

Pengendalian Kualitas Produk Pakan Ternak di PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Gedangan

¹Devi Novitasari, ²Sri Mumpuni Retnaningsih

Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: ¹devinovitasari32@gmail.com, ²mumpuni@statistika.its.ac.id

Abstrak—PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Gedangan merupakan perusahaan yang menduduki peringkat kedua dalam penguasaan pangsa pasar pakan ternak di Indonesia, namun pengendalian kualitas hanya dilihat secara deskriptif dimana hal tersebut tidak selalu menunjukkan kebaikan suatu proses. Hasil produksi pada bulan Mei hingga Oktober 2015 sebanyak 7,21 persen pakan ternak tipe G 11 S Crumble tidak memenuhi spesifikasi perusahaan disebabkan oleh adanya over atau under weight yang sering diabaikan oleh operator, sehingga karakteristik kualitas yaitu kandungan calcium (Ca) dan protein keluar dari batas spesifikasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian kualitas secara statistik untuk mengetahui kebaikan proses secara menyeluruh yang dapat diukur dari kapabilitas proses. Pada penelitian ini digunakan diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) untuk mendeteksi perubahan variabilitas proses dan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) untuk mendeteksi perubahan rata-rata proses. Hasil pengendalian menggunakan diagram kendali MEWMV didapatkan nilai pembobot yang paling optimal untuk ω sebesar 0,3 dan λ sebesar 0,4 sedangkan pembobot optimal diagram kendali MEWMA adalah 0,4. Baik pada fase satu maupun fase dua, variabilitas terkendali secara statistik sedangkan rata-rata proses tidak terkendali secara statistik karena ada data yang out of control. Kapabilitas proses menggunakan MPp dan MPpk menunjukkan proses tidak kapabel baik pada fase satu maupun fase dua. Nilai MPp fase satu bernilai 0,795 dan MPpk sebesar 0,73 sedangkan MPp fase dua bernilai 0,91 dan MPpk sebesar 0,63.

Kata Kunci—Calcium, Kapabilitas, MEWMA, MEWMV, Pakan Ternak, Protein.

I. PENDAHULUAN

Konsumsi protein hewani masyarakat Indonesia semakin hari semakin meningkat. Pada tahun 2012 konsumsi daging ayam ras/kampung per kapita dalam waktu seminggu sebesar 0,076 kg, tahun 2013 sebanyak 0,078 kg, dan tahun 2014 mencapai 0,086 kg [1]. Kualitas hewan ternak sangat ditentukan oleh pakan ternak yang merupakan salah satu indikator yang berpengaruh terhadap pertumbuhan, daya tahan tubuh, kesehatan serta produktivitas hewan ternak. Pengendalian kualitas perlu dilakukan untuk meningkatkan penjualan, mengurangi biaya karena adanya peningkatan produktivitas serta penurunan *rework* [2].

PT. Japfa Comfeed Indonesia (JCI) merupakan perusahaan pakan ternak yang menduduki peringkat kedua dalam penguasaan pangsa pasar pakan ternak di

Indonesia. Perusahaan ini harus menjaga kualitas dari pakan ternak yang diproduksi. Baik buruknya kualitas dari perusahaan ini hanya dilihat dari kandungan nutrisi pakan ternak yang sesuai dengan spesifikasi tanpa adanya pengendalian kualitas secara statistik.

Pengendalian kualitas secara statistik sangat diperlukan untuk membantu perusahaan mengetahui kapabilitas proses melalui indeks *performance* proses produksi pakan ternak. Hal ini mengingat adanya produk pakan ternak dari formula yang paling banyak diproduksi yaitu BR 1 SP dengan tipe G 11 S dan berbentuk *crumble* masih ada yang berada di luar batas spesifikasi perusahaan. Pada periode Mei hingga Oktober 2015 terdapat 7,21 persen pakan ternak tipe tersebut yang berada di luar batas spesifikasi. Kesalahan proses produksi seperti *over* atau *under weight* sering diabaikan oleh operator, hal ini menyebabkan variansi antar produk pakan ternak besar dan tidak mendekati nilai target yang ditentukan. Disamping itu, produk yang memenuhi batas spesifikasi tidak selalu menggambarkan suatu proses berjalan baik karena variansi antar produknya belum tentu kecil. Dua karakteristik kualitas yaitu kandungan calcium dan protein yang berada di luar batas spesifikasi menyebabkan perlunya pengendalian secara multivariat.

