

Analisis Pengendalian Kualitas Tetes PG Kremboong Sidoarjo Menggunakan Diagram Kontrol MEWMA dan MEWMV

Dony Mukthar Harianja dan Muhammad Mashuri
Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: m_mashuri@statistika.its.ac.id

Abstrak— Gula yang dihasilkan untuk setiap kali proses produksi di PG Kremboong Sidoarjo belum optimal. Hal ini terjadi karena masih banyaknya kandungan gula (sukrosa) yang terdapat dalam ampas tebu, blotong dan tetes. Kandungan gula terbesar terdapat dalam tetes karena sudah dekat dengan stasiun akhir proses produksi gula. Tetes atau molases merupakan produk sisa yang tidak dapat dikristalkan lagi dan tidak dapat dikonsumsi dari hasil sistem puteran LGF. Kadar gula dalam tetes diukur melalui perhitungan harkat kemurnian tetes berdasarkan persentase Pol dan Brix. Batas spesifikasi yang digunakan pada pengukuran Pol dan Brix sangat teliti sehingga terdapat indikasi terjadi pergeseran proses yang kecil. Ketelitian batas spesifikasi Pol dan Brix dapat diketahui dari rentang batas spesifikasi yang kecil dimana pengamatan yang keluar dari batas spesifikasi dapat dideteksi hingga nilai satu desimal. Hal ini dapat juga dilihat dari nilai-nilai pengamatan dengan selisih yang kecil. Dalam mengurangi tingkat kehilangan gula untuk setiap kali proses produksi maka dilakukan pengendalian kualitas tetes menggunakan diagram kontrol *Multi-variate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)* dan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV)*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variabilitas dan rata-rata proses produksi tetes pada fase 1 bulan September 2015 belum terkendali secara statistik. Pembobot optimum mendeteksi pergeseran variabilitas proses diperoleh $\lambda = 0,7$ dan $\omega = 0,1$ sedangkan rata-rata proses sebesar $\lambda = 0,8$. Selanjutnya, pada fase 2 bulan Oktober 2015 diketahui variabilitas dan rata-rata proses belum terkendali secara statistik. Setelah dilakukan perbaikan diagram kontrol pada fase 2 diperoleh variabilitas dan rata-rata proses produksi tetes sudah terkendali. Selanjutnya dilakukan perhitungan kapabilitas proses dan diperoleh hasil MC_P sebesar 0,9230, MC_{PK} sebesar -0,7610 dan MC_{PM} sebesar 0,2056. Sehingga proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo pada bulan Oktober 2015 belum kapabel dari segi akurasi, presisi serta gabungan akurasi dan presisi karena indeks kapabilitas proses yang lebih kecil dari 1.

Kata Kunci—Tetes, Pol, Brix, Indeks Kapabilitas Proses.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara pengimpor gula terbesar ketiga di dunia pada tahun 2015 [1]. Hal ini terjadi karena penurunan kuantitas gula yang diproduksi oleh masing-masing pabrik gula dan bahan baku tebu yang berkurang. Dalam mengatasi masalah ini pemerintah membuat suatu kebijakan untuk merivitalisasi semua pabrik gula BUMN dalam negeri [2]. Revitalisasi yang dimaksud adalah memodernisasi proses pengolahan gula

sehingga menghasilkan gula yang lebih banyak dengan kualitas yang lebih baik.

PTPN X merupakan perusahaan BUMN yang bergerak dalam bidang pengolahan tebu. Perusahaan tersebut memiliki 11 pabrik gula yang tersebar di wilayah Jawa Timur. PG Kremboong Sidoarjo merupakan salah satu bagian dari perusahaan tersebut dengan kapasitas giling 2400 TCD (*Ton Cane per Day*). Proses produksi gula di PG Kremboong Sidoarjo berlangsung pada bulan Mei – Oktober.

Proses pengolahan tebu menjadi gula di PG Kremboong Sidoarjo terbagi menjadi tujuh stasiun kerja dan salah satunya adalah stasiun puteran. Pada stasiun ini dihasilkan gula berjenis SHS dan hasil samping berupa tetes. Menurut Juli selaku *staff* divisi *Quality Control*, jumlah produksi gula yang dihasilkan untuk setiap kali proses produksi belum optimal. Hal ini terjadi karena masih banyaknya kandungan gula (sukrosa) yang terdapat dalam ampas tebu, blotong dan tetes. Kandungan gula terbesar terdapat dalam tetes karena sudah dekat dengan stasiun akhir proses produksi gula.

