

Analisis Pengendalian Kualitas Tetes Produksi PG Pesantren Baru Kediri Menggunakan Diagram Kontrol *Multivariate* Berbasis Model *Time Series*

Ratu Sawitri Rizqi Putri dan Muhammad Mashuri

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: m_mashuri@statistika.its.ac.id

Abstrak— Tetes tebu merupakan suatu produk sampingan yang dihasilkan pada proses produksi gula. Dalam setiap kali proses produksi gula di PG Pesantren Baru, tetes tebu yang dihasilkan terindikasi memiliki hubungan yang erat dengan persentase kehilangan gula sehingga tetes tebu harus selalu dimonitoring kualitasnya. Proses monitoring kualitas tebu dilakukan menggunakan diagram kontrol *multivariate* berbasis model *Time Series* sehingga proses monitoring pada diagram kontrol didekati dengan residual dari model terbaik. Hal ini disebabkan oleh proses produksi di PG Pesantren Baru yang berlangsung selama 24 jam setiap harinya mengindikasikan data inspeksi tetes yang dihasilkan memiliki autokorelasi pada setiap karakteristik kualitasnya sehingga apabila dilakukan monitoring kualitas menggunakan diagram kontrol konvensional akan menyebabkan batas kontrol yang dihasilkan menjadi lebih ketat. Karakteristik kualitas yang akan dimonitoring adalah kadar gula yang masih tersisa dalam tetes (Pol) dan harkat kemurnian (HK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada bulan Juni – Agustus tahun 2014 proses produksi tetes belum terkendali dalam variabilitas dan rata – rata. Apabila ditinjau dari kapabilitas proses setelah data pengamatan yang tidak terkendali dikeluarkan maka proses produksi tetes pada bulan Juli dan Agustus telah kapabel dengan indeks kapabilitas proses untuk bulan Juli sebesar 6,81554 dan bulan Agustus sebesar 6,49593.

Kata Kunci— Tetes, Pol, HK, Indeks Kapabilitas Proses

I. PENDAHULUAN

PABRIK gula Pesantren Baru Kediri merupakan salah satu pabrik gula dibawah naungan PTPN X yang memiliki kapasitas produksi gula pasir tertinggi sebesar 6.250 *Ton Cane per Day* (TCD) [1]. Selain menghasilkan gula pasir berjenis *Super High Sugar* (SHS) di PG Pesantren Baru juga terdapat produk olahan sampingan berupa tetes (*Molases*) yang dihasilkan di stasiun puteran [2].

Dalam setiap kali proses pengolahan tebu menjadi gula pasir, tetes yang dihasilkan masih memiliki kandungan sukrosa yang cukup tinggi sehingga menyebabkan tidak optimalnya jumlah gula yang dihasilkan. Oleh karena itu tetes tebu harus selalu dikendalikan kualitasnya guna mengurangi kandungan sukrosa yang masih terkandung didalam tetes. Proses pengendalian kualitas tetes akan dilakukan secara *multivariate* menggunakan diagram kontrol. Diagram kontrol yang digunakan berbasis model *time series*. Hal ini disebabkan oleh data inspeksi tetes dihasilkan dari proses produksi yang berjalan selama 24 jam setiap harinya sehingga data tersebut terindikasi memiliki autokorelasi pada setiap karakteristik kualitasnya. Apabila dilakukan pengendalian kualitas tetes menggunakan diagram kontrol konvensional

maka akan menyebabkan batas kontrol yang dihasilkan semakin ketat karena adanya efek autokorelasi pada data inspeksi tetes [3]. Penelitian yang berkaitan dengan diagram kontrol *multivariate* untuk data yang berautokorelasi pernah dilakukan oleh Pan & Jarret [4]. Penelitian tersebut membahas diagram kontrol VAR untuk pengendalian proses multivariat (*cross – sectional*) dari data yang berkorelasi. Penelitian lain dilakukan oleh Psarakis & Papaleonida [5] yang membahas tentang prosedur pengendalian kualitas statistik untuk memonitoring proses apabila ditemukan kasus autokorelasi. Selain itu, penerapan diagram kontrol *multivariate* dengan pendekatan *time series* juga pernah digunakan untuk memonitor rating TV oleh Sarte dan Tamargo [6].

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian terkait dengan pengendalian kualitas tetes produksi PG Pesantren Baru secara *multivariate* berbasis model *time series*. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi tambahan bagi PG Pesantren Baru Kediri agar dalam melakukan proses produksi lebih memperhatikan dan memprioritaskan perbaikan apabila ditemukan faktor penyebab ketidaksesuaian proses.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis *Time Series*

Data *time series* adalah rangkaian nilai observasi yang terjadi secara berurutan dengan interval waktu konstan sehingga terdapat korelasi antara data periode sekarang dengan periode sebelumnya. Menurut Wei [7], dalam *time series* terdapat dua jenis data yaitu *univariate* dan *multivariate* dan metode yang sering dipakai dalam *multivariate time series* adalah *Vector Autoregressive* (VAR).