Salah satu alat yang digunakan untuk pengendalian kualitas secara statistik adalah diagram kendali. Diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) merupakan salah satu diagram kendali multivariat yang dapat secara efektif mendeteksi pergeseran rata-rata yang kecil [3]. Selain pengendalian rata-rata proses, pengendalian variabilitas proses juga merupakan suatu hal yang penting dilakukan karena terkait dengan keseragaman produk. Diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) merupakan diagram kendali multivariat untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Dependensi Variabel

Variabel X_1, X_2, \dots, X_p merupakan dua karakteristik kualitas yang ingin diketahui hubungan antara keduanya. Pemeriksaan kebebasan antara dua variabel ini dapat digunakan korelasi *pearson*. Koefisien korelasi bernilai $-1 \leq r \leq 1$. Koefisien korelasi yang bertanda positif menunjukkan bahwa ketika nilai variabel satu bertambah maka variabel dua juga akan cenderung bertambah, begitu pula sebaliknya [4].

$$r_{x_1 x_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}} \quad (1)$$

dimana n merupakan banyaknya pengamatan. Nilai korelasi yang dihasilkan menunjukkan seberapa besar hubungan antara variabel X_1 dan X_2 , ketika nilainya mendekati 1 kedua variabel memiliki korelasi yang kuat, sebaliknya mendekati nilai 0 memiliki korelasi yang lemah.

B. Distribusi Normal Multivariat

Variabel X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan berdistribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ jika memiliki fungsi *probability density function* sebagai berikut [5].

$$f(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{X}-\mu)'\Sigma^{-1}(\mathbf{X}-\mu)}$$

dimana Σ^{-1} adalah matriks varian kovarian, sedangkan statistik uji yang digunakan adalah :

$$d_i^2 = (x_i - \bar{x})' S^{-1} (x_i - \bar{x}), i = 1, \dots, n \quad (2)$$

data dikatakan berdistribusi normal multivariat ketika nilai $d_i^2 \leq X_{p,0.50}^2$ berada di sekitar 50%.

C. Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV)

Diagram kendali MEWMV merupakan diagram kendali multivariat untuk memonitor variabilitas proses tanpa adanya asumsi terjadinya perubahan *mean* proses selama pengendalian berlangsung. Diagram kendali ini dibentuk dari persamaan berikut [6].

$$\mathbf{V}_n = \omega(\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)(\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)' + (1 - \omega)\mathbf{V}_{n-1} \quad (3)$$

dimana ω merupakan nilai pembobot bernilai $0 < \omega < 1$ dan $\mathbf{V}_0 = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)'$. \mathbf{y}_n merupakan estimasi untuk perubahan rata-rata proses pada waktu ke- n dengan persamaan

$$\mathbf{y}_n = \lambda \mathbf{x}_n + (1 - \lambda) \mathbf{y}_{n-1} \quad (4)$$

Untuk mendeteksi adanya perubahan dalam matriks kovarian harus didefinisikan:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{x}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n \end{bmatrix} \text{ dengan } \mathbf{x}_n = \begin{bmatrix} x_{1n} \\ x_{2n} \\ \vdots \\ x_{pn} \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{y}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

dimana n merupakan banyaknya pengamatan dan p adalah banyaknya karakteristik kualitas. Matriks \mathbf{C} merupakan matriks berukuran $n \times n$ dengan ω sebagai elemennya yang merupakan *smoothing constant*, dapat dituliskan :

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

Persamaan (3) dan (4) dapat diubah kedalam bentuk :

$$\mathbf{V}_n = \sum_{i=1}^n \omega(1 - \omega)^{n-i} (\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i)(\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i)' + (1 - \omega)^n \mathbf{V}_0 \quad (6)$$

$$\mathbf{y}_n = \sum_{i=1}^n \lambda(1 - \lambda)^{n-i} \mathbf{x}_i \quad (7)$$

