdapat pada Lampiran M, iterasi dilakukan sebanyak 5 kali hingga diperoleh diagram kendali MEWMV yang telah terkendali, berikut

merupakan diagram kendali MEWMV yang telah dilakukan perbaikan.



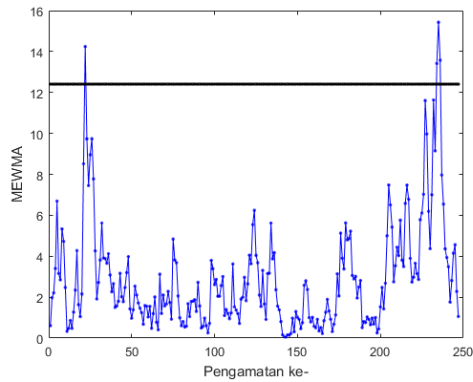
**Gambar 4.11** Diagram Kendali MEWMV  $\omega=0,4$   $\lambda=0,2$   $L=3,9063$  setelah perbaikan

Berdasarkan Gambar 4.11 diketahui bahwa setelah pengamatan yang berada di luar batas kendali dihilangkan satu per satu dari yang terjauh terlihat bahwa sudah tidak ada lagi pengamatan yang berada di luar batas kendali. Dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukan perbaikan maka variabilitas proses pembuatan GKP telah terkendali secara statistik.

#### **4.4.3 Pengendalian Kualitas Pada Rata-Rata Proses Pembuatan GKP**

Setelah data pengamatan proses produksi GKP telah terkendali, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengendalian kualitas pada rata-rata proses produksi GKP di PG Rejo Agung Baru Madiun periode giling tahun 2017 dengan menggunakan diagram kendali MEWMA dengan data pengamatan yang telah terkendali variabilitas prosesnya yang dapat ditinjau pada Lampiran M. Pembobot pada MEWMA disimbolkan dengan  $\lambda$ , di mana nilai pembobot yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,1 hingga 0,9. Berikut ini adalah hasil monitoring rata-rata proses produksi GKP dengan menggunakan diagram kendali MEWMA nilai  $\lambda$  0,1.

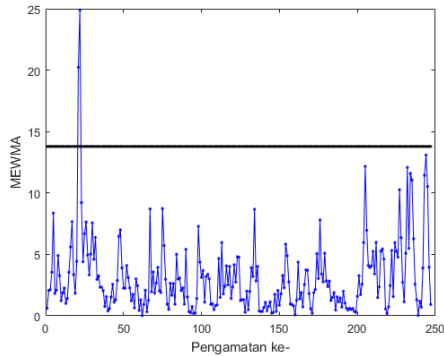




**Gambar 4.12** Diagram Kendali MEWMA dengan  $\lambda=0,1$

Titik pengamatan yang diperoleh pada plot merupakan nilai  $T_t^2$ . Pada Gambar 4.12 diketahui bahwa terdapat 4 pengamatan yang *out of control* dengan nilai  $T_t^2$  tertinggi sebesar 15.43. Nilai batas kendali atas sebesar 12,41 dan 0 sebagai batas kendali bawah. Berdasarkan Gambar 4.12, dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses kualitas GKP di PG Rejo Agung Baru Madiun belum terkendali secara statistik. Selain itu dapat disimpulkan bahwa proses belum stabil dilihat dari pengamatan yang fluktuatif.

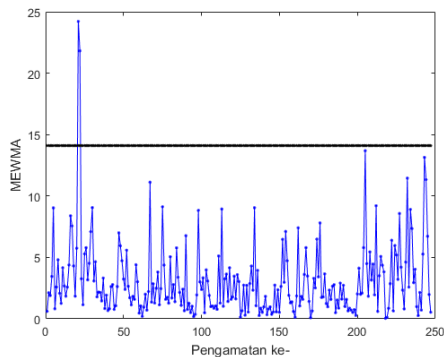
Penelitian dilanjutkan dengan menggunakan pembobot  $\lambda$  0,3. Diagram kendali MEWMA yang dihasilkan dengan pembobot  $\lambda=0,3$  menghasilkan batas kendali atas sebesar 13,79 dengan jumlah pengamatan *out of control* sebanyak 2 pengamatan. Diagram kendali MEWMA dengan pembobot  $\lambda=0,3$  disajikan pada Gambar 4.13.



**Gambar 4.13** Diagram Kendali MEWMA dengan  $\lambda=0,3$

Berdasarkan Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa rata-rata proses kualitas GKP di PG Rejo Agung Baru Madiun dengan menggunakan diagram kendali MEWMA nilai pembobot  $\lambda=0,3$  belum terkendali secara statistik. Hal ini dilihat dari masih adanya pengamatan yang berada di luar batas kendali.

Jika dibandingkan dengan nilai pembobot sebelumnya yaitu  $\lambda=0,1$ , pembobot  $\lambda=0,3$  memiliki daerah batas kualitas yang lebih lebar. Selain itu jika dilihat dari jumlah pengamatan yang *out of control* lebih sedikit dibanding pembobotan sebelumnya. Selanjutnya menggunakan pembobot  $\lambda=0,5$  yang disajikan pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Diagram Kendali MEWMA dengan  $\lambda=0,5$

Dari Gambar 4.14 diketahui bahwa dengan menggunakan pembobot  $\lambda=0,5$  terdapat 2 pengamatan yang *out of control* dengan nilai batas kendali sebesar 14,10. Nilai nilai  $T_i^2$  tertinggi sebesar 24,21 pada pengamatan ke-2. Dapat disimpulkan bahwa dengan pembobot  $\lambda=0,5$  proses kualitas GKP belum terkendali secara statistik karena masih adanya pengamatan yang *out of control*. Untuk percobaan dengan menggunakan pembobot  $\lambda$  lainnya dapat dilihat pada Lampiran O.

Untuk menentukan pembobot yang paling optimum dapat dilakukan dengan memperhatikan jumlah pengamatan yang *out of control*. Selain itu juga dapat memperhatikan selisih antara nilai pengamatan paling besar dengan BKA, pembobot optimum memiliki selisih yang paling kecil. Rangkuman dari percobaan berbagai pembobot disajikan pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Perhitungan Bobot Maksimum Untuk Diagram Kendali MEWMA

| $\lambda$ | Titik Maksimum | BKA   | Selisih | <i>Out of Control</i> |
|-----------|----------------|-------|---------|-----------------------|
| 0,1       | 15,43          | 12,41 | 3,02    | 4                     |
| 0,2       | 22,45          | 13,39 | 9,05    | 3                     |
| 0,3       | 24,89          | 13,79 | 11,10   | 2                     |
| 0,4       | 24,20          | 13,99 | 10,21   | 2                     |
| 0,5       | 24,21          | 14,10 | 10,11   | 2                     |
| 0,6       | 24,42          | 14,16 | 10,26   | 2                     |
| 0,7       | 23,89          | 14,19 | 9,70    | 2                     |
| 0,8       | 22,91          | 14,21 | 8,71    | 1                     |
| 0,9       | 21,69          | 14,21 | 7,47    | 1                     |

Berdasarkan percobaan diagram kendali MEWMA dengan pembobot  $0,1 < \lambda < 0,9$  yang disajikan pada Tabel 4.9, diketahui bahwa secara keseluruhan pengendalian rata-rata proses pada data kualitas GKP belum terkendali secara statistik karena masih adanya pengamatan yang *out of control*. Dapat dikatui pula jika semakin besar pembobot maka semakin lebar nilai batas kendali. Jika dilihat dari selisish nilai maksimum terhadap batas kendali, pembobot 0,1 memiliki selisih yang paling kecil. Dengan menggunakan pembobot 0,1 pengamatan belum terkendali secara statistik namun merupakan pembobot paling optimum dibandingkan dengan yang lain.

#### 4.4.4 Analisis Kapabilitas Kualitas Proses GKP

Analisis kapabilitas proses adalah analisis guna menaksir kemampuan proses pada suatu produk dalam memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Analisis kemampuan proses merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan program peningkatan kualitas. Proses dikatakan kapabel jika dalam keadaan terkendali, memenuhi batas spesifikasi, dan tingkat akurasi dan presisi tinggi. Presisi adalah ukuran pendekatan antara suatu pengamatan dengan yang lain. Sedangkan akurasi adalah ukuran kedekatan pengamatan dengan nilai target dalam spesifikasi.

Hasil analisis diagram kendali MEWMV dan MEWMA, didapatkan hasil bahwa variabel kadar air, warna larutan dan besar jenis butir tidak terkendali secara statistik pada varians dan rata-rata, oleh karena itu perhitungan kapabilitas proses menggunakan  $MP_p$  dan  $MP_{pk}$ . Untuk memperoleh indeks kapabilitas multivariat perlu diketahui kapabilitas proses secara multivariat yang disajikan pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.10** Perhitungan Analisis Kapabilitas Univariat

| Variabel          | $P_p$ | $P_{pk}$ |
|-------------------|-------|----------|
| Kadar Air         | 0,81  | -0,97    |
| Warna Larutan     | 0,18  | -0,69    |
| Besar Jenis Butir | 0,64  | 0,16     |

Dari Tabel 4.10 diketahui bahwa nilai  $P_p$  masing-masing variabel yaitu kadar air, warna larutan, dan besar jenis butir berturut-turut adalah 0,81, 0,18, dan 0,64, sedangkan nilai  $P_{pk}$  masing-masing sebesar -0,97, -0,69, dan 0,16. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa variabel kadar air, warna larutan, dan besar jenis butir memiliki nilai  $P_p$  dan  $P_{pk}$  yang kurang dari 1, hal ini menunjukkan bahwa proses belum kapabel dan kinerja proses belum baik.

Selanjutnya dilakukan analisis kapabilitas secara multivariat dengan menggunakan persamaan (2.43) dan (2.44). Sehingga diperoleh indek kapabilitas multivariat  $MP_p$  dan  $MP_{pk}$  masing-masing sebesar 0,528 dan -0,495 nilai tersebut kurang dari 1 yang berarti bahwa proses pembuatan GKP di PG Rejo

Agung Baru Madiun belum kapabel dan kinerja proses belum baik.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada Bab IV, diperoleh kesimpulan bahwa asumsi dasar dalam menggunakan peta kendali konvensional adalah saling independen antar data pengamatan dan berdistribusi normal. Autokorelasi antar pengamatan akan membuat batas kendali pada diagram kendali konvensional menjadi semakin ketat dan menyebabkan munculnya banyak *false alarm*. Pendekatan yang dapat dilakukan jika terdapat autokorelasi pada data adalah dengan menggunakan pendekatan residual dari model *time series* untuk digunakan pada peta kendali. Residual yang dihasilkan oleh model terbaik *time series* akan memenuhi asumsi independen dan identik.

Dalam penelitian ini diketahui bahwa ketiga karakteristik kualitas GKP memiliki autokorelasi sehingga perlu dilakukan pemodelan *time series* dengan metode VAR. Model VAR yang paling baik adalah VARI (14,1), sehingga residual dari model VARI(14,1) ini yang akan digunakan dalam peta kendali MEWMV dan MEWMA. Pembobot optimum pada diagram kendali MEWMV adalah  $\omega=0.4$  dan  $\lambda=0.2$  karena menghasilkan pengamatan *out of control* paling sedikit dibandingkan dengan kombinasi pembobot lain dan memiliki selisih  $|\max \text{tr}(V_n) - \text{BKA}|$  terkecil. Variansi dari kualitas GKP PG Rejo Agung Baru Madiun belum terkendali secara statistik karena masih terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali. Untuk rata-rata proses dengan menggunakan pembobot optimum  $\lambda=0.1$  pada diagram kendali MEWMA, dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses belum terkendali secara statistik. Faktor penyebab terjadinya ketidaksesuaian produksi GKP di PG Rejo Agung Baru dipengaruhi lima faktor utama yaitu pengukuran, bahan baku, pekerja, metode, dan mesin.

Hasil perhitungan kapabilitas proses secara multivariat menunjukkan bahwa proses pembuatan GKP belum kapabel dan

kinerja proses belum baik karena nilai  $MP_p$  dan  $MP_{pk}$  kurang dari 1 yaitu masing-masing sebesar 0.528 dan -0.495. Sehingga dapat disimpulkan bahwa belum ada kecenderungan kinerja proses potensial kapabel pada ketiga variabel kadar air, warna larutan, serta besar jenis butir.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka saran yang dapat diberikan untuk PG Rejo Agung Baru madiun dan penelirian selanjutnya adalah sebagai berikut,

1. Disarankan untuk perusahaan saat melakukan pengendalian kualitas variansi proses untuk menggunakan pembobot  $\omega=0.4$  dan  $\lambda=0.2$  pada diagram kendali MEWMV karena menghasilkan pengamatan *out of control* paling sedikit dibandingkan dengan kombinasi pembobot lain. Sedangkan pembobot optimum yang disarankan untuk diagram kendali MEWMA adalah  $\lambda=0.1$ .
2. Untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan diagram kendali multivariat berbasis *time series* disarankan untuk memperhatikan pemodelan menggunakan VARIMA. Selain itu untuk disarankan untuk memastikan tidak ada efek autokorelasi pada data sebelum melakukan pengendalian kualitas.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alva, J. V., & Estrada, E. G. (2009). A Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality. *Commucation in Statistics - Theory and Methods*, 38, 1870-1883.
- Alwan, L. C., & Roberts, H. V. (1988). Time Series Modelling for Statistical Process Control. *Journal of Business & Economic Statistic*, 6(1), 87-95.
- Anonim. (2015, November 30). 2015, Impor Gula Indonesia Capai 2.882.811 Ton. Dipetik Februari 10, 2018, dari ptpnx: <http://ptpn10.co.id/blog/2015-impor-gula-indonesia-capai-2882811-ton>
- Assauri, S. (1993). *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: LPFE-UI.
- Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society*, 26(2), 211-252.
- Gujarati, Damodar, N., & Porter, D. C. (2015). *Dasar-dasar Ekonometrika Edisi Lima*. Jakarta: Salemba Empat.
- Harianja, D. M. (2016). Analisis Pengendalian Kualitas Tetes PG Kremboong Sidoarjo Menggunakan Diagram Kendali MEWMV dan MEWMA. *Jurnal Sains dan Seni ITS Vol. 5 No.2*, 289-294.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Operations Management : Twelfth Edition*. USA: Pearson Education Inc.
- Hyndman, R. J., & Kostenko, A. V. (2008). Forecasting without significance tests?
- Idris, M. (2017, Juli 20). *detikFinance*. Dipetik Januari 22, 2018, dari detik.com: <https://finance.detik.com/industri/d-3567959/ri-kejar-swasembada-gula-2019-begini-jurusnya>
- Jarret, J. E., & Pan, X. (2006). The quality control chart for monitoring multivariate autocorrelated processes. *Journal Computational & Data Analysis* 51, 3862 – 3870.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.

- Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., & Rigdon, S. E. (1992). A Multivariate Exponential Weighted Moving Average Control Chart. *Technometrics*, 46.
- Lutkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. California: Springer.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1983). *Forecasting: Methods and Applications*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control : Seventh Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods : Third Edition*. New York: Mc Graw Hill Publishing Company.
- Payne, J. H. (1982). *Unit Operation in Cane Sugar Production*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Psarakis, S., & Papaleonida, G. (2007). SPC Procedures for Monitoring Autocorrelated Processes. *Journal of Quality Technology & Quantitative Management*, 4(4), 501-540.
- Putri, R.S. (2015). Analisis Pengendalian Kualitas Tetes Produksi PG Pesantren Baru Kediri Menggunakan Diagram Kontrol Multivariate . *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), 133-138.
- Raissi, S. (2009). Dalam *Multivariate Process Capability Indices on the Presence of Priority for Quality Characteristics*. *Journal of Industrial Engineering International* Vol. 5, No. 9.
- Sari, L. F., & Al-Hanif, Y. A. (2017). *Laporan Kegiatan Praktik Kerja Industri di PG Rajawali I Unit Kera PG Rejo Agung Baru*. Madiun: SMK Gula Rajawali Madiun.
- Sugiyanto, C. (2007, Desember). Permintaan Gula di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, Vol. 8, No. 2, 113-127.
- Tiao, & Box. (1981). Coefficient Methods. Dalam W. W. Wei, *Time Series Analysis*. New York: Addison Wesley.

- Tsay, R. S. (2014). *Multivariate Time Series Analysis: With R and Financial Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Wei, W. W. (2006). *Time Series Analysis*. New York: Pearson Education, Inc.

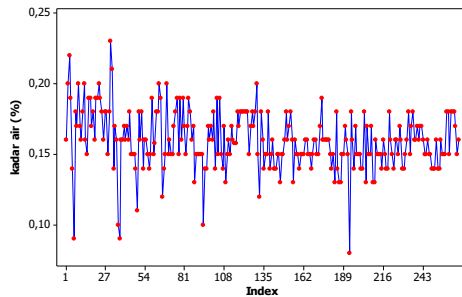
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

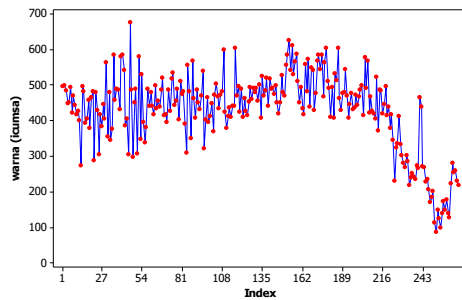
### Lampiran A. Data Karakteristik Kualitas GKP PG Rejo Agung Baru Madiun

| Subgrup | kadar air (%) | warna (icumsa) | BJB (mm) |
|---------|---------------|----------------|----------|
| 1       | 0.16          | 495.15         | 0.94     |
| 2       | 0.2           | 498.13         | 0.95     |
| 3       | 0.22          | 483.81         | 1.09     |
| 4       | 0.19          | 447.97         | 1.01     |
| 5       | 0.14          | 449.58         | 0.91     |
| 6       | 0.09          | 493.33         | 1.23     |
| 7       | 0.18          | 422.36         | 0.9      |
| 8       | 0.17          | 470.79         | 0.83     |
| 9       | 0.2           | 443.31         | 0.97     |
| 10      | 0.17          | 417.71         | 0.97     |
| 11      | 0.16          | 426.07         | 0.84     |
| 12      | 0.18          | 400.2          | 0.91     |
| 13      | 0.2           | 274.19         | 0.96     |
| 14      | 0.16          | 497.11         | 0.85     |
| 15      | 0.15          | 482.24         | 0.99     |
| .       | .             | .              | .        |
| .       | .             | .              | .        |
| .       | .             | .              | .        |
| 256     | 0.15          | 139.09         | 0.6      |
| 257     | 0.15          | 171.57         | 0.56     |
| 258     | 0.15          | 149.55         | 0.7      |
| 259     | 0.18          | 177.36         | 0.73     |
| 260     | 0.18          | 139.86         | 0.74     |
| 261     | 0.15          | 127.63         | 0.71     |
| 262     | 0.18          | 224.2          | 0.81     |
| 263     | 0.18          | 280.89         | 0.89     |
| 264     | 0.18          | 255.17         | 0.77     |
| 265     | 0.17          | 258.68         | 0.76     |
| 266     | 0.15          | 229.75         | 0.71     |
| 267     | 0.16          | 217.54         | 0.77     |

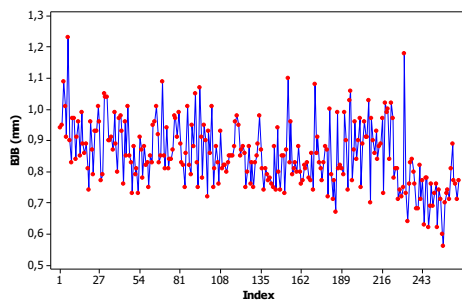
**Lampiran B. *Time Series Plot* Karakteristik Kualitas GKP PG  
Rejo Agung Baru Madiun**  
*Time Series Plot* Kadar Air



*Time Series Plot* Warna Larutan

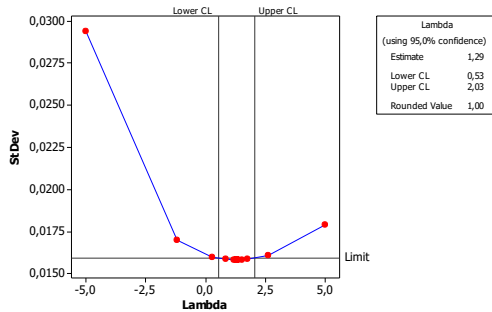


*Time Series Plot* BJB

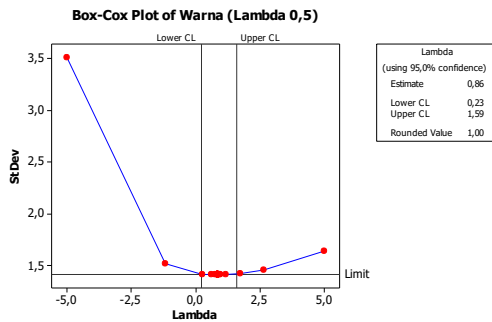
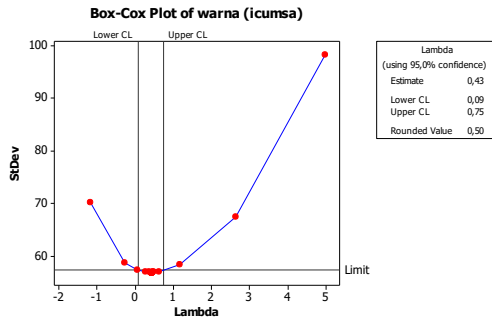


## Lampiran C. Plot Pengujian Stationer Dalam Varians Data Karakteristik Kualitas Kadar Air, Warna Larutan, dan BJB

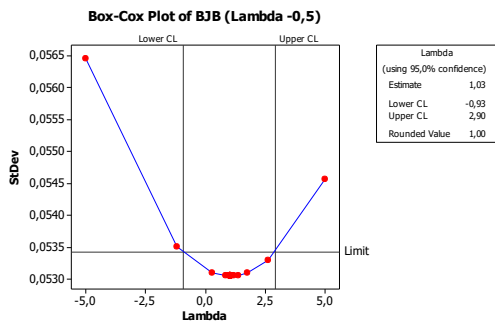
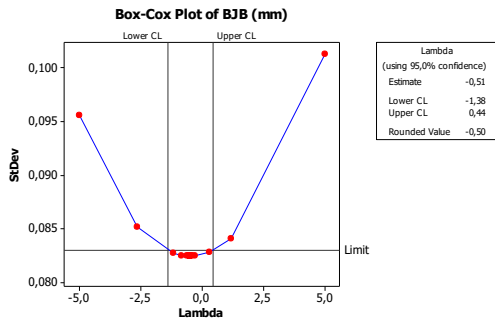
### Box-Cox Karakteristik Kualitas Kadar Air