B. Bentuk Umum Model *Vector Autoregressive* (VAR)

Model *Vector Autoregressive* (VAR) merupakan suatu pengembangan dari model *Univariate Autoregressive* (AR). Bentuk umum dari model VAR dapat dituliskan sebagai berikut [7].

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

C. Diagram Kontrol *Generalized Variance*

Pengontrolan dengan menggunakan diagram kontrol *Generalized Variance* dilakukan untuk mengontrol variansi dari data. Variansi proses dituliskan ke dalam matriks kovarians Σ yang berukuran $p \times p$ [3]. Persamaan diagram kontrol *Generalized Variance* dapat ditulis sebagai berikut,

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma| \tag{2}$$

$$V(|S|) = b_2 |\Sigma|^2 \tag{3}$$

dimana :

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^m} \prod_{v=1}^m (n-v) \tag{4}$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2m}} \prod_{v=1}^m (n-v) \left[\prod_{v=1}^m (n-v+2) - \prod_{v=1}^m (n-v) \right] \tag{5}$$

Sehingga batas kontrol untuk diagram kontrol |S| adalah sebagai berikut.

$$BKA = |\Sigma| (b_1 + 3b_2^{1/2}) \tag{6}$$

$$\text{Garis Tengah} = b_1 |\Sigma| \tag{7}$$

$$BKB = |\Sigma| (b_1 - 3b_2^{1/2}) \tag{8}$$

D. Diagram Kontrol T^2 Hotelling

Diagram kontrol T^2 Hotelling merupakan diagram kontrol yang digunakan untuk pengendalian rata – rata suatu proses yang terdiri dari beberapa karakteristik kualitas [3]. Diagram kontrol T^2 Hotelling pada fase 1 untuk data subgrup dirumuskan sebagai berikut,

$$T^2 = n \left(\bar{\mathbf{a}}_{uv} - \bar{\mathbf{a}}_v \right)' \mathbf{S}^{-1} \left(\bar{\mathbf{a}}_{uv} - \bar{\mathbf{a}}_v \right) \tag{9}$$

dengan $\bar{\mathbf{a}}_{uv}$ adalah vektor rata – rata residual pengamatan ke-u karakteristik ke-v dan \mathbf{S}^{-1} merupakan invers matriks kovarian sehingga batas kendali pada fase 1 untuk data subgrup adalah sebagai berikut.

$$BKA = \frac{m(g-1)(n-1)}{gn-g-m+1} F_{\alpha; m, gn-g-m+1} \tag{10}$$

$$BKB = 0 \tag{11}$$

Sedangkan untuk batas kendali fase 2 pada diagram kontrol T^2 Hotelling sebagai berikut.

$$BKA = \frac{m(g+1)(n-1)}{gn-g-m+1} F_{\alpha; m, gn-g-m+1} \tag{11}$$

$$BKB = 0 \tag{12}$$

dengan m adalah jumlah karakteristik kualitas, n adalah jumlah observasi dan g adalah ukuran subgrup.

E. Kapabilitas Proses

Statistical Process Control (SPC) hanya dapat memonitoring suatu proses yang sedang berjalan tetapi tidak dapat menganalisa secara kuantitatif suatu proses tersebut, sehingga untuk mengetahui suatu proses berjalan secara *capable* atau tidak maka digunakan indeks kapabilitas proses. Suatu proses dikatakan *capable* ketika nilai $C_p \geq 1$. Menurut Kotz [8], suatu indeks kapabilitas *multivariate* dapat dihitung apabila suatu diagram kontrol telah terkendali dan asumsi data telah terpenuhi. Indeks nilai kapabilitas *multivariate* dapat ditulis sebagai berikut.

$$C_p = \frac{L}{\chi_{p, 0,99973}} \left(\frac{(n-1)m}{S} \right)^{1/2} \tag{13}$$

Keterangan:

n : jumlah pengamatan pada diagram kontrol yang sudah terkendali

m : jumlah karakteristik kualitas

$$S = \sum_{w=1}^g \left(\bar{\mathbf{Y}}_{.vw} - \bar{\bar{\mathbf{Y}}}_{.v} \right)^T \mathbf{A}^{-1} \left(\bar{\mathbf{Y}}_{.vw} - \bar{\bar{\mathbf{Y}}}_{.v} \right)$$

$$L^2 = \left(\mathbf{Y}_{uvw} - \xi \right)^T \mathbf{V}_0^{-1} \left(\mathbf{Y}_{uvw} - \xi \right)$$