Dengan memasukkan persamaan (7) ke dalam $\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i$ maka dapat dituliskan:

$$\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i = (1 - \lambda)\mathbf{x}_i - \lambda(1 - \lambda)\mathbf{x}_{i-1} - \dots - \lambda(1 - \lambda)^{i-1}\mathbf{x}_1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Jika persamaan (8) dituliskan dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} (\mathbf{X} - \mathbf{Y}) &= \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)' \\ (\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)' \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)' \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 - \lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\lambda(1 - \lambda) & 1 - \lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\lambda(1 - \lambda)^{n-1} & \dots & -\lambda(1 - \lambda) & 1 - \lambda \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1' \\ \mathbf{x}_2' \\ \vdots \\ \mathbf{x}_n' \end{bmatrix} \\ &= (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})\mathbf{X} \end{aligned} \quad (9)$$

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

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

\mathbf{M} adalah matriks segitiga bawah berukuran $n \times n$ dengan λ sebagai elemennya.

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

Persamaan (6) dapat diubah sebagai berikut.

$$\mathbf{V}_n = (\mathbf{X} - \mathbf{Y})' \mathbf{C} (\mathbf{X} - \mathbf{Y}) \quad (10)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan (9) ke dalam persamaan (10) maka dapat diperoleh,

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_n &= \mathbf{X}' (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})' \mathbf{C} (\mathbf{I}_n - \mathbf{M}) \mathbf{X} \\ &= \mathbf{X}' \mathbf{Q} \mathbf{X} \end{aligned} \quad (11)$$

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

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} &= (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})' \mathbf{C} (\mathbf{I}_n - \mathbf{M}) \\ &= \begin{bmatrix} q_{11} & \dots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & \dots & q_{nn} \end{bmatrix}; 1 \leq i, j \leq n \end{aligned}$$

dari persamaan (10) dapat dicari nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{tr}(\mathbf{V}_n) &= \text{tr}(\mathbf{X}' \mathbf{Q} \mathbf{X}) \\ &= \text{tr}(\mathbf{Q} \mathbf{X} \mathbf{X}') \end{aligned} \quad (12)$$

dengan,

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} \mathbf{X} \mathbf{X}' &= \begin{bmatrix} q_{11} & \dots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & \dots & q_{nn} \end{bmatrix} \\ &\times \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{1k} & \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{2k} & \dots & \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{nk} \\ \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{2k} & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{2k} & \dots & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{nk} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{nk} & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{nk} & \dots & \sum_{k=1}^p x_{nk} x_{nk} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui,

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

$$= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k q_{ij} \left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right)$$

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

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

Nilai $E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)]$ akan konvergen ke $E(\mathbf{V}_n) = \frac{2(1-\lambda)^2 \Sigma}{2-\lambda}$

untuk $n \rightarrow \infty$ dan $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ didapatkan dari persamaan.

$$\begin{aligned}
 \text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] &= \text{Var} \left[\sum_{i=1}^n q_{ii} \sum_{k=1}^p x_{ik}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j < i} q_{ij} \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right] \\
 &= \sum_{i=1}^n q_{ii}^2 \text{Var} \left(\sum_{k=1}^p x_{ik}^2 \right) + 4 \sum_{i=1}^n \sum_{j < i} q_{ij}^2 \text{Var} \left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right) \\
 &= 2p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij}^2 + 4p \sum_{i=1}^n \sum_{j < i} q_{ij}^2 \\
 &= 2p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij}^2
 \end{aligned} \tag{13}$$

Persamaan (13) akan menjadi batas yang memungkinkan untuk setiap n dan batas diagram kendalinya adalah :

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

dimana L adalah konstanta yang bergantung pada nilai ω dan λ yang telah ditentukan sebelumnya.

D. Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)

Diagram kendali ini digunakan untuk mendekripsi adanya perubahan *mean* proses. Kelebihannya adalah *robust* terhadap distribusi normal. Diagram ini merupakan generalisasi dari proses untuk data univariat EWMA yang didefinisikan [7]:

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda) Z_{i-1} \quad (14)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \text{ dimana } x_n = \begin{bmatrix} x_{1n} \\ x_{2n} \\ \vdots \\ x_{nn} \end{bmatrix}$$

dimana λ adalah pembobot yang bernilai $0 \leq \lambda \leq 1$ dan $\mathbf{Z}_0 = \mathbf{0}$. 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 :

$$T_i^2 = Z_i \Sigma_{Z_i}^{-1} Z_i \quad (15)$$

Data dikatakan *out of control* ketika nilai T_i^2 lebih besar dari h_4 (batas kendali atas). Matriks kovarian dari Z_i adalah :

$$\Sigma_{\mathbf{Z}_i} = \frac{\lambda}{2 - \lambda} \left[1 - (1 - \lambda)^{2i} \right] \Sigma \quad (16)$$

E Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas merupakan suatu pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi keseluruhan proses. Indeks kapabilitas yang disarankan oleh *Automotive*

Industry Action Group (AIAG) untuk proses dalam keadaan *in control* adalah C_p dan C_{pk} . Sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan *in control*, lebih baik digunakan indeks *performance process* P_p dan P_{pk} . Secara univariat, perhitungan P_p dan P_{pk} dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}}$$

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}} \right\}$$

Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} untuk data multivariat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [8].

$$M P_P = \sum_{k=1}^p W_k P_P(X_k) \quad (17)$$

$$M_{PPK} = \sum_{k=1}^p W_k P_{PK}(X_k) \quad (18)$$

Nilai pembobot W_i disesuaikan dengan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas yang ditentukan oleh perusahaan, jika tidak ada maka pembobot dianggap sama.

F. PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Gedangan

Salah satu kantor cabang dari PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk berada di Jl. Raya Tebel Km. 3,8 Gedangan, Sidoarjo 61254 Jawa Timur. Kegiatan yang dilakukan salah satunya adalah pembuatan pakan ternak yang menggunakan dua karakteristik kualitas sebagai syarat suatu produk dapat *di-release*. Kedua karakteristik kualitas pakan ternak tersebut adalah.

- a. Kandungan calcium (Ca)
Calcium yang dibutuhkan tubuh ayam pedaging adalah 0,9% sedangkan ayam petelur sebanyak 0,6 – 1% [9].

b. Kandungan protein
Protein berfungsi sebagai penghasil energi bagi hewan ternak [10]. Tubuh hewan ternak seperti ayam pedaging dan petelur memerlukan protein sebanyak 19 – 23% [9].

Kandungan calcium diteliti di laboratorium sedangkan kandungan protein diteliti menggunakan alat bernama NIRFOSS. Sampel yang digunakan untuk mengetahui kandungan protein tidak dapat digunakan kembali untuk mengetahui kandungan calcium, begitu pula sebaliknya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yaitu karakteristik kualitas produk pakan ternak tipe G 11 S *Crumble* di PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Gedangan. Pada penelitian ini, dibagi menjadi dua fase untuk membedakan sebelum dan sesudah dilakukan kalibrasi mesin. Fase satu pada periode Mei hingga Juli 2015 sedangkan fase dua mulai bulan Agustus hingga Oktober 2015. Selain itu, data yang digunakan hanya pada *shift* satu, dimana produk diproduksi pada pukul 07.00 hingga 15.00 WIB sehingga subgrup berupa *shift*. Variabel yang digunakan adalah

kandungan calcium (Ca) dan protein. Ketika kandungan Ca tinggi akan mengakibatkan kandungan protein yang rendah. Struktur data karakteristik kualitas pakan ternak ayam untuk pengamatan individual yang berjumlah 111 observasi disajikan pada Tabel 1.

TABEL 1. STRUKTUR DATA PENELITIAN

Observasi ke-	Karakteristik Kualitas (k)	
	X ₁	X ₂
1	x ₍₁₎₁	x ₍₁₎₂
2	x ₍₂₎₁	x ₍₂₎₂
⋮	⋮	⋮
111	x ₍₁₁₁₎₁	x ₍₁₁₁₎₂

Keterangan :

x_{(i)k} = nilai untuk karakteristik kualitas ke-k pada observasi ke-i, i = 1, 2, ..., t dan k = 1, 2

X₁ dapat didefinisikan sebagai kandungan calcium sedangkan X₂ sebagai kandungan protein. Satuan dari kedua karakteristik ini adalah persen (%).

B. Langkah Penelitian

Langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Mendeskripsikan karakteristik masing-masing variabel dengan statistika deskriptif.
2. Melakukan pengujian dependensi variabel dan pemeriksaan distribusi normal multivariat.
3. Melakukan pengendalian proses produksi yang terdiri dari dua diagram kendali yaitu pengendalian variabilitas dan rata-rata proses
 - a. Pengendalian variabilitas proses dengan diagram MEWMV.
 - b. Pengendalian mean proses dengan diagram MEWMA.
4. Membuat diagram ishikawa.
5. Menghitung kapabilitas proses.
6. Membuat kesimpulan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Data

Karakteristik kualitas pakan ternak yang menjadi syarat suatu produk dapat di-release adalah kandungan calcium dan protein. Berikut akan dijelaskan karakteristik dari masing-masing karakteristik kualitas tersebut.