### Box-Cox Karakteristik Kualitas Warna Larutan



## Box-Cox Karakteristik Kualitas BJB





**Lampiran D. Data Karakteristik Kulit GKP Stationer Dalam Varians**

| <b>Subgrup</b> | <b>kadar air (%)</b> | <b>warna (icumsa)</b> | <b>BJB (mm)</b> |
|----------------|----------------------|-----------------------|-----------------|
| 1              | 0.16                 | 22.25                 | 1.03            |
| 2              | 0.2                  | 22.32                 | 1.03            |
| 3              | 0.22                 | 22.00                 | 0.96            |
| 4              | 0.19                 | 21.17                 | 1.00            |
| 5              | 0.14                 | 21.20                 | 1.05            |
| 6              | 0.09                 | 22.21                 | 0.90            |
| 7              | 0.18                 | 20.55                 | 1.05            |
| 8              | 0.17                 | 21.70                 | 1.10            |
| 9              | 0.2                  | 21.05                 | 1.02            |
| 10             | 0.17                 | 20.44                 | 1.02            |
| 11             | 0.16                 | 20.64                 | 1.09            |
| 12             | 0.18                 | 20.00                 | 1.05            |
| 13             | 0.2                  | 16.56                 | 1.02            |
| 14             | 0.16                 | 22.30                 | 1.08            |
| 15             | 0.15                 | 21.96                 | 1.01            |
| .              | .                    | .                     | .               |
| .              | .                    | .                     | .               |
| .              | .                    | .                     | .               |
| 256            | 0.15                 | 11.79                 | 1.29            |
| 257            | 0.15                 | 13.10                 | 1.34            |
| 258            | 0.15                 | 12.23                 | 1.20            |
| 259            | 0.18                 | 13.32                 | 1.17            |
| 260            | 0.18                 | 11.83                 | 1.16            |
| 261            | 0.15                 | 11.30                 | 1.19            |
| 262            | 0.18                 | 14.97                 | 1.11            |
| 263            | 0.18                 | 16.76                 | 1.06            |
| 264            | 0.18                 | 15.97                 | 1.14            |
| 265            | 0.17                 | 16.08                 | 1.15            |
| 266            | 0.15                 | 15.16                 | 1.19            |
| 267            | 0.16                 | 14.75                 | 1.14            |

## Lampiran E. Pengujian Stationer Dalam Rata-rata dengan Uji ADF Pada *Package Software R*

### Uji ADF Kadar Air

```
>
stationervarians=read.csv("C:/Users/windows/Dropbox/TA/
VALIDASI/stationervarians.csv",sep=';', header=T)
> kadar=stationervarians[,1]
> kadar
> adf.test(as.ts(kadar))
```

#### Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: as.ts(kadar)
Dickey-Fuller = -5.1512, Lag order = 6, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary
```

#### warning message:

```
In adf.test(as.ts(kadar)) : p-value smaller than
printed p-value
```

### Uji ADF Warna Larutan

```
>
stationervarians=read.csv("C:/Users/windows/Dropbox/TA/
VALIDASI/stationervarians.csv",sep=';', header=T)
> warna=stationervarians[,2]
> warna
> adf.test(as.ts(warna))
```

#### Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: as.ts(warna)
Dickey-Fuller = -1.9975, Lag order = 6, p-value = 0.577
alternative hypothesis: stationary
```

## Uji ADF BJB

```
>  
stationervarians=read.csv("C:/Users/windows/Dropbox/TA  
/VALIDASI/stationervarians.csv",sep=';', header=T)  
> bjb=stationervarians[,3]  
> bjb  
> adf.test(as.ts(bjb))
```

## Augmented Dickey-Fuller Test

```
data: as.ts(BJB)  
Dickey-Fuller = -4.2621, Lag order = 6, p-value = 0.01  
alternative hypothesis: stationary
```

## warning message:

```
In adf.test(as.ts(BJB)) : p-value smaller than printed  
p-value
```

## Lampiran F. Syntax VAR (1) Data Karakteristik Kualitas GKP

```
data GKP;
input kadar warna bjb;
datalines;
0.16    22.25    1.03
0.2     22.32    1.03
0.22    22       0.96
0.19    21.17    1
0.14    21.2     1.05
0.09    22.21    0.9
0.18    20.55    1.05
0.17    21.7     1.1
0.2     21.05    1.02
0.17    20.44    1.02
0.16    20.64    1.09
.
.
.
0.18    15.97    1.14
0.17    16.08    1.15
0.15    15.16    1.19
0.16    14.75    1.14
;
proc varmax data=GKP;
model kadar warna bjb/p=1 dfest dify(1) lagmax=36
noint minic=(p=36) method=ls
print=(corry parcoef pcorr pcancorr roots);
output lead=12 out=ramalan;
run;

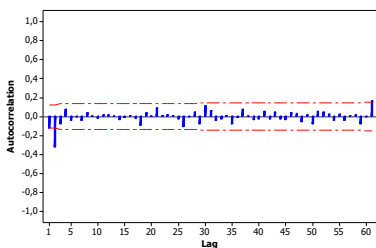
proc export data=work.ramalan
outfile='D:\GKPvar15.xls'
dbms=excel
replace;
run;
```

## Lampiran G. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (1,1) Hingga VARI (15,1)

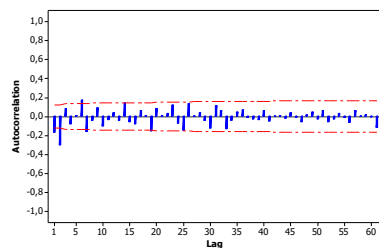
### Lampiran G1. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (1,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 2      | 113.19     | 9   | <.0001      | 20     | 330.54     | 171 | <.0001      |
| 3      | 125.42     | 18  | <.0001      | 21     | 350.73     | 180 | <.0001      |
| 4      | 132.16     | 27  | <.0001      | 22     | 355.44     | 189 | <.0001      |
| 5      | 140.63     | 36  | <.0001      | 23     | 376.32     | 198 | <.0001      |
| 6      | 151.85     | 45  | <.0001      | 24     | 387.8      | 207 | <.0001      |
| 7      | 176.44     | 54  | <.0001      | 25     | 396.98     | 216 | <.0001      |
| 8      | 183.97     | 63  | <.0001      | 26     | 409.85     | 225 | <.0001      |
| 9      | 200.03     | 72  | <.0001      | 27     | 414.1      | 234 | <.0001      |
| 10     | 216.61     | 81  | <.0001      | 28     | 424.35     | 243 | <.0001      |
| 11     | 227.28     | 90  | <.0001      | 29     | 434.97     | 252 | <.0001      |
| 12     | 246.51     | 99  | <.0001      | 30     | 456.46     | 261 | <.0001      |
| 13     | 261.24     | 108 | <.0001      | 31     | 472.49     | 270 | <.0001      |
| 14     | 276.24     | 117 | <.0001      | 32     | 483.8      | 279 | <.0001      |
| 15     | 286.45     | 126 | <.0001      | 33     | 492.96     | 288 | <.0001      |
| 16     | 293.22     | 135 | <.0001      | 34     | 499.92     | 297 | <.0001      |
| 17     | 300.88     | 144 | <.0001      | 35     | 516.43     | 306 | <.0001      |
| 18     | 305.56     | 153 | <.0001      | 36     | 523.15     | 315 | <.0001      |
| 19     | 317.44     | 162 | <.0001      |        |            |     |             |

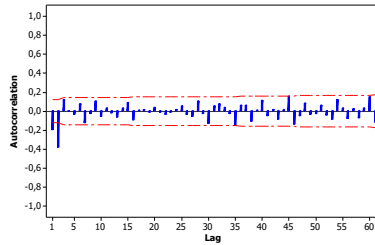
ACF Residual Kadar Air VARI (1,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (1,1)



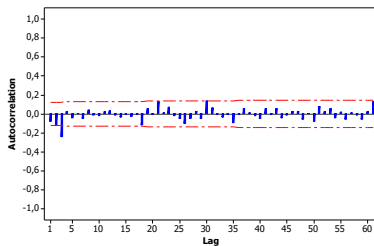
ACF Residual BJB VARI (1,1)



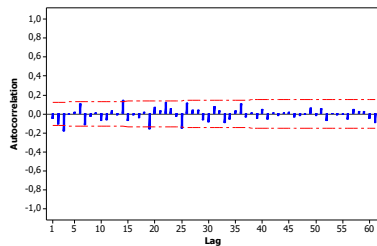
Lampiran G2. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (2,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 3      | 57.98      | 9   | <.0001      | 20     | 241.28     | 162 | <.0001      |
| 4      | 67.1       | 18  | <.0001      | 21     | 255.74     | 171 | <.0001      |
| 5      | 74.42      | 27  | <.0001      | 22     | 265.37     | 180 | <.0001      |
| 6      | 79.07      | 36  | <.0001      | 23     | 277.18     | 189 | <.0001      |
| 7      | 102.38     | 45  | <.0001      | 24     | 282.17     | 198 | <.0001      |
| 8      | 109.79     | 54  | <.0001      | 25     | 291.89     | 207 | <.0001      |
| 9      | 119.35     | 63  | <.0001      | 26     | 299.58     | 216 | 0.0001      |
| 10     | 128.41     | 72  | <.0001      | 27     | 306.92     | 225 | 0.0002      |
| 11     | 134.68     | 81  | 0.0002      | 28     | 316.07     | 234 | 0.0003      |
| 12     | 152.28     | 90  | <.0001      | 29     | 322.71     | 243 | 0.0005      |
| 13     | 164.04     | 99  | <.0001      | 30     | 340.65     | 252 | 0.0002      |
| 14     | 178.24     | 108 | <.0001      | 31     | 352.13     | 261 | 0.0001      |
| 15     | 190.14     | 117 | <.0001      | 32     | 362.96     | 270 | 0.0001      |
| 16     | 198.41     | 126 | <.0001      | 33     | 369.12     | 279 | 0.0002      |
| 17     | 211.04     | 135 | <.0001      | 34     | 374.1      | 288 | 0.0005      |
| 18     | 216.62     | 144 | <.0001      | 35     | 389.6      | 297 | 0.0002      |
| 19     | 230.8      | 153 | <.0001      | 36     | 395.19     | 306 | 0.0004      |

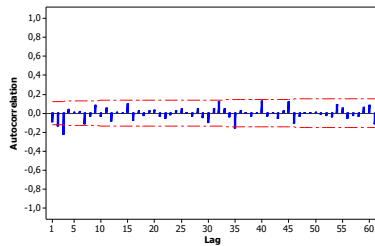
ACF Residual Kadar Air VARI (2,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (2,1)



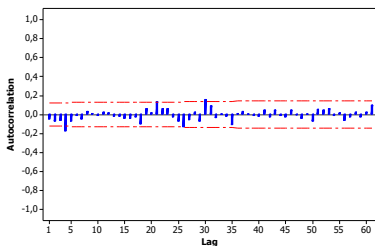
ACF Residual BJB VARI (2,1)



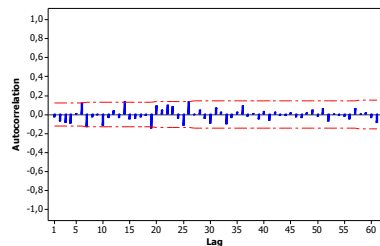
Lampiran G3. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (3,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 4      | 39.67      | 9   | <.0001      | 21     | 224.25     | 162 | 0.0009      |
| 5      | 47.1       | 18  | 0.0002      | 22     | 232.61     | 171 | 0.0012      |
| 6      | 53.86      | 27  | 0.0016      | 23     | 248.46     | 180 | 0.0005      |
| 7      | 76.72      | 36  | <.0001      | 24     | 255.45     | 189 | 0.0009      |
| 8      | 84.48      | 45  | 0.0003      | 25     | 262.26     | 198 | 0.0015      |
| 9      | 93.99      | 54  | 0.0006      | 26     | 274.19     | 207 | 0.0012      |
| 10     | 104.23     | 63  | 0.0008      | 27     | 280.54     | 216 | 0.002       |
| 11     | 111.16     | 72  | 0.0021      | 28     | 289.53     | 225 | 0.0024      |
| 12     | 126.94     | 81  | 0.0008      | 29     | 297.99     | 234 | 0.0029      |
| 13     | 137.15     | 90  | 0.001       | 30     | 320.58     | 243 | 0.0006      |
| 14     | 151.07     | 99  | 0.0006      | 31     | 332.5      | 252 | 0.0005      |
| 15     | 163.27     | 108 | 0.0005      | 32     | 343.02     | 261 | 0.0005      |
| 16     | 168.9      | 117 | 0.0012      | 33     | 348.58     | 270 | 0.0009      |
| 17     | 179.4      | 126 | 0.0013      | 34     | 353.05     | 279 | 0.0017      |
| 18     | 184.13     | 135 | 0.0032      | 35     | 370.6      | 288 | 0.0007      |
| 19     | 197.57     | 144 | 0.002       | 36     | 375.8      | 297 | 0.0013      |
| 20     | 208.71     | 153 | 0.0019      |        |            |     |             |

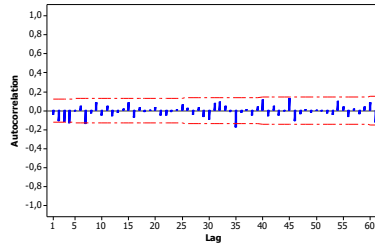
ACF Residual Kadar Air VARI (3,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (3,1)



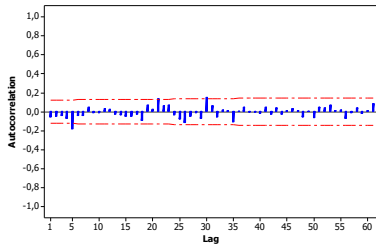
ACF Residual BJB VARI (3,1)



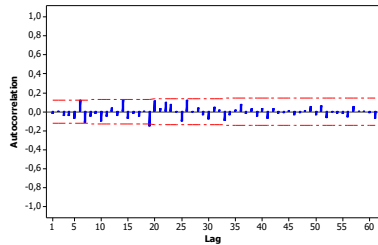
Lampiran G4. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (4,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 5      | 37.32      | 9   | <.0001      | 21     | 210.97     | 153 | 0.0013      |
| 6      | 43.47      | 18  | 0.0007      | 22     | 219.07     | 162 | 0.0019      |
| 7      | 60.31      | 27  | 0.0002      | 23     | 234.15     | 171 | 0.001       |
| 8      | 68.87      | 36  | 0.0008      | 24     | 241.28     | 180 | 0.0016      |
| 9      | 77.74      | 45  | 0.0018      | 25     | 247.79     | 189 | 0.0026      |
| 10     | 85.24      | 54  | 0.0043      | 26     | 257.68     | 198 | 0.0028      |
| 11     | 92.55      | 63  | 0.009       | 27     | 263.27     | 207 | 0.0049      |
| 12     | 110.03     | 72  | 0.0026      | 28     | 271.22     | 216 | 0.0064      |
| 13     | 121.59     | 81  | 0.0024      | 29     | 278.46     | 225 | 0.0088      |
| 14     | 132.71     | 90  | 0.0023      | 30     | 299.69     | 234 | 0.0024      |
| 15     | 145.26     | 99  | 0.0017      | 31     | 310.17     | 243 | 0.0023      |
| 16     | 151.3      | 108 | 0.0038      | 32     | 321.34     | 252 | 0.002       |
| 17     | 166.81     | 117 | 0.0017      | 33     | 326.01     | 261 | 0.0038      |
| 18     | 172.16     | 126 | 0.004       | 34     | 329.27     | 270 | 0.0079      |
| 19     | 184.56     | 135 | 0.003       | 35     | 348.37     | 279 | 0.003       |
| 20     | 196.46     | 144 | 0.0024      | 36     | 354.75     | 288 | 0.0044      |

ACF Residual Kadar Air VARI (4,1)

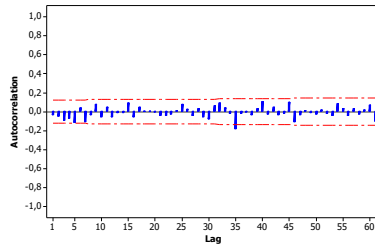


ACF Residual Warna Larutan VARI (4,1)





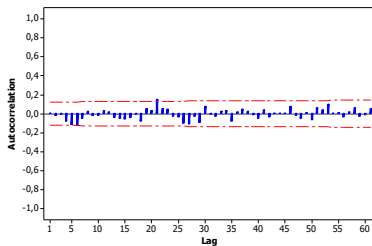
ACF Residual BJB VARI (4,1)



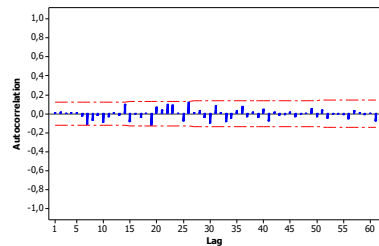
Lampiran G5. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (5,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 6      | 25.73      | 9   | 0.0023      | 22     | 193.45     | 153 | 0.0149      |
| 7      | 40.59      | 18  | 0.0017      | 23     | 206.69     | 162 | 0.0101      |
| 8      | 49.32      | 27  | 0.0054      | 24     | 214.3      | 171 | 0.0138      |
| 9      | 59.25      | 36  | 0.0087      | 25     | 218.24     | 180 | 0.0273      |
| 10     | 65.39      | 45  | 0.0251      | 26     | 227.07     | 189 | 0.0305      |
| 11     | 73.18      | 54  | 0.0422      | 27     | 236.67     | 198 | 0.0313      |
| 12     | 92.41      | 63  | 0.0093      | 28     | 246.31     | 207 | 0.0319      |
| 13     | 105.21     | 72  | 0.0065      | 29     | 255.67     | 216 | 0.0333      |
| 14     | 115.87     | 81  | 0.0067      | 30     | 270.57     | 225 | 0.0202      |
| 15     | 130.02     | 90  | 0.0037      | 31     | 279.11     | 234 | 0.023       |
| 16     | 133.83     | 99  | 0.0113      | 32     | 288.84     | 243 | 0.0232      |
| 17     | 148.91     | 108 | 0.0056      | 33     | 293.38     | 252 | 0.0375      |
| 18     | 152.02     | 117 | 0.0163      | 34     | 298.35     | 261 | 0.0557      |
| 19     | 161.04     | 126 | 0.0191      | 35     | 314.75     | 270 | 0.0316      |
| 20     | 169.11     | 135 | 0.0248      | 36     | 318.82     | 279 | 0.0505      |
| 21     | 185.56     | 144 | 0.0112      |        |            |     |             |

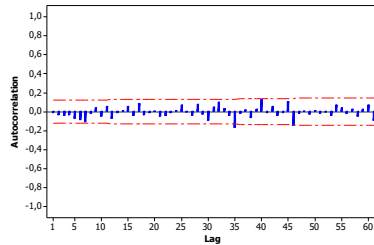
ACF Residual Kadar Air VARI (5,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (5,1)



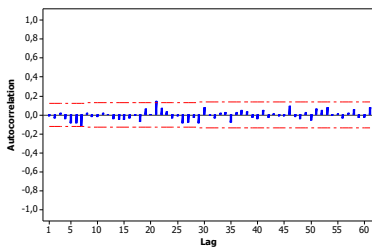
ACF Residual BJB VARI (5,1)



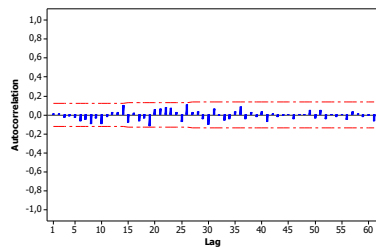
Lampiran G6. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (6,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 7      | 28.24      | 9   | 0.0009      | 22     | 183.36     | 144 | 0.0148      |
| 8      | 39.14      | 18  | 0.0027      | 23     | 193.98     | 153 | 0.014       |
| 9      | 48.04      | 27  | 0.0076      | 24     | 202.27     | 162 | 0.0174      |
| 10     | 55.89      | 36  | 0.0183      | 25     | 205.04     | 171 | 0.0386      |
| 11     | 63.14      | 45  | 0.0383      | 26     | 211.13     | 180 | 0.056       |
| 12     | 84.53      | 54  | 0.005       | 27     | 218.13     | 189 | 0.0719      |
| 13     | 97.66      | 63  | 0.0034      | 28     | 226.68     | 198 | 0.0792      |
| 14     | 108.68     | 72  | 0.0034      | 29     | 234.29     | 207 | 0.0936      |
| 15     | 124.6      | 81  | 0.0013      | 30     | 248.32     | 216 | 0.0649      |
| 16     | 127.17     | 90  | 0.006       | 31     | 255.66     | 225 | 0.0784      |
| 17     | 140.38     | 99  | 0.004       | 32     | 265.78     | 234 | 0.0752      |
| 18     | 143.13     | 108 | 0.0133      | 33     | 270.47     | 243 | 0.109       |
| 19     | 152.43     | 117 | 0.0154      | 34     | 275.15     | 252 | 0.1514      |
| 20     | 160.87     | 126 | 0.0196      | 35     | 291.42     | 261 | 0.0948      |
| 21     | 176.2      | 135 | 0.0099      | 36     | 296.06     | 270 | 0.1323      |

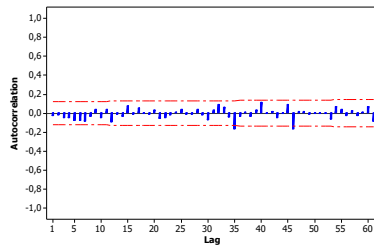
ACF Residual Kadar Air VARI (6,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (6,1)



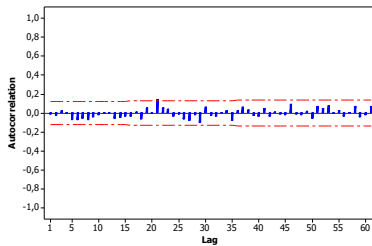
ACF Residual BJB VARI (6,1)



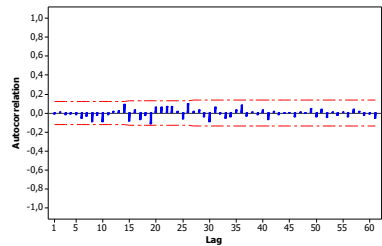
Lampiran G7. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (7,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 8      | 29.82      | 9   | 0.0005      | 23     | 182.07     | 144 | 0.0174      |
| 9      | 39.21      | 18  | 0.0027      | 24     | 191        | 153 | 0.0201      |
| 10     | 47.81      | 27  | 0.0081      | 25     | 193.94     | 162 | 0.044       |
| 11     | 53.04      | 36  | 0.0333      | 26     | 198.47     | 171 | 0.0738      |
| 12     | 72.26      | 45  | 0.0061      | 27     | 204.97     | 180 | 0.0978      |
| 13     | 86.37      | 54  | 0.0034      | 28     | 213.33     | 189 | 0.1084      |
| 14     | 97.98      | 63  | 0.0031      | 29     | 222.17     | 198 | 0.1148      |
| 15     | 114.58     | 72  | 0.0011      | 30     | 235.32     | 207 | 0.0861      |
| 16     | 117.36     | 81  | 0.0052      | 31     | 242.98     | 216 | 0.1004      |
| 17     | 129.54     | 90  | 0.004       | 32     | 251.36     | 225 | 0.1096      |
| 18     | 132.5      | 99  | 0.0138      | 33     | 255.98     | 234 | 0.1547      |
| 19     | 140.95     | 108 | 0.0182      | 34     | 260.49     | 243 | 0.2104      |
| 20     | 149.49     | 117 | 0.0229      | 35     | 274.86     | 252 | 0.1542      |
| 21     | 164.41     | 126 | 0.0122      | 36     | 279.61     | 261 | 0.2047      |
| 22     | 172.65     | 135 | 0.0159      |        |            |     |             |

