

Pengendalian Kualitas Film *Biaxially Oriented Polypropylene* (BOPP) di PT. Trias Sentosa Tbk Sidoarjo Menggunakan Metode Diagram Kendali Multivariat

Nisar dan Agus Suharsono

Departemen Statistika, Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: gmagussuharsono@gmail.com

Abstrak—PT. Trias Sentosa Tbk merupakan produsen film kemasan fleksibel terbesar di Indonesia saat ini, salah satu produk yang paling banyak diproduksi yaitu jenis film *Biaxially Oriented Polypropylene* (BOPP). Pada penelitian ini, analisis pengendalian kualitas dilakukan menggunakan data tahun 2018. Hasil uji dependensi menunjukkan bahwa ketiga karakteristik kualitas film BOPP yaitu *thickness*, *strength MD*, dan *strength TD* saling berhubungan sehingga digunakan diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) untuk mendeteksi perubahan variabilitas proses. Sementara itu, pengendalian rata-rata proses produksi dilakukan dengan menggunakan diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA). Hasil yang diperoleh untuk variabilitas proses telah terkendali secara statistik dengan menggunakan pembobot optimum $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$. Sedangkan hasil rata-rata proses menunjukkan proses belum terkendali secara statistik dengan menggunakan nilai pembobot optimum $\lambda = 0,9$. Variabel utama penyebab pengamatan yang berada diluar batas kendali pada rata-rata proses adalah variabel *thickness* dan *strength TD*. Kapabilitas proses menggunakan indeks MP_p dan MP_{pk} menunjukkan proses kapabel dengan nilai MP_p sebesar 1,64 dan MP_{pk} sebesar 1,39. Nilai ini menunjukkan bahwa presisi dan akurasi proses sangat baik.

Kata Kunci—BOPP, Kapabilitas, MEWMA, MEWMV, *Strength MD*, *Strength TD*, *Thickness*.

I. PENDAHULUAN

P ERKEMBANGAN kehidupan manusia dari waktu ke waktu juga diikuti oleh kemajuan di bidang industri khususnya pada bidang pengemasan makanan dan minuman. Pengemasan merupakan upaya manusia untuk mengumpulkan sesuatu yang berantakan kedalam suatu wadah serta melindunginya dari gangguan cuaca. Salah satu alat yang digunakan untuk pengemasan adalah film kemasan fleksibel [1]. Kemasan di Indonesia telah dan akan memainkan peranan yang penting dan menentukan dalam menunjang pertumbuhan ekonomi. Diperkirakan pertumbuhan pemakaian kemasan di Indonesia kedepan sekitar 10% - 13% setahun. Pemakaian kemasan yang terbesar di Indonesia adalah sektor *agrofood*, rata-rata sebesar 60% dari keseluruhan pemakaian kemasan [2].

Salah satu perusahaan yang memproduksi film kemasan fleksibel di Indonesia adalah PT. Trias Sentosa Tbk. Perusahaan PT. Trias Sentosa Tbk telah menjadi produsen film kemasan fleksibel terbesar di Indonesia saat ini, dengan mengembangkan produknya secara spesifik menurut kebutuhan masing masing pelanggan. Untuk memastikan bahwa setiap produk yang diproduksi menghasilkan nilai bagi pelanggan dan melampaui standard internasional.

Penelitian yang ingin dilakukan merupakan pengendalian kualitas secara statistik terhadap proses produksi film BOPP untuk mengetahui apakah produk tersebut telah sesuai dengan batas spesifikasi yang ditentukan oleh perusahaan atau tidak. Baik atau tidaknya kualitas produksi di PT. Trias Sentosa Tbk hanya ditentukan berdasarkan variabel kualitas yang telah sesuai dengan spesifikasi tanpa adanya pengendalian kualitas secara statistik. Pengendalian kualitas secara statistik sangat diperlukan untuk membantu perusahaan dalam mengontrol stabilitas proses produksi melalui variabilitas dan rata-rata proses sehingga dapat diketahui kapabilitas proses produksinya. Pengendalian kualitas statistik adalah suatu kegiatan membandingkan kualitas produk yang dihasilkan dengan spesifikasi yang telah ditentukan untuk kemudian diambil sebuah tindakan apabila terdapat ketidaksesuaian antara kualitas produk dengan standart yang ditetapkan oleh perusahaan [3].

Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode MEWMV dan MEWMA dilakukan oleh Faradiba (2018) di PT. Adprima Suraprinta. Hasil yang didapatkan yaitu variabilitas proses produksi pada fase I maupun fase II terkendali secara statistik dengan pembobot optimum $\omega=0,2$ dan $\lambda=0,4$, namun rata-rata proses pada fase I maupun fase II belum terkendali secara statistik dengan pembobot optimum $\lambda=0,9$. Kapabilitas proses dihitung menggunakan indeks MP_{pk} menunjukkan proses tidak kapabel. Nilai indeks MP_{pk} pada fase I sebesar 0,875 dan pada fase II sebesar 0,92, nilai ini menunjukkan bahwa presisi dan akurasi proses tidak baik.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian terhadap pengendalian kualitas terhadap produk film BOPP BOPP secara multivariat menggunakan diagram kendali MEWMV dan diagram kendali MEWMA di PT. Trias Sentosa Tbk Sidoarjo dimana dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi saran dan rekomendasi bagi perusahaan mengenai pengendalian kualitas secara statistik agar dapat mendeteksi adanya pergeseran proses yang dapat digunakan sebagai evaluasi perbaikan kualitas produk film BOPP pada PT. Trias Sentosa Tbk menggunakan diagram kendali multivariat.