TABEL 2. STATISTIKA DESKRIPTIF KANDUNGAN CALCIUM DAN PROTEIN

Variabel	Mean	Varians	Minimum	Maximum
Kandungan calcium	0,788	0,002	0,692	0,901
Kandungan protein	20,611	0,083	19,8	21,280

Rata-rata kandungan calcium pakan ternak sebesar 0,788% masih berada dalam batas kendali yang ditentukan perusahaan, namun hal ini tidak berlaku untuk nilai maksimumnya. Nilai varians 0,002 dapat dikatakan cukup besar yang menunjukkan bahwa nilai data satu dengan lainnya cukup jauh. Rata-rata dan nilai minimum kandungan protein juga masih berada di dalam batas spesifikasi, namun batas maksimumnya melebihi batas atas perusahaan yaitu 21,17%.

B. Pemeriksaan Dependensi Kandungan Calcium dan Protein

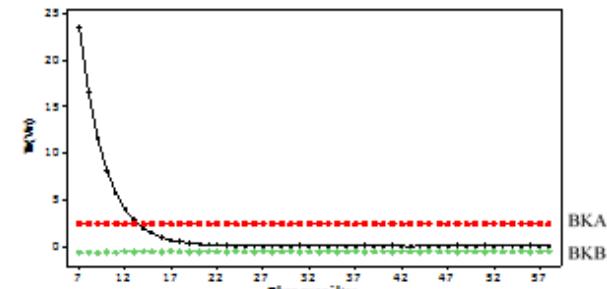
Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antar karakteristik kualitas secara statistik. Berdasarkan persamaan (1) didapatkan nilai korelasi sebesar 0,177. Nilai korelasi yang mendekati nol ini menunjukkan hubungan antara kandungan calcium dan protein lemah. Tanda positif berarti bahwa ketika kandungan protein tinggi, kandungan calcium juga cenderung tinggi. Secara konsep, ketika kandungan calcium tinggi maka kandungan protein akan cenderung rendah. Melihat perbedaan hasil tersebut, sebaiknya dalam pengujian kandungan calcium dan protein digunakan sampel yang sama karena kedua kandungan tersebut diukur dari objek yang sama sehingga bersifat multivariat.

C. Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan normal multivariat dilakukan untuk kedua karakteristik kualitas. Berdasarkan persamaan (2) didapatkan jarak d_i^2 yang lebih besar dari $\chi_{0,5,2}^2$ sebesar 0,4865. Nilai ini berada di sekitar 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas yang terdiri dari kandungan calcium dan protein berdistribusi normal multivariat.

D. Pengendalian Menggunakan Diagram Kendali MEWMV

Pengendalian kualitas menggunakan diagram MEWMV digunakan untuk memonitoring variabilitas proses. Penelitian ini menggunakan pembobot ω dan λ kurang dari 0,4 karena menurut Huwang (2007) memberikan kinerja yang baik untuk memonitoring variabilitas proses. Gambar 1 hasil diagram MEWMV dengan ω sebesar 0,3 dan λ sebesar 0,4.

Gambar 1. Diagram MEWMV dengan $\omega = 0,3$ dan $\lambda = 0,4$

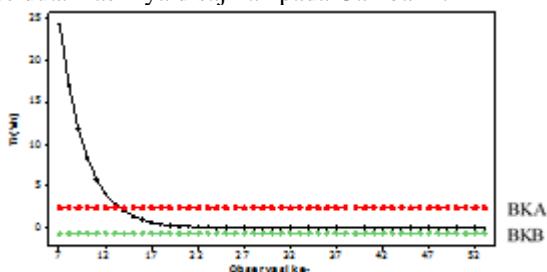
Pemilihan pembobot terbaik yang digunakan untuk mendeteksi adanya pergeseran proses didasarkan pada jarak minimum antara nilai $tr(V_t)$ dan BKA serta batas kendali yang sempit. Berikut adalah perhitungannya.