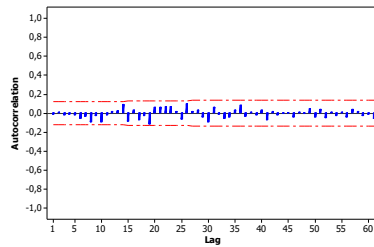
ACF Residual Kadar Air VARI (7,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (7,1)



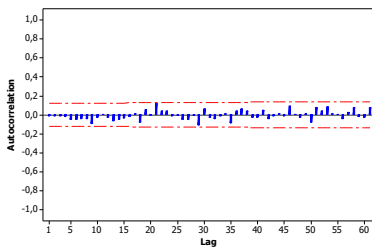
ACF Residual BJB VARI (7,1)



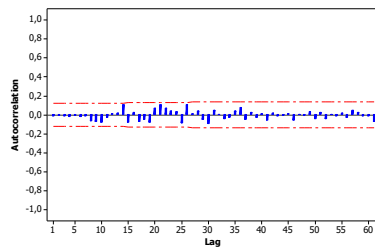
Lampiran G8. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (8,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 9      | 29.9       | 9   | 0.0005      | 23     | 170        | 135 | 0.0223      |
| 10     | 39.32      | 18  | 0.0026      | 24     | 178.18     | 144 | 0.0279      |
| 11     | 44.35      | 27  | 0.019       | 25     | 182.34     | 153 | 0.0528      |
| 12     | 62.72      | 36  | 0.0038      | 26     | 187.25     | 162 | 0.085       |
| 13     | 73.48      | 45  | 0.0047      | 27     | 194.36     | 171 | 0.1065      |
| 14     | 87.19      | 54  | 0.0028      | 28     | 202.33     | 180 | 0.1218      |
| 15     | 103.49     | 63  | 0.001       | 29     | 212.5      | 189 | 0.1159      |
| 16     | 105.54     | 72  | 0.0061      | 30     | 226.11     | 198 | 0.0832      |
| 17     | 116.41     | 81  | 0.0061      | 31     | 232.12     | 207 | 0.1112      |
| 18     | 119.46     | 90  | 0.0206      | 32     | 240.93     | 216 | 0.1174      |
| 19     | 126.74     | 99  | 0.0315      | 33     | 244.13     | 225 | 0.1817      |
| 20     | 137.63     | 108 | 0.0286      | 34     | 249.06     | 234 | 0.2381      |
| 21     | 153.02     | 117 | 0.0142      | 35     | 265.57     | 243 | 0.153       |
| 22     | 160.51     | 126 | 0.0205      | 36     | 271.16     | 252 | 0.1943      |

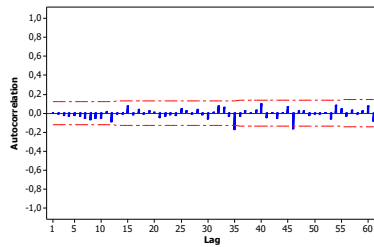
ACF Residual Kadar Air VARI (8,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (8,1)



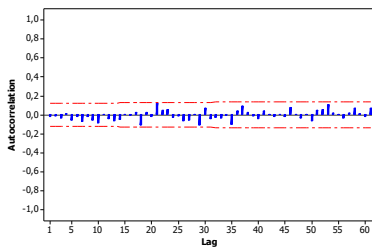
ACF Residual BJB VARI (8,1)



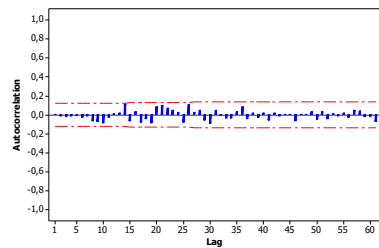
Lampiran G9. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (9,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 10     | 21.71      | 9   | 0.0099      | 24     | 164.71     | 135 | 0.0418      |
| 11     | 26.63      | 18  | 0.0862      | 25     | 168.49     | 144 | 0.0796      |
| 12     | 42.82      | 27  | 0.0273      | 26     | 174.37     | 153 | 0.1137      |
| 13     | 53.29      | 36  | 0.0317      | 27     | 180.5      | 162 | 0.1521      |
| 14     | 69.24      | 45  | 0.0116      | 28     | 187.65     | 171 | 0.1819      |
| 15     | 85.94      | 54  | 0.0037      | 29     | 199.28     | 180 | 0.1546      |
| 16     | 88.72      | 63  | 0.0181      | 30     | 213.83     | 189 | 0.104       |
| 17     | 100.92     | 72  | 0.0139      | 31     | 218.56     | 198 | 0.1509      |
| 18     | 105.71     | 81  | 0.0341      | 32     | 227.22     | 207 | 0.1597      |
| 19     | 112.27     | 90  | 0.0561      | 33     | 231.09     | 216 | 0.2292      |
| 20     | 123.56     | 99  | 0.0479      | 34     | 236.29     | 225 | 0.2895      |
| 21     | 139.87     | 108 | 0.0212      | 35     | 254.09     | 234 | 0.1751      |
| 22     | 147.36     | 117 | 0.0302      | 36     | 261.27     | 243 | 0.2008      |
| 23     | 157.41     | 126 | 0.0304      |        |            |     |             |

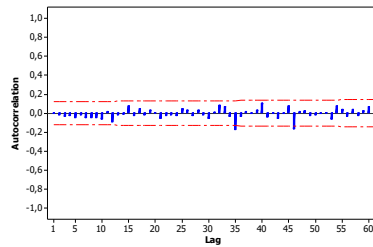
ACF Residual Kadar Air VARI (9,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (9,1)



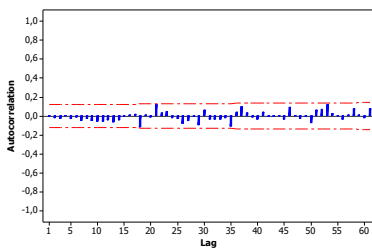
ACF Residual BJB VARI (9,1)



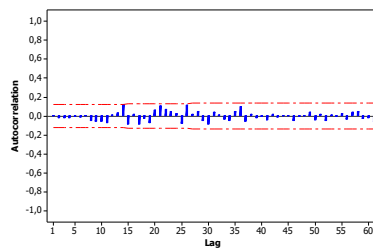
Lampiran G10. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (10,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 11     | 21.17      | 9   | 0.0119      | 24     | 153.39     | 126 | 0.0489      |
| 12     | 35.56      | 18  | 0.008       | 25     | 157.36     | 135 | 0.0914      |
| 13     | 47.56      | 27  | 0.0086      | 26     | 164.45     | 144 | 0.1168      |
| 14     | 63.99      | 36  | 0.0028      | 27     | 170.67     | 153 | 0.1559      |
| 15     | 82.01      | 45  | 0.0006      | 28     | 178.32     | 162 | 0.1801      |
| 16     | 84.23      | 54  | 0.0053      | 29     | 190.41     | 171 | 0.1473      |
| 17     | 95.33      | 63  | 0.0053      | 30     | 205.84     | 180 | 0.0907      |
| 18     | 100.06     | 72  | 0.016       | 31     | 211.01     | 189 | 0.1303      |
| 19     | 106.79     | 81  | 0.029       | 32     | 220.76     | 198 | 0.128       |
| 20     | 114.13     | 90  | 0.0439      | 33     | 224.74     | 207 | 0.1893      |
| 21     | 130.35     | 99  | 0.019       | 34     | 229.82     | 216 | 0.2472      |
| 22     | 136.81     | 108 | 0.0319      | 35     | 244.4      | 225 | 0.1786      |
| 23     | 146.25     | 117 | 0.0347      | 36     | 251.94     | 234 | 0.2005      |

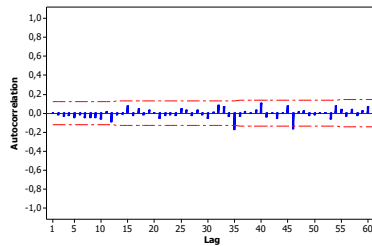
ACF Residual Kadar Air VARI (10,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (10,1)



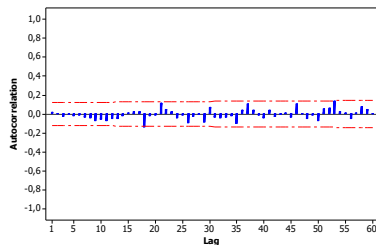
ACF Residual BJB VARI (10,1)



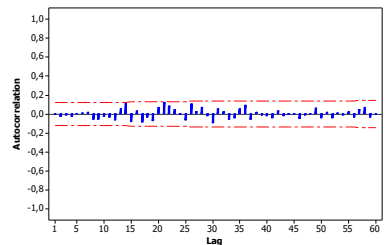
Lampiran G11. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (11,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 12     | 23.27      | 9   | 0.0056      | 25     | 144.77     | 126 | 0.121       |
| 13     | 35.63      | 18  | 0.0079      | 26     | 152.4      | 135 | 0.1453      |
| 14     | 50.28      | 27  | 0.0042      | 27     | 157.99     | 144 | 0.2009      |
| 15     | 67.86      | 36  | 0.001       | 28     | 166.87     | 153 | 0.2095      |
| 16     | 70.25      | 45  | 0.0094      | 29     | 179.22     | 162 | 0.1682      |
| 17     | 81.15      | 54  | 0.0098      | 30     | 193.48     | 171 | 0.1148      |
| 18     | 87.13      | 63  | 0.0237      | 31     | 198.18     | 180 | 0.1678      |
| 19     | 95.18      | 72  | 0.0351      | 32     | 208.96     | 189 | 0.1523      |
| 20     | 102.74     | 81  | 0.0519      | 33     | 214.22     | 198 | 0.2041      |
| 21     | 119.61     | 90  | 0.0201      | 34     | 217.53     | 207 | 0.2941      |
| 22     | 127.2      | 99  | 0.0296      | 35     | 232.52     | 216 | 0.2097      |
| 23     | 135.09     | 108 | 0.0398      | 36     | 240.84     | 225 | 0.2233      |
| 24     | 139.98     | 117 | 0.0726      |        |            |     |             |

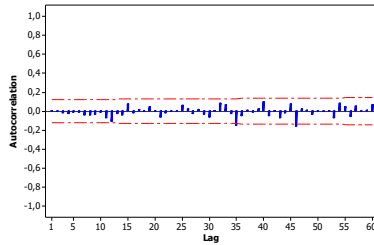
ACF Residual Kadar Air VARI (11,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (11,1)



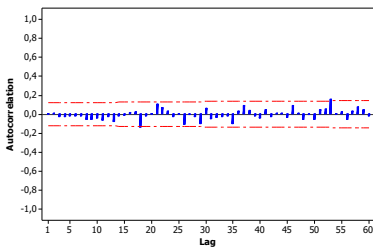
ACF Residual BJB VARI (11,1)



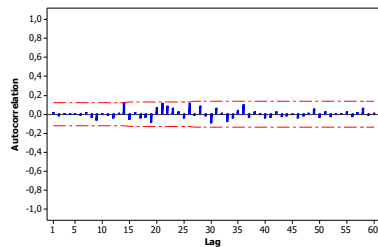
Lampiran G12. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (12,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 13     | 25.02      | 9   | 0.0029      | 25     | 130.72     | 117 | 0.1822      |
| 14     | 39.88      | 18  | 0.0022      | 26     | 139.42     | 126 | 0.1952      |
| 15     | 56.25      | 27  | 0.0008      | 27     | 146.89     | 135 | 0.2286      |
| 16     | 58.57      | 36  | 0.0101      | 28     | 154.69     | 144 | 0.2565      |
| 17     | 67.12      | 45  | 0.0179      | 29     | 168.56     | 153 | 0.1844      |
| 18     | 73.43      | 54  | 0.0404      | 30     | 181.52     | 162 | 0.14        |
| 19     | 81.77      | 63  | 0.0562      | 31     | 187.24     | 171 | 0.1874      |
| 20     | 89.95      | 72  | 0.0748      | 32     | 195.99     | 180 | 0.1966      |
| 21     | 106.39     | 81  | 0.0308      | 33     | 202.11     | 189 | 0.244       |
| 22     | 113.45     | 90  | 0.048       | 34     | 208.7      | 198 | 0.2872      |
| 23     | 120.87     | 99  | 0.0669      | 35     | 222.3      | 207 | 0.2216      |
| 24     | 125.37     | 108 | 0.1213      | 36     | 232.18     | 216 | 0.2143      |

ACF Residual Kadar Air VARI (12,1)

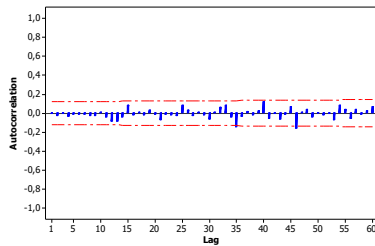


ACF Residual Warna Larutan VARI (12,1)





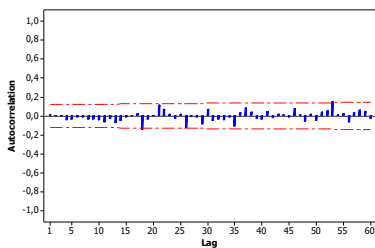
ACF Residual BJB VARI (12,1)



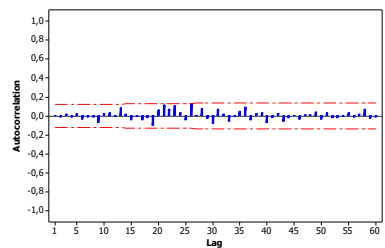
Lampiran G13. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (13,1)

| To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|-----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 14     | 27.5       | 9   | 0.0012      | 26     | 129.43     | 117 | 0.2036      |
| 15     | 42.93      | 18  | 0.0008      | 27     | 135.42     | 126 | 0.2673      |
| 16     | 45.78      | 27  | 0.0134      | 28     | 141.6      | 135 | 0.3316      |
| 17     | 54.26      | 36  | 0.0259      | 29     | 154.26     | 144 | 0.2644      |
| 18     | 61.04      | 45  | 0.0557      | 30     | 166.59     | 153 | 0.214       |
| 19     | 69.19      | 54  | 0.0798      | 31     | 173.42     | 162 | 0.2556      |
| 20     | 76.15      | 63  | 0.1236      | 32     | 181.52     | 171 | 0.2764      |
| 21     | 91.98      | 72  | 0.0563      | 33     | 187.13     | 180 | 0.3424      |
| 22     | 98.75      | 81  | 0.0876      | 34     | 193.64     | 189 | 0.3932      |
| 23     | 107.2      | 90  | 0.1044      | 35     | 206.56     | 198 | 0.3236      |
| 24     | 112.89     | 99  | 0.1607      | 36     | 216.56     | 207 | 0.3101      |
| 25     | 118.21     | 108 | 0.236       |        |            |     |             |

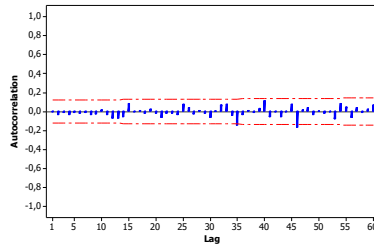
ACF Residual Kadar Air VARI (13,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (13,1)



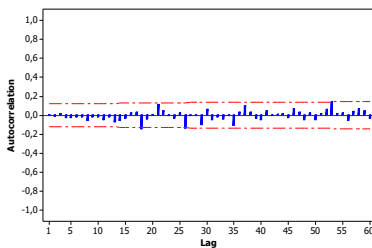
ACF Residual BJB VARI (13,1)



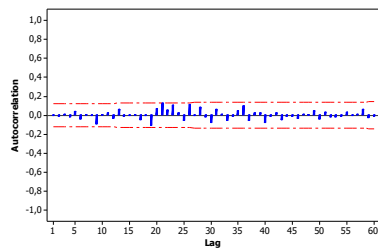
Lampiran G14. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (14,1)

| To Lag | Chi-Square | DF | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 15     | 26.21      | 9  | 0.0019      | 26     | 115.8      | 108 | 0.2865      |
| 16     | 29.56      | 18 | 0.0419      | 27     | 121.57     | 117 | 0.3676      |
| 17     | 40.69      | 27 | 0.0441      | 28     | 127.91     | 126 | 0.4358      |
| 18     | 49.13      | 36 | 0.071       | 29     | 140.24     | 135 | 0.3613      |
| 19     | 56.45      | 45 | 0.1177      | 30     | 152.79     | 144 | 0.2922      |
| 20     | 61.08      | 54 | 0.2367      | 31     | 158.81     | 153 | 0.3571      |
| 21     | 78.09      | 63 | 0.0955      | 32     | 167.23     | 162 | 0.3729      |
| 22     | 85.48      | 72 | 0.1324      | 33     | 173.57     | 171 | 0.4309      |
| 23     | 94.35      | 81 | 0.1473      | 34     | 180.01     | 180 | 0.4858      |
| 24     | 99.45      | 90 | 0.2326      | 35     | 192.24     | 189 | 0.4208      |
| 25     | 105.74     | 99 | 0.303       | 36     | 202.66     | 198 | 0.3952      |

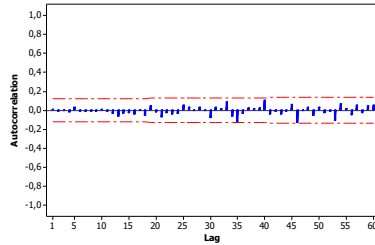
ACF Residual Kadar Air VARI (14,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (14,1)



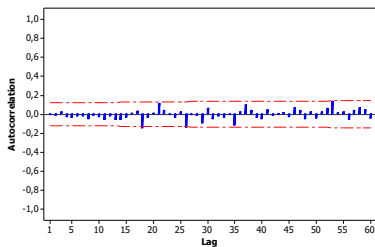
ACF Residual BJB VARI (14,1)



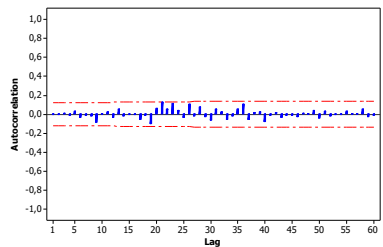
Lampiran G15. Uji Portmanteau dan ACF Residual VARI (15,1)

| To Lag | Chi-Square | DF | Prob> Chisq | To Lag | Chi-Square | DF  | Prob> Chisq |
|--------|------------|----|-------------|--------|------------|-----|-------------|
| 16     | 29.07      | 9  | 0.0006      | 27     | 121.52     | 108 | 0.1764      |
| 17     | 40.63      | 18 | 0.0017      | 28     | 126.77     | 117 | 0.2531      |
| 18     | 49.28      | 27 | 0.0055      | 29     | 138.31     | 126 | 0.2138      |
| 19     | 56.68      | 36 | 0.0154      | 30     | 150.49     | 135 | 0.1713      |
| 20     | 61.11      | 45 | 0.0551      | 31     | 156.54     | 144 | 0.2244      |
| 21     | 77.59      | 54 | 0.0194      | 32     | 164.86     | 153 | 0.2422      |
| 22     | 84.42      | 63 | 0.0372      | 33     | 173.07     | 162 | 0.2616      |
| 23     | 94.56      | 72 | 0.0386      | 34     | 180.13     | 171 | 0.3012      |
| 24     | 99.56      | 81 | 0.0791      | 35     | 192.01     | 180 | 0.2565      |
| 25     | 105.36     | 90 | 0.1283      | 36     | 202.54     | 189 | 0.2374      |
| 26     | 115.7      | 99 | 0.1204      |        |            |     |             |

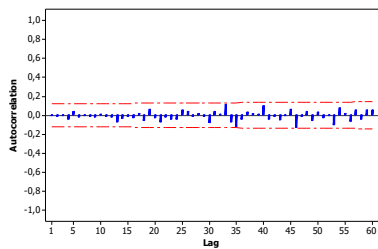
ACF Residual Kadar Air VARI (15,1)



ACF Residual Warna Larutan VARI (15,1)



ACF Residual BJB VARI (15,1)



## Lampiran H. Output VARI (14,1) Data Karakteristik Kualitas GKP Periode Giling Tahun 2017

| The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 1                |             |          |           |             |          |         |            |
|---|-------------|----------|-----------|-------------|----------|---------|------------|
| The VARMAX Procedure  |             |          |           |             |          |         |            |
| Number of Observations 266                                  |             |          |           |             |          |         |            |
| Number of Pairwise Missing 0                                |             |          |           |             |          |         |            |
| Observation(s) eliminated by differencing 1                 |             |          |           |             |          |         |            |
| Variable  | Type        | N        | Mean      | StdDev      | Min      | Max     | Difference |
| kadar   | DEP         | 266      | 0         | 0.02476     | -0.07000 | 0.10000 | 1          |
| warna   | DEP         | 266      | -0.02820  | 2.09737     | -5.41000 | 8.55000 | 1          |
| bjb   | DEP         | 266      | 0.0004135 | 0.07646     | -0.23000 | 0.25000 | 1          |
| Dickey-Fuller Unit Root Tests                               |             |          |           |             |          |         |            |
| Variable  | Type        | Rho      | Prob<Rho  | Tau         | Prob<Tau |         |            |
| kadar   | Zero Mean   | -676.838 | 0.0001    | -18.50      | <.0001   |         |            |
|   | Single Mean | -676.905 | 0.0001    | -18.47      | <.0001   |         |            |
|   | Trend       | -677.196 | 0.0001    | -18.44      | <.0001   |         |            |
| warna   | Zero Mean   | -808.294 | 0.0001    | -20.01      | <.0001   |         |            |
|   | Single Mean | -809.472 | 0.0001    | -19.99      | <.0001   |         |            |
|   | Trend       | -810.302 | 0.0001    | -19.96      | <.0001   |         |            |
| bjb   | Zero Mean   | -981.935 | 0.0001    | -22.11      | <.0001   |         |            |
|   | Single Mean | -982.483 | 0.0001    | -22.08      | <.0001   |         |            |
|   | Trend       | -982.452 | 0.0001    | -22.04      | <.0001   |         |            |
| Cross-Correlation Matrices of Endogenous (Dependent) Series |             |          |           |             |          |         |            |
| Lag   | Variable    | kadar    | warna     | bjb         |          |         |            |
| 0   | kadar       | 1.00000  | 0.03250   | -0.08912    |          |         |            |
|   | warna       | 0.03250  | 1.00000   | -0.16109    |          |         |            |
|   | bjb         | -0.08912 | -0.16109  | 1.00000     |          |         |            |
| 1   | kadar       | -0.38362 | -0.07414  | 0.12083     |          |         |            |
|   | warna       | -0.00954 | -0.47801  | 0.01344     |          |         |            |
|   | bjb         | -0.03785 | 0.13438   | -0.45342    |          |         |            |
| 2   | kadar       | -0.10160 | 0.11583   | -0.06201    |          |         |            |
|   | warna       | 0.06091  | -0.04057  | 0.06181     |          |         |            |
|   | bjb         | 0.07781  | -0.01725  | -0.14194    |          |         |            |
| 3   | kadar       | -0.05296 | -0.09303  | -0.01597    |          |         |            |
|   | warna       | -0.12636 | 0.09949   | -0.00770    |          |         |            |
|   | bjb         | 0.01697  | 0.00762   | 0.15193     |          |         |            |
| 4   | kadar       | 0.07574  | 0.04275   | -0.01377    |          |         |            |
|   | warna       | 0.07638  | -0.07019  | -0.04944    |          |         |            |
|   | bjb         | -0.06162 | 0.01289   | -0.03874    |          |         |            |
| 5   | kadar       | -0.04803 | -0.01281  | 0.01414     |          |         |            |
|   | warna       | 0.01555  | -0.04903  | -0.00164    |          |         |            |
|   | bjb         | 0.07271  | -0.09251  | -0.04692    |          |         |            |
| 6   | kadar       | 0.03756  | -0.04017  | 0.02473     |          |         |            |
|   | warna       | 0.02151  | 0.19995   | -0.05336    |          |         |            |
|   | bjb         | -0.07455 | -0.00161  | 0.12384     |          |         |            |
| 7   | kadar       | -0.05296 | 0.07164   | -0.03570    |          |         |            |
|   | warna       | -0.07258 | -0.18981  | 0.09255     |          |         |            |
|   | bjb         | 0.04965  | 0.14883   | -0.13733    |          |         |            |
| 8   | kadar       | 0.04495  | 0.06518   | 0.02510     |          |         |            |
|   | warna       | 0.00970  | 0.01912   | 0.05661     |          |         |            |
|   | bjb         | -0.03546 | -0.10155  | -0.00049282 |          |         |            |
| 9   | kadar       | -0.01539 | -0.12489  | 0.06082     |          |         |            |
|   | warna       | -0.09459 | 0.09865   | -0.12572    |          |         |            |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 2