ξ : $(BSA + BSB)/2$

\mathbf{V}_0^{-1} : invers matriks varian kovarian.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari departemen *quality control* PG Pesantren Baru Kediri pada bulan Juni – Agustus periode giling 2014 dengan subgrup yang digunakan adalah *shift* kerja. Setiap hari terdapat 3 kelompok *shift* kerja dan setiap *shift* kerja melakukan pengambilan sampel tetes sebanyak 4 sampel sedangkan variabel penelitian yang digunakan adalah karakteristik kualitas tetes yaitu Pol (Y_1) dan HK (Y_2).

B. Langkah Analisis

Berikut ini adalah langkah analisis yang dilakukan pada pengendalian kualitas tetes produksi PG Pesantren Baru Kediri.

1. Mendeskripsikan data dari kedua karakteristik kualitas.
2. Mengidentifikasi model terbaik menggunakan metode VAR.
3. Menganalisis variabilitas dan rata – rata karakteristik kualitas secara serentak yang didekati dengan residual model VAR. Pengendalian kualitas dilakukan pada fase 1, fase 2 periode Juli dan fase 2 periode Agustus.
4. Menghitung indeks kapabilitas proses dari data pengamatan yang telah terkendali pada fase 2 periode Juli dan fase 2 periode Agustus.
5. Mendapatkan kesimpulan dan saran dari hasil analisis.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data Tetes

Statistika deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum tentang karakteristik kualitas tetes. Berikut ini adalah hasil analisis statistika deskriptif pada karakteristik kualitas tetes bulan Juni – Agustus 2014.

Tabel 1 Karakteristik Kualitas Tetes

Bulan	Karakteristik Kualitas	Rata-Rata	Varians	Minimum	Maksimum
Juni	Pol	27,89	4,822	22,8	36,7
	HK	33,19	6,739	27,045	46,013
Juli	Pol	28,37	17,589	22,5	50,1
	HK	33,51	24,614	26,725	59,611
Agustus	Pol	27,15	1,656	22,6	37,2
	HK	32,03	2,035	28,477	43,595

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa karakteristik kualitas Pol bulan Juni memiliki rata – rata sebesar 27,89 dan HK sebesar 33,19. Untuk bulan Juli rata – rata karakteristik kualitas Pol sebesar 28,37 dan HK 33,51 sedangkan untuk

bulan Agustus rata – rata karakteristik kualitas Pol sebesar 27,15 dan HK sebesar 32,03. Selanjutnya apabila ditinjau dari nilai keragaman, maka karakteristik Pol dan HK di bulan Juli memiliki nilai keragaman yang terbesar dibandingkan dengan bulan Juni dan Agustus yaitu sebesar 17,589 dan 24,614. Kemudian diantara ketiga bulan tersebut, nilai minimum dan maksimum untuk karakteristik Pol dan HK berada di bulan Juli. Nilai minimum untuk karakteristik Pol di bulan Juli sebesar 22,5 dan HK sebesar 26,725 sedangkan nilai maksimum untuk karakteristik Pol sebesar 50,1 dan HK sebesar 59,611.

B. Pemodelan VAR

Pemodelan VAR digunakan untuk memperoleh residual dari model terbaik. Apabila residual yang dihasilkan oleh model terbaik belum bebas autokorelasi pada semua lag pada pengujian portmanteau namun telah memenuhi asumsi distribusi multivariat normal maka dilakukan pemodelan ulang pada residual tersebut.

1.) Identifikasi Stasioneritas Data

Dalam melakukan pemodelan menggunakan metode VAR maka asumsi awal yang harus dipenuhi adalah stasioneritas dalam varians dan rata - rata. Untuk pengujian stasioneritas dalam varians, data karakteristik kualitas bulan Juni telah memenuhi asumsi stasioneritas dalam varians, sedangkan untuk data karakteristik kualitas bulan Juli dan Agustus tidak memenuhi asumsi stasioneritas dalam varians. Pada penelitian ini, tidak dilakukan transformasi data apabila terjadi ketidakstasioneran dalam varians karena skala data hanyalah puluhan. Untuk pengujian stasioneritas dalam rata – rata, dengan menggunakan alpha sebesar 0,1 maka data karakteristik kualitas Pol dan HK di bulan Juni – Agustus telah stasioner dalam rata – rata.

2.) Penentuan Orde VAR pada Pemodelan Data Asli

Untuk menentukan orde VAR yang akan terbentuk, maka digunakan plot MPACF. Berikut ini merupakan orde VAR yang terbentuk dibulan Juni.