TABEL 3. HASIL PERHITUNGAN NILAI $|MAX tr(V_t) - BKA|$ UNTUK MEWMV

ω	λ	L	Max Tr(Vt)	BKA	Selisih	BKA-BKB
0,1	0,1	2,8725	344,933	6,273	338,660	9,307
0,4	0,2	4,1675	272,540	6,614	265,926	10,669
0,3	0,3	3,8800	208,663	4,782	203,881	7,605
0,4	0,3	4,1788	208,663	5,075	203,588	8,190
0,2	0,1	3,4725	344,933	7,245	337,688	11,251
0,4	0,1	4,1625	344,933	8,363	336,570	13,487
0,3	0,2	3,8725	272,540	6,237	266,303	9,914

0,2	0,3	3,4850	208,663	4,395	204,268	6,831
0,3	0,4	3,8850	153,304	3,517	149,787	5,594
0,1	0,2	2,8738	272,540	4,958	267,582	7,357
0,3	0,1	3,8675	344,933	7,885	337,048	12,531
0,4	0,4	4,1875	153,304	3,735	149,569	6,030

Nilai pembobot yang dianggap paling sensitif untuk mendeteksi adanya pergeseran proses adalah ω dan λ yang masing-masing 0,3 dan 0,4. Diagram kendali dengan pembobot tersebut terlihat tidak terdapat titik yang berada di luar batas kendali setelah proses stabil yaitu mulai pengamatan ke-14. 13 titik yang keluar pada awal proses merupakan keadaan dimana mesin sedang menstabilkan proses setelah digunakan untuk memproduksi produk yang lain sehingga pada saat tersebut belum bisa dilakukan penilaian terhadap proses yang berjalan. Pembobot optimal pada fase satu kemudian digunakan untuk mengendalikan proses pada fase dua. Hasilnya disajikan pada Gambar 2.

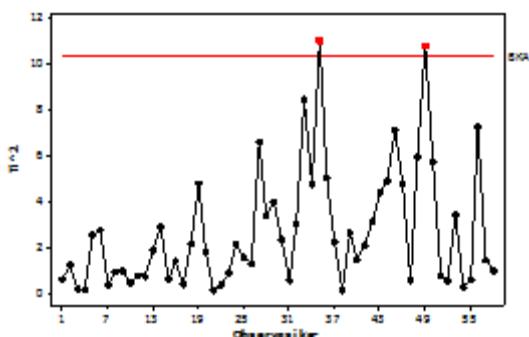


Gambar 2. Diagram MEWMA Fase Dua dengan $\omega = 0,3$ dan $\lambda = 0,4$

Pengendalian variabilitas proses pada fase dua memberikan hasil yang sama dengan fase satu, dimana terdapat 13 titik yang berada di luar batas kendali pada awal proses, namun pada saat tersebut belum bisa dilakukan penilaian kebaikan proses karena belum stabil. Penilaian proses dapat dilakukan ketika sudah stabil, pada saat proses stabil tidak ada titik yang berada di luar batas kendali sehingga dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik.

E. Pengendalian Menggunakan Diagram Kendali MEWMA

Diagram kendali MEWMA dibuat dengan sembilan pembobot yang berbeda, dimana salah satu dari pembobot tersebut akan menjadi diagram kendali terbaik yang mampu mendeteksi adanya pergeseran proses dalam *mean*. Pada diagram kendali MEWMA juga dibagi menjadi fase satu dan dua layaknya pada diagram kendali MEWMV. Salah satu pembobot yang digunakan adalah nilai λ sebesar 0,4. Hasilnya disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,4$

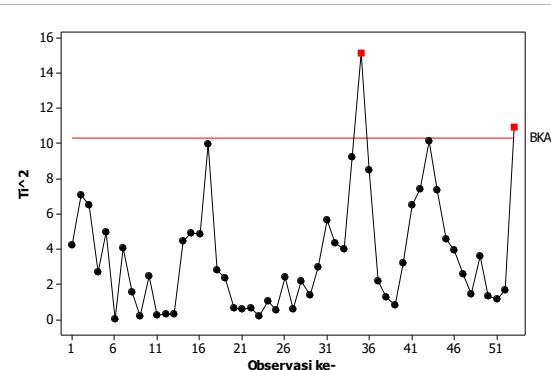
Seperti halnya yang dilakukan pada diagram kendali MEWMV, pemilihan pembobot terbaik untuk diagram

kendali MEWMA juga didasarkan pada selisih minimum antara nilai titik pengamatan maksimum dan BKA serta lebarnya batas kendali. Berikut disajikan perhitungan untuk masing-masing nilai pembobot.