## The VARMAX Procedure

## Cross-Correlation Matrices of Endogenous (Dependent) Series

| Lag | Variable | kadar      | warna    | bjb        |
|-----|----------|------------|----------|------------|
| 9   | bjb      | 0.06461    | -0.04348 | 0.11699    |
| 10  | kadar    | -0.00431   | -0.00308 | -0.08752   |
|     | warna    | 0.15323    | -0.10008 | 0.03494    |
|     | bjb      | -0.06859   | 0.14657  | -0.11156   |
| 11  | kadar    | 0.01416    | 0.05708  | -0.00358   |
|     | warna    | -0.07158   | -0.02721 | 0.03592    |
|     | bjb      | -0.06977   | -0.18325 | 0.07340    |
| 12  | kadar    | 0.00123    | 0.04212  | 0.11823    |
|     | warna    | 0.02251    | 0.10261  | -0.00310   |
|     | bjb      | 0.20579    | 0.12578  | -0.03684   |
| 13  | kadar    | -0.00308   | -0.15515 | -0.12579   |
|     | warna    | 0.05373    | -0.14257 | 0.01794    |
|     | bjb      | -0.13478   | -0.02031 | -0.00254   |
| 14  | kadar    | -0.00308   | 0.13032  | 0.10210    |
|     | warna    | -0.13066   | 0.18142  | -0.06077   |
|     | bjb      | 0.00238    | -0.04071 | -0.03312   |
| 15  | kadar    | -0.01970   | -0.08033 | -0.10986   |
|     | warna    | 0.08885    | -0.09028 | 0.05792    |
|     | bjb      | 0.02873    | 0.00136  | 0.11837    |
| 16  | kadar    | 0.02463    | 0.06614  | 0.07259    |
|     | warna    | -0.06316   | -0.02495 | 0.01732    |
|     | bjb      | 0.07220    | 0.07760  | -0.12371   |
| 17  | kadar    | 0.00123    | -0.02546 | -0.06996   |
|     | warna    | 0.08161    | 0.02192  | -0.09783   |
|     | bjb      | -0.12560   | -0.08016 | 0.06239    |
| 18  | kadar    | -0.08621   | 0.01367  | 0.06741    |
|     | warna    | -0.01715   | 0.06811  | 0.05798    |
|     | bjb      | 0.08954    | 0.06036  | -0.02370   |
| 19  | kadar    | 0.07328    | -0.05550 | -0.07097   |
|     | warna    | -0.05375   | -0.18465 | 0.05586    |
|     | bjb      | -0.10986   | 0.02372  | 0.00167    |
| 20  | kadar    | -0.04926   | 0.05899  | 0.07936    |
|     | warna    | 0.02312    | 0.15405  | -0.17212   |
|     | bjb      | 0.10569    | -0.14378 | 0.02453    |
| 21  | kadar    | 0.09483    | -0.03085 | 0.01735    |
|     | warna    | -0.00107   | -0.06375 | 0.18886    |
|     | bjb      | -0.07474   | 0.16809  | -0.00809   |
| 22  | kadar    | -0.03571   | 0.01342  | -0.04346   |
|     | warna    | -0.02418   | 0.02233  | -0.02407   |
|     | bjb      | 0.01180    | -0.07632 | -0.02737   |
| 23  | kadar    | 0.02525    | -0.01634 | -0.03668   |
|     | warna    | 0.08907    | 0.07115  | -0.17272   |
|     | bjb      | 0.04269    | -0.07716 | 0.00846    |
| 24  | kadar    | -0.00739   | 0.02656  | 0.01615    |
|     | warna    | -0.0006602 | -0.01584 | 0.16724    |
|     | bjb      | -0.00517   | 0.10259  | -0.00720   |
| 25  | kadar    | 0.01539    | -0.02266 | 0.01534    |
|     | warna    | -0.07115   | -0.15301 | 0.00017806 |
|     | bjb      | -0.01296   | 0.00149  | 0.04087    |
| 26  | kadar    | -0.08621   | 0.01903  | 0.00717    |
|     | warna    | 0.07796    | 0.19228  | -0.07294   |
|     | bjb      | -0.03906   | -0.06785 | -0.00738   |
| 27  | kadar    | -0.00739   | -0.07667 | 0.03050    |
|     | warna    | -0.05414   | -0.11051 | 0.00573    |
|     | bjb      | 0.09213    | 0.08195  | -0.07652   |
| 28  | kadar    | 0.08374    | 0.14624  | -0.07796   |

The VARMAX Procedure

Cross-Correlation Matrices of Endogenous (Dependent) Series

| Lag | Variable | kadar    | warna    | bjb      |
|-----|----------|----------|----------|----------|
| 28  | warna    | -0.05957 | 0.07348  | 0.03248  |
|     | bjb      | -0.04307 | -0.10758 | 0.11282  |
| 29  | kadar    | -0.10653 | -0.15204 | 0.07257  |
|     | warna    | 0.09198  | 0.00320  | -0.04442 |
| 30  | bjb      | -0.07555 | 0.02385  | -0.01851 |
|     | kadar    | 0.10160  | 0.13269  | -0.01017 |
| 31  | warna    | -0.01632 | -0.13544 | 0.07646  |
|     | bjb      | 0.02797  | 0.16151  | -0.11263 |
| 32  | kadar    | 0.01047  | -0.03703 | -0.05146 |
|     | warna    | -0.05659 | 0.12217  | -0.08305 |
| 33  | bjb      | 0.12206  | -0.17097 | 0.06620  |
|     | kadar    | -0.02771 | -0.10169 | 0.08114  |
| 34  | warna    | 0.02395  | 0.02558  | 0.04143  |
|     | bjb      | -0.11645 | 0.03916  | 0.03962  |
| 35  | kadar    | -0.01663 | 0.12188  | -0.03728 |
|     | warna    | 0.03372  | -0.09460 | 0.04699  |
| 36  | bjb      | 0.04686  | 0.04766  | -0.00797 |
|     | kadar    | 0.02586  | -0.02382 | -0.03610 |
| 37  | warna    | -0.03044 | 0.01157  | -0.13100 |
|     | bjb      | -0.05483 | -0.05008 | 0.03635  |
| 38  | kadar    | -0.07389 | -0.06398 | 0.00857  |
|     | warna    | 0.02736  | 0.00430  | 0.14551  |
| 39  | bjb      | 0.07432  | 0.00914  | -0.14231 |
|     | kadar    | 0.00985  | 0.03807  | 0.05324  |
| 40  | warna    | -0.00775 | 0.06139  | -0.04249 |
|     | bjb      | -0.04013 | 0.04675  | 0.08756  |

Schematic Representation of Cross Correlations

| Variable/<br>Lag | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| kadar            | +  | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| warna            | .. | +  | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| bjb              | .. | .. | +  | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |

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

Schematic Representation of Cross Correlations

| Variable/<br>Lag | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| kadar            | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | +  | .. | +  | .. | .. | .. | .. |
| warna            | .. | .. | +  | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| bjb              | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |

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

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 4

## The VARMAX Procedure

## Minimum Information Criterion

| Lag   | MA 0      | MA 1      | MA 2      | MA 3      | MA 4      | MA 5      |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| AR 0  | -11.25427 | -12.37204 | -12.36875 | -12.33894 | -12.31779 | -12.281   |
| AR 1  | -11.88137 | -12.35216 | -12.40718 | -12.35892 | -12.32468 | -12.28092 |
| AR 2  | -12.26298 | -12.40241 | -12.3888  | -12.38743 | -12.35858 | -12.32942 |
| AR 3  | -12.32535 | -12.3793  | -12.36294 | -12.35823 | -12.31119 | -12.30264 |
| AR 4  | -12.3209  | -12.34664 | -12.32926 | -12.32874 | -12.29764 | -12.25761 |
| AR 5  | -12.3484  | -12.3423  | -12.35529 | -12.31686 | -12.26582 | -12.22793 |
| AR 6  | -12.36173 | -12.33636 | -12.30571 | -12.27798 | -12.23417 | -12.21512 |
| AR 7  | -12.33518 | -12.25183 | -12.21767 | -12.18892 | -12.14259 | -12.12024 |
| AR 8  | -12.29289 | -12.20697 | -12.1188  | -12.08677 | -12.03797 | -12.01308 |
| AR 9  | -12.25397 | -12.16537 | -12.07439 | -11.98094 | -11.92947 | -11.90177 |
| AR 10 | -12.2035  | -12.11206 | -12.01814 | -11.92162 | -11.82239 | -11.79223 |
| AR 11 | -12.17199 | -12.07758 | -11.98055 | -11.88078 | -11.77816 | -11.67257 |
| AR 12 | -12.13968 | -12.04214 | -11.94183 | -11.83864 | -11.73245 | -11.62312 |
| AR 13 | -12.11729 | -12.01643 | -11.91267 | -11.80587 | -11.6959  | -11.58261 |
| AR 14 | -12.10554 | -12.0012  | -11.89378 | -11.78316 | -11.66918 | -11.5517  |
| AR 15 | -12.01627 | -11.90823 | -11.79695 | -11.68228 | -11.56406 | -11.44213 |
| AR 16 | -11.9708  | -11.85885 | -11.74348 | -11.62452 | -11.5018  | -11.37515 |
| AR 17 | -11.85249 | -11.73641 | -11.6167  | -11.49318 | -11.36569 | -11.23401 |
| AR 18 | -11.77214 | -11.65167 | -11.52735 | -11.399   | -11.26642 | -11.1294  |
| AR 19 | -11.71123 | -11.5861  | -11.45688 | -11.32338 | -11.18539 | -11.04266 |
| AR 20 | -11.66773 | -11.53764 | -11.40321 | -11.26423 | -11.12045 | -10.97163 |
| AR 21 | -11.56645 | -11.43108 | -11.2911  | -11.14626 | -10.99631 | -10.84098 |
| AR 22 | -11.45366 | -11.31266 | -11.16675 | -11.01565 | -10.8591  | -10.69678 |
| AR 23 | -11.39499 | -11.24799 | -11.09573 | -10.93794 | -10.7743  | -10.60449 |
| AR 24 | -11.37481 | -11.22137 | -11.06232 | -10.89735 | -10.72611 | -10.54824 |
| AR 25 | -11.22884 | -11.06852 | -10.90219 | -10.7295  | -10.55008 | -10.36353 |
| AR 26 | -11.13668 | -10.96897 | -10.7948  | -10.61381 | -10.42557 | -10.22966 |
| AR 27 | -10.9824  | -10.80673 | -10.62414 | -10.43418 | -10.23643 | -10.03037 |
| AR 28 | -10.86508 | -10.68085 | -10.48915 | -10.28953 | -10.08147 | -9.864422 |
| AR 29 | -10.82701 | -10.63354 | -10.43201 | -10.2219  | -10.00266 | -9.773674 |
| AR 30 | -10.71935 | -10.51588 | -10.3037  | -10.08222 | -9.850817 | -9.608821 |
| AR 31 | -10.53535 | -10.32105 | -10.09728 | -9.863428 | -9.618778 | -9.362569 |
| AR 32 | -10.36331 | -10.13723 | -9.900863 | -9.653505 | -9.394369 | -9.122592 |
| AR 33 | -10.21442 | -9.975497 | -9.725378 | -9.463253 | -9.188236 | -8.899353 |
| AR 34 | -10.03378 | -9.780838 | -9.515661 | -9.237335 | -8.944857 | -8.63712  |
| AR 35 | -9.773652 | -9.505359 | -9.223652 | -8.927498 | -8.615757 | -8.287166 |
| AR 36 | -9.648402 | -9.363239 | -9.063326 | -8.747488 | -8.414423 | -8.062681 |

## Partial Autoregression Matrices

| Lag | Variable | kadar    | warna       | bjb         |
|-----|----------|----------|-------------|-------------|
| 1   | kadar    | -0.38993 | -0.00010372 | -0.02397    |
|     | warna    | -4.58435 | -0.46751    | 1.48796     |
| 2   | bjb      | 0.25391  | -0.00229    | -0.45619    |
|     | kadar    | -0.28646 | 0.00090564  | 0.00945     |
| 3   | warna    | 5.79380  | -0.33992    | 1.04166     |
|     | bjb      | -0.02284 | -0.00073406 | -0.43384    |
| 4   | kadar    | -0.27308 | -0.00080620 | 0.01084     |
|     | warna    | -1.50569 | -0.11878    | 2.45497     |
| 5   | bjb      | -0.04191 | 0.00012080  | -0.21849    |
|     | kadar    | -0.15369 | -0.00011888 | -0.00071105 |
| 6   | warna    | 2.55848  | -0.12663    | 2.38580     |
|     | bjb      | -0.21906 | -0.00113    | -0.18477    |
| 7   | kadar    | -0.15147 | 0.00035242  | 0.03019     |



The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 5

## The VARMAX Procedure

## Partial Autoregression Matrices

| Lag | Variable | kadar     | warna       | bjb         |
|-----|----------|-----------|-------------|-------------|
| 5   | warna    | 0.94828   | -0.18231    | -1.90237    |
|     | bjb      | -0.24211  | -0.00324    | -0.19009    |
| 6   | kadar    | -0.10195  | 0.00102     | -0.00001794 |
|     | warna    | -4.20346  | 0.08337     | -3.13295    |
|     | bjb      | -0.08550  | -0.00697    | -0.02305    |
| 7   | kadar    | -0.12475  | 0.00003606  | 0.01813     |
|     | warna    | 4.54191   | -0.02632    | 1.00462     |
|     | bjb      | -0.27346  | -0.00353    | -0.11211    |
| 8   | kadar    | -0.08628  | -0.00046358 | -0.01404    |
|     | warna    | 11.15645  | -0.07204    | 0.96101     |
|     | bjb      | -0.11241  | 0.00153     | -0.12457    |
| 9   | kadar    | -0.07003  | -0.00202    | 0.01383     |
|     | warna    | 2.34631   | -0.01566    | -1.64762    |
|     | bjb      | 0.20859   | -0.00109    | -0.03112    |
| 10  | kadar    | -0.08630  | -0.00038066 | 0.01027     |
|     | warna    | -2.24628  | -0.05260    | 2.37667     |
|     | bjb      | -0.09375  | -0.00179    | -0.14938    |
| 11  | kadar    | -0.04378  | -0.00133    | -0.05778    |
|     | warna    | -0.24497  | -0.12064    | -3.39403    |
|     | bjb      | -0.10748  | -0.00176    | -0.03090    |
| 12  | kadar    | -0.03118  | -0.00030575 | 0.04357     |
|     | warna    | 11.32282  | -0.04939    | 0.83609     |
|     | bjb      | 0.31795   | 0.00028175  | -0.05983    |
| 13  | kadar    | -0.04905  | 0.00094757  | -0.00943    |
|     | warna    | -10.27757 | -0.15049    | -1.93117    |
|     | bjb      | 0.09507   | 0.00104     | -0.00993    |
| 14  | kadar    | -0.02649  | -0.00150    | -0.01554    |
|     | warna    | 1.16626   | 0.07219     | -0.90354    |
|     | bjb      | 0.38621   | -0.00386    | -0.14693    |
| 15  | kadar    | -0.01884  | -0.00010859 | 0.00297     |
|     | warna    | -4.74657  | -0.02144    | -1.59252    |
|     | bjb      | -0.12166  | 0.00266     | 0.00730     |
| 16  | kadar    | 0.01667   | -0.00151    | 0.04421     |
|     | warna    | 0.64937   | 0.01041     | -0.33932    |
|     | bjb      | 0.19616   | 0.00271     | -0.06109    |
| 17  | kadar    | -0.00197  | 0.00035583  | 0.00999     |
|     | warna    | 1.68984   | -0.04703    | -0.17229    |
|     | bjb      | -0.15759  | -0.00156    | -0.02321    |
| 18  | kadar    | -0.12295  | 0.00055215  | 0.02488     |
|     | warna    | 3.48688   | 0.08788     | 1.90880     |
|     | bjb      | -0.05980  | -0.00184    | -0.07622    |
| 19  | kadar    | -0.04477  | -0.00123    | -0.03070    |
|     | warna    | -1.59937  | -0.13375    | 2.37519     |
|     | bjb      | -0.33671  | 0.00303     | -0.00285    |
| 20  | kadar    | -0.15872  | -0.00043947 | -0.00439    |
|     | warna    | 1.23117   | -0.12429    | -3.21297    |
|     | bjb      | -0.14732  | -0.00406    | 0.02301     |
| 21  | kadar    | -0.03691  | -0.00094965 | -0.02653    |
|     | warna    | -1.67069  | -0.04205    | 1.96813     |
|     | bjb      | 0.20208   | 0.00228     | -0.00115    |
| 22  | kadar    | -0.04009  | -0.00140    | -0.03021    |
|     | warna    | -2.26600  | -0.01503    | -0.01957    |
|     | bjb      | 0.12170   | 0.00196     | 0.06100     |
| 23  | kadar    | 0.04142   | 0.00039976  | 0.00418     |
|     | warna    | -3.23986  | 0.10636     | -3.44856    |
|     | bjb      | -0.20736  | -0.00340    | -0.04919    |

The VARMAX Procedure

Partial Autoregression Matrices

| Lag | Variable | kadar     | warna       | bjb         |
|-----|----------|-----------|-------------|-------------|
| 24  | kadar    | 0.01413   | 0.00051450  | -0.00076164 |
|     | warna    | -0.21893  | 0.14289     | -2.29998    |
|     | bjb      | -0.18413  | -0.00292    | -0.13488    |
| 25  | kadar    | 0.11188   | 0.00035389  | 0.01105     |
|     | warna    | 0.86471   | -0.07362    | 0.80099     |
|     | bjb      | -0.04790  | 0.00064949  | -0.02971    |
| 26  | kadar    | -0.00695  | 0.00134     | -0.01299    |
|     | warna    | 0.03430   | 0.08139     | 1.70980     |
|     | bjb      | 0.00109   | 0.00209     | 0.01574     |
| 27  | kadar    | -0.05517  | -0.00044168 | 0.01149     |
|     | warna    | -4.77684  | -0.00080172 | 1.30913     |
|     | bjb      | 0.16302   | -0.00200    | -0.06762    |
| 28  | kadar    | 0.00922   | -0.00143    | 0.02112     |
|     | warna    | 1.37440   | 0.02947     | -1.35255    |
|     | bjb      | -0.00671  | 0.00262     | -0.00247    |
| 29  | kadar    | -0.19989  | 0.00027547  | -0.03624    |
|     | warna    | -9.96576  | -0.01046    | -1.50306    |
|     | bjb      | 0.07764   | 0.00080263  | 0.08985     |
| 30  | kadar    | -0.02898  | 0.00030583  | -0.02821    |
|     | warna    | -2.37344  | -0.12913    | 1.34933     |
|     | bjb      | 0.20122   | 0.00199     | -0.03673    |
| 31  | kadar    | 0.05117   | -0.00010150 | 0.01290     |
|     | warna    | 2.86028   | 0.03631     | 0.77430     |
|     | bjb      | -0.19857  | -0.00533    | -0.05674    |
| 32  | kadar    | -0.05600  | 0.00022591  | -0.00656    |
|     | warna    | -11.11600 | 0.05116     | -0.31856    |
|     | bjb      | 0.21434   | 0.00079552  | -0.09276    |
| 33  | kadar    | 0.03989   | -0.00022856 | 0.01956     |
|     | warna    | 4.86097   | 0.06618     | 0.10859     |
|     | bjb      | -0.23352  | 0.00375     | 0.08782     |
| 34  | kadar    | -0.02362  | -0.00075110 | -0.01317    |
|     | warna    | 5.86400   | -0.04613    | 1.89920     |
|     | bjb      | 0.32396   | -0.00383    | 0.10410     |
| 35  | kadar    | -0.08621  | 0.00055775  | 0.01938     |
|     | warna    | -1.30081  | -0.04340    | -1.51528    |
|     | bjb      | -0.11127  | 0.00291     | 0.00958     |
| 36  | kadar    | -0.18645  | 0.00018091  | -0.01098    |
|     | warna    | 1.06138   | 0.16084     | 2.30082     |
|     | bjb      | 0.14796   | 0.00114     | -0.02581    |

Schematic Representation of Partial Autoregression

| Variable/<br>Lag | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| kadar            | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| warna            | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| bjb              | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |

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

The VARMAX Procedure

Schematic Representation of Partial Autoregression

| Variable/<br>Lag | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  | 32  | 33  | 34  | 35  | 36  |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| kadar            | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| warna            | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| bjb              | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