Schematic Representation of Partial Autoregression												
Variable/ Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pol	+
HK	+.	+.

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

Gambar 1 Plot MPACF Bulan Juni

Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa lag yang signifikan pada kedua karakteristik kualitas adalah lag 1 sehingga orde VAR yang terbentuk untuk pemodelan data asli bulan Juni adalah VAR (1). Selanjutnya dengan langkah yang sama dilakukan penentuan orde VAR untuk bulan Juli sebagai berikut,

Schematic Representation of Partial Autoregression												
Variable/ Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pol	+	+-
HK	+.	+-

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

Gambar 2 Plot MPACF Bulan Juli

Berdasarkan plot MPACF bulan Juli diketahui bahwa lag yang signifikan pada kedua karakteristik kualitas adalah lag 1 dan 4 sehingga orde VAR yang terbentuk untuk pemodelan data asli bulan Juli adalah VAR (1, 4). Kemudian untuk orde VAR bulan Agustus diketahui bahwa plot MPACF yang terbentuk sebagai berikut,

Schematic Representation of Partial Autoregression												
Variable/ Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pol	+
HK	+.	+.

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

Gambar 3 Plot MPACF Bulan Agustus

Berdasarkan Gambar 3 diketahui lag yang signifikan pada kedua karakteristik kualitas adalah lag 1, namun ketika digunakan model VAR (1), model yang diperoleh tidak signifikan dalam parameter dan tidak berdistribusi multivariat normal. Setelah dilakukan pengecekan menggunakan plot PACF pada tiap karakteristik kualitas, diketahui bahwa terdapat lag yang keluar dari batas *confidence interval* yaitu lag 1 dan lag 2, sehingga orde VAR yang terbentuk untuk bulan Agustus adalah VAR (2).

3.) Penentuan Orde VAR pada Pemodelan Residual

Penentuan orde VAR pada residual dilakukan akibat residual yang dihasilkan oleh pemodelan data asli telah memenuhi asumsi distribusi multivariat normal namun masih terdapat autokorelasi sehingga menyebabkan residual yang diperoleh dari pemodelan data asli harus dimodelkan ulang. Untuk mengetahui orde VAR pada residual yang dihasilkan oleh pemodelan data asli maka residual tersebut dilakukan pengecekan menggunakan plot PACF guna mengetahui lag – lag yang masih berada diluar batas *confidence interval*. Berikut ini merupakan orde yang terbentuk dan digunakan untuk pemodelan pada residual yang dihasilkan oleh model VAR bulan Juni.

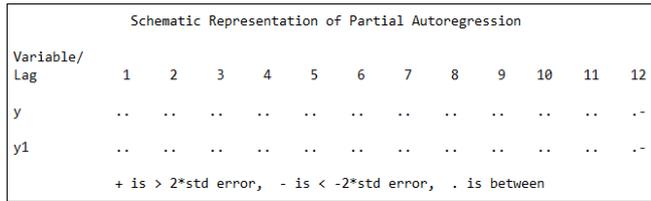
Schematic Representation of Partial Autoregression												
Variable/ Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
y	+
y1	+

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

Gambar 4 Plot MPACF Hasil Pemodelan Ulang Bulan Juni

Berdasarkan Gambar 4 lag yang signifikan adalah lag 8 namun ketika dimodelkan menggunakan VAR (8), diketahui bahwa masih terdapat autokorelasi pada residual hasil pemodelan ulang. Setelah dilakukan pengecekan menggunakan plot PACF pada tiap karakteristik kualitas, diketahui bahwa terdapat lag yang masih signifikan yaitu lag 8 dan lag 11, sehingga orde VAR yang terbentuk pada pemodelan ulang residual bulan Juni adalah VAR (8,11).

Langkah selanjutnya adalah menentukan orde untuk residual yang dihasilkan dari pemodelan data asli bulan Juli sebagai berikut,



Gambar 5 Plot MPACF Hasil Pemodelan Ulang Bulan Juli

Dari hasil plot MPACF residual data asli bulan Juli diketahui bahwa lag yang signifikan adalah lag 12 sehingga orde VAR yang terbentuk berdasarkan residual yang dihasilkan oleh pemodelan data asli bulan Juli adalah VAR (12).