II. TINJAUAN PUSATAKA

A. Uji Independensi

Variabel X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan bersifat saling bebas (*independent*) jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas. Uji dependensi yang

digunakan adalah uji *Bartlett sphericity* dengan hipotesis sebagai berikut [4].

Hipotesis :

$H_0 : \rho = \mathbf{I}$ (variabel saling independen)

$H_1 : \rho \neq \mathbf{I}$ (variabel saling dependen)

Statistik uji :

$$X^2_{hitung} = -\left\{n-1-\frac{2p+5}{6}\right\} \ln |\mathbf{R}| \quad (1)$$

Sehingga keputusan gagal tolak H_0 yang berarti antar variabel tidak ada korelasi jika nilai $X^2_{hitung} \leq X^2_{\left(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1)\right)}$.

Matrik korelasi \mathbf{R} diberikan sebagai berikut [5].

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

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}}$$

B. Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat merupakan distribusi yang dibentuk dari perluasan distribusi normal univariat untuk data multivariat. Pengujian distribusi normal multivariat dilakukan untuk menguji dugaan bahwa distribusi data yang akan dianalisis telah berdistribusi normal multivariat. Variabel random X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan berdistribusi normal multivariat dengan *probability density function* sebagai berikut.

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}[(x-\mu)^T \Sigma^{-1} (x-\mu)]} \quad (3)$$

Untuk pengujian normal multivariat menggunakan pengujian *saphiro-wilk* dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : F(x) = F_{W^*}(x)$ (Data berdistribusi normal multivariat)

$H_1 : F(x) \neq F_{W^*}(x)$ (Data tidak berdistribusi normal multivariat)

Statistik uji :

$$W = \frac{\left(\sum_{p=1}^n a_p X_p\right)^2}{\sum_{p=1}^n (X_p - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Dengan nilai a_p adalah sebagai berikut.

$$a_p = \frac{\mathbf{M}^T \mathbf{V}^{-1}}{(\mathbf{M}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{V}^{-1} \mathbf{M})^{1/2}} \quad (5)$$

Nilai maksimum dari W adalah 1 dan apabila p -value kurang dari α maka data tidak mengikuti distribusi normal multivariat [6].

C. Diagram Kendali Exponentially Weighted Moving Average EWMA

Diagram kendali EWMA merupakan diagram kendali univariat yang digunakan untuk memonitoring mean proses. Titi-ktitik pengamatan yang dihasilkan pada pada plot adalah weighted moving average atau pergeseran mean yang telah terboboti, dimana nilai pembobot (λ) ditentukan oleh

peneliti antara 0,1 hingga 0,9. Plot *Exponentially Weighted Moving Average* diberikan sebagai berikut.

$$Z_i = \lambda X_i + (1-\lambda)Z_{i-1} \quad (6)$$

Nilai tengah dan batas kendali untuk diagram kendali EWMA adalah sebagai berikut [2].

$$\text{BKA} = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1-(1-\lambda)^{2i}]} \quad (7)$$

$$\text{Garis Tengah} = \mu_0 \quad (8)$$

$$\text{BKB} = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1-(1-\lambda)^{2i}]} \quad (9)$$

dimana L merupakan konstanta yang bergantung pada p (banyaknya karakteristik kualitas) dan nilai λ yang telah ditentukan sebelumnya.

D. Diagram Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV)

Diagram kendali MEWMV digunakan untuk memonitor variabilitas proses tanpa adanya asumsi terjadi perubahan *mean* proses selama pengendalian berlangsung. Diagram ini dapat mendeteksi terjadinya perubahan variabilitas proses secara sensitif tanpa dipengaruhi oleh perubahan rata-rata proses. Diagram kendali MEWMV dibentuk dari persamaan berikut.

$$\mathbf{V}_n = \omega(x_n - y_n)(x_n - y_n)^T + (1-\omega)\mathbf{V}_{n-1} \quad (10)$$

dimana ω merupakan nilai pembobot bernilai $0 < \omega < 1$ dan

$\mathbf{V}_0 = (x_1 - y_1)(x_1 - y_1)^T$. Estimasi dari y_n untuk perubahan rata-rata proses pada waktu ke n dapat dilihat pada persamaan berikut [7].

$$y_n = \lambda x_n + (1-\lambda)y_{n-1} \quad (11)$$

dengan $y_0 = 0$ dan $0 < \lambda < 1$.

Untuk mendeteksi terjadinya perubahan dalam matriks kovarian harus didefinisikan :

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \text{ dengan } \mathbf{X}_n = \begin{bmatrix} x_{1n} \\ x_{2n} \\ \vdots \\ x_{pn} \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

Dimana p adalah banyaknya karakteristik kualitas dan n banyaknya pengamatan yang dilakukan. Untuk mengetahui perubahan dalam matriks kovarians maka harus didefinisikan suatu matriks \mathbf{C} . Matriks \mathbf{C} merupakan matriks diagonal berukuran $n \times n$ dengan ω sebagai elemennya dimana ω adalah *smoothing constant*. Matriks ini menunjukkan suatu nilai pembobot dari \mathbf{V}_n yang dapat dituliskan:

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

Untuk masing-masing nilai n , persamaan (10) dapat dijabarkan sebagai berikut.

Untuk $n=1$,

$$\mathbf{V}_1 = \omega(x_1 - y_1)(x_2 - y_2)^T + (1-\omega)\mathbf{V}_0$$

Untuk $n=2$,

$$\mathbf{V}_2 = \omega(x_2 - y_2)(x_2 - y_2)^T + \omega(1-\omega)(x_1 - y_1)(x_1 - y_1)^T + (1-\omega)^2 \mathbf{V}_0$$

Begitu seterusnya berlaku untuk semua pengamatan. Dengan demikian secara umum persamaan (10) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$V_n = \sum_{i=1}^n \omega(1-\omega)^{n-1} (x_i - y_i)(x_i - y_i)^T + (1-\omega)^n V_0 \quad (13)$$

Persamaan (11) juga memiliki penjabaran yang serupa dengan persamaan (10). Ketika masing-masing nilai n dimasukkan ke dalam persamaan (11) maka akan didapatkan nilai y_n sebagai berikut.