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

Partial Cross Correlation Matrices

| Lag | Variable | kadar    | warna       | bjb      |
|-----|----------|----------|-------------|----------|
| 1   | kadar    | -0.38176 | -0.05470    | 0.07596  |
|     | warna    | 0.00140  | -0.47803    | -0.06427 |
|     | bjb      | -0.07917 | 0.05715     | -0.45385 |
| 2   | kadar    | -0.28690 | 0.07099     | 0.00484  |
|     | warna    | 0.07092  | -0.34604    | -0.00422 |
|     | bjb      | 0.01355  | 0.03348     | -0.42773 |
| 3   | kadar    | -0.27320 | -0.02057    | -0.01997 |
|     | warna    | -0.07451 | -0.13321    | 0.01486  |
|     | bjb      | 0.02699  | 0.08697     | -0.20414 |
| 4   | kadar    | -0.15947 | 0.02976     | -0.07355 |
|     | warna    | -0.01020 | -0.13768    | -0.02733 |
|     | bjb      | -0.00822 | 0.08129     | -0.16975 |
| 5   | kadar    | -0.15937 | 0.01269     | -0.08386 |
|     | warna    | 0.01412  | -0.17475    | -0.09154 |
|     | bjb      | 0.08357  | -0.06651    | -0.18944 |
| 6   | kadar    | -0.10157 | -0.04937    | -0.03970 |
|     | warna    | 0.06211  | 0.09894     | -0.18419 |
|     | bjb      | 0.00925  | -0.10522    | -0.03526 |
| 7   | kadar    | -0.13367 | 0.05486     | -0.09145 |
|     | warna    | -0.01341 | -0.03018    | -0.09204 |
|     | bjb      | 0.05133  | 0.03074     | -0.10102 |
| 8   | kadar    | -0.09308 | 0.13506     | -0.02182 |
|     | warna    | -0.02576 | -0.07310    | 0.05446  |
|     | bjb      | -0.04259 | 0.02367     | -0.12207 |
| 9   | kadar    | -0.06655 | 0.03043     | 0.07760  |
|     | warna    | -0.17383 | -0.00556    | -0.02965 |
|     | bjb      | 0.04546  | -0.05921    | -0.04324 |
| 10  | kadar    | -0.08743 | -0.02934    | -0.03573 |
|     | warna    | -0.03571 | -0.06495    | -0.03897 |
|     | bjb      | 0.02021  | 0.08352     | -0.13833 |
| 11  | kadar    | -0.04241 | -0.00023487 | -0.03903 |
|     | warna    | -0.08190 | -0.10159    | -0.06164 |
|     | bjb      | -0.15549 | -0.11542    | -0.04618 |
| 12  | kadar    | -0.02870 | 0.13864     | 0.13347  |
|     | warna    | -0.04468 | -0.05203    | 0.01244  |
|     | bjb      | 0.11907  | 0.01786     | -0.06271 |
| 13  | kadar    | -0.04316 | -0.12327    | 0.01513  |
|     | warna    | 0.08758  | -0.14060    | 0.01454  |
|     | bjb      | -0.02312 | -0.05622    | -0.02129 |
| 14  | kadar    | -0.01539 | 0.01588     | 0.14282  |
|     | warna    | -0.12319 | 0.07764     | -0.07747 |
|     | bjb      | -0.05164 | -0.03356    | -0.16254 |
| 15  | kadar    | -0.02071 | -0.05703    | -0.05296 |
|     | warna    | -0.00382 | -0.01103    | 0.07431  |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 8

## The VARMAX Procedure

## Partial Cross Correlation Matrices

| Lag | Variable | kadar    | warna      | bjb         |
|-----|----------|----------|------------|-------------|
| 15  | bjb      | 0.01207  | -0.05096   | 0.00231     |
| 16  | kadar    | 0.01983  | 0.00853    | 0.07398     |
|     | warna    | -0.13863 | 0.01326    | 0.09057     |
|     | bjb      | 0.11829  | -0.01255   | -0.06484    |
| 17  | kadar    | -0.00747 | 0.02039    | -0.05384    |
|     | warna    | 0.02288  | -0.04506   | -0.04836    |
|     | bjb      | 0.02695  | -0.00687   | -0.02031    |
| 18  | kadar    | -0.12871 | 0.04105    | -0.01711    |
|     | warna    | 0.02548  | 0.07485    | -0.02841    |
|     | bjb      | 0.06906  | 0.06144    | -0.06458    |
| 19  | kadar    | -0.05107 | -0.02152   | -0.12595    |
|     | warna    | -0.07270 | -0.14549   | 0.06478     |
|     | bjb      | -0.08710 | 0.08254    | 0.01309     |
| 20  | kadar    | -0.16429 | 0.01694    | -0.05541    |
|     | warna    | -0.03979 | -0.10275   | -0.13799    |
|     | bjb      | 0.00251  | -0.10975   | 0.01164     |
| 21  | kadar    | -0.02922 | -0.02115   | 0.06866     |
|     | warna    | -0.05586 | -0.05302   | 0.05623     |
|     | bjb      | -0.07614 | 0.06897    | 0.00284     |
| 22  | kadar    | -0.03459 | -0.02727   | 0.03766     |
|     | warna    | -0.09299 | -0.01402   | 0.04028     |
|     | bjb      | -0.07888 | 0.00123    | 0.05741     |
| 23  | kadar    | 0.03807  | -0.03729   | -0.07832    |
|     | warna    | 0.01902  | 0.12602    | -0.06844    |
|     | bjb      | 0.01038  | -0.11653   | -0.06192    |
| 24  | kadar    | 0.01023  | -0.00122   | -0.06343    |
|     | warna    | 0.03225  | 0.15349    | -0.03458    |
|     | bjb      | -0.00911 | -0.08052   | -0.14419    |
| 25  | kadar    | 0.11104  | 0.00993    | -0.01264    |
|     | warna    | 0.02460  | -0.07683   | 0.01309     |
|     | bjb      | 0.02014  | 0.02713    | -0.02440    |
| 26  | kadar    | -0.00607 | -0.00114   | -0.00034496 |
|     | warna    | 0.11460  | 0.06951    | 0.07022     |
|     | bjb      | -0.03760 | 0.05864    | 0.02356     |
| 27  | kadar    | -0.05141 | -0.06029   | 0.05055     |
|     | warna    | -0.04272 | -0.00777   | -0.04822    |
|     | bjb      | 0.03068  | 0.04923    | -0.06408    |
| 28  | kadar    | 0.00745  | 0.01818    | 0.00052532  |
|     | warna    | -0.11969 | 0.03688    | 0.07786     |
|     | bjb      | 0.00603  | -0.04811   | -0.00862    |
| 29  | kadar    | -0.19781 | -0.12260   | 0.00299     |
|     | warna    | 0.04306  | 0.00080062 | 0.00825     |
|     | bjb      | -0.08311 | -0.04307   | 0.00072     |
| 30  | kadar    | -0.02314 | -0.02999   | 0.06804     |
|     | warna    | 0.04199  | -0.13208   | 0.04270     |
|     | bjb      | -0.08188 | 0.04960    | -0.03771    |
| 31  | kadar    | 0.04702  | 0.03406    | -0.06357    |
|     | warna    | -0.02320 | 0.02986    | -0.13643    |
|     | bjb      | 0.02990  | 0.02355    | -0.04671    |
| 32  | kadar    | -0.05112 | -0.13574   | 0.06102     |
|     | warna    | 0.02408  | 0.05447    | 0.04292     |
|     | bjb      | -0.01994 | 0.00002333 | -0.10191    |
| 33  | kadar    | 0.03387  | 0.05905    | -0.07830    |
|     | warna    | -0.02220 | 0.06271    | 0.10222     |
|     | bjb      | 0.05865  | -0.00109   | 0.09731     |
| 34  | kadar    | -0.01620 | 0.07038    | 0.12311     |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 9

The VARMAX Procedure

Partial Cross Correlation Matrices

| Lag | Variable | kadar    | warna    | bjb      |
|-----|----------|----------|----------|----------|
| 34  | warna    | -0.06082 | -0.05660 | -0.13671 |
|     | bjb      | -0.02993 | 0.06114  | 0.10596  |
| 35  | kadar    | -0.09062 | -0.01435 | -0.04528 |
|     | warna    | 0.04039  | -0.03368 | 0.07805  |
| 36  | bjb      | 0.06386  | -0.05090 | 0.00683  |
|     | kadar    | -0.18263 | 0.01070  | 0.05236  |
|     | warna    | 0.01912  | 0.14222  | 0.05976  |
|     | bjb      | -0.01706 | 0.07769  | -0.02049 |

Schematic Representation of Partial Cross Correlations

| Variable/<br>Lag | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| kadar            | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| warna            | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| bjb              | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |

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

Schematic Representation of Partial Cross Correlations

| Variable/<br>Lag | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| kadar            | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| warna            | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| bjb              | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |

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

Partial Canonical Correlations

| Lag | PCanCorr1 | PCanCorr2 | PCanCorr3 | Chi-Square | DF | Prob> ChiSq |
|-----|-----------|-----------|-----------|------------|----|-------------|
| 1   | 0.48765   | 0.46516   | 0.38534   | 159.71     | 9  | <.0001      |
| 2   | 0.43089   | 0.39221   | 0.23859   | 104.66     | 9  | <.0001      |
| 3   | 0.29546   | 0.22726   | 0.09998   | 39.17      | 9  | <.0001      |
| 4   | 0.22538   | 0.14869   | 0.11882   | 22.80      | 9  | 0.0067      |
| 5   | 0.27186   | 0.17998   | 0.11271   | 31.06      | 9  | 0.0003      |
| 6   | 0.22015   | 0.13494   | 0.08734   | 19.32      | 9  | 0.0226      |
| 7   | 0.18598   | 0.12305   | 0.05345   | 13.62      | 9  | 0.1365      |
| 8   | 0.19428   | 0.10782   | 0.06528   | 13.84      | 9  | 0.1283      |
| 9   | 0.19332   | 0.10770   | 0.03119   | 12.84      | 9  | 0.1702      |
| 10  | 0.16298   | 0.12233   | 0.04225   | 11.09      | 9  | 0.2697      |
| 11  | 0.24687   | 0.03907   | 0.03618   | 16.26      | 9  | 0.0616      |
| 12  | 0.20409   | 0.13871   | 0.01589   | 15.53      | 9  | 0.0773      |
| 13  | 0.19862   | 0.09484   | 0.02530   | 12.42      | 9  | 0.1907      |
| 14  | 0.24274   | 0.13476   | 0.03494   | 19.73      | 9  | 0.0196      |
| 15  | 0.09831   | 0.06899   | 0.02166   | 3.74       | 9  | 0.9278      |
| 16  | 0.21551   | 0.07377   | 0.00207   | 12.97      | 9  | 0.1639      |
| 17  | 0.08115   | 0.04988   | 0.01936   | 2.35       | 9  | 0.9846      |
| 18  | 0.15141   | 0.12167   | 0.02422   | 9.50       | 9  | 0.3922      |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 10

The VARMAX Procedure

Partial Canonical Correlations

| Lag | PCanCorr1 | PCanCorr2 | PCanCorr3  | Chi-Square | DF | Prob>ChiSq |
|-----|-----------|-----------|------------|------------|----|------------|
| 19  | 0.17935   | 0.13721   | 0.11472    | 15.85      | 9  | 0.0702     |
| 20  | 0.20983   | 0.15533   | 0.07456    | 18.13      | 9  | 0.0337     |
| 21  | 0.12120   | 0.10113   | 0.02748    | 6.29       | 9  | 0.7106     |
| 22  | 0.14921   | 0.02696   | 0.01873    | 5.70       | 9  | 0.7700     |
| 23  | 0.17609   | 0.12720   | 0.01527    | 11.52      | 9  | 0.2415     |
| 24  | 0.18783   | 0.14818   | 0.00665    | 13.86      | 9  | 0.1273     |
| 25  | 0.11635   | 0.08509   | 0.01508    | 5.06       | 9  | 0.8289     |
| 26  | 0.15178   | 0.07282   | 0.00162    | 6.80       | 9  | 0.6577     |
| 27  | 0.12656   | 0.06704   | 0.00146    | 4.90       | 9  | 0.8427     |
| 28  | 0.16242   | 0.04009   | 0.01451    | 6.71       | 9  | 0.6671     |
| 29  | 0.25563   | 0.07437   | 0.02219    | 16.91      | 9  | 0.0501     |
| 30  | 0.17347   | 0.07290   | 0.04769    | 8.89       | 9  | 0.4472     |
| 31  | 0.16479   | 0.06270   | 0.00011456 | 7.31       | 9  | 0.6054     |
| 32  | 0.16544   | 0.11625   | 0.00693    | 9.58       | 9  | 0.3857     |
| 33  | 0.16196   | 0.08582   | 0.07037    | 8.98       | 9  | 0.4389     |
| 34  | 0.23858   | 0.07000   | 0.00221    | 14.34      | 9  | 0.1106     |
| 35  | 0.14235   | 0.05417   | 0.05330    | 6.02       | 9  | 0.7384     |
| 36  | 0.19215   | 0.16665   | 0.04929    | 15.44      | 9  | 0.0796     |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 11

The VARMAX Procedure

Type of Model VAR(14)  
 Estimation Method Least Squares Estimation

AR Coefficient Estimates

| Lag | Variable | kadar      | warna       | bjb      |
|-----|----------|------------|-------------|----------|
| 1   | kadar    | -0.70401   | 0.00019347  | -0.00988 |
|     | warna    | -2.48872   | -0.67927    | 1.80851  |
|     | bjb      | 0.10411    | -0.00356    | -0.89501 |
| 2   | kadar    | -0.62574   | 0.00030390  | 0.00611  |
|     | warna    | 6.82231    | -0.48966    | 2.28344  |
|     | bjb      | -0.14157   | -0.00534    | -0.88204 |
| 3   | kadar    | -0.52237   | -0.00040846 | -0.01034 |
|     | warna    | 0.30400    | -0.30528    | 0.30402  |
|     | bjb      | -0.30440   | -0.00685    | -0.69466 |
| 4   | kadar    | -0.36757   | 0.00022937  | -0.02282 |
|     | warna    | 3.93165    | -0.25980    | -2.91582 |
|     | bjb      | -0.38107   | -0.01011    | -0.59706 |
| 5   | kadar    | -0.40904   | 0.00049496  | -0.01988 |
|     | warna    | 3.54472    | -0.18071    | -5.15178 |
|     | bjb      | -0.26782   | -0.01314    | -0.52195 |
| 6   | kadar    | -0.34562   | -0.00008919 | -0.04603 |
|     | warna    | 5.49049    | -0.02941    | -5.82084 |
|     | bjb      | -0.06985   | -0.01282    | -0.37789 |
| 7   | kadar    | -0.32650   | -0.00191    | -0.02177 |
|     | warna    | 10.23564   | -0.15402    | -4.00163 |
|     | bjb      | 0.00078435 | -0.00618    | -0.40591 |
| 8   | kadar    | -0.23859   | -0.00264    | -0.03590 |
|     | warna    | 9.84624    | -0.21135    | -4.04212 |
|     | bjb      | 0.30034    | -0.00171    | -0.35987 |
| 9   | kadar    | -0.18968   | -0.00334    | -0.02069 |
|     | warna    | 3.46290    | -0.18776    | -5.11698 |
|     | bjb      | 0.53535    | -0.00412    | -0.29199 |

|    |       |          |             |          |
|----|-------|----------|-------------|----------|
| 10 | kadar | -0.18740 | -0.00150    | -0.02188 |
|    | warna | -0.64375 | -0.23116    | -2.57776 |
|    | bjb   | 0.33034  | -0.00373    | -0.31934 |
| 11 | kadar | -0.12001 | -0.00116    | -0.03460 |
|    | warna | 3.79622  | -0.22205    | -5.45312 |
|    | bjb   | 0.44664  | -0.00170    | -0.21231 |
| 12 | kadar | -0.07888 | -0.00003650 | 0.02986  |
|    | warna | 4.38236  | -0.13655    | -1.23593 |
|    | bjb   | 0.67945  | -0.00138    | -0.22334 |
| 13 | kadar | -0.06283 | 0.00001388  | -0.01695 |
|    | warna | -9.97275 | -0.09738    | -2.43697 |
|    | bjb   | 0.36591  | -0.00207    | -0.17598 |
| 14 | kadar | -0.01764 | -0.00145    | -0.01178 |
|    | warna | 1.03217  | 0.07155     | -0.88949 |
|    | bjb   | 0.39719  | -0.00405    | -0.16260 |

Schematic Representation of Parameter Estimates

| Variable/<br>Lag | AR1 | AR2 | AR3 | AR4 | AR5 | AR6 | AR7 | AR8 | AR9 | AR10 | AR11 | AR12 | AR13 | AR14 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| kadar            | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..   | ..   | ..   | ..   | ..   |

+ is > 2\*std error, - is < -2\*std error, . is between, \* is N/A

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 12

The VARMAX Procedure

Schematic Representation of Parameter Estimates

| Variable/<br>Lag | AR1 | AR2 | AR3 | AR4 | AR5 | AR6 | AR7 | AR8 | AR9 | AR10 | AR11 | AR12 | AR13 | AR14 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| warna            | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..   | ..   | ..   | ..   | ..   |
| bjb              | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..  | ..   | ..   | ..   | ..   | ..   |

+ is > 2\*std error, - is < -2\*std error, . is between, \* is N/A

Model Parameter Estimates

| Equation | Parameter   | Estimate    | Std Error  | T Ratio | Prob> T    | Variable   |
|----------|-------------|-------------|------------|---------|------------|------------|
| kadar    | AR1_1_1     | -0.70401    | 0.06904    | -10.20  | 0.0001     | kadar(t-1) |
|          | AR1_1_2     | 0.00019347  | 0.00079933 | 0.24    | 0.8090     | warna(t-1) |
|          | AR1_1_3     | -0.00988    | 0.02301    | -0.43   | 0.6681     | bjb(t-1)   |
|          | AR2_1_1     | -0.62574    | 0.08430    | -7.42   | 0.0001     | kadar(t-2) |
|          | AR2_1_2     | 0.00030390  | 0.00096522 | 0.31    | 0.7532     | warna(t-2) |
|          | AR2_1_3     | 0.00611     | 0.03080    | 0.20    | 0.8428     | bjb(t-2)   |
|          | AR3_1_1     | -0.52237    | 0.09524    | -5.48   | 0.0001     | kadar(t-3) |
|          | AR3_1_2     | -0.00040846 | 0.00105    | -0.39   | 0.6963     | warna(t-3) |
|          | AR3_1_3     | -0.01034    | 0.03617    | -0.29   | 0.7753     | bjb(t-3)   |
|          | AR4_1_1     | -0.36757    | 0.10203    | -3.60   | 0.0004     | kadar(t-4) |
|          | AR4_1_2     | 0.00022937  | 0.00107    | 0.21    | 0.8300     | warna(t-4) |
|          | AR4_1_3     | -0.02282    | 0.03904    | -0.58   | 0.5596     | bjb(t-4)   |
|          | AR5_1_1     | -0.40904    | 0.10514    | -3.89   | 0.0001     | kadar(t-5) |
|          | AR5_1_2     | 0.00049496  | 0.00111    | 0.45    | 0.6565     | warna(t-5) |
| AR5_1_3  | -0.01988    | 0.04074     | -0.49      | 0.6260  | bjb(t-5)   |            |
| AR6_1_1  | -0.34562    | 0.10723     | -3.22      | 0.0015  | kadar(t-6) |            |
| AR6_1_2  | -0.00008919 | 0.00116     | -0.08      | 0.9387  | warna(t-6) |            |
| AR6_1_3  | -0.04603    | 0.04213     | -1.09      | 0.2758  | bjb(t-6)   |            |
| AR7_1_1  | -0.32650    | 0.10746     | -3.04      | 0.0027  | kadar(t-7) |            |
| AR7_1_2  | -0.00191    | 0.00117     | -1.64      | 0.1034  | warna(t-7) |            |
| AR7_1_3  | -0.02177    | 0.04272     | -0.51      | 0.6109  | bjb(t-7)   |            |

|       |          |             |            |       |        |             |
|-------|----------|-------------|------------|-------|--------|-------------|
|       | AR8_1_1  | -0.23859    | 0.10724    | -2.22 | 0.0272 | kadar(t-8)  |
|       | AR8_1_2  | -0.00264    | 0.00116    | -2.27 | 0.0242 | warna(t-8)  |
|       | AR8_1_3  | -0.03590    | 0.04301    | -0.83 | 0.4048 | bjb(t-8)    |
|       | AR9_1_1  | -0.18968    | 0.10590    | -1.79 | 0.0747 | kadar(t-9)  |
|       | AR9_1_2  | -0.00334    | 0.00118    | -2.84 | 0.0049 | warna(t-9)  |
|       | AR9_1_3  | -0.02069    | 0.04270    | -0.48 | 0.6285 | bjb(t-9)    |
|       | AR10_1_1 | -0.18740    | 0.10258    | -1.83 | 0.0691 | kadar(t-10) |
|       | AR10_1_2 | -0.00150    | 0.00118    | -1.26 | 0.2079 | warna(t-10) |
|       | AR10_1_3 | -0.02188    | 0.04115    | -0.53 | 0.5954 | bjb(t-10)   |
|       | AR11_1_1 | -0.12001    | 0.09734    | -1.23 | 0.2190 | kadar(t-11) |
|       | AR11_1_2 | -0.00116    | 0.00118    | -0.98 | 0.3266 | warna(t-11) |
|       | AR11_1_3 | -0.03460    | 0.03889    | -0.89 | 0.3747 | bjb(t-11)   |
|       | AR12_1_1 | -0.07888    | 0.08810    | -0.90 | 0.3716 | kadar(t-12) |
|       | AR12_1_2 | -0.00003650 | 0.00116    | -0.03 | 0.9748 | warna(t-12) |
|       | AR12_1_3 | 0.02986     | 0.03610    | 0.83  | 0.4092 | bjb(t-12)   |
|       | AR13_1_1 | -0.06283    | 0.07824    | -0.80 | 0.4229 | kadar(t-13) |
|       | AR13_1_2 | 0.00001388  | 0.00105    | 0.01  | 0.9894 | warna(t-13) |
|       | AR13_1_3 | -0.01695    | 0.03062    | -0.55 | 0.5805 | bjb(t-13)   |
|       | AR14_1_1 | -0.01764    | 0.06431    | -0.27 | 0.7841 | kadar(t-14) |
|       | AR14_1_2 | -0.00145    | 0.00081768 | -1.77 | 0.0782 | warna(t-14) |
|       | AR14_1_3 | -0.01178    | 0.02341    | -0.50 | 0.6154 | bjb(t-14)   |
| warna | AR1_2_1  | -2.48872    | 6.02153    | -0.41 | 0.6798 | kadar(t-1)  |
|       | AR1_2_2  | -0.67927    | 0.06972    | -9.74 | 0.0001 | warna(t-1)  |
|       | AR1_2_3  | 1.80851     | 2.00731    | 0.90  | 0.3686 | bjb(t-1)    |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 13