Pengendalian kualitas tetes yang telah dilakukan oleh pihak QC menunjukkan beberapa nilai pengamatan Pol dan Brix masih berada diluar batas spesifikasi perusahaan. Hal ini terjadi karena adanya penyebab khusus dalam proses sehingga pengamatan karakteristik kualitas Pol dan Brix belum terkendali. Kadar gula dalam tetes diketahui dari hasil pengukuran harkat kemurnian tetes berdasarkan persentase Pol dan Brix. Batas spesifikasi yang digunakan pada pengukuran Pol dan Brix sangat teliti sehingga terdapat indikasi terjadi pergeseran proses yang kecil. Ketelitian batas spesifikasi Pol dan Brix dapat diketahui dari rentang batas spesifikasi yang kecil dimana pengamatan yang keluar dari batas spesifikasi dapat dideteksi hingga nilai satu desimal. Hal ini dapat juga dilihat dari nilai-nilai pengamatan dengan selisih yang kecil. Sehingga, pengendalian kualitas tetes dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA dan MEWMV pada pengamatan individual. Hal ini bertujuan untuk menekan tingkat kehilangan gula setiap kali proses produksi.

Penelitian yang berkaitan dengan proses produksi gula dilakukan oleh Due N (2009) terkait analisis kualitas ampas tebu di PG Pesantren Baru Kediri. Diketahui variabilitas dan rata-rata proses produksi ampas pada fase 1 dan fase 2 belum terkendali secara statistik. Pembobot optimum dalam mendeteksi pergeseran variabilitas proses yaitu $\lambda=0,4$ dan $\omega=0,4$ serta rata-rata proses $\lambda=0,9$ [3].

Berdasarkan uraian diatas, dalam tugas akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap pengendalian kualitas Pol dan Brix yang terkandung dalam tetes produksi PG Kremboong Sidoarjo menggunakan diagram kontrol MEWMA dan MEWMV. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi bagi pihak PG Kremboong Sidoarjo mengenai pengendalian kualitas tetes secara statistik pada periode gling bulan September-Oktober 2015.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengujian Korelasi

Pengujian korelasi dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode korelasi *perason* karena terdapat dua variabel yang diteliti yaitu X_1 dan X_2 . Hubungan antara dua variabel dalam populasi diduga dengan koefisien ρ sedangkan dalam sampel diduga dengan koefisien r . Perumusan hipotesis korelasi didefinisikan sebagai berikut.

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

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

statistik uji:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \tag{1}$$

nilai r diperoleh dari perhitungan berikut

$$r_{x_1x_2} = \frac{\sum_{i=1}^t (X_{1i} - \bar{X}_1)(X_{2i} - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^t (X_{1i} - \bar{X}_1)^2 \sum_{i=1}^t (X_{2i} - \bar{X}_2)^2}}$$

dimana i = pengamatan sebanyak t

Tolak H_0 jika atau $t_{hitung} > t_{\alpha,df}$ dimana $df = t - 2$ [4].

B. Diagram Kontrol MEWMV

Diagram kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) digunakan untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses yang kecil. Penerapan diagram kontrol MEWMV dilakukan untuk mendeteksi perubahan matriks kovarian dengan asumsi bahwa tidak terjadi pergeseran rata-rata proses. Perumusan diagram kontrol MEWMV dibentuk dari persamaan berikut ini [5].

$$V_t = \omega(x_t - y_t)(x_t - y_t)^T + (1-\omega)V_{t-1} \tag{2}$$

dimana

$$V_0 = (x_1 - y_1)(x_1 - y_1)^T$$

ω : pembobot *smoothing constant*, $0 < \omega < 1$

x_t : estimasi MEWMA

$$y_t = \lambda x_t + (1-\lambda)y_{t-1} \tag{3}$$

dimana $0 < \lambda < 1$ dan $y_0 = 0$, untuk mendeteksi perubahan matrix kovarian, terlebih dahulu mendefinisikan

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_t]^T; Y = [y_1, y_2, \dots, y_t]^T$$

$$C = \text{diag}((1-\omega)^{t-1}, \omega(1-\omega)^{t-2}, \dots, \omega(1-\omega), \omega)$$

$$V_t = X(I_t - M)^T C(I_t - M)X$$

$$= X^T QX \tag{6}$$

$$Q = (I_t - M)^T C(I_t - M), 1 \leq i, j \leq t \tag{7}$$

I_t adalah matriks identitas berukuran $t \times t$.

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

diperoleh titik yang diplotkan dalam diagram kontrol

$$\text{tr}(V_t) = \text{tr}(X^T QX) = \text{tr}(QXX^T) \tag{8}$$

bila proses terkendali diperoleh persamaan

$$E[\text{tr}(V_t)] = p \cdot \text{tr}(Q) \tag{9}$$

$$\text{Var}[\text{tr}(V_t)] = 2p \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t q_{ij}^2 \tag{10}$$

batas diagram kontrol berdasarkan $\text{tr}(V_t)$ diberikan oleh

$$P \text{tr}(Q) \pm L \sqrt{2p \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t q_{ij}^2} \tag{11}$$

nilai L bergantung pada p , ω dan λ yang sudah ditentukan sebelumnya.