Untuk $n = 1$,

$$y_1 = \lambda x_1$$

Untuk $n = 2$,

$$y_2 = \lambda x_2 + \lambda(1-\lambda)x_1$$

Untuk $n = 3$,

$$y_3 = \lambda x_3 + \lambda(1-\lambda)x_2 + \lambda(1-\lambda)^2 x_1$$

Begitu seterusnya berlaku untuk semua pengamatan. Secara umum, persamaan (11) dapat diubah menjadi persamaan berikut.

$$y_n = \sum_{i=1}^n \lambda(1-\lambda)^{n-i} x_i \quad (14)$$

Dengan memasukkan persamaan (15) ke dalam $x_i - y_i$ maka dapat dituliskan :

$$\begin{aligned} x_i - y_i &= x_i - \sum_{j=1}^i \lambda(1-\lambda)^{i-j} x_j \\ &= (1-\lambda)x_i - \lambda(1-\lambda)x_{i-1} - \dots - \lambda(1-\lambda)^{i-1} x_1; \quad (15) \\ &i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Jika persamaan (15) dituliskan dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} (\mathbf{x}-\mathbf{y}) &= \begin{bmatrix} (x_1 - y_1)^T \\ (x_2 - y_2)^T \\ \vdots \\ (x_n - y_n)^T \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (1-\lambda)\mathbf{x}_1 \\ (1-\lambda)\mathbf{x}_2 - \lambda(1-\lambda)\mathbf{x}_1 \\ \vdots \\ (1-\lambda)\mathbf{x}_i - \lambda(1-\lambda)\mathbf{x}_{i-1} - \dots - \lambda(1-\lambda)^{n-1} \mathbf{x}_1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1-\lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\lambda(1-\lambda)^{n-1} & \dots & -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda \end{bmatrix} \mathbf{X} \quad (16) \\ &= (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})\mathbf{X} \end{aligned}$$

\mathbf{I}_n merupakan matrik identitas berukuran $n \times n$ yang dapat dituliskan,

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

Dengan \mathbf{M} adalah matrik segitiga bawah berukuran $n \times n$ dengan λ sebagai elemennya, dimana λ adalah pembobot yang telah ditetapkan.

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

Persamaan (13) dapat juga dituliskan sebagai berikut.

$$\mathbf{V}_n = (\mathbf{X}-\mathbf{Y})^T \mathbf{C}(\mathbf{X}-\mathbf{Y}) \quad (17)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (16) ke dalam persamaan (17) maka dapat diperoleh,

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_n &= \mathbf{X}^T (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})^T \mathbf{C}(\mathbf{I}_n - \mathbf{M})\mathbf{X} \quad (18) \\ &= \mathbf{X}^T \mathbf{Q}\mathbf{X} \end{aligned}$$

dimana \mathbf{Q} adalah matriks bujur sangkar dengan ukuran $n \times n$,

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})^T \mathbf{C}(\mathbf{I}_n - \mathbf{M})$$

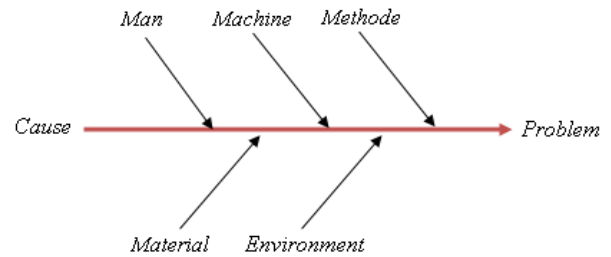
Dari persamaan (18) dapat dicari nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{tr}(\mathbf{V}_n) &= \text{tr}(\mathbf{X}^T \mathbf{Q}\mathbf{X}) \quad (19) \\ &= \text{tr}(\mathbf{Q}\mathbf{X}\mathbf{X}^T) \end{aligned}$$

Saat proses dalam keadaan terkendali dapat ditunjukkan dari nilai $E(\text{tr}(\mathbf{V}_n))$.

$$\begin{aligned} E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] &= \sum_{i=1}^n q_{ii} E\left(\sum_{k=1}^p x_{ik}^2\right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} E\left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}\right) \\ &= p \sum_{i=1}^n q_{ii} \\ &= p \text{tr}(\mathbf{Q}) \end{aligned} \quad (20)$$

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



$$\begin{aligned} \text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] &= \text{Var}\left[\sum_{i=1}^n q_{ii} \sum_{k=1}^p x_{ik}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j<i}^n q_{ij} \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}\right] \\ &= 2p \sum_{i=1}^n q_{ii}^2 + 4p \sum_{i=1}^n \sum_{j<i}^n q_{ij} \\ &= 2p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij}^2 \end{aligned} \quad (21)$$

Persamaan (15) akan menjadi batas yang memungkinkan untuk setiap n dan batas diagram berdasarkan $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ yaitu

$$E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] \pm L \sqrt{\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)]} = p \text{tr}(\mathbf{Q}) \pm L \sqrt{2p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij}^2} \quad (22)$$

dimana L merupakan konstanta yang bergantung pada p (banyaknya karakteristik kualitas) dan nilai ω dan λ yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai batas diagram MEWMV dilakukan melalui simulasi *Monte Carlo* dengan *Average Run Length (ARL₀)* 370 [8].