4.) Bentuk Matematis dari Hasil Estimasi Parameter

Secara matematis, hasil estimasi parameter model VAR (1) berdasarkan data asli di bulan Juni dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} y_{1,t} \\ y_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8,10525 \\ 9,50261 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,37671 & 0,27969 \\ 0 & 0,71380 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \end{bmatrix} + a_t$$

Dari bentuk matematis tersebut diketahui bahwa variabel pol dipengaruhi oleh variabel HK dan dipengaruhi variabel Pol sendiri sedangkan variabel HK dipengaruhi oleh dirinya sendiri. Pada bulan Juni, dilakukan pemodelan ulang pada residual yang dihasilkan oleh pemodelan data asli sehingga bentuk matematis dari estimasi parameter model VAR (8, 11) sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,17046 & 0 \\ 0,32411 & -0,14802 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-8} \\ a_{2,t-8} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,20499 & 0 \\ 0,27305 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-11} \\ a_{2,t-11} \end{bmatrix}$$

Berdasarkan bentuk matematis tersebut diketahui bahwa variabel Pol dipengaruhi oleh dirinya sendiri, sedangkan variabel HK dipengaruhi oleh variabel Pol dan variabel HK sendiri.

Selanjutnya dengan langkah yang sama maka diperoleh bentuk matematis dari estimasi parameter model VAR (1, 4) berdasarkan data asli bulan Juli sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} y_{1,t} \\ y_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,13520 \\ 3,69463 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,46593 & 0,32167 \\ 0 & 0,84487 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,62847 & -0,49511 \\ 0,64273 & -0,49941 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-4} \\ y_{2,t-4} \end{bmatrix} + a_t$$

Dari bentuk matematis tersebut diketahui bahwa variabel Pol dipengaruhi oleh variabel HK dan variabel Pol sendiri sedangkan variabel HK dipengaruhi oleh variabel Pol dan variabel HK sendiri. Pada bulan Juli, juga dilakukan pemodelan ulang pada residual yang dihasilkan oleh pemodelan data asli Sehingga bentuk matematis dari estimasi parameter model VAR (12) sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,13422 & -0,37396 \\ 0 & -0,33205 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-12} \\ a_{2,t-12} \end{bmatrix}$$

Berdasarkan bentuk matematis tersebut diketahui bahwa variabel Pol dipengaruhi oleh variabel Pol sendiri dan variabel HK sedangkan variabel HK dipengaruhi oleh variabel HK sendiri.

Kemudian untuk estimasi parameter bulan Agustus diperoleh bentuk matematis sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} y_{1,t} \\ y_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14,00516 \\ 16,83127 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,32414 & 0 \\ 0 & 0,30610 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,16040 & 0 \\ 0 & 0,168834 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-2} \\ y_{2,t-2} \end{bmatrix}$$

Dari bentuk matematis tersebut diketahui bahwa variabel variabel Pol dan variabel HK masing – masing dipengaruhi oleh variabel itu sendiri.

5.) Pengujian Asumsi Residual

Untuk memperoleh residual dari model VAR terdapat 2 asumsi yang harus dipenuhi yaitu *white noise* dan multivariat normal. Berikut ini merupakan pengujian *white noise* dan multivariat normal untuk residual yang dihasilkan dari pemodelan VAR bulan Juni,

Tabel 2 Uji Portmanteau Model VAR (1) Bulan Juni

Lag	2	3	4	5	6
P-value	0,0419	0,2329	0,2848	0,2884	0,2909
Lag	7	8	9	10	11
P-value	0,2907	0,0211	0,0175	0,0260	0,0005

Berdasarkan Tabel 2 diketahui dengan menggunakan alpha sebesar 0,1 terdapat beberapa lag yang masih terjadi autokorelasi, hal ini juga dibuktikan dengan masih adanya lag berada diluar batas *confidence interval* pada plot ACF residual dari masing – masing karakteristik kualitas.

Setelah dilakukan pemodelan ulang pada residual diperoleh diketahui bahwa setelah residual dimodelkan ulang asumsi *white noise* telah terpenuhi hal itu dibuktikan dengan tidak adanya lag yang keluar dari batas *confidence interval* pada residual masing – masing karakteristik kualitas. Kemudian untuk pengujian multivariat normal pada pemodelan data awal diperoleh nilai t sebesar 0,617284 sedangkan untuk pemodelan ulang residual diperoleh nilai t sebesar 0,619195 dari pemodelan data asli bulan Juni dan pemodelan ulang residual berdistribusi multivariat normal.

Selanjutnya dengan langkah yang sama dilakukan pengujian *white noise* dan multivariat normal pada bulan Juli.

Tabel 3 Uji Portmanteau Model VAR (1,4) Bulan Juli

Lag	5	6	7	8	9
P-value	<0,0001	0,0003	0,0011	0,0043	0,0092
Lag	10	11	12	13	14
P-value	0,0043	0,0184	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Berdasarkan Tabel 3 diketahui dengan menggunakan alpha sebesar 0,1 terdapat beberapa lag yang masih terjadi autokorelasi, hal tersebut juga diperkuat dengan masih adanya lag yang keluar dari batas *confidence interval* pada plot ACF masing – masing karakteristik kualitas.