C. Diagram Kontrol MEWMA

Diagram kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) digunakan untuk mendeteksi pergeseran *mean* proses yang kecil. Penerapan diagram kontrol MEWMA dilakukan dengan mengakumulasi informasi dari pengamatan sebelumnya sehingga membuat diagram kontrol ini lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses yang kecil. Diagram kontrol ini juga robust terhadap *non-normal distribution* pada pengamatan individual [6]. Perumusan diagram kontrol MEWMA didefinisikan sebagai berikut [7].

$$Z_i = \lambda X_i + (1-\lambda)Z_{i-1} \tag{12}$$

Dimana $Z_0 = 0$ dengan $i=1,2,\dots,t$

t : banyaknya pengamatan

λ : besarnya pembobot, $0 < \lambda < 1$

diperoleh titik yang diplotkan dalam diagram kontrol

$$T_i^2 = Z_i^T \Sigma_z^{-1} Z_i \tag{13}$$

dimana matriks kovarian sebagai berikut,

$$\Sigma_{z_i} = \frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}] \Sigma \tag{14}$$

Pada diagram kontrol MEWMA, nilai Batas Kendali Atas (BKA) dinyatakan dalam H yang diperoleh berdasarkan nilai pembobot λ [8]. Proses dikatakan terkendali apabila nilai pengamatan lebih kecil dari batas kendali atau $T_i^2 > H$.

D. Indeks Kapabilitas Proses

Multivariate Proses Capability Indices (MPCI) menunjukkan seberapa baik sebuah proses manufaktur dapat menemui batas spesifikasi ketika karakteristik kualitas memiliki korelasi [9]. Suatu proses produksi berjalan secara *capable* apabila nilai $C_p \geq 1$ Berikut ini merupakan persamaan metode MPCI dengan pendekatan *ridge regression* yang di-ba-ngun dari masing-masing karakteristik kualitas.

$$X_1 = a_{11}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1p}X_p + \varepsilon_1 \tag{15}$$

$$\dots$$

$$X_p = a_{p1}X_1 + a_{p2}X_2 + \dots + a_{p,p-1}X_{p-1} + \varepsilon_p$$

ε merupakan kesalahan acak (*error random*). Bila proses terkendali secara statistik maka parameter yang diperoleh dari persamaan (15) digunakan untuk menentukan perkiraan standar deviasi.

$$\hat{\sigma}_{x_1^2} = a_{12}^2 \hat{\sigma}_{x_2}^2 + a_{13}^2 \hat{\sigma}_{x_3}^2 + \dots + a_{1p}^2 \hat{\sigma}_{x_p}^2$$

$$+ 2a_{12}a_{13} \hat{\sigma}_{x_2x_3} + \dots + 2a_{1,p-1}a_{1p} \hat{\sigma}_{x_{p-1}x_p} \tag{16}$$

$$\dots$$

$$\hat{\sigma}_{x_2^2} = a_{p1}^2 \hat{\sigma}_{x_1}^2 + a_{p2}^2 \hat{\sigma}_{x_2}^2 + \dots + a_{p,p-1}^2 \hat{\sigma}_{x_{p-1}}^2$$

$$+ 2a_{p1}a_{p2} \hat{\sigma}_{x_2x_3} + \dots + 2a_{p,p-2}a_{p,p-1} \hat{\sigma}_{x_{p-1}x_p}$$

demikian juga perkiraan untuk rata-rata karakteristik kualitas masing-masing dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{X_{11}} &= a_{12}\hat{\mu}_{X_2} + \dots + a_{1p}\hat{\mu}_{X_p} \\ &\dots\dots\dots \\ \hat{\mu}_{X_{1p}} &= a_{p1}\hat{\mu}_{X_1} + \dots + a_{p,p-1}\hat{\mu}_{X_{p-1}} \end{aligned} \tag{17}$$

Kapabilitas proses secara univariat pada masing-masing karakteristik kualitas dihitung dengan indeks

$$\begin{aligned} \hat{C}_p(X_i) &= \frac{BSA_{X_i} - BSB_{X_i}}{6\hat{\sigma}_{X_i}} \\ \hat{C}_{PK}(X_i) &= \text{Min} \left\{ \frac{BSA_{X_i} - \hat{\mu}_{X_i}}{3\hat{\sigma}_{X_i}}, \frac{\hat{\mu}_{X_i} - BSB_{X_i}}{3\hat{\sigma}_{X_i}} \right\} \\ \hat{C}_{PM}(X_i) &= \frac{BSA_{X_i} - BSB_{X_i}}{6\sqrt{\hat{\sigma}_{X_i}^2 + (\hat{\mu}_{X_i} - T_{X_i})^2}}, i = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \tag{18}$$