The VARMAX Procedure

Model Parameter Estimates

| Equation | Parameter | Estimate | Std Error | T Ratio | Prob> T | Variable    |
|----------|-----------|----------|-----------|---------|---------|-------------|
| warna    | AR2_2_1   | 6.82231  | 7.35314   | 0.93    | 0.3546  | kadar(t-2)  |
|          | AR2_2_2   | -0.48966 | 0.08419   | -5.82   | 0.0001  | warna(t-2)  |
|          | AR2_2_3   | 2.28344  | 2.68661   | 0.85    | 0.3963  | bjb(t-2)    |
|          | AR3_2_1   | 0.30400  | 8.30700   | 0.04    | 0.9708  | kadar(t-3)  |
|          | AR3_2_2   | -0.30528 | 0.09116   | -3.35   | 0.0010  | warna(t-3)  |
|          | AR3_2_3   | 0.30402  | 3.15520   | 0.10    | 0.9233  | bjb(t-3)    |
|          | AR4_2_1   | 3.93165  | 8.89948   | 0.44    | 0.6591  | kadar(t-4)  |
|          | AR4_2_2   | -0.25980 | 0.09308   | -2.79   | 0.0057  | warna(t-4)  |
|          | AR4_2_3   | -2.91582 | 3.40564   | -0.86   | 0.3929  | bjb(t-4)    |
|          | AR5_2_1   | 3.54472  | 9.17028   | 0.39    | 0.6995  | kadar(t-5)  |
|          | AR5_2_2   | -0.18071 | 0.09692   | -1.86   | 0.0637  | warna(t-5)  |
|          | AR5_2_3   | -5.15178 | 3.55368   | -1.45   | 0.1486  | bjb(t-5)    |
|          | AR6_2_1   | 5.49049  | 9.35304   | 0.59    | 0.5578  | kadar(t-6)  |
|          | AR6_2_2   | -0.02941 | 0.10111   | -0.29   | 0.7714  | warna(t-6)  |
|          | AR6_2_3   | -5.82084 | 3.67440   | -1.58   | 0.1147  | bjb(t-6)    |
|          | AR7_2_1   | 10.23564 | 9.37273   | 1.09    | 0.2761  | kadar(t-7)  |
|          | AR7_2_2   | -0.15402 | 0.10173   | -1.51   | 0.1315  | warna(t-7)  |
|          | AR7_2_3   | -4.00163 | 3.72621   | -1.07   | 0.2841  | bjb(t-7)    |
|          | AR8_2_1   | 9.84624  | 9.35396   | 1.05    | 0.2937  | kadar(t-8)  |
|          | AR8_2_2   | -0.21135 | 0.10160   | -2.08   | 0.0387  | warna(t-8)  |
|          | AR8_2_3   | -4.04212 | 3.75133   | -1.08   | 0.2825  | bjb(t-8)    |
|          | AR9_2_1   | 3.46290  | 9.23713   | 0.37    | 0.7081  | kadar(t-9)  |
|          | AR9_2_2   | -0.18776 | 0.10265   | -1.83   | 0.0688  | warna(t-9)  |
|          | AR9_2_3   | -5.11698 | 3.72462   | -1.37   | 0.1710  | bjb(t-9)    |
|          | AR10_2_1  | -0.64375 | 8.94705   | -0.07   | 0.9427  | kadar(t-10) |
|          | AR10_2_2  | -0.23116 | 0.10333   | -2.24   | 0.0263  | warna(t-10) |
|          | AR10_2_3  | -2.57776 | 3.58910   | -0.72   | 0.4734  | bjb(t-10)   |
|          | AR11_2_1  | 3.79622  | 8.49040   | 0.45    | 0.6552  | kadar(t-11) |
|          | AR11_2_2  | -0.22205 | 0.10291   | -2.16   | 0.0321  | warna(t-11) |
|          | AR11_2_3  | -5.45312 | 3.39246   | -1.61   | 0.1095  | bjb(t-11)   |
|          | AR12_2_1  | 4.38236  | 7.68480   | 0.57    | 0.5691  | kadar(t-12) |
|          | AR12_2_2  | -0.13655 | 0.10081   | -1.35   | 0.1770  | warna(t-12) |
|          | AR12_2_3  | -1.23593 | 3.14916   | -0.39   | 0.6951  | bjb(t-12)   |
|          | AR13_2_1  | -9.97275 | 6.82436   | -1.46   | 0.1454  | kadar(t-13) |
|          | AR13_2_2  | -0.09738 | 0.09143   | -1.07   | 0.2881  | warna(t-13) |
|          | AR13_2_3  | -2.43697 | 2.67056   | -0.91   | 0.3625  | bjb(t-13)   |



|     |          |          |         |        |        |             |
|-----|----------|----------|---------|--------|--------|-------------|
|     | AR14_2_1 | 1.03217  | 5.60921 | 0.18   | 0.8542 | kadar(t-14) |
|     | AR14_2_2 | 0.07155  | 0.07132 | 1.00   | 0.3169 | warna(t-14) |
|     | AR14_2_3 | -0.88949 | 2.04189 | -0.44  | 0.6636 | bjb(t-14)   |
| bjb | AR1_3_1  | 0.10411  | 0.20492 | 0.51   | 0.6120 | kadar(t-1)  |
|     | AR1_3_2  | -0.00356 | 0.00237 | -1.50  | 0.1346 | warna(t-1)  |
|     | AR1_3_3  | -0.89501 | 0.06831 | -13.10 | 0.0001 | bjb(t-1)    |
|     | AR2_3_1  | -0.14157 | 0.25023 | -0.57  | 0.5722 | kadar(t-2)  |
|     | AR2_3_2  | -0.00534 | 0.00287 | -1.86  | 0.0639 | warna(t-2)  |
|     | AR2_3_3  | -0.88204 | 0.09143 | -9.65  | 0.0001 | bjb(t-2)    |
|     | AR3_3_1  | -0.30440 | 0.28269 | -1.08  | 0.2828 | kadar(t-3)  |
|     | AR3_3_2  | -0.00685 | 0.00310 | -2.21  | 0.0284 | warna(t-3)  |
|     | AR3_3_3  | -0.69466 | 0.10737 | -6.47  | 0.0001 | bjb(t-3)    |
|     | AR4_3_1  | -0.38107 | 0.30286 | -1.26  | 0.2097 | kadar(t-4)  |
|     | AR4_3_2  | -0.01011 | 0.00317 | -3.19  | 0.0016 | warna(t-4)  |
|     | AR4_3_3  | -0.59706 | 0.11590 | -5.15  | 0.0001 | bjb(t-4)    |
|     | AR5_3_1  | -0.26782 | 0.31207 | -0.86  | 0.3918 | kadar(t-5)  |
|     | AR5_3_2  | -0.01314 | 0.00330 | -3.98  | 0.0001 | warna(t-5)  |
|     | AR5_3_3  | -0.52195 | 0.12094 | -4.32  | 0.0001 | bjb(t-5)    |
|     | AR6_3_1  | -0.06985 | 0.31829 | -0.22  | 0.8265 | kadar(t-6)  |
|     | AR6_3_2  | -0.01282 | 0.00344 | -3.72  | 0.0003 | warna(t-6)  |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 14

The VARMAX Procedure

Model Parameter Estimates

| Equation | Parameter | Estimate   | Std Error | T Ratio | Prob> T | Variable    |
|----------|-----------|------------|-----------|---------|---------|-------------|
| bjb      | AR6_3_3   | -0.37789   | 0.12504   | -3.02   | 0.0028  | bjb(t-6)    |
|          | AR7_3_1   | 0.00078435 | 0.31896   | 0.00    | 0.9980  | kadar(t-7)  |
|          | AR7_3_2   | -0.00618   | 0.00346   | -1.78   | 0.0758  | warna(t-7)  |
|          | AR7_3_3   | -0.40591   | 0.12681   | -3.20   | 0.0016  | bjb(t-7)    |
|          | AR8_3_1   | 0.30034    | 0.31832   | 0.94    | 0.3465  | kadar(t-8)  |
|          | AR8_3_2   | -0.00171   | 0.00346   | -0.50   | 0.6210  | warna(t-8)  |
|          | AR8_3_3   | -0.35987   | 0.12766   | -2.82   | 0.0053  | bjb(t-8)    |
|          | AR9_3_1   | 0.53535    | 0.31435   | 1.70    | 0.0900  | kadar(t-9)  |
|          | AR9_3_2   | -0.00412   | 0.00349   | -1.18   | 0.2397  | warna(t-9)  |
|          | AR9_3_3   | -0.29199   | 0.12675   | -2.30   | 0.0222  | bjb(t-9)    |
|          | AR10_3_1  | 0.33034    | 0.30448   | 1.08    | 0.2792  | kadar(t-10) |
|          | AR10_3_2  | -0.00373   | 0.00352   | -1.06   | 0.2903  | warna(t-10) |
|          | AR10_3_3  | -0.31934   | 0.12214   | -2.61   | 0.0096  | bjb(t-10)   |
|          | AR11_3_1  | 0.44664    | 0.28894   | 1.55    | 0.1237  | kadar(t-11) |
|          | AR11_3_2  | -0.00170   | 0.00350   | -0.48   | 0.6283  | warna(t-11) |
|          | AR11_3_3  | -0.21231   | 0.11545   | -1.84   | 0.0673  | bjb(t-11)   |
|          | AR12_3_1  | 0.67945    | 0.26152   | 2.60    | 0.0100  | kadar(t-12) |
|          | AR12_3_2  | -0.00138   | 0.00343   | -0.40   | 0.6881  | warna(t-12) |
|          | AR12_3_3  | -0.22334   | 0.10717   | -2.08   | 0.0384  | bjb(t-12)   |
|          | AR13_3_1  | 0.36591    | 0.23224   | 1.58    | 0.1166  | kadar(t-13) |
|          | AR13_3_2  | -0.00207   | 0.00311   | -0.67   | 0.5057  | warna(t-13) |
|          | AR13_3_3  | -0.17598   | 0.09088   | -1.94   | 0.0542  | bjb(t-13)   |
|          | AR14_3_1  | 0.39719    | 0.19089   | 2.08    | 0.0387  | kadar(t-14) |
|          | AR14_3_2  | -0.00405   | 0.00243   | -1.67   | 0.0967  | warna(t-14) |
|          | AR14_3_3  | -0.16260   | 0.06949   | -2.34   | 0.0202  | bjb(t-14)   |

Covariance Matrix for the Innovation

| Variable | kadar       | warna    | bjb         |
|----------|-------------|----------|-------------|
| kadar    | 0.00036595  | 0.00267  | -0.00015443 |
| warna    | 0.00267     | 2.78414  | -0.01500    |
| bjb      | -0.00015443 | -0.01500 | 0.00322     |

## Information Criteria

|  |          |
|--|----------|
| AICC(Corrected AIC)                    | -12.0228 |
| HQC(Hannan-Quinn Criterion)            | -11.5127 |
| AIC(Akaike Information Criterion)      | -12.2228 |
| SBC(Schwarz Bayesian Criterion)        | -10.4581 |
| FPEC(Final Prediction Error Criterion) | 4.964E-6 |

## Residual Cross-Covariance Matrices

| Lag | Variable | kadar       | warna       | bjb         |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|
| 0   | kadar    | 0.00030484  | 0.00220     | -0.00012806 |
|     | warna    | 0.00220     | 2.31345     | -0.01235    |
|     | bjb      | -0.00012806 | -0.01235    | 0.00268     |
| 1   | kadar    | 6.516736E-8 | -0.00010822 | 0.00000940  |
|     | warna    | -0.00004297 | -0.00754    | -0.00032298 |
|     | bjb      | 0.00000511  | 0.00017536  | 0.00003722  |
| 2   | kadar    | -0.00000257 | -0.00008813 | 0.00000297  |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 15

## The VARMAX Procedure

## Residual Cross-Covariance Matrices

| Lag | Variable | kadar       | warna       | bjb         |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|
| 2   | warna    | 0.00007668  | -0.03403    | -0.00032900 |
|     | bjb      | 0.00000745  | -0.00000288 | -0.00003631 |
| 3   | kadar    | 0.00000576  | -0.00009228 | -0.00000703 |
|     | warna    | -0.00026841 | 0.03195     | 0.00229     |
| 4   | bjb      | 0.00001844  | -0.00026744 | -0.00001102 |
|     | kadar    | -0.00000819 | 0.00026225  | 0.00001460  |
|     | warna    | -0.00005044 | -0.05063    | -0.00040369 |
| 5   | bjb      | 0.00004214  | 0.00013355  | -0.00005884 |
|     | kadar    | -0.00000786 | -0.00075837 | 0.00001658  |
|     | warna    | 0.00006177  | 0.08642     | -0.00105    |
| 6   | bjb      | -0.00001289 | -0.00030937 | 0.00009499  |
|     | kadar    | -0.00000591 | -0.00006886 | -0.00000480 |
|     | warna    | -0.00018912 | -0.08962    | 0.00223     |
| 7   | bjb      | 0.00005778  | -0.00204    | -0.00002724 |
|     | kadar    | -0.00000619 | 0.00005078  | 0.00000110  |
|     | warna    | -0.00027266 | 0.00003797  | 0.00120     |
| 8   | bjb      | 0.00000191  | 0.00093551  | -0.00002208 |
|     | kadar    | -0.00001720 | 0.00027525  | -0.00000748 |
|     | warna    | -0.00075064 | -0.01244    | 0.00271     |
| 9   | bjb      | 0.00002668  | 0.00056120  | -0.00003809 |
|     | kadar    | -0.00000506 | -0.00045768 | -0.00002485 |
|     | warna    | -0.00069234 | -0.20675    | 0.00070885  |
| 10  | bjb      | -0.00001050 | 0.00025089  | -0.00002349 |
|     | kadar    | -0.00000655 | -0.00031234 | -0.00004359 |
|     | warna    | 0.00087418  | 0.00650     | -0.00078808 |
| 11  | bjb      | -0.00004004 | -0.00150    | 0.00003390  |
|     | kadar    | -0.00001441 | -0.00122    | -0.00001489 |
|     | warna    | -0.00032643 | 0.06383     | 0.00463     |
| 12  | bjb      | -0.00001104 | 0.00080893  | -0.00003921 |
|     | kadar    | -0.00000641 | 0.00002945  | 0.00001528  |
|     | warna    | 0.00066772  | -0.06926    | 0.00011323  |
| 13  | bjb      | 5.600267E-7 | 0.00112     | -0.00008784 |
|     | kadar    | -0.00002146 | 0.00005630  | -0.00001267 |
|     | warna    | -0.00043916 | 0.14056     | 0.00035076  |
| 14  | bjb      | 0.00000648  | -0.00265    | -0.00017845 |
|     | kadar    | -0.00001703 | 0.00046902  | 0.00003458  |
|     | warna    | -0.00107    | -0.03026    | 0.00333     |
|     | bjb      | -0.00000125 | -0.00091495 | -0.00008097 |

|    |       |             |             |             |
|----|-------|-------------|-------------|-------------|
| 15 | kadar | -0.00000978 | 0.00158     | -0.00006239 |
|    | warna | -0.00134    | -0.01468    | 0.00568     |
|    | bjb   | 0.00002789  | -0.00146    | -0.00006149 |
| 16 | kadar | 0.00000720  | 0.00032706  | -0.00003705 |
|    | warna | -0.00221    | 0.00965     | -0.00094074 |
|    | bjb   | 0.00000239  | -0.00081625 | -0.00010492 |
| 17 | kadar | 0.00000918  | 0.00055717  | -0.00011184 |
|    | warna | 0.00149     | -0.11376    | -0.00134    |
|    | bjb   | -0.00007408 | 0.00917     | 0.00001248  |
| 18 | kadar | -0.00004383 | -0.00095461 | 0.00007679  |
|    | warna | 0.00021039  | -0.01640    | -0.00308    |
|    | bjb   | 0.00002952  | 0.00348     | -0.00014334 |
| 19 | kadar | -0.00001139 | -0.00192    | 0.00001688  |
|    | warna | -0.00147    | -0.23966    | 0.00020981  |
|    | bjb   | -0.00004409 | -0.00311    | 0.00012260  |
| 20 | kadar | 2.005514E-7 | 0.00016813  | 0.00000824  |
|    | warna | 0.00069324  | 0.16077     | -0.00571    |
|    | bjb   | 0.00004885  | -0.00492    | -0.00005448 |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 16

The VARMAX Procedure

Residual Cross-Covariance Matrices

| Lag | Variable | kadar       | warna       | bjb         |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------|
| 21  | kadar    | 0.00003413  | -0.00225    | 0.00005956  |
|     | warna    | 0.00129     | 0.29781     | 0.00617     |
|     | bjb      | 0.00002601  | 0.00314     | -0.00019240 |
| 22  | kadar    | 0.00001437  | 0.00025702  | -0.00003557 |
|     | warna    | 0.00351     | 0.12223     | -0.00640    |
|     | bjb      | 7.54141E-7  | -0.00028988 | -0.00006077 |
| 23  | kadar    | -9.96634E-7 | -0.00012415 | -0.00001106 |
|     | warna    | 0.00234     | 0.24457     | -0.00765    |
|     | bjb      | 0.00005851  | -0.00236    | -0.00010260 |
| 24  | kadar    | -0.00001083 | 0.00150     | 0.00004716  |
|     | warna    | 0.00035980  | 0.06012     | 0.00437     |
|     | bjb      | 0.00002297  | 0.00505     | -0.00008125 |
| 25  | kadar    | 0.00000860  | 0.00020942  | 0.00002289  |
|     | warna    | -0.00043414 | -0.12676    | 0.00475     |
|     | bjb      | 0.00003379  | 0.00645     | 0.00015637  |
| 26  | kadar    | -0.00004149 | -0.00111    | 0.00000191  |
|     | warna    | 0.00017658  | 0.26117     | -0.00178    |
|     | bjb      | -0.00001952 | -0.00146    | -0.00008677 |
| 27  | kadar    | -7.50288E-7 | -0.00293    | 0.00004066  |
|     | warna    | -0.00136    | -0.01673    | -0.00241    |
|     | bjb      | -0.00001526 | -0.00254    | -0.00000824 |
| 28  | kadar    | -0.00000203 | 0.00204     | 0.00001081  |
|     | warna    | -0.00133    | 0.19490     | 0.00481     |
|     | bjb      | -0.00000137 | -0.00209    | 0.00009028  |
| 29  | kadar    | -0.00003004 | 0.00084367  | 0.00008229  |
|     | warna    | 0.00172     | -0.04210    | -0.00388    |
|     | bjb      | -0.00006324 | 0.00727     | -0.00001807 |
| 30  | kadar    | 0.00001809  | 0.00267     | 0.00003644  |
|     | warna    | -0.00160    | -0.17406    | -0.00047930 |
|     | bjb      | 0.00002936  | 0.00823     | -0.00021104 |
| 31  | kadar    | -0.00001363 | 0.00032567  | -0.00003489 |
|     | warna    | -0.00110    | 0.14921     | 0.00141     |
|     | bjb      | 0.00007805  | -0.00471    | 0.00009034  |
| 32  | kadar    | -0.00000595 | -0.00186    | 0.00007312  |
|     | warna    | 0.00008943  | 0.02976     | 0.00604     |
|     | bjb      | -0.00007521 | 0.00480     | 0.00005839  |
| 33  | kadar    | -0.00001132 | 0.00147     | -0.00003951 |
|     | warna    | -0.00098844 | -0.13119    | -0.00148    |
|     | bjb      | 0.00001950  | 0.00253     | 0.00024730  |

|    |       |             |             |             |
|----|-------|-------------|-------------|-------------|
| 34 | kadar | -0.00000174 | -0.00051273 | 0.00003584  |
|    | warna | 0.00173     | -0.03272    | -0.00535    |
|    | bjb   | -0.00006283 | 0.00373     | -0.00016638 |
| 35 | kadar | -0.00003380 | 0.00068245  | 0.00000793  |
|    | warna | 0.00134     | 0.11130     | 0.00381     |
|    | bjb   | 0.00007860  | 0.00199     | -0.00033822 |
| 36 | kadar | 0.00000995  | 0.00214     | 5.276653E-7 |
|    | warna | -0.00168    | 0.22988     | -0.00002840 |
|    | bjb   | 0.00008800  | 0.00702     | -0.00008498 |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 17

The VARMAX Procedure

Residual Cross-Correlation Matrices

| Lag | Variable | kadar      | warna       | bjb      |
|-----|----------|------------|-------------|----------|
| 0   | kadar    | 1.00000    | 0.08280     | -0.14159 |
|     | warna    | 0.08280    | 1.00000     | -0.15677 |
|     | bjb      | -0.14159   | -0.15677    | 1.00000  |
| 1   | kadar    | 0.00021378 | -0.00408    | 0.01040  |
|     | warna    | -0.00162   | -0.00326    | -0.00410 |
|     | bjb      | 0.00565    | 0.00223     | 0.01387  |
| 2   | kadar    | -0.00843   | -0.00332    | 0.00328  |
|     | warna    | 0.00289    | -0.01471    | -0.00418 |
|     | bjb      | 0.00823    | -0.00003659 | -0.01353 |
| 3   | kadar    | 0.01891    | -0.00347    | -0.00777 |
|     | warna    | -0.01011   | 0.01381     | 0.02911  |
|     | bjb      | 0.02039    | -0.00339    | -0.00411 |
| 4   | kadar    | -0.02688   | 0.00988     | 0.01614  |
|     | warna    | -0.00190   | -0.02189    | -0.00512 |
|     | bjb      | 0.04659    | 0.00169     | -0.02192 |
| 5   | kadar    | -0.02579   | -0.02856    | 0.01833  |
|     | warna    | 0.00233    | 0.03736     | -0.01336 |
|     | bjb      | -0.01426   | -0.00393    | 0.03540  |
| 6   | kadar    | -0.01940   | -0.00259    | -0.00530 |
|     | warna    | -0.00712   | -0.03874    | 0.02827  |
|     | bjb      | 0.06389    | -0.02588    | -0.01015 |
| 7   | kadar    | -0.02030   | 0.00191     | 0.00121  |
|     | warna    | -0.01027   | 0.00001641  | 0.01525  |
|     | bjb      | 0.00212    | 0.01187     | -0.00823 |
| 8   | kadar    | -0.05642   | 0.01037     | -0.00827 |
|     | warna    | -0.02827   | -0.00538    | 0.03437  |
|     | bjb      | 0.02950    | 0.00712     | -0.01419 |
| 9   | kadar    | -0.01661   | -0.01723    | -0.02748 |
|     | warna    | -0.02607   | -0.08937    | 0.00900  |
|     | bjb      | -0.01161   | 0.00318     | -0.00875 |
| 10  | kadar    | -0.02148   | -0.01176    | -0.04820 |
|     | warna    | 0.03292    | 0.00281     | -0.01000 |
|     | bjb      | -0.04427   | -0.01907    | 0.01263  |
| 11  | kadar    | -0.04727   | -0.04607    | -0.01646 |
|     | warna    | -0.01229   | 0.02759     | 0.05881  |
|     | bjb      | -0.01221   | 0.01027     | -0.01461 |
| 12  | kadar    | -0.02102   | 0.00111     | 0.01689  |
|     | warna    | 0.02514    | -0.02994    | 0.00144  |
|     | bjb      | 0.00061916 | 0.01419     | -0.03273 |
| 13  | kadar    | -0.07040   | 0.00212     | -0.01401 |
|     | warna    | -0.01654   | 0.06076     | 0.00445  |
|     | bjb      | 0.00717    | -0.03367    | -0.06649 |
| 14  | kadar    | -0.05587   | 0.01766     | 0.03823  |
|     | warna    | -0.04025   | -0.01308    | 0.04220  |
|     | bjb      | -0.00138   | -0.01161    | -0.03017 |
| 15  | kadar    | -0.03207   | 0.05949     | -0.06898 |
|     | warna    | -0.05058   | -0.00635    | 0.07208  |
|     | bjb      | 0.03084    | -0.01850    | -0.02291 |

|    |       |          |          |          |
|----|-------|----------|----------|----------|
| 16 | kadar | 0.02361  | 0.01232  | -0.04097 |
|    | warna | -0.08318 | 0.00417  | -0.01194 |
|    | bjb   | 0.00264  | -0.01036 | -0.03909 |
| 17 | kadar | 0.03010  | 0.02098  | -0.12365 |
|    | warna | 0.05625  | -0.04917 | -0.01695 |
|    | bjb   | -0.08190 | 0.11639  | 0.00465  |
| 18 | kadar | -0.14377 | -0.03595 | 0.08490  |
|    | warna | 0.00792  | -0.00709 | -0.03906 |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 18