Setelah residual dimodelkan ulang maka asumsi *white noise* telah dipenuhi dan dibuktikan dengan tidak adanya lag yang keluar dari batas *confidence interval* pada plot ACF masing – masing karakteristik kualitas. Untuk pengujian multivariat normal pada pemodelan data awal diperoleh nilai t sebesar 0,670000 sedangkan untuk pemodelan ulang residual diperoleh nilai t sebesar 0,656667 sehingga dapat disimpulkan bahwa residual yang dihasilkan dari pemodelan data asli bulan Juni dan pemodelan ulang residual berdistribusi multivariat normal.

Sama halnya dengan bulan Juni dan Juli, pada bulan Agustus juga akan dilakukan pengecekan *white noise* dan multivariat normal pada residual yang dihasilkan oleh pemodelan VAR bulan Agustus sebagai berikut,

Tabel 4 Uji Portmanteau Model VAR (2) Bulan Agustus

Lag	3	4	5	6	7
P-value	0,2828	0,5766	0,7159	0,7326	0,3121
Lag	8	9	10	11	12
P-value	0,4156	0,4762	0,5069	0,2863	0,1928
Lag	13	14	15	16	17
P-value	0,2149	0,3093	0,3689	0,4329	0,4532

Berdasarkan Tabel 4 diketahui dengan menggunakan alpha sebesar 0,1 asumsi *white noise* telah dipenuhi sehingga tidak ada lagi autokorelasi. Hal ini juga dibuktikan dengan tidak adanya lag keluar dari batas *confidence interval* pada plot ACF residual dari masing – masing karakteristik kualitas berikut ini, kemudian hasil pemodelan juga menunjukkan bahwa residual telah memenuhi asumsi multivariat normal dengan nilai t sebesar 0,687500.

C. Pengendalian Kualitas Tetes

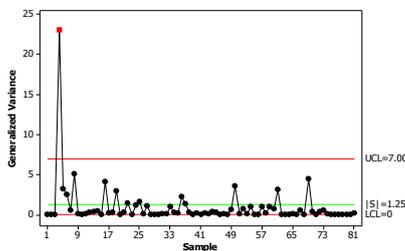
Langkah awal pada pengendalian kualitas tetes produksi PG Pesantren baru adalah melakukan pengujian asumsi diagram kontrol kemudian dilanjutkan dengan pengendalian kualitas fase 1 dan 2.

1.) Pengujian Asumsi Diagram Kontrol

Pengujian asumsi diagram kontrol meliputi uji korelasi dan uji multivariat normal. Untuk uji multivariat normal telah dilakukan pada tahapan pemodelan VAR. Selanjutnya untuk pengujian korelasi diperoleh hasil bahwa dengan alpha sebesar 0,1 maka varians dari matriks korelasi pada residual karakteristik kualitas adalah homogen dan matriks kovariannya saling berkorelasi.

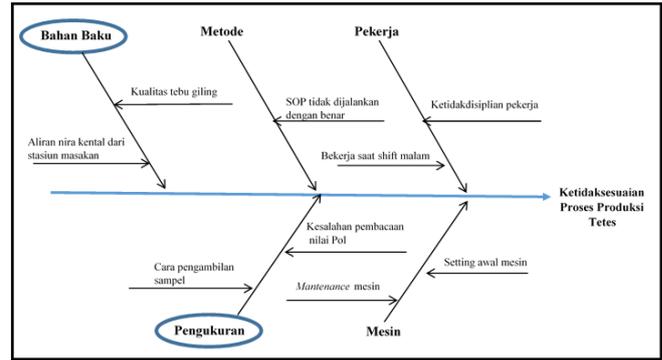
2.) Menganalisis Variabilitas dan Rata – Rata Produksi Tetes Fase 1

Analisis fase 1 digunakan untuk menentukan batas kendali dari data pengamatan yang telah terkendali baik secara variabilitas dan rata – rata. Berikut ini hasil monitoring variabilitas proses produksi tetes menggunakan diagram kontrol *Generalized Variance*,