Besar pembobot yang digunakan untuk karakteristik kualitas Brix adalah 0,8 dan Pol sebesar 0,2. Perumusan indeks kapabilitas produk didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} MC_p &= \sum_{i=1}^p W_i C_p(X_i) \\ MC_{PK} &= \sum_{i=1}^p W_i C_{PK}(X_i) \\ MC_{PMK} &= \sum_{i=1}^p W_i C_{PMK}(X_i) \\ \sum_{i=1}^p W_i &= 1, i = 1, 2, \dots, p \end{aligned} \tag{19}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari departemen *quality control* PG Kremboong Sidoarjo. Unit penelitian adalah tetes sedangkan objek yang diteliti adalah Pol dan Brix. Pengamatan karakteristik kualitas Pol dan Brix dilakukan tiap selang waktu satu jam berdasarkan *shift* kerja. Subgrup dalam penelitian ini adalah perjam karena sampel yang diteliti menghasilkan pengukuran yang berbeda tiap selang waktu satu jam dimana ukuran subgrup adalah satu. Ukuran subgrup ditentukan satu (n=1) karena sampel yang diteliti bersifat homogen. Pengambilan sampel dibagi atas tiga *shift* kerja. *Shift* kerja pertama bekerja mulai jam 06.00 – 13.00, *shift* kerja kedua bekerja mulai jam 14.00 – 21.00 dan *shift* kerja ketiga bekerja mulai jam 22.00 – 05.00. Sehingga dalam satu hari dilakukan pengambilan sampel sebanyak 24. Sampel yang digunakan dalam diagram kontrol fase 1 yaitu pada tanggal 1 – 30 September 2015 sebanyak 720 pengamatan sedangkan pada fase 2 yaitu pada tanggal 1 – 26 Oktober 2015 sebanyak 624 pengamatan. Pemilihan sampel pada fase 1 dan 2 didasarkan pada proses produksi gula yang ber-langsung pada bulan Mei – Oktober 2015. Penjumlahan volume produksi gula setiap bulan akan dijadikan sebagai volume produksi gula pada periode giling tahun 2015.

B. Langkah Analisis

Berikut ini adalah langkah analisis yang dilakukan pada pengendalian kualitas tetes PG Kremboong Sidoarjo

1. Mendeskripsikan data Pol dan Brix

2. Melakukan pengujian korelasi terhadap Pol dan Brix
3. Menganalisis variabilitas dan rata-rata proses produksi tetes menggunakan diagram kontrol MEWMV fase 1 periode giling September 2015
4. Menganalisis variabilitas dan rata-rata proses produksi tetes menggunakan diagram kontrol MEWMV fase 2 periode giling Oktober 2015
5. Menghitung indeks kapabilitas proses dari data pengamatan yang telah terkendali pada fase 2 periode periode Oktober.
6. Memperoleh kesimpulan dan saran dari hasil analisis.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data Tetes

Deskripsi karakteristik kualitas tetes merupakan gambaran umum hasil produksi tetes secara statistik. Berikut ini merupakan hasil analisis statistika deskriptif pada karakteristik kualitas tetes bulan September – Oktober 2015.

TABEL 1. KARAKTERISTIK KUALITAS TETES

Bulan	Karakteristik Kualitas	Batas Spesifikasi	Mean	Varians	Min	Mak
September	Pol	27,8 – 29,1	30,06	0,539	24,6	35,5
September	Brix	87,0 – 90,0	90,08	1,385	84,6	93,6
Oktober	Pol	27,8 – 29,1	29,80	0,343	26,4	52,9
Oktober	Brix	87,0 – 90,0	89,54	1,783	84,6	92,6

Karakteristik kualitas pada Tabel 1 menunjukkan rata-rata Pol pada bulan September – Oktober berada diluar batas spesifikasi. Rata-rata brix pada bulan Oktober berada didalam batas spesifikasi sedangkan bulan September berada diluar batas spesifikasi. Selanjutnya, apabila ditinjau dari variansi Pol dan Brix diketahui bahwa Pol memiliki variansi terbesar pada bulan September yaitu sebesar 0,539 dan Brix pada bulan Oktober yaitu sebesar 1,783. Jika dilihat dari nilai minimum dan maksimum Pol dan Brix pada bulan September – Oktober, kedua variabel tersebut berada diluar batas spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan.