E. Diagram Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)

Diagram kendali MEWMA digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan *mean* proses. Kelebihannya adalah tahan atau *robust* terhadap data yang tidak mengikuti distribusi normal multivariat, sehingga ketika data tidak memenuhi asumsi normal maka diagram kendali ini masih bisa digunakan. Diagram kendali MEWMA merupakan generalisasi dari proses untuk data univariat EWMA yang didefinisikan sebagai berikut [7].

$$\mathbf{Z}_i = \lambda \mathbf{X}_i + (1 - \lambda) \mathbf{Z}_{i-1} \quad (23)$$

dimana \mathbf{X}_i merupakan vektor rata-rata sampel, λ adalah pembobot yang bernilai $0 < \lambda < 1$ dan $\mathbf{Z}_0 = 0$. Apabila menggunakan nilai $\lambda = 1$ maka diagram kendali MEWMA sama dengan diagram kendali T^2 (*chi-square*). Pada diagram kendali MEWMA dapat digunakan nilai pembobot yang sama atau tidak untuk 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.

$$T_i = \mathbf{Z}_i^T \left[\sum \mathbf{Z}_i \right]^{-1} \mathbf{Z}_i \quad (24)$$

Data dikatakan *out of control* ketika nilai T_i^2 lebih besar dari h_4 . Nilai h_4 merupakan batas kendali atas, didapatkan dari hasil simulasi yang disesuaikan dengan besarnya ARL hingga didapatkan nilai batas kendali atas yang konvergen. Matriks kovarian dari \mathbf{Z}_i adalah.

$$\sum \mathbf{Z}_i = \frac{\lambda}{2 - \lambda} \left[1 - (1 - \lambda)^{2i} \right] \Sigma \quad (25)$$

dimana, matriks kovarian Σ analog dengan varians pada data univariat EWMA [3].

F. Diagram Ishikawa

Diagram ishikawa atau yang biasa disebut sebagai diagram tulang ikan atau diagram sebab-akibat merupakan diagram yang digunakan untuk mengidentifikasi sumber penyebab atau akar dari permasalahan yang terjadi dalam proses. Penyebab dari masalah yang terjadi sering diakibatkan oleh lima elemen yaitu, *Man, Methode, Machine, Material, dan Environment* [3]. Berikut adalah contoh dari diagram ishikawa yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Contoh Diagram Ishikawa

G. Analisis Kapabilitas

Kapabilitas proses merupakan suatu pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi keseluruhan proses. Indeks kapabilitas yang disarankan oleh *Automotive Industry Action Group (AIAG)* untuk proses dalam keadaan yang tidak dalam keadaan *in control*, digunakan indeks *performance process* P_p dan P_{pk} [3]. Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} untuk data univariat adalah sebagai berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6s} \quad (26)$$

$$P_{pu} = \frac{BSA - \bar{x}}{3s} \quad (27)$$

$$P_{pl} = \frac{\bar{x} - BSB}{3s} \quad (28)$$

$$P_{pk} = \min \{ P_{pu}, P_{pl} \} \quad (29)$$

Indeks nilai kapabilitas multivariat yang tidak dalam keadaan *in control* dapat ditulis sebagai berikut [8].

$$MP_p = \sum_{k=1}^p W_k P_p (X_k) \quad (30)$$

$$MP_{pk} = \sum_{k=1}^p W_k P_{pk} (X_k) \quad (31)$$

dimana MP_p, MP_{pk} berturut turut merupakan bentuk P_p, P_{pk} dalam keadaan multivariat dengan W_k merupakan pembobot berdasarkan kepentingan dengan $\sum_{k=1}^p W_k = 1$. Nilai W_k disesuaikan dengan pembobot karakteristik kualitas yang

ditetapkan oleh perusahaan. Jika tidak ada pembobotan untuk masing-masing karakteristik kualitas maka nilai pembobot dianggap sama.

H. Proses Produksi Film Kemasan Fleksibel

Film *Biaxially Oriented Polypropylene (BOPP)* adalah film kemasan fleksibel yang memiliki ketahanan tinggi terhadap kelembaban. Proses pembuatan film BOPP dimulai dengan pelelehan material. Raw material yang akan digunakan dalam produksi terdiri dari material utama yaitu *homopolymer* dan *copolymer*, serta material tambahan (*additive*). Material dicampur melalui *dozing* unit hingga material yang akan diproduksi tercampur homogen. Setelah tercampur, material dilelehkan yang kemudian untuk dicetak menjadi *casting film (cast film)* yang terdiri dari tiga lapis. Film ditarik dengan rasio satu banding lima atau ditarik hingga lima kali panjang mula-mula menggunakan mesin MDO selanjutnya film ditarik hingga sepuluh kali panjang mula-mula dengan mesin TDO. Selanjutnya diberikan *treatment* khusus, permukaan plastik akan dihantarkan energi (*surface energy*). Pemberian energi terdiri dari dua jenis, yaitu pemberian aliran listrik dan pemanasan menggunakan api. Pemberian *treatment* bertujuan agar film dapat dibentuk atau digunakan sesuai kebutuhan dan terakhir film digulung menjadi *big roll* kemudian dipotong sesuai pesanan pelanggan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari departemen *Quality Control* PT. Trias Sentosa Tbk Sidoarjo. Data yang digunakan merupakan data hasil pengukuran karakteristik kualitas film BOPP pada tahun 2018. Pengukuran data yang dilakukan meliputi data *thickness, strength MD* dan *strength TD*. Sampel yang digunakan adalah data rata-rata proses produksi film BOPP sebanyak 77 data pengamatan.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan di PT. Trias Sentosa Tbk Sidoarjo ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Karakteristik Kualitas	Definisi Operasional	Satuan	Batas Spesifikasi
X ₁	<i>Thickness</i>	Ketebalan film	µm	19,4-20,6
X ₂	<i>Strength MD</i>	Kuat tarik film secara vertikal	N/m ²	11-18
X ₃	<i>Strength TD</i>	Kuat tarik film secara horizontal	N/m ²	22-40

Produk film kemasan fleksibel yang dapat dipasarkan adalah produk film fleksibel yang telah memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan.