Gambar 6 Diagram Kontrol Residual GV Fase 1

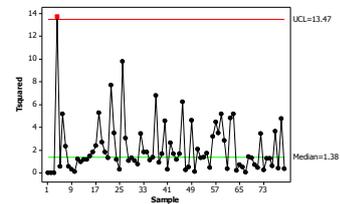
Berdasarkan Gambar 6 diketahui masih terdapat pengamatan yang tidak terkendali yaitu pada subgrup ke 4 dengan batas kendali atas sebesar 7,00 dan batas kendali bawah sebesar 0. Untuk mengeluarkan data pengamatan yang berada diluar batas kendali pada diagram kontrol, maka syarat utama yang harus dipenuhi adalah diketahuinya faktor penyebab data yang tidak terkendali tersebut. Berikut ini adalah diagram Ishikawa yang merepresentasikan faktor utama yang menjadi penyebab apabila ditemukan data yang tidak terkendali,



Gambar 7 Diagram Ishikawa dari Proses Produksi Tetes

Faktor utama apabila terdapat data yang tidak terkendali pada proses produksi tetes adalah faktor pekerja, mesin, metode, pengukuran dan bahan baku. Dari kelima faktor tersebut, faktor bahan baku dan pengukuran adalah faktor yang paling berpengaruh apabila terdapat data pengamatan yang tidak terkendali pada bulan Juni – Agustus periode giling 2014. Setelah penyebab apabila terdapat data yang tidak terkendali diketahui dan andaikan penyebab suatu data yang tidak terkendali diperbaiki pada proses produksi tetes maka dengan melakukan 1 kali iterasi pada subgrup ke 4 maka diperoleh diagram kontrol *Generalized Variance* yang terkendali dengan batas kendali atas 6,437 dan batas kendali bawah 0.

Selanjutnya setelah diperoleh data pengamatan yang terkendali secara variabilitas dilanjutkan dengan monitoring rata – rata produksi tetes menggunakan diagram kontrol T^2 Hotelling sebagai berikut,

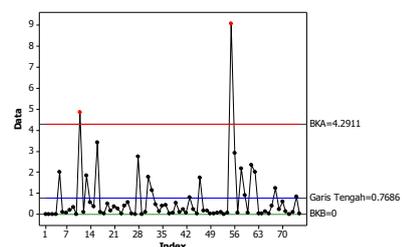


Gambar 8 Diagram Kontrol Residual T^2 Hotelling Fase 1

Berdasarkan Gambar 8 masih terdapat pengamatan yang tidak terkendali yaitu subgrup ke 5 dengan batas atas 13,47 dan nilai garis tengah 1,38. Setelah data pengamatan yang tidak terkendali dikeluarkan diperoleh hasil diagram kontrol T^2 Hotelling yang terkendali dengan 13,48 dan nilai garis tengah sebesar 1,38.

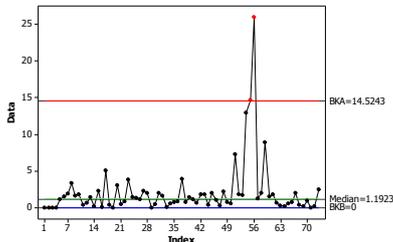
3.) Menganalisis Variabilitas dan Rata – Rata Produksi Tetes Fase 2 Periode Juli

Pada diagram kontrol *Generalized Variance* fase 2 periode Juli, batas kendalinya dibangun berdasarkan parameter diagram kontrol *Generalized Variance* yang telah terkendali di fase 1 dan menghasilkan diagram kontrol sebagai berikut,



Gambar 9 Diagram Kontrol Residual GV Fase 2 Periode Juli

Berdasarkan Gambar 9 diketahui bahwa masih terdapat pengamatan yang tidak terkendali yaitu subgrup ke 11 dan 55 dengan batas kendali atas 4,2911, dan batas kendali bawah 0. Setelah dilakukan 2 kali iterasi pada pengamatan yang tidak terkendali maka diperoleh diagram kontrol *Generalized Variance* yang terkendali dengan batas kendali atas 3,5073 dan batas kendali bawah 0.

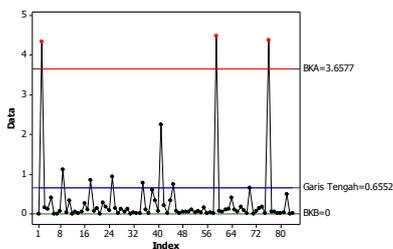


Gambar 10 Diagram Kontrol Residual T^2 Hotteling Fase 2 Periode Juli

Berdasarkan Gambar 10 diketahui hasil monitoring rata – rata tetes menunjukkan terdapat pengamatan yang tidak terkendali yaitu pengamatan ke 57 dan 58 dengan batas atas 14,5243 dan batas bawah 0. Kemudian setelah dilakukan 3 kali iterasi dimana pada iterasi 1 data yang dikeluarkan adalah subgrup 58, iterasi kedua data pengamatan yg dikeluarkan subgrup 57 dan iterasi ketiga data yang dikeluarkan adalah subgrup 56 maka diperoleh diagram kontrol yang terkendali dengan batas atas 14,5557 dan batas bawah 0.