B. Uji Korelasi Karakteristik Kualitas Tetes

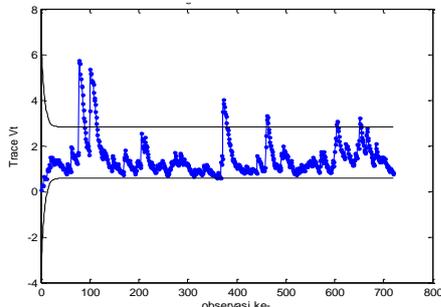
Berdasarkan persamaan (1) diperoleh nilai t hitung sebesar 20,060 dan $t_{0,0027,1342}$ sebesar 3,006. Nilai t hitung $> t_{0,0027,1342}$, berarti H_0 ditolak sehingga disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara karakteristik kualitas Pol dan Brix. .

C. Analisis Variabilitas dan Rata-Rata Fase 1

Analisis variabilitas dan rata-rata pada fase 1 dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA. Penerapan diagram kontrol fase 1 bertujuan untuk membangun batas kendali dengan memilih pembobot yang paling optimum dalam mendeteksi pergeseran proses. Data pengamatan yang digunakan dalam analisis ini adalah periode giling bulan September 2015.

1) Penerapan Diagram Kontrol MEWMV Fase 1

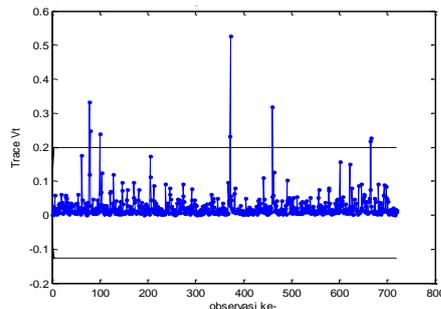
Diagram kontrol MEWMV digunakan untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses. Penerapan diagram kontrol ini dilakukan dengan mengkombinasikan nilai pembobot $0 < \lambda < 1$ dan $0 < \omega < 1$. Hasil analisis pengendalian variabilitas proses produksi tetes menggunakan diagram kontrol MEWMV fase 1 dengan berbagai nilai pembobot dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Kontrol MEWMA Fase 1 $\omega = 0,1$; $\lambda = 0,1$

Pengendalian proses pada Gambar 1 menunjukkan variabilitas proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo pada bulan September 2015 dengan pembobot belum terkendali secara statistik. Jumlah data yang berada diluar batas kendali sebanyak 45 pengamatan.

Selanjutnya, analisis pengendalian variabilitas proses produksi tetes dengan pembobot $\omega=0,9$ dan $\lambda=0,9$ ditampilkan berikut ini.



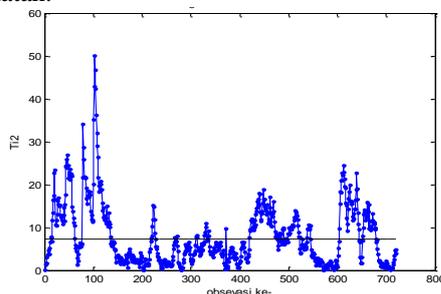
Gambar 2. Diagram Kontrol MEWMA Fase 1 $\omega = 0,9$; $\lambda = 0,9$

Variabilitas proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo pada periode giling bulan September 2015 belum terkendali secara statistik seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Hal ini diketahui dari data pengamatan yang masih berada diluar batas kendali sebanyak 11 pengamatan

Berdasarkan hasil analisis variabilitas dengan kombinasi berbagai nilai pembobot $0 < \lambda < 1$ dan $0 < \omega < 1$ maka diperoleh pembobot optimum dalam mendeteksi pergeseran proses yaitu $\omega=0,7$ dan $\lambda=0,7$. Pembobot tersebut diperoleh dari nilai selisih terkecil hasil perhitungan $tr(Vt)$ maksimum dikurangi Batas Kendali Atas (BKA) maksimum pada masing-masing pembobot.

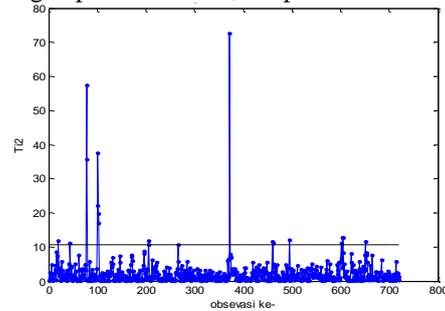
2) Penerapan Diagram Kontrol MEWMA Fase 1

Diagram kontrol MEWMA digunakan untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses. Penerapan diagram kontrol ini dilakukan dengan pembobot $0 < \lambda < 1$ dan H sebagai batas kendali atas yang sudah ditetapkan berdasarkan nilai pembobot λ . Hasil analisis pada Gambar 3 menunjukkan rata-rata proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo pada bulan September 2015 belum terkendali secara statistik. Banyaknya data yang berada diluar batas kendali atas sebesar 7,35 adalah 294 pengamatan.