C. Langkah-langkah Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian pada pendahuluan, maka langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan karakteristik setiap variabel.
2. Melakukan pengujian distribusi normal multivariat dan korelasi antara variabel *thickness* dengan variabel *strength MD* dan *strength TD*.

3. Melakukan pengendalian variabilitas dan rata-rata proses dengan diagram kendali dengan langkah berikut.
 - Membuat matriks I_n , merupakan matriks identitas berukuran $n \times n$.
 - a. Melakukan pengendalian variabilitas proses diagram kendali MEWMV dengan langkah berikut.
 1. Membuat matriks C dengan ukuran $n \times n$ dengan diagonal utama ω adalah diagonal utama dan merupakan nilai pembobot yang ditentukan sebelumnya.
 2. Membuat matriks M yaitu matriks segitiga bawah dengan elemen λ .
 3. Membuat matriks I_n , merupakan matriks identitas berukuran $n \times n$.
 4. Menghitung matriks Q yang digunakan untuk mendapatkan $tr(V_n)$.
 5. Menghitung nilai $tr(V_n)$ berdasarkan persamaan (19).
 6. Menghitung nilai $E(tr(V_n))$ berdasarkan persamaan (20).
 7. Menghitung nilai $Var(tr(V_n))$ berdasarkan persamaan (21).
 8. Menghitung batas diagram kendali MEWMV pada setiap pengamatan ke- n berdasarkan persamaan (22).
 - b. Melakukan pengendalian rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMA dengan langkah sebagai berikut.
 1. Menentukan nilai pembobot λ , $0 < \lambda < 1$ dengan h_4 yang sebelumnya telah ditentukan pada diagram kendali MEWMA.
 2. Menghitung vektor MEWMA Z_i .
 3. Menghitung matriks varian kovarian Σ
 4. Menghitung statistik MEWMA T_i^2
4. Mendeteksi dan mengidentifikasi penyebab terjadinya *out of control*.
5. Menganalisis kapabilitas proses.
6. Menarik kesimpulan.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Kualitas Produk Film BOPP

Karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel *thickness* (ketebalan), *strength MD*, dan *strength TD* (kekuatan). Untuk mengetahui gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas produksi pada tahun 2018 maka diberikan deskripsi kualitas pada Tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi Karakteristik Kualitas

Variabel	Mean	Varians	Minimum	Maximum
<i>Thickness</i>	20,019	0,029	19,470	20,410
<i>Strength MD</i>	13,063	0,391	11,800	14,720
<i>Strength TD</i>	30,921	1,522	27,130	33,930

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa rata-rata variabel *thickness* adalah 20,019. Nilai minimum untuk variabel *thickness* adalah sebesar 19,470 dan nilai maksimumnya adalah sebesar 20,410, dimana nilai ini masih berada didalam batas spesifikasi produk yang dapat dipasarkan. Jika dilihat dari nilai varians yang bernilai 0,029 dapat dikatakan bahwa keragaman data nilai pada variabel *thickness* relatif kecil.

Nilai rata-rata variabel *strength MD*, dan *strength TD* masing-masing adalah 13,063 dan 30,921. Nilai minimum dan maksimum pada variabel *strength MD* masing-masing

adalah 11,800 dan 14,720 sedangkan untuk variabel *strength TD* masing-masing adalah 27,130 dan 33,930, dimana nilai ini masih berada didalam batas spesifikasi produk yang dapat dipasarkan dengan nilai varians yang relatif kecil dengan nilai 0,391 dan 1,522.

B. Pemeriksaan Dependensi antar variabel

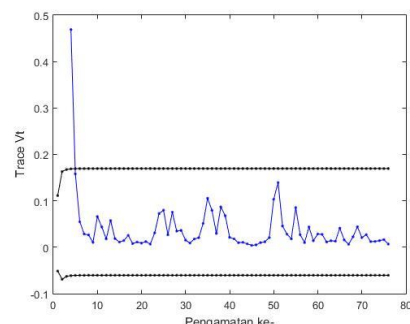
Pemeriksaan dependensi terhadap tiga karakteristik kualitas yaitu pada variabel *thickness*, *strength MD* dan *strength TD* digunakan untuk mengetahui apakah terdapat korelasi atau hubungan antar variabel secara statistik. Pada penelitian ini digunakan uji *Bartlett* dengan menggunakan tingkat signifikansi 0,05. Nilai *Chi-Square* yang diperoleh dengan menggunakan uji *Bartlett* adalah sebesar 15,651. Nilai *Chi-Square* yang diperoleh memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *Chi-Square* tabel yaitu sebesar 7,815 dengan derajat bebas sebesar 3, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga variabel tersebut saling dependen. Selain itu dapat dilihat pula dari nilai *p-value* yang diperoleh sebesar 0,001, nilai tersebut lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga variabel tersebut saling dependen.

C. Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan asumsi normal multivariat dilakukan untuk ketiga variabel karakteristik kualitas film kemasan BOPP yaitu *thickness*, *strength MD*, dan *strength TD*. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap data dan didapatkan nilai *W* sebesar 0,96792 dan *p-value* = 0,0487. Nilai *p-value* lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05, dikarenakan nilai *p-value* lebih kecil dari taraf signifikansi maka dapat disimpulkan bahwa data karakteristik kualitas film kemasan fleksibel BOPP tidak mengikuti distribusi normal multivariat. Salah satu kelebihan diagram kendali MEWMV dan MEWMA adalah tahan atau *robust* terhadap data yang tidak mengikuti distribusi normal multivariat, sehingga penelitian ini dapat dilanjutkan.

D. Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Film BOPP

Diagram kendali MEWMV digunakan untuk memonitor variabilitas proses tanpa adanya asumsi terjadi perubahan *mean* proses selama pengendalian berlangsung. Dalam penelitian ini MEWMV digunakan untuk memonitoring variabilitas proses pada variabel *thickness*, *strength MD*, dan *strength TD* dengan pembobot ω dan λ kurang antara 0,1 hingga 0,9 yang nantinya dapat ditentukan diagram yang paling sensitif dalam mendeteksi variabilitas proses dari produk film BOPP. Berikut merupakan diagram kendali MEWMV dengan $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$.



Gambar 2. Diagram kendali MEWMV $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$.

Gambar 2 menunjukkan plot $tr(V_n)$ yang bermula dari pengamatan ke-4. Hasil monitoring variabilitas proses menunjukkan nilai batas kendali atas bernilai 0,206 dan

batas kendali bawah bernilai -0,097. Nilai batas kendali bawah yang bernilai negatif dianggap bernilai nol. Dapat diketahui pula bahwa proses mulai stabil pada pengamatan ke-5. Hasil pengamatan yang diperoleh menggunakan nilai pembobot $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$ menunjukkan tidak terdapat nilai pengamatan yang keluar dari batas kendali setelah titik proses mulai stabil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses variabilitas sudah terkendali secara statistik.

Pemilihan pembobot optimal didasarkan pada nilai minimum dari selisih $|\max \text{tr}(\mathbf{Vn}) - \text{BKA}|$ untuk mendeteksi adanya data *out of control* yang menunjukkan error paling kecil dan nilai batas kendali yang semakin sempit. Hal ini dikarenakan semakin sempit batas kendali, kemungkinan suatu proses yang seharusnya tidak terkendali namun diidentifikasi sebagai proses yang terkendali akan semakin kecil. Berikut hasil perhitungan nilai pembobot optimal untuk MEWMV yang ditunjukkan pada Tabel 3.

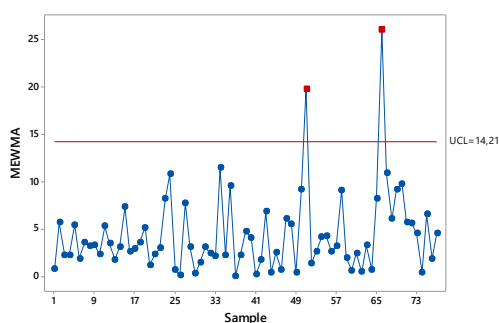
Tabel 3.
Hasil Perhitungan Nilai Pembobot Optimal Untuk MEWMV

ω	λ	Max Tr(Vn)	BKA	Max Tr (Vn)- BKA	BKB	BKA-BKB	In Control pada Titik Ke-
0,6	0,6	255,251	2,309	252,942	-0,940	3,249	7
0,6	0,7	143,579	1,411	142,168	-0,581	1,992	7
0,6	0,8	63,813	0,686	63,127	-0,287	0,973	7
0,6	0,9	15,953	0,189	15,765	-0,080	0,269	6
0,7	0,6	255,251	2,538	252,713	-1,168	3,706	6
0,7	0,7	143,579	1,546	142,033	-0,717	2,263	6
0,7	0,8	63,813	0,750	63,063	-0,351	1,101	5
0,7	0,9	15,953	0,206	15,747	-0,097	0,303	5
0,8	0,6	255,251	2,765	252,486	-1,395	4,160	5
0,8	0,7	143,579	1,681	141,898	-0,851	2,532	5
0,8	0,8	63,813	0,813	63,000	-0,414	1,227	4
0,8	0,9	15,953	0,223	15,730	-0,114	0,337	4
0,9	0,6	255,251	2,988	252,263	-1,620	4,608	4
0,9	0,7	143,579	1,815	141,764	-0,985	2,800	4
0,9	0,8	63,813	0,876	62,936	-0,477	1,353	4
0,9	0,9	15,953	0,239	15,714	-0,131	0,370	3

Hasil Tabel 3 menunjukkan pembobot optimal untuk mendeteksi adanya data *out of control* adalah $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$ dengan nilai minimum $|\max \text{tr}(\mathbf{Vn}) - \text{BKA}|$ adalah 15,747 dan selisih batas kendali atas dengan batas kendali bawah bernilai 0,303 dengan proses mulai stabil berada pada pengamatan ke-5. Berdasarkan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa proses sudah terkendali secara statistik dikarenakan tidak ada pengamatan yang keluar dari batas kendali kendali setelah proses sudah stabil.

E. Pengendalian rata-rata Proses Produksi Film BOPP

Pengendalian rata-rata proses dilakukan dengan menggunakan diagram kendali MEWMA. Nilai pembobot yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,1 hingga 0,9 dengan jarak antar pembobot sebesar 0,1. Salah satu pembobot yang digunakan adalah sebesar 0,9. Hasilnya disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram kendali MEWMA $\lambda = 0,9$.

Gambar 3 menunjukkan nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 14,21 dan terdapat titik Ti^2 yang berada diluar BKA yaitu sebanyak 2 titik. Nilai Ti^2 tertinggi berada pada titik ke-66 yaitu sebesar 26,00, dengan selisih batas kendali dan titik maksimum sebesar 11,79.