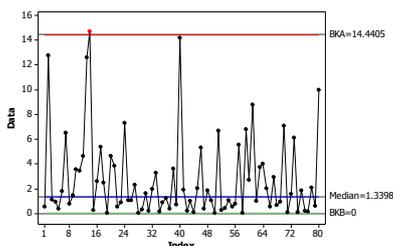
4.) *Menganalisis Variabilitas dan Rata – Rata Produksi Tetes Fase 2 Periode Agustus*

Pengendalian proses variabilitas dan rata – rata fase 2 periode Agustus dapat dilakukan ketika proses pada fase 1 telah terkendali. Berikut ini hasil monitoring variabilitas proses produksi tetes pada fase 2 periode Agustus.



Gambar 11 Diagram Kontrol Residual GV Fase 2 Periode Juli

Berdasarkan Gamba 11 diketahui bahwa masih terdapat pengamatan yang berada diluar batas kendali yaitu subgrup ke 2, 59 dan 76 dengan batas kendali atas 3,6577 dan batas kendali bawah 0.



Gambar 12 Diagram Kontrol Residual T^2 Hotteling Fase 2 Periode Agustus

Berdasarkan Gambar 12 diketahui hasil monitoring rata – rata tetes menunjukkan terdapat pengamatan yang tidak terkendali yaitu pengamatan ke 15 dengan batas atas 14,4405 dan batas bawah 0. Kemudian setelah dilakukan 1 kali iterasi pada data pengamatan ke 15 maka diperoleh diagram kontrol yang terkendali dengan batas atas 14,4435 dan batas bawah 0. Selanjutnya setelah data pengamatan terkendali dalam varians dan rata – rata maka dilakukan analisis terhadap kapabilitas proses produksi tetes. Pada bulan Agustus diperoleh nilai kapabilitas proses sebesar 6,49593 dan hal tersebut menunjukkan bahwa proses produksi tetes bulan Agustus telah kapabel.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan bahwa proses produksi tetes pada bulan Juni 2014 belum terkendali dalam variabilitas dan rata – rata. Faktor penyebab apabila terjadi data pengamatan yang berada diluar batas kendali pada fase 1 adalah faktor bahan baku dan pengukuran. Dari indeks kapabilitas proses tersebut diketahui bahwa proses produksi tetes bulan Juli dan Agustus telah kapabel.

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya berkaitan dengan diagram kontrol *multivariate* berbasis model *time series* yakni lebih memperhatikan pemodelan menggunakan VARIMA. Kemudian pada saat melakukan pengendalian kualitas menggunakan metode ini juga disarankan untuk memastikan bahwa efek autokorelasi sudah tidak terdapat dalam data. Sedangkan saran yang dapat diberikan kepada pihak PG Pesantren Baru, dalam melakukan proses produksi tetes harus melakukan perbaikan proses karena terdapat produksi tetes yang tidak terkendali dalam variabilitas dan rata – rata pada bulan Juni – Agustus 2014. Selain itu faktor – faktor penyebab ketidaksesuaian proses produksi tetes harus menjadi prioritas perbaikan sehingga proses produksi kedepannya dapat terkendali dan sesuai dengan yang diharapkan oleh PG Pesantren Baru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Widarti. (2009). *Kejar Produksi 576.000 Ton Gula, Ini Strategi PTPN X*. (16 Juni 2014). Bisnis [On-line].
- [2] Moerdokusumo, A. (1993). *Pengawasan Kualitas dan Teknologi Pembuatan Gula di Indonesia*. Bandung: Penerbit ITB.
- [3] Montgomery, D.C. (Eds). (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. Arizona: John Wiley and Son's.
- [4] Pan, X., Jarrett, J., E. (2005). *Vector Autoregression and Monitoring Multivariate Autocorrelated Processes*. Journal of Encouraging Creative Research, College of Business Administration University of Rhode Island.
- [5] Psarakis, S., Papaleonida, G., E., A. (2007). *SPC Procedures for Monitoring Autocorrelated Processes*. Journal of Quality Technology & Quantitative Management 4 (4), 501 – 540.
- [6] Sarte, G., M., F., Tamargo, J. (2013) *Monitoring TV Ratings Using Multivariate Control Charts for Time Series Data*. Proceedings of 12th National Convention on Statistics (NCS). Mandaluyong: EDSA Shangri – La Hotel.
- [7] Wei, W. W. S. (2006). *Time Series Analysis*. New York: Addison Wesley.
- [8] Kotz, S., Johnson, L. (1993). *Process Capability Indices*. California: Springer.