Gambar 3. Diagram Kontrol MEWMA Fase 1 $\lambda=0,5$

Selanjutnya hasil pengendalian rata-rata proses produksi tetes menggunakan diagram kontrol MEWMA fase 1 dengan pembobot $\lambda=0,8$ dapat dilihat berikut ini.



Gambar 4. Diagram Kontrol MEWMA Fase 1 $\lambda = 0,8$

Hasil analisis pada Gambar 4 menunjukkan rata-rata proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo belum terkendali secara statistik. Jumlah data yang berada diluar batas kendali atas sebesar 10,58 sebanyak 19 pengamatan.

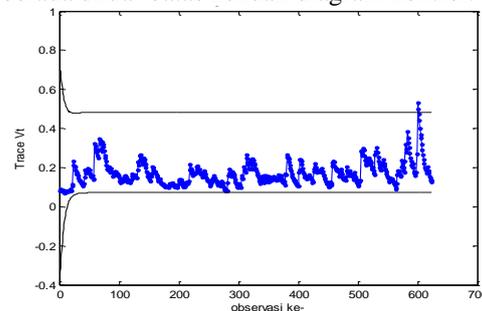
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan berbagai nilai pembobot $0 < \lambda < 1$ diperoleh hasil yang sama yaitu rata-rata proses produksi tetes belum terkendali secara statistik. Pembobot optimum dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses produksi tetes diperoleh $\lambda=0,8$.

D. Analisis Variabilitas dan Rata-Rata Fase 2

Analisis variabilitas dan rata-rata fase 2 bertujuan untuk memantau proses produksi tetes pada periode giling Oktober 2015. Pembobot optimum yang diperoleh dari diagram kontrol MEWMA dan MEWMA fase 1 akan digunakan pada analisis pengendalian proses produksi tetes fase 2.

1) Penerapan Diagram Kontrol MEWMA Fase 2

Pembobot optimum fase 1 digunakan untuk memantau proses produksi tetes pada fase 2. Hasil *monitoring* proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo pada periode giling Oktober 2015 dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil analisis tersebut menunjukkan variabilitas proses produksi tetes belum terkendali secara statistik. Proses tidak terkendali diketahui karena terdapat 2 pengamatan yang berada diluar batas kendali diagram kontrol.



Gambar 5. Diagram Kontrol MEWMA Fase 2 $\lambda=0,7$; $\omega=0,1$

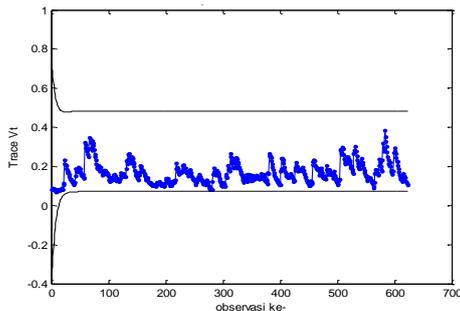
2) Identifikasi Faktor Penyebab Out of Control

Faktor penyebab proses *out of control* diidentifikasi melalui pengamatan yang telah dilakukan di PG Kremboong Sidoarjo. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kualitas tebu seperti tebu muda dan tebu layu (daduk) yang dapat mengakibatkan harkat kemurnian tetes rendah. Selain itu dapat juga disebabkan oleh Sistem Operasional Pabrik (SOP) tidak dilakukan dengan benar seperti penambahan bahan baku pembantu yang tidak sesuai dengan takaran yang ditentukan. Demikian juga dengan ketidakdisiplinan pekerja terutama pada saat *shift*

malam yang sudah mulai jenuh dan kantuk. Kemampuan karyawan yang terbatas tidak sesuai harapan, kesalahan pembacaan nilai Pol dan Brix pada alat ukur, cara pengambilan sampel, dan kalibrasi alat. Kemudian faktor penyebab *out of control* dapat juga disebabkan oleh *maintenance* dan *setting* awal mesin yang tidak sesuai. Seperti pengaturan kecepatan putaran sekitar 600-800 rpm dan penggantian saringan tetes yang tersobek di stasiun putaran. Berdasarkan uraian diatas, diketahui *assignable causes* terdapat dalam proses sehingga langkah selanjutnya adalah melakukan perbaikan proses.

3) Perbaikan Diagram Kontrol MEWMV Fase 2

Perbaikan diagram kontrol dilakukan dengan mengeluarkan pengamatan yang berada diluar batas kendali hingga proses mencapai keadaan *in control*. Berikut pengendalian variabilitas proses produksi tetes menggunakan diagram kontrol MEWMV fase 2 dengan pembobot $\lambda=0,7$ dan $\omega=0,1$ setelah dilakukan perbaikan proses.