Pemilihan pembobot terbaik diperhitungkan dengan mencari selisih minimum dari titik pengamatan maksimum dan batas kendali atas untuk masing-masing pembobot. Semakin minimum selisih yang didapatkan maka akan memperkecil resiko yang diperoleh oleh produsen. Pertimbangan pemilihan pembobot terbaik juga didasarkan pada lebarnya batas kendali. Semakin sempit batas kendali maka akan memperkecil resiko yang diperoleh oleh konsumen. Hasil perhitungan untuk masing-masing pembobot disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4.
Hasil Perhitungan Nilai Pembobot Optimal Untuk MEWMA

λ	BKA	Titik Maksimum	Selisih	Titik Out of Control
0,1	12,41	25,92	13,51	14
0,2	13,39	26,11	12,72	14
0,3	13,79	28,33	14,54	7
0,4	13,99	27,95	13,96	7
0,5	14,10	27,68	13,58	6
0,6	14,16	28,39	14,23	3
0,7	14,19	28,19	14,00	3
0,8	14,21	27,33	13,12	3
0,9	14,21	26,00	11,79	2

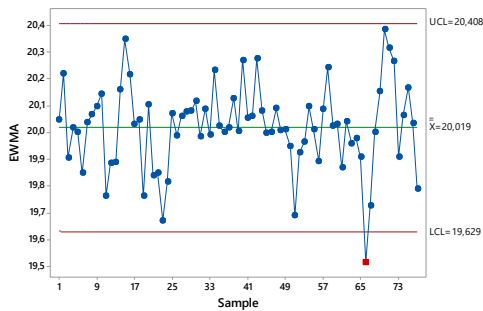
Pembobot optimal yang dianggap paling sensitif untuk pengendalian rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMA berdasarkan pertimbangan dari resiko produsen dan konsumen adalah $\lambda = 0,9$. Pemilihan pembobot ini dikarenakan nilai selisih antara titik maksimum dengan batas kendali atas (BKA) yang menunjukkan besarnya resiko produsen paling kecil sebesar 11,79. Meskipun nilai batas kendali atas yang menunjukkan besarnya resiko konsumen diperoleh nilai BKA terbesar namun tidak berbeda jauh dibandingkan dengan nilai BKA dari pembobot-pembobot lainnya. Berdasarkan hasil diatas dapat disimpulkan bahwa pengendalian rata-rata proses menggunakan diagram kendali MEWMA dengan pembobot 0,9 pada data produksi film BOPP menunjukkan rata-rata proses belum terkendali secara statistik karena masih terdapat 2 titik yang *out of control* atau yang berada di luar batas kendali.

F. Pengendalian Kualitas Film BOPP Secara Individu

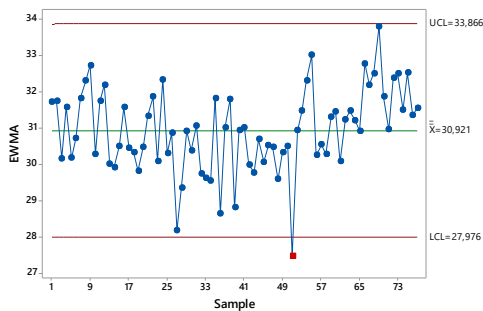
Pengendalian kualitas secara individu dilakukan untuk mengetahui variabel utama penyebab terjadinya data *out of control* secara multivariat. Pengendalian kualitas secara individu menggunakan diagram kendali EWMA dengan menggunakan pembobot yang sama dengan diagram kendali MEWMA yaitu $\lambda = 0,9$.

Hasil pengendalian kualitas secara individu dari ketiga diagram kendali EWMA dengan pembobot sebesar $\lambda = 0,9$ menunjukkan variabel *thickness* dan *strength TD* belum terkendali secara statistik sedangkan untuk variabel *strength MD* sudah terkendali secara statistik. Hasil analisis EWMA untuk variabel *thickness* dan *strength TD* disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh nilai batas kendali atas sebesar 20,408 dan nilai batas kendali bawah sebesar 19,629 serta nilai *grand mean* sebesar 20,019. Diagram kendali EWMA dengan menggunakan pembobot sebesar $\lambda = 0,9$ menunjukkan 1 titik pengamatan yang keluar dari batas kendali. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *thickness* belum terkendali secara statistik.



Gambar 4. Diagram kendali EWMA $\lambda = 0,9$ Variabel *Thickness*.



Gambar 5. Diagram kendali EWMA $\lambda = 0,9$ Variabel *Strength TD*.

Hasil batas kendali atas yang diperoleh sebesar 33,866 dan batas kendali bawah sebesar 27,976 serta nilai *grand mean* sebesar 30,921. Diagram kendali EWMA dengan menggunakan pembobot sebesar $\lambda = 0,9$ menunjukkan ada titik pengamatan yang keluar dari batas kendali yaitu sebanyak 1 titik pengamatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel *strength TD* belum terkendali secara statistik.

G. Analisis Diagram Ishikawa Proses Produksi Film BOPP

Hasil analisis diagram ishikawa yang diperoleh dengan melakukan *brainstorming* dengan pihak produksi. Penyebab dari proses yang tidak terkendali secara statistik disebabkan oleh 4 faktor yaitu *Material, Man, Machine* dan *Methods* yang digambarkan melalui diagram ishikawa pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Diagram Ishikawa Proses Produksi Film BOPP

Berdasarkan penelusuran penyebab adanya proses yang tidak terkendali dengan pihak produksi diketahui bahwa kesalahan terbesar adalah pada faktor mesin, yaitu pada temperatur mesin dan proses penarikan yang tidak sesuai sehingga menyebabkan pemanasan dan proses penarikan material yang tidak sempurna sehingga menyebabkan film BOPP tidak tercetak sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perusahaan.