The VARMAX Procedure

Residual Cross-Correlation Matrices

| Lag | Variable | kadar      | warna    | bjb      |
|-----|----------|------------|----------|----------|
| 18  | bjb      | 0.03263    | 0.04421  | -0.05341 |
| 19  | kadar    | -0.03735   | -0.07227 | 0.01866  |
|     | warna    | -0.05519   | -0.10359 | 0.00266  |
|     | bjb      | -0.04874   | -0.03946 | 0.04568  |
| 20  | kadar    | 0.00065790 | 0.00633  | 0.00912  |
|     | warna    | 0.02610    | 0.06949  | -0.07251 |
|     | bjb      | 0.05400    | -0.06248 | -0.02030 |
| 21  | kadar    | 0.11196    | -0.08465 | 0.06585  |
|     | warna    | 0.04867    | 0.12873  | 0.07833  |
|     | bjb      | 0.02876    | 0.03987  | -0.07169 |
| 22  | kadar    | 0.04714    | 0.00968  | -0.03933 |
|     | warna    | 0.13234    | 0.05283  | -0.08128 |
|     | bjb      | 0.00083376 | -0.00368 | -0.02264 |
| 23  | kadar    | -0.00327   | -0.00467 | -0.01223 |
|     | warna    | 0.08797    | 0.10572  | -0.09704 |
|     | bjb      | 0.06469    | -0.02991 | -0.03823 |
| 24  | kadar    | -0.03552   | 0.05665  | 0.05213  |
|     | warna    | 0.01355    | 0.02599  | 0.05552  |
|     | bjb      | 0.02540    | 0.06409  | -0.03027 |
| 25  | kadar    | 0.02820    | 0.00789  | 0.02530  |
|     | warna    | -0.01635   | -0.05479 | 0.06027  |
|     | bjb      | 0.03736    | 0.08185  | 0.05826  |
| 26  | kadar    | -0.13610   | -0.04179 | 0.00211  |
|     | warna    | 0.00665    | 0.11289  | -0.02263 |
|     | bjb      | -0.02158   | -0.01854 | 0.03233  |
| 27  | kadar    | -0.00246   | -0.11044 | 0.04495  |
|     | warna    | -0.05107   | -0.00723 | -0.03054 |
|     | bjb      | -0.01687   | -0.03228 | -0.00307 |
| 28  | kadar    | -0.00665   | 0.07680  | 0.01195  |
|     | warna    | -0.05022   | 0.08424  | 0.06100  |
|     | bjb      | -0.00152   | -0.02648 | 0.03364  |
| 29  | kadar    | -0.09855   | 0.03177  | 0.09098  |
|     | warna    | 0.06475    | -0.01820 | -0.04929 |
|     | bjb      | -0.06992   | 0.09228  | -0.00673 |
| 30  | kadar    | 0.05934    | 0.10063  | 0.04029  |
|     | warna    | -0.06035   | -0.07524 | -0.00608 |
|     | bjb      | 0.03246    | 0.10444  | -0.07864 |
| 31  | kadar    | -0.04471   | 0.01226  | -0.03858 |
|     | warna    | -0.04143   | 0.06450  | 0.01794  |
|     | bjb      | 0.08629    | -0.05979 | 0.03366  |
| 32  | kadar    | -0.01953   | -0.06996 | 0.08084  |
|     | warna    | 0.00337    | 0.01286  | 0.07670  |
|     | bjb      | -0.08316   | 0.06090  | 0.02176  |
| 33  | kadar    | -0.03712   | 0.05521  | -0.04368 |
|     | warna    | -0.03760   | -0.05671 | -0.01881 |
|     | bjb      | 0.02156    | 0.03216  | 0.09214  |
| 34  | kadar    | -0.00571   | -0.01931 | 0.03962  |
|     | warna    | 0.06525    | -0.01415 | -0.06787 |
|     | bjb      | -0.06947   | 0.04740  | -0.06199 |

|    |       |          |         |             |
|----|-------|----------|---------|-------------|
| 35 | kadar | -0.11088 | 0.02570 | 0.00877     |
|    | warna | 0.05048  | 0.04811 | 0.04830     |
|    | bjb   | 0.08690  | 0.02520 | -0.12602    |
| 36 | kadar | 0.03263  | 0.08050 | 0.00058338  |
|    | warna | -0.06335 | 0.09936 | -0.00036039 |
|    | bjb   | 0.00885  | 0.08912 | -0.03166    |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 19

The VARMAX Procedure

Schematic Representation of Residual Cross Correlations

| Variable/<br>Lag | 0  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |
|------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| kadar            | +- | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| warna            | +- | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| bjb              | -- | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

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

Schematic Representation of Residual Cross Correlations

| Variable/<br>Lag | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  | 32  | 33  | 34  | 35  | 36  |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| kadar            | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| warna            | ... | ... | +-  | +-  | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| bjb              | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

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

Portmanteau Test for Residual Cross Correlations

| To<br>Lag | Chi-<br>Square | DF  | Prob><br>ChiSq |
|-----------|----------------|-----|----------------|
| 15        | 26.21          | 9   | 0.0019         |
| 16        | 29.56          | 18  | 0.0419         |
| 17        | 40.69          | 27  | 0.0441         |
| 18        | 49.13          | 36  | 0.0710         |
| 19        | 56.45          | 45  | 0.1177         |
| 20        | 61.08          | 54  | 0.2367         |
| 21        | 78.09          | 63  | 0.0955         |
| 22        | 85.48          | 72  | 0.1324         |
| 23        | 94.35          | 81  | 0.1473         |
| 24        | 99.45          | 90  | 0.2326         |
| 25        | 105.74         | 99  | 0.3030         |
| 26        | 115.80         | 108 | 0.2865         |
| 27        | 121.57         | 117 | 0.3676         |
| 28        | 127.91         | 126 | 0.4358         |
| 29        | 140.24         | 135 | 0.3613         |
| 30        | 152.79         | 144 | 0.2922         |
| 31        | 158.81         | 153 | 0.3571         |
| 32        | 167.23         | 162 | 0.3729         |
| 33        | 173.57         | 171 | 0.4309         |
| 34        | 180.01         | 180 | 0.4858         |
| 35        | 192.24         | 189 | 0.4208         |
| 36        | 202.66         | 198 | 0.3952         |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 20

## The VARMAX Procedure

## Univariate Model Diagnostic Checks

| Variable | R-square | StdDev | F Value | Prob>F |
|----------|----------|--------|---------|--------|
| kadar    | 0.4586   | 0.0191 | 4.34    | <.0001 |
| warna    | 0.4765   | 1.6686 | 4.66    | <.0001 |
| bjb      | 0.5400   | 0.0568 | 6.01    | <.0001 |

## Univariate Model Diagnostic Checks

| Variable | DW(1) | Normality<br>ChiSq | Prob><br>ChiSq | ARCH1<br>F Value | Prob>F |
|----------|-------|--------------------|----------------|------------------|--------|
| kadar    | 2.00  | 33.88              | <.0001         | 6.40             | 0.0120 |
| warna    | 2.00  | 0.46               | 0.7942         | 3.14             | 0.0776 |
| bjb      | 1.97  | 1.84               | 0.3986         | 0.57             | 0.4494 |

## Univariate Model Diagnostic Checks

| Variable | AR1     |        | AR1-2   |        | AR1-3   |        | AR1-4   |        |
|----------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
|          | F Value | Prob>F | F Value | Prob>F | F Value | Prob>F | F Value | Prob>F |
| kadar    | 0.00    | 0.9973 | 0.01    | 0.9905 | 0.04    | 0.9905 | 0.07    | 0.9904 |
| warna    | 0.00    | 0.9590 | 0.03    | 0.9724 | 0.03    | 0.9914 | 0.06    | 0.9932 |
| bjb      | 0.05    | 0.8268 | 0.05    | 0.9542 | 0.03    | 0.9937 | 0.06    | 0.9941 |

## Roots of AR Characteristic Polynomial

| Index | Real     | Imaginary | Modulus | ATAN(I/R) | Degree    |
|-------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|
| 1     | 0.85903  | 0.30374   | 0.9111  | 0.3399    | 19.4728   |
| 2     | 0.85903  | -0.30374  | 0.9111  | -0.3399   | -19.4728  |
| 3     | 0.78609  | 0.41403   | 0.8885  | 0.4848    | 27.7753   |
| 4     | 0.78609  | -0.41403  | 0.8885  | -0.4848   | -27.7753  |
| 5     | 0.71093  | 0.40148   | 0.8165  | 0.5141    | 29.4547   |
| 6     | 0.71093  | -0.40148  | 0.8165  | -0.5141   | -29.4547  |
| 7     | 0.62430  | 0         | 0.6243  | 0         | 0         |
| 8     | 0.58496  | 0.67853   | 0.8959  | 0.8593    | 49.2357   |
| 9     | 0.58496  | -0.67853  | 0.8959  | -0.8593   | -49.2357  |
| 10    | 0.54982  | 0.54528   | 0.7744  | 0.7813    | 44.7625   |
| 11    | 0.54982  | -0.54528  | 0.7744  | -0.7813   | -44.7625  |
| 12    | 0.48956  | 0.74584   | 0.8922  | 0.9899    | 56.7196   |
| 13    | 0.48956  | -0.74584  | 0.8922  | -0.9899   | -56.7196  |
| 14    | 0.31642  | 0.76965   | 0.8322  | 1.1807    | 67.6510   |
| 15    | 0.31642  | -0.76965  | 0.8322  | -1.1807   | -67.6510  |
| 16    | 0.24538  | 0.87518   | 0.9089  | 1.2974    | 74.3379   |
| 17    | 0.24538  | -0.87518  | 0.9089  | -1.2974   | -74.3379  |
| 18    | 0.12793  | 0.88239   | 0.8916  | 1.4268    | 81.7504   |
| 19    | 0.12793  | -0.88239  | 0.8916  | -1.4268   | -81.7504  |
| 20    | -0.07366 | 0.81187   | 0.8152  | 1.6613    | 95.1840   |
| 21    | -0.07366 | -0.81187  | 0.8152  | -1.6613   | -95.1840  |
| 22    | -0.07995 | 0.90846   | 0.9120  | 1.6586    | 95.0292   |
| 23    | -0.07995 | -0.90846  | 0.9120  | -1.6586   | -95.0292  |
| 24    | -0.19562 | 0         | 0.1956  | 3.1416    | 180.0000  |
| 25    | -0.27733 | 0.86599   | 0.9093  | 1.8807    | 107.7573  |
| 26    | -0.27733 | -0.86599  | 0.9093  | -1.8807   | -107.7573 |
| 27    | -0.37245 | 0.71289   | 0.8043  | 2.0522    | 117.5848  |

The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 21

## The VARMAX Procedure

## Roots of AR Characteristic Polynomial

| Index | Real     | Imaginary | Modulus | ATAN(I/R) | Degree    |
|-------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|
| 28    | -0.37245 | -0.71289  | 0.8043  | -2.0522   | -117.5848 |
| 29    | -0.50455 | 0.80094   | 0.9466  | 2.1330    | 122.2091  |
| 30    | -0.50455 | -0.80094  | 0.9466  | -2.1330   | -122.2091 |
| 31    | -0.56280 | 0.73509   | 0.9258  | 2.2242    | 127.4382  |
| 32    | -0.56280 | -0.73509  | 0.9258  | -2.2242   | -127.4382 |
| 33    | -0.67483 | 0.62336   | 0.9187  | 2.3958    | 137.2705  |
| 34    | -0.67483 | -0.62336  | 0.9187  | -2.3958   | -137.2705 |
| 35    | -0.80238 | 0.46208   | 0.9259  | 2.6191    | 150.0630  |
| 36    | -0.80238 | -0.46208  | 0.9259  | -2.6191   | -150.0630 |
| 37    | -0.85392 | 0.32492   | 0.9137  | 2.7780    | 159.1679  |
| 38    | -0.85392 | -0.32492  | 0.9137  | -2.7780   | -159.1679 |
| 39    | -0.91046 | 0.19858   | 0.9319  | 2.9268    | 167.6960  |
| 40    | -0.91046 | -0.19858  | 0.9319  | -2.9268   | -167.6960 |
| 41    | -0.91129 | 0.04136   | 0.9122  | 3.0962    | 177.4012  |
| 42    | -0.91129 | -0.04136  | 0.9122  | -3.0962   | -177.4012 |

## Forecasts

| Variable | Obs     | Forecast | Standard Error | 95% Confidence Limits |         |
|----------|---------|----------|----------------|-----------------------|---------|
| kadar    | 268     | 0.1754   | 0.0191         | 0.1379                | 0.2129  |
|          | 269     | 0.1702   | 0.0200         | 0.1310                | 0.2094  |
|          | 270     | 0.1470   | 0.0202         | 0.1073                | 0.1867  |
|          | 271     | 0.1502   | 0.0206         | 0.1099                | 0.1905  |
|          | 272     | 0.1534   | 0.0212         | 0.1118                | 0.1950  |
|          | 273     | 0.1610   | 0.0213         | 0.1191                | 0.2028  |
|          | 274     | 0.1591   | 0.0216         | 0.1166                | 0.2015  |
|          | 275     | 0.1625   | 0.0220         | 0.1195                | 0.2056  |
|          | 276     | 0.1615   | 0.0225         | 0.1174                | 0.2056  |
|          | 277     | 0.1581   | 0.0229         | 0.1131                | 0.2030  |
|          | 278     | 0.1618   | 0.0232         | 0.1164                | 0.2072  |
|          | 279     | 0.1601   | 0.0234         | 0.1141                | 0.2060  |
| warna    | 268     | 15.2221  | 1.6686         | 11.9518               | 18.4925 |
|          | 269     | 15.3904  | 1.7502         | 11.9601               | 18.8206 |
|          | 270     | 14.8753  | 1.8212         | 11.3059               | 18.4448 |
|          | 271     | 15.5413  | 1.9066         | 11.8044               | 19.2782 |
|          | 272     | 13.9228  | 1.9711         | 10.0595               | 17.7861 |
|          | 273     | 14.1438  | 2.0470         | 10.1317               | 18.1559 |
|          | 274     | 14.3301  | 2.1769         | 10.0634               | 18.5969 |
|          | 275     | 13.5048  | 2.2172         | 9.1592                | 17.8504 |
|          | 276     | 14.4657  | 2.2681         | 10.0203               | 18.9110 |
|          | 277     | 14.1159  | 2.3330         | 9.5433                | 18.6884 |
| 278      | 14.0218 | 2.3552   | 9.4057         | 18.6378               |         |
| 279      | 14.4387 | 2.4019   | 9.7310         | 19.1464               |         |
| bjb      | 268     | 1.1466   | 0.0568         | 1.0353                | 1.2578  |
|          | 269     | 1.1477   | 0.0575         | 1.0351                | 1.2604  |
|          | 270     | 1.1767   | 0.0579         | 1.0631                | 1.2902  |
|          | 271     | 1.1962   | 0.0597         | 1.0791                | 1.3132  |
|          | 272     | 1.1916   | 0.0616         | 1.0709                | 1.3124  |
|          | 273     | 1.1672   | 0.0634         | 1.0429                | 1.2915  |
|          | 274     | 1.1739   | 0.0655         | 1.0454                | 1.3023  |
|          | 275     | 1.1621   | 0.0657         | 1.0334                | 1.2909  |
|          | 276     | 1.1750   | 0.0663         | 1.0451                | 1.3050  |
| 277      | 1.1627  | 0.0683   | 1.0289         | 1.2966                |         |



The SAS System 09:44 Thursday, May 6, 2018 22

The VARMAX Procedure

Forecasts

| Variable | Obs | Forecast | Standard<br>Error | 95% Confidence<br>Limits |        |
|----------|-----|----------|-------------------|--------------------------|--------|
| bjb      | 278 | 1.1439   | 0.0688            | 1.0090                   | 1.2788 |
|          | 279 | 1.1618   | 0.0696            | 1.0254                   | 1.2982 |

**Lampiran I. Residual Pemodelan Data Karakteristik Kualitas  
GKP PG Rejo Agung Baru Madiun**

| Subgrup | kadar air (%) | warna (icumsa) | BJB (mm) |
|---------|---------------|----------------|----------|
| 1       | *             | *              | *        |
| 2       | *             | *              | *        |
| 3       | *             | *              | *        |
| 4       | *             | *              | *        |
| 5       | *             | *              | *        |
| 6       | *             | *              | *        |
| 7       | *             | *              | *        |
| 8       | *             | *              | *        |
| 9       | *             | *              | *        |
| 10      | *             | *              | *        |
| 11      | *             | *              | *        |
| 12      | *             | *              | *        |
| 13      | *             | *              | *        |
| 14      | *             | *              | *        |
| 15      | *             | *              | *        |
| 16      | 0.013093      | 0.120843       | 0.003493 |
| 17      | 0.015023      | -0.75123       | 0.043204 |
| 18      | 0.00283       | 0.927152       | 0.036541 |
| 19      | -0.00344      | -1.7734        | 0.076514 |
| .       | .             | .              | .        |
| .       | .             | .              | .        |
| .       | .             | .              | .        |
| 256     | -0.01257      | -0.66582       | 0.058343 |
| 257     | -0.00093      | 1.751814       | 0.095675 |
| 258     | -0.00673      | -0.05189       | -0.00523 |
| 259     | 0.012299      | 0.16789        | -0.04183 |
| 260     | 0.018731      | -0.57406       | -0.04909 |
| 261     | -0.00916      | -0.22494       | -0.0155  |
| 262     | 0.021178      | 2.361512       | -0.07962 |
| 263     | 0.014694      | 3.217417       | -0.09869 |
| 264     | 0.020848      | 2.088584       | -0.03336 |
| 265     | 0.001205      | 1.537476       | -0.01112 |
| 266     | -0.014        | -0.08847       | 0.064778 |
| 267     | 0.000424      | -1.10939       | 0.030947 |

**Lampiran J. Pengujian Distribusi Multivariat Normal dengan Uji ADF Pada *Package Software R***

```
>
PG=read.csv("C:/Users/windows/Dropbox/TA/VAR/
VAR2/RESIDUAL.csv",sep=';', header=T)
> a=t(PG[1:252,1:3])
> library(mvnormtest)
> mshapiro.test(a)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  Z
w = 0.98127, p-value = 0.002101
```

**Lampiran K. Pengujian Dependensi Variabel dengan Uji Bartlett menggunakan *Software* SPSS**

**KMO and Bartlett's Test**

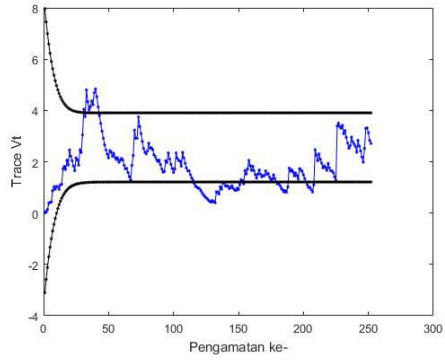
|  |                    |        |
|--|--------------------|--------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy. |                    | ,548   |
| Bartlett's Test of Sphericity                    | Approx. Chi-Square | 12,205 |
|  | df                 | 3      |
|  | Sig.               | ,007   |

### Lampiran L. Tabel Nilai L dengan $p=3$

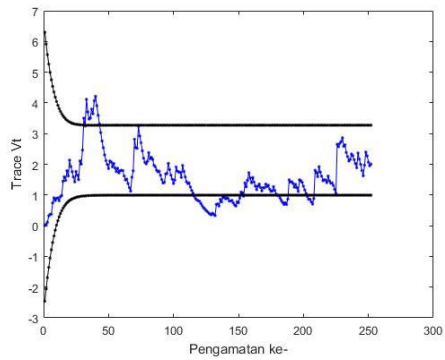
| $\omega$ | $\lambda$ | $L$    | $\omega$ | $\lambda$ | $L$    | $\omega$ | $\lambda$ | $L$    |
|----------|-----------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----------|--------|
| 0.1      | 0.1       | 2.7900 | 0.4      | 0.1       | 3.8984 | 0.7      | 0.1       | 4.3777 |
|          | 0.2       | 2.7939 |          | 0.2       | 3.9063 |          | 0.2       | 4.3797 |
|          | 0.3       | 2.7949 |          | 0.3       | 3.9121 |          | 0.3       | 4.3816 |
|          | 0.4       | 2.7988 |          | 0.4       | 3.9219 |          | 0.4       | 4.3836 |
|          | 0.5       | 2.7979 |          | 0.5       | 3.9277 |          | 0.5       | 4.3855 |
|          | 0.6       | 2.8027 |          | 0.6       | 3.9395 |          | 0.6       | 4.3875 |
|          | 0.7       | 2.8066 |          | 0.7       | 3.9492 |          | 0.7       | 4.3836 |
|          | 0.8       | 2.8105 |          | 0.8       | 3.9511 |          | 0.8       | 4.3836 |
|          | 0.9       | 2.8164 |          | 0.9       | 3.9492 |          | 0.9       | 4.3758 |
| 0.2      | 0.1       | 3.3105 | 0.5      | 0.1       | 4.1016 | 0.8      | 0.1       | 4.4707 |
|          | 0.2       | 3.3086 |          | 0.2       | 4.1016 |          | 0.2       | 4.4668 |
|          | 0.3       | 3.3164 |          | 0.3       | 4.1094 |          | 0.3       | 4.4629 |
|          | 0.4       | 3.3213 |          | 0.4       | 4.1152 |          | 0.4       | 4.4688 |
|          | 0.5       | 3.3340 |          | 0.5       | 4.1191 |          | 0.5       | 4.4688 |
|          | 0.6       | 3.3438 |          | 0.6       | 4.1270 |          | 0.6       | 4.4688 |
|          | 0.7       | 3.3535 |          | 0.7       | 4.1367 |          | 0.7       | 4.4629 |
|          | 0.8       | 3.3594 |          | 0.8       | 4.1387 |          | 0.8       | 4.4590 |
|          | 0.9       | 3.3691 |          | 0.9       | 4.1328 |          | 0.9       | 4.4551 |
| 0.3      | 0.1       | 3.6484 | 0.6      | 0.1       | 4.2578 | 0.9      | 0.1       | 4.5234 |
|          | 0.2       | 3.6523 |          | 0.2       | 4.2578 |          | 0.2       | 4.5195 |
|          | 0.3       | 3.6602 |          | 0.3       | 4.2617 |          | 0.3       | 4.5117 |
|          | 0.4       | 3.6699 |          | 0.4       | 4.2695 |          | 0.4       | 4.5195 |
|          | 0.5       | 3.6797 |          | 0.5       | 4.2715 |          | 0.5       | 4.5176 |
|          | 0.6       | 3.6895 |          | 0.6       | 4.2715 |          | 0.6       | 4.5137 |
|          | 0.7       | 3.6943 |          | 0.7       | 4.2734 |          | 0.7       | 4.5098 |
|          | 0.8       | 3.7011 |          | 0.8       | 4.2813 |          | 0.8       | 4.5078 |
|          | 0.9       | 3.7070 |          | 0.9       | 4.2715 |          | 0.9       | 4.4984 |