TABEL 4. SELISIH ANTARA PENGAMATAN MAKSIMUM DAN BKA UNTUK MEWMA

λ	BKA	Titik Maksimum	Selisih
0,05	7,35	-	-
0,1	8,63	9,680	1,050
0,2	9,65	12,145	2,495
0,3	10,08	12,033	1,953
0,4	10,31	11,047	0,737
0,5	10,44	9,987	0,453
0,6	10,51	-	-
0,7	10,56	-	-
0,8	10,58	-	-

Dari sembilan pembobot yang digunakan untuk mendeteksi pergeseran *mean* proses, pembobot dengan nilai λ sebesar 0,4 dianggap paling sensitif untuk mendeteksi adanya pergeseran *mean* proses. Lebar batas kendali yang tidak terlalu lebar dengan batas kendali atas sebesar 10,31 menjadi alasan kenapa pembobot ini paling sensitif. Selain itu, selisih titik pengamatan tertinggi dengan batas kendali atas sebesar 0,737 juga dapat dikatakan minimum. Dengan pembobot ini, data *out of control* yang dapat dideteksi sebanyak dua pengamatan sedangkan titik yang berada di dalam batas kendali tidak ada yang mendekati nilai batas kendali atas. Hal ini menunjukkan bahwa proses tidak terkendali secara statistik. Pembobot ini kemudian digunakan untuk mengendalikan proses produksi pada fase dua dengan hasil sebagai berikut.

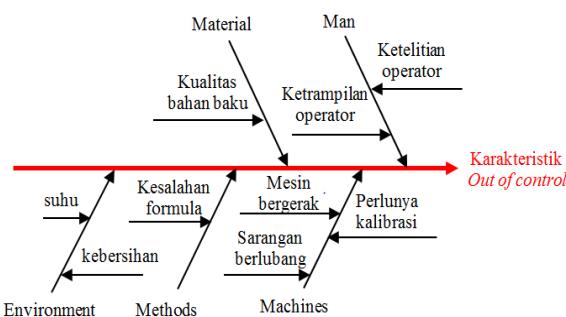


Gambar 4. Diagram Kendali MEWMA Fase Dua dengan $\lambda = 0,4$

Pada fase dua, terlihat bahwa terdapat dua titik yang *out of control* dan dua titik yang berada di dalam batas kendali namun masih mendekati batas kendali atas. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses tidak terkendali secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara fase satu dan fase dua.

F. Identifikasi Penyebab Proses Tidak Terkendali

Berdasarkan hasil *brainstorming* yang dilakukan dengan pihak produksi, penyebab dari proses yang tidak terkendali disebabkan oleh 5 faktor, diantaranya *Man*, *Machine*, *Material*, *Methods*, dan *Environment* yang digambarkan melalui diagram ishikawa berikut.



Gambar 5. Diagram Ishikawa Proses Produksi Pakan Ternak

Elemen terbesar yang menyebabkan karakteristik kualitas tidak terkendali adalah mesin, dimana sering terjadi sarangan berlubang dan mesin yang bergerak ketika proses *grinding*. Hal lain yang menjadi penyebab proses tidak terkendali adalah kebersihan yang kurang dijaga sehingga menyebabkan terjadinya kontaminasi, operator yang sering mengabaikan adanya *under* atau *over weight*, suhu, kualitas bahan baku, serta kesalahan pemasukan formula. Dengan demikian perlu dilakukan pembersihan bin, *elevator*, atau *conveyor*, pemeriksaan bahan baku yang lebih ketat, mengadakan pelatihan untuk operator, serta melakukan kalibrasi alat agar proses berjalan dengan baik dan terkendali secara statistik.

G. Kapabilitas Proses Produksi Pakan Ternak Tipe G 11 S Crumble

Kapabilitas proses digunakan untuk mengetahui kinerja proses secara keseluruhan yang diukur dari keseragaman produk yang dihasilkan. Dikarenakan proses tidak terkendali secara