H. Kapabilitas Proses Produksi Film BOPP

Analisis kapabilitas proses digunakan untuk mengetahui kinerja proses secara keseluruhan yang diukur dari

keseragaman produk yang dihasilkan. Suatu proses dikatakan kapabel adalah ketika produk yang dihasilkan berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan.

Pada penelitian ini perhitungan kapabilitas proses dilakukan secara univariat dan multivariat. Secara univariat berarti pengukuran kapabilitas proses untuk masing-masing variabel yaitu *thickness, strength MD, dan strength TD*. Hasil perhitungan indeks kapabilitas proses secara univariat yang disajikan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Kapabilitas Proses Secara Univariat

Variabel	P_p	P_{pk}
<i>Thickness</i>	1,18	1,15
<i>Strength MD</i>	1,87	1,10
<i>Strength TD</i>	2,43	2,41

Hasil yang diperoleh pada Tabel 5 menunjukkan nilai P_p untuk variabel *thickness* sebesar 1,18 dan nilai P_{pk} sebesar 1,15. Sedangkan untuk variabel *strength MD* dan *strength TD* diperoleh nilai P_p masing-masing sebesar 1,87 dan 2,43 dan nilai P_{pk} masing-masing sebesar 1,10 dan 2,41. Nilai P_p dalam kapabilitas proses hanya menggambarkan presisi proses sedangkan nilai P_{pk} menggambarkan akurasi dan presisi proses. Ketika masing-masing nilai tersebut lebih besar dari satu maka dapat dikatakan bahwa proses kapabel. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kapabilitas proses untuk variabel *thickness, strength MD, dan strength TD* sudah kapabel yang artinya memiliki presisi dan akurasi yang baik dikarenakan nilai P_p dan P_{pk} bernilai lebih dari satu.

Selanjutnya dilakukan perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat. Hasil analisis kapabilitas proses secara multivariat adalah sebagai berikut.

$$MP_p = (0,5 \times 1,18) + (0,3 \times 1,87) + (0,2 \times 2,43) = 1,64$$

$$MP_{pk} = (0,5 \times 1,15) + (0,3 \times 1,10) + (0,2 \times 2,41) = 1,39$$

Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan melakukan perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat didapat nilai MP_p sebesar 1,64 dan MP_{pk} sebesar 1,39. Nilai MP_p dan MP_{pk} bernilai lebih dari satu sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja proses secara multivariat telah kapabel atau memiliki tingkat presisi dan akurasi proses yang baik.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan adalah variabilitas proses produksi film BOPP sudah terkendali secara statistik dengan pembobot optimal $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$. Sedangkan rata-rata proses produksi film BOPP tidak terkendali secara statistik dikarenakan masih terdapat titik pengamatan yang keluar dari batas kendali dengan pembobot yang paling optimal $\lambda = 0,9$. Adapun hasil identifikasi penyebab *out of control* menunjukkan bahwa variabel utama penyebab terjadi *out of control* pada rata-rata proses adalah variabel *thickness* dan *strength TD*.

Hasil perhitungan kapabilitas proses secara multivariat menunjukkan kinerja proses produksi film BOPP terhadap variabel *thickness, strength MD, dan strength TD* sudah kapabel atau memiliki presisi dan akurasi yang baik dikarenakan nilai indeks kinerja proses MP_p dan MP_{pk} bernilai lebih dari satu yaitu nilai MP_p sebesar 1,64 dan nilai MP_{pk} sebesar 1,39.

B. Saran

Saran yang diberikan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat melanjutkan dengan menambahkan fase 2, agar dapat dilakukan evaluasi serta pengontrolan proses selanjutnya.
2. Penerapan diagram kendali MEWMV dan MEWMA diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk pengendalian proses produksi secara statistik selain hanya memperhatikan produk yang memenuhi batas spesifikasi yang ditentukan. Dengan memerhatikan resiko produsen dan konsumen, maka dapat disarankan bahwa pembobot yang paling optimal untuk mendeteksi adanya data *out of control* pada diagram kendali MEWMV adalah dengan pembobot $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$. Sedangkan pembobot optimal yang disarankan untuk diagram kendali MEWMA adalah $\lambda = 0,9$.
3. Dalam melakukan proses produksi film BOPP, PT. Trias Sentosa Tbk Sidoarjo harus melakukan perbaikan proses karena terdapat produksi film BOPP yang tidak terkendali dalam rata-rata. Selain itu,

faktor-faktor penyebab ketidak sesuaian proses produksi film BOPP harus menjadi prioritas perbaikan sehingga proses produksi kedepannya dapat terkendali dan sesuai dengan yang diharapkan oleh PT. Trias Sentosa Tbk Sidoarjo.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. W. Soewardikoen, *Metodologi Penelitian Visual*, Bandung: Dinamika Komunikasi, 2013.
- [2] I. Sucipta and et al, *Pengemasan Pangan Kajian Pengemasan Yang Aman, Nyaman, Efektif Dan Efisien*. Bali: Udayana Universitas PRESS, 2017.
- [3] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 7th ed. John Wiley and Sons, Inc, 2012.
- [4] D. Morisson, *Multivariate Statistical Methods*. USA: The Wharton School University of Pennsylvania, 2005.
- [5] R. Walpole, *Pengantar Metode Statistika*, 3rd ed. Jakarta: Bumi Aksara, 1995.
- [6] S. Shapiro and M. B. Wilk, "An analysis of variance test for normality (complete samples)," *Biometrika*, vol. 52, no. 3-4, pp. 591-611, 1965.
- [7] C. A. Lowry, W. H. Woodall, C. W. Champ, and S. E. Rigdon, "A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart," *Technometrics*, vol. 34, pp. 46-53, 1992.
- [8] L. Huwang, Arthur, and Chien-Wei., "Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observations," *J. Qual. Technol.*, vol. 33, pp. 258-278, 2007.