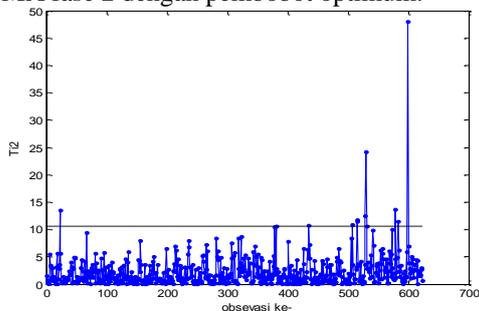


Gambar 6. Diagram Kontrol MEWMV Fase 2 $\lambda=0,7$; $\omega=0,1$ Setelah Perbaikan Pengulangan 1

Hasil analisis pada Gambar 6 menunjukkan variabilitas proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo pada periode giling bulan Oktober 2015 sudah terkendali setelah dilakukan perbaikan pengulangan 1.

4) Penerapan Diagram Kontrol MEWMA Fase 2 Dengan Variabilitas Terkendali

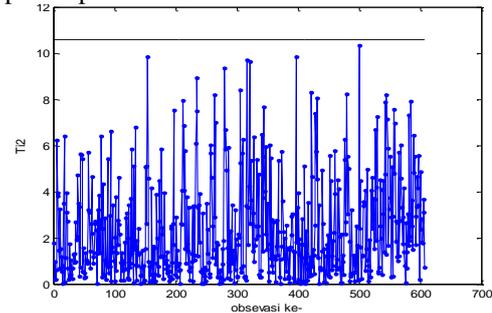
Analisis diagram kontrol MEWMA fase 2 bertujuan untuk memonitoring rata-rata proses produksi tetes periode Oktober 2015. Penerapan diagram kontrol ini dilakukan dengan menggunakan pembobot optimum yang diperoleh dari fase 1 yaitu $\lambda=0,8$. Berikut ini merupakan pengendalian rata-rata proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo menggunakan diagram kontrol MEWMA fase 2 dengan pembobot optimum.



Gambar 8. Diagram Kontrol MEWMA Fase 2 variabilitas Terkendali $\lambda=0,8$

Pengendalian proses pada Gambar 8 menunjukkan rata-rata proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo periode giling bulan Oktober 2015 belum terkendali secara statistik. Diketahui terdapat 11 pengamatan yang berada diluar batas kendali atas sebesar 10,58 dan salah satunya adalah pengamatan ke 435. Apabila diaplikasikan pada perusahaan makapengamatan ke 435 merupakan sampel yang diambil oleh pekerja *shift* pagi

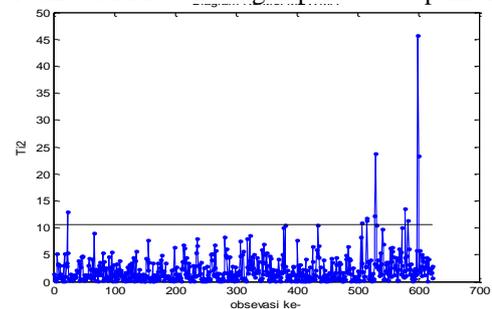
pada tanggal 18 Oktober pukul 08.00 s/d 09.00. Selanjutnya dilakukan identifikasi penyebab proses tidak terkendali kemudian dilanjutkan dengan perbaikan proses. Berdasarkan hasil analisis diperoleh rata-rata proses produksi tetes sudah terkendali secara statistik setelah perbaikan pengulangan ketiga seperti yang ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Kontrol MEWMA Fase 2 Variabilitas Terkendali Setelah Perbaikan Pengulangan 3 $\lambda=0,8$

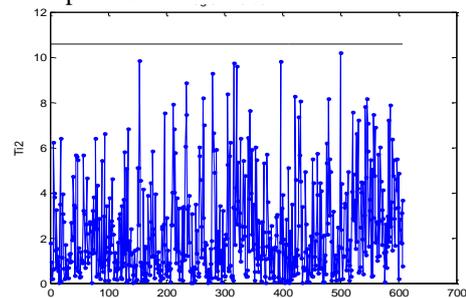
5) Penerapan Diagram Kontrol MEWMA Fase 2 Dengan Variabilitas Tidak Terkendali

Penerapan diagram kontrol MEWMA fase 2 dilakukan untuk memonitoring rata-rata proses produksi tetes dimana variabilitas proses belum terkendali pada bulan Oktober 2015. Berikut merupakan pengendalian variabilitas proses produksi tetes menggunakan diagram kontrol MEWMA fase 2 dengan pembobot optimum.