**Lampiran M. Residual Kualitas GKP PG Rejo Agung Baru  
Madiun Setelah Dilakukan Pembuangan Data *Out of Control***

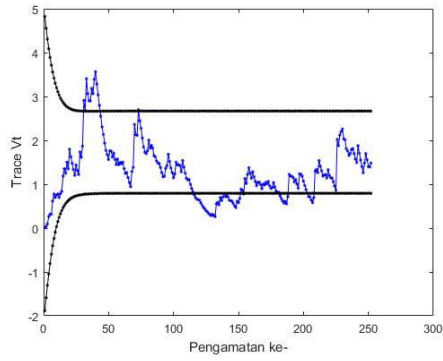
| Subgrup | kadar air (%) | warna (icumsa) | BJB (mm) |
|---------|---------------|----------------|----------|
| 1       | 0.0131        | 0.1208         | 0.0035   |
| 2       | 0.0150        | -0.7512        | 0.0432   |
| 3       | 0.0028        | 0.9272         | 0.0365   |
| 4       | -0.0034       | -1.7734        | 0.0765   |
| 5       | -0.0246       | 0.8121         | 0.1193   |
| 6       | 0.0207        | 0.7322         | -0.0611  |
| 7       | 0.0168        | -2.4192        | -0.0109  |
| 8       | 0.0281        | 1.5277         | 0.0433   |
| 9       | 0.0078        | -0.1760        | -0.0029  |
| 10      | -0.0074       | -1.6198        | -0.0405  |
| 11      | -0.0204       | 0.8960         | -0.0834  |
| 12      | 0.0017        | -0.0631        | -0.0383  |
| 13      | 0.0072        | 1.7076         | 0.0742   |
| 14      | -0.0289       | -1.1830        | 0.0527   |
| 15      | 0.0044        | 2.9280         | -0.0871  |
| 16      | 0.0438        | -1.5676        | -0.1079  |
| 17      | 0.0156        | 0.9314         | -0.0664  |
| 18      | -0.0479       | -2.3961        | 0.0226   |
| 19      | -0.0081       | -0.5906        | 0.0227   |
| .       | .             | .              | .        |
| .       | .             | .              | .        |
| .       | .             | .              | .        |
| 236     | -0.0126       | -0.6658        | 0.0583   |
| 237     | -0.0009       | 1.7518         | 0.0957   |
| 238     | -0.0067       | -0.0519        | -0.0052  |
| 239     | 0.0123        | 0.1679         | -0.0418  |
| 230     | 0.0187        | -0.5741        | -0.0491  |
| 241     | -0.0092       | -0.2249        | -0.0155  |
| 242     | 0.0212        | 2.3615         | -0.0796  |
| 243     | 0.0147        | 3.2174         | -0.0987  |
| 244     | 0.0208        | 2.0886         | -0.0334  |
| 245     | 0.0012        | 1.5375         | -0.0111  |
| 246     | -0.0140       | -0.0885        | 0.0648   |
| 247     | 0.0004        | -1.1094        | 0.0309   |

**Lampiran N. Peta Kendali MEWMV**

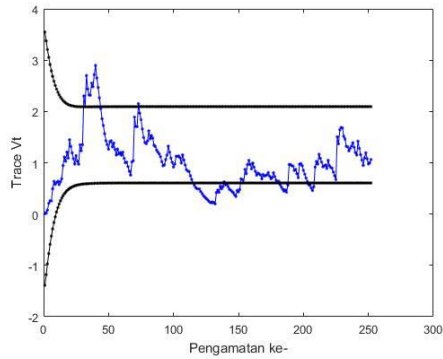
$\omega=0.1$   $\lambda=0.1$  dan  $L=2.7900$



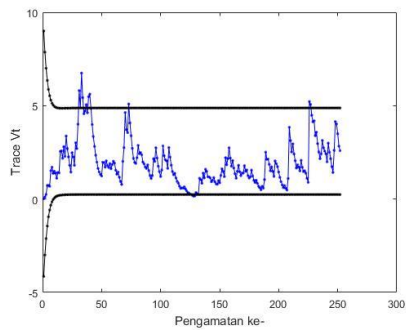
$\omega=0.1$   $\lambda=0.2$  dan  $L=2.7939$



$$\omega=0.1 \quad \lambda=0.3 \quad \text{dan} \quad L=2.7949$$

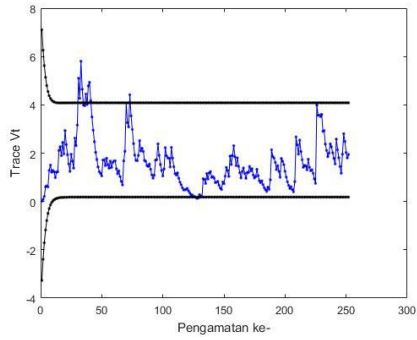


$$\omega=0.1 \quad \lambda=0.4 \quad \text{dan} \quad L=2.7988$$

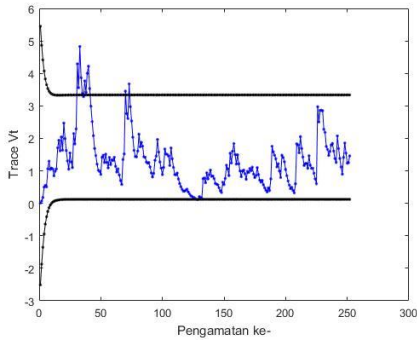


$$\omega=0.2 \quad \lambda=0.1 \quad \text{dan} \quad L=3.3105$$

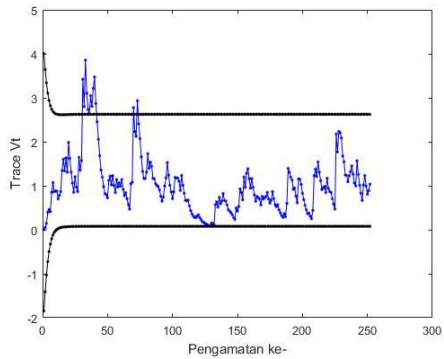




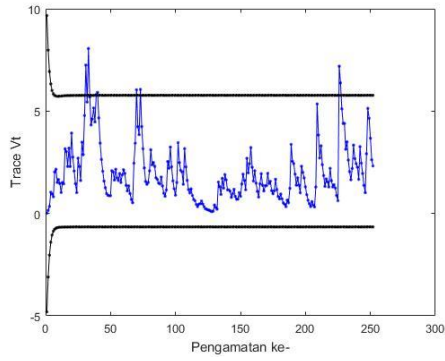
$$\omega=0.2 \lambda=0.2 \text{ dan } L=3.3086$$



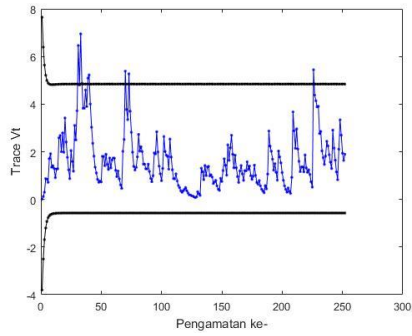
$$\omega=0.2 \lambda=0.3 \text{ dan } L=3.3164$$



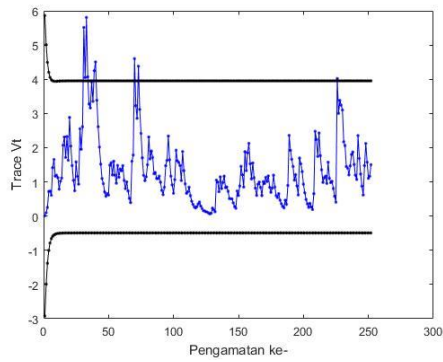
$$\omega=0.2 \lambda=0.4 \text{ dan } L=3.3213$$



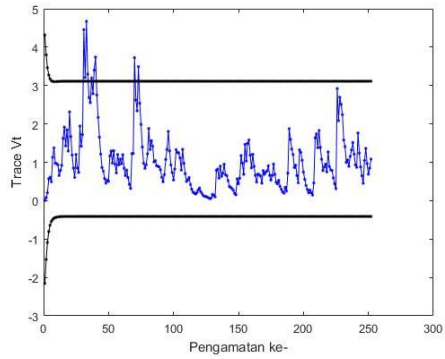
$$\omega=0.3 \quad \lambda=0.1 \quad \text{dan} \quad L=3.6484$$



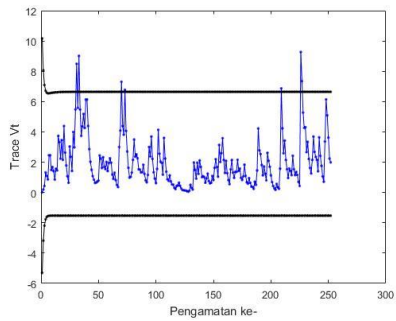
$$\omega=0.3 \quad \lambda=0.2 \quad \text{dan} \quad L=3.6523$$



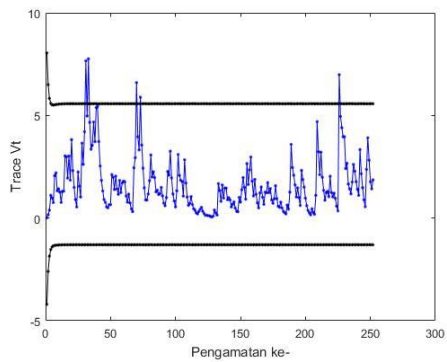
$$\omega=0.3 \quad \lambda=0.3 \quad \text{dan} \quad L=3.6602$$



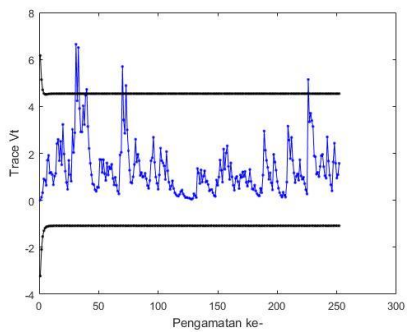
$$\omega=0.3 \quad \lambda=0.4 \quad \text{dan} \quad L=3.6699$$



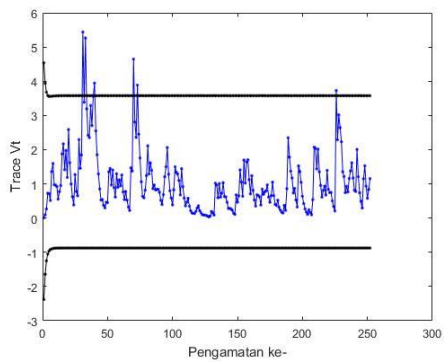
$$\omega=0.4 \quad \lambda=0.1 \quad \text{dan} \quad L=3.8984$$



$$\omega=0.4 \quad \lambda=0.2 \quad \text{dan} \quad L=3.9063$$

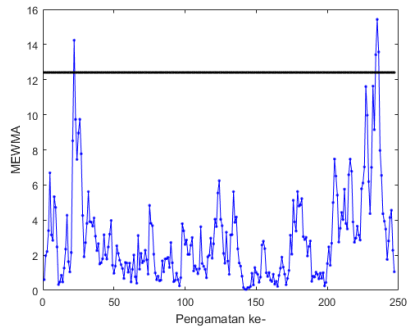


$\omega=0.4$   $\lambda=0.3$  dan  $L=3.9121$

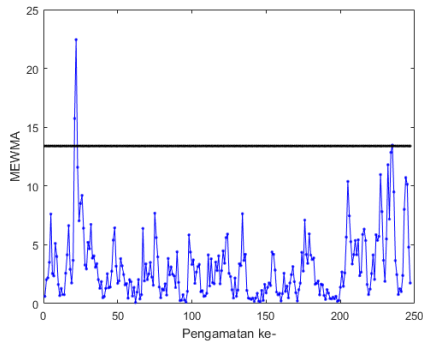


$\omega=0.4$   $\lambda=0.4$  dan  $L=3.919$

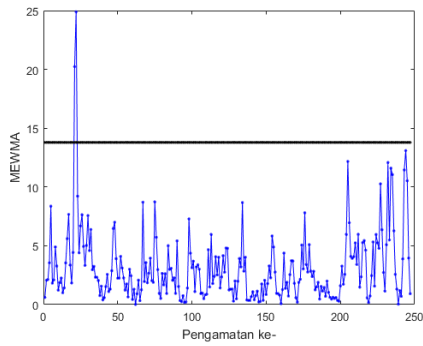
## Lampiran O. Peta Kendali MEWMA



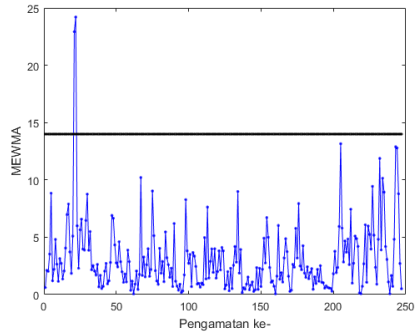
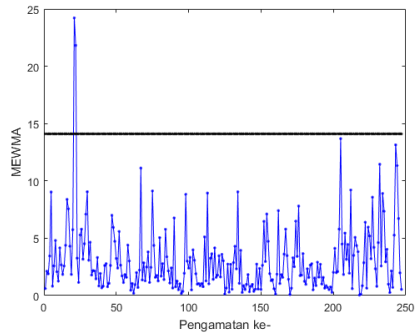
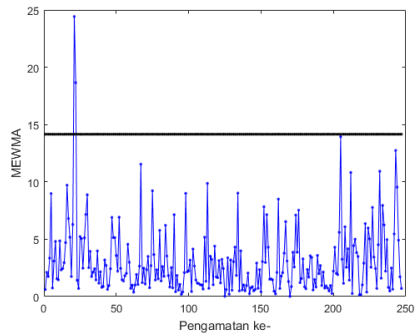
$\lambda=0.1$

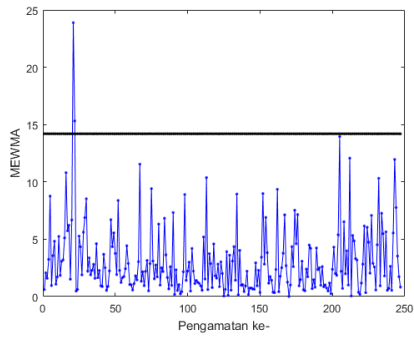
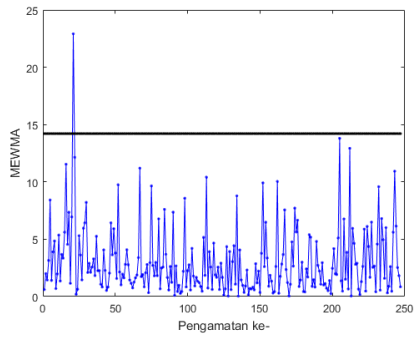
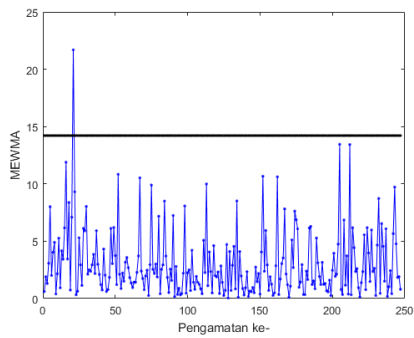


$\lambda=0.2$



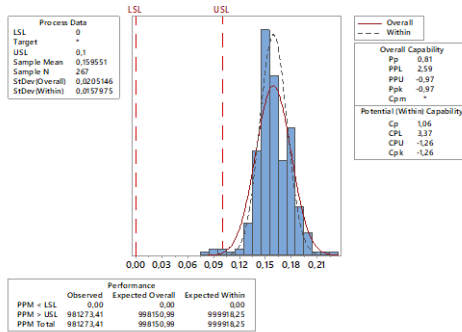
$\lambda=0.3$

 $\lambda=0.4$  $\lambda=0.5$  $\lambda=0.6$

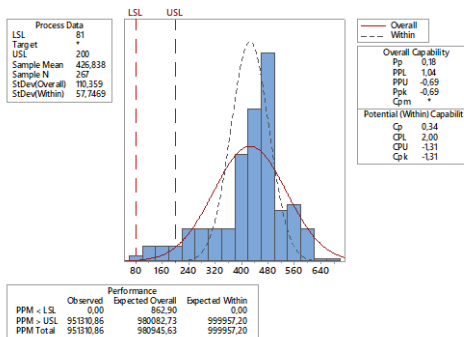
 $\lambda=0.7$  $\lambda=0.8$  $\lambda=0.9$

## Lampiran P Kapabilitas Proses GKP

### Lampiran P1. Kapabilitas proses Kadar Air

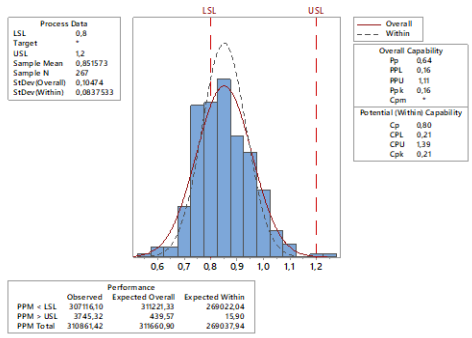


### Lampiran P2. Kapabilitas proses warna larutan





### Lampiran P3. Kapabilitas proses BJB



**Lampiran Q. Syntax MATLAB MEWMV**

```

clc; clear all;
X = importdata('E:\uni.txt');
omega=0.9;
lamda=0.9;
p=3;
L=4.4984;
[brsX, klmX]=size(X);
t=brsX;
I=eye(t);
for i=1:t
    elemen(i)=lamda*(1-lamda)^(i-1);
end
for i=1:t
    for j=1:t
        if i<j
            M(i,j)=0;
        else
            for l=i:t
                M(l,j)=elemen(l-j+1);
            end
        end
    end
end
A=X*X';
for u=1:brsX
    Apartu=A(1:u,1:u);
    Ipartu=I(1:u,1:u);
    Mpartu=M(1:u,1:u);
    elemenC=[];
    for i=1:u
        if i>1
            elemenC(i)=omega*(1-omega)^(u-i);
        else
            elemenC(i)=(1-omega)^(u-i);
        end
    end
end

```

```

C=diag(elemenC);
Q=(Ipartu-Mpartu)'*C*(Ipartu-Mpartu);
trv(u)=trace(Q*Apartu);
ekspektasi(u)=p*trace(Q);
Q2=Q.^2;
sumQ2=sum(sum(Q2));
var(u)=2*p*sumQ2;
ba=ekspektasi+(L*sqrt(var));
bb=ekspektasi-(L*sqrt(var));
end
trvpartial=trv(:,1:t);
ekspekpartial=ekspektasi(:,1:t);
varpartial=var(:,1:t);
bapartial=ba(:,1:t);
bbpartial=bb(:,1:t);
keluar=0;
d=0;
for i=1:t-1
if trvpartial(i)<bbpartial(i)
keluar=keluar+1
d=d+1
yangkeluar(d)=i;
end
if trvpartial(i)>bapartial(i)
keluar=keluar+1
d=d+1
yangkeluar(d)=i;
end
end
x=1:t;
plot(x,trvpartial,'b.-',x,bapartial,'k.-',
,x,bbpartial,'k.-');
xlabel('Pengamatan ke-');
ylabel('Trace Vt');

```

## Lampiran R. Surat Permohonan Ijin Perusahaan



Madiun, 23 Desember 2017

Nomor : 258-5/254/XII/2017  
 Lampiran : -  
 Perihal : **Pengambilan Data Tugas Akhir**

Kepada Yth :  
 Kepala Departemen Statistika  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
 Kampus ITS Sukolilo  
**SURABAYA 60111**

Dengan hormat,

Menunjuk surat saudara nomor : 077471/IT2.V1.9.2/TU.00.09/2017 pada tanggal 13 Desember 2017 perihal tersebut diatas, dengan ini diberitahukan bahwa kami dapat menerima mahasiswa saudara :

| No | Nama                 | NIM            | Prodi            |
|----|----------------------|----------------|------------------|
| 1  | Retno Puspitaningrum | 06211440000035 | Statistika FMKSD |

Untuk melaksanakan **Pengambilan Data Tugas Akhir** dengan judul **Pengendalian Kualitas di PG. Rejo Agung Baru Madiun** pada tanggal 03 Januari 2018 s.d 03 Februari 2018 di bagian **Quality Control** dengan peraturan sebagai berikut :

1. Mahasiswa wajib mengikuti kedisiplinan/aturan-aturan yang berlaku di PG. Rejo Agung Baru.
2. Perusahaan tidak menyediakan akomodasi.
3. Apabila terjadi kecelakaan, akibat tidak disiplin pada point 1, maka Mahasiswa harus mempertanggung jawabkannya.
4. Mahasiswa Wajib Menyediakan Alat Pelindung Diri ( APD )

Demikian, harap untuk dijadikan periksa.

Hormat kami,

**PG. Rajawali I**  
 Unit PG. Rejo Agung Baru

**Zainal Arifin**  
 General Manager

## Lampiran S. Surat Keterangan Pengambilan Data

### SURAT KETERANGAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini menerangkan bahwa:

1. Mahasiswa Statistika FMKSD ITS dengan identitas berikut:

Nama : Retno Puspitaningrum

NRP : 062114 4000 0035

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami:

Nama Instansi : PG Rejo Agung Baru Madiun

Divis/bagian : *Quality Control*

sejak tanggal 1 Januari 2018 sampai dengan 31 Januari 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 disimpan di Perpustakaan ITS dan dibaca lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E jurnal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Madiun, 2 April 2018  
Manager *Quality Control*  
PG Rejo Agung Baru Madiun

**PG. Rajawali I**  
Unit PG Rejo Agung Baru

Margono

\*(coret yang tidak perlu)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Retno Puspitaningrum yang biasa dipanggil Retno lahir di Ngawi, 27 maret 1996. Penulis adalah anak kedua dari pasangan Suami Istri Sumiyardi dan Sri Isti Utami. Pendidikan yang pernah ditempuh adalah SDN 2 Karangjati, SMP negeri 2 Ngawi, dan SMA Negeri 3 Madiun. Setelah lulus dari SMA penulis diterima di Jurusan Statistika ITS dengan NRP 1314100035. Organisasi kampus yang pernah diikuti yaitu sebagai Staff *Public Relation* Divisi *Statistic Computer Course* HIMASTA-ITS periode 2015-2016 dan sebagai Manajer *Public Relation* Divisi *Statistic Computer Course* HIMASTA-ITS periode 2016-2017. Selain itu penulis termasuk dalam Sie Acara STATION, salah satu rangkaian acara Pekan Raya Statistik Tahun. Pengalaman tersebut memberikan pelajaran bagi penulis untuk mengetahui bagaimana kondisi dunia pekerjaan yang sebenarnya baik di perusahaan maupun di bidang akademik. Segala kritik dan saran akan diterima oleh penulis untuk perbaikan kedepannya. Jika ada keperluan atau ingin berdiskusi dengan penulis dapat dihubungi melalui email: [retnopuspita1996@gmail.com](mailto:retnopuspita1996@gmail.com).