Gambar 10. Diagram Kontrol MEWMA Fase 2 Variabilitas Tidak Terkendali $\lambda=0,8$

Hasil analisis pada Gambar 10 mencerminkan variabilitas proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo berada dalam keadaan *out of control*. Data yang berada diluar batas kendali sebanyak 10 pengamatan dan salah satunya adalah pengamatan ke 23. Pengamatan tersebut merupakan sampel yang diambil oleh pekerja *shift* pagi pada tanggal 1 Oktober pukul 04.00 s/d 05.00. Langkah perbaikan proses dilakukan setelah diidentifikasi *assignable causes* terdapat dalam proses. Dari hasil analisis yang telah dilakukan diketahui rata-rata proses produksi tetes mencapai *in control* setelah dilakukan perbaikan pengulangan ketiga seperti yang ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Kontrol MEWMA Fase 2 Variabilitas tidak Terkendali $\lambda=0,8$ Setelah Perbaikan Pengulangan 3

E. Analisis Kapabilitas Proses

Setelah proses terkendali secara statistik baik dalam variabilitas dan rata-rata maka langkah berikutnya adalah mengukur kapabilitas proses produksi tetes. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai kapabilitas untuk MC_P sebesar 0,9230, MC_{PK} sebesar -0,7610 dan MC_{PM} sebesar 0,2056. Sehingga disimpulkan bahwa proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo pada bulan Oktober belum kapabel karena nilai kapabilitas proses lebih kecil dari satu.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Proses produksi tetes PG Kremboong Sidoarjo belum terkendali dalam variabilitas dan rata – rata pada periode giling bulan September 2015. Pembobot optimum dalam mendeteksi pergeseran variabilitas proses diperoleh $\lambda=0,7$ dan rata-rata proses sebesar $\omega=0,1$. Selanjutnya proses produksi tetes pada periode giling bulan Oktober 2015 belum terkendali dalam variabilitas dan rata – rata menggunakan pembobot optimum. Perbaikan proses yang telah dilakukan pada periode giling bulan Oktober membuat variabilitas dan rata-rata proses produksi tetes terkendali. Setelah proses fase 2 terkendali maka dilakukan perhitungan kapabilitas proses dan diperoleh indeks M_{CP} sebesar 0,9230, M_{CPK} sebesar -0,7610 dan M_{CPM} sebesar 0,2056. Sehingga diketahui proses produksi gula PG Kremboong Sidoarjo belum kapabel dilihat dari segi akurasi, presisi serta gabungan akurasi dan presisi. Proses dikatakan kapabel apabila nilai M_{CP} , M_{CPK} , $M_{CPM} \geq 1$.

Saran yang dapat diberikan kepada pihak PG Kremboong Sidoarjo, pada saat menjalankan proses produksi gula di PG Kremboong Sidoarjo dibutuhkan perbaikan proses agar kualitas tetes tetap terkendali dengan memperhatikan faktor-faktor penyebab proses produksi tetes tidak terkendali. Selain itu, kesalahan pengukuran dan proses produksi tetes yang belum

maksimal dapat menyebabkan ketidaksesuaian proses dengan batas spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan. Demikian juga dengan penentuan batas spesifikasi sangat bergantung pada hasil proses produksi apakah terkendali atau tidak sehingga dibutuhkan ketelitian dalam menentukan batas spesifikasi tetes. Sedangkan saran untuk penelitian selanjutnya, berkaitan dengan penerapan diagram kontrol MEWMA dan MEWMV adalah perlu memperhatikan pengaruh autokorelasi pada setiap karakteristik kualitas sehingga dapat didekati dengan pemodelan residual *time series*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prahnolo, T. *Dulu Eksportir Gula Terbesar Dunia Kini Indonesia Terikat Impor*. (28 April 2014). Merdeka [On-line].
- [2] Dwi, *Kembalikan Indonesia Sebagai Eksportir Gula Terbesar Dunia*. (30 November 2015). Selasar [On-line].
- [3] Due N (2005). *Pengendalian Kualitas Ampas Tebu PG Pesantren Baru Kediri Menggunakan Diagram Kontrol MEWMA dan MEWMV*. Suarabaya: ITS
- [4] Walpole, E., Ronald. (Eds). (2007). *Probability and Statistic for Engineers and Scientist*, London: Pearson Education.
- [5] Huwang, L., Yeh, A., dan Wu, Chen. 2007. *Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observation*. Journal of Quality technology, vol. 39,3, pp.258.
- [6] Stoumbos, Z. G., & Sullivan, J H. (2001). *Achieving Robust Performance With The MEWMA Control Chart*. Journal of American Statistical Association, Mississippi State University and Rutgers University
- [7] Montgomery, D.C. (Eds). (2005). *Introduction to Statistical Quality Control*. Arizona: John Wiley and Son's.
- [8] Prabhu, S. S., and Runger, G. C. (1997). *Designing a Multivariate EWMA Control Chart*. Journal of Quality Technology, 29, 8-15.
- [9] Raissi, S., 2009. *Multivariate Process Capability Indices On The Presence Of Priority For Quality Characteristics*. Journal of Industrial Engineering, Vol 5, No.9, 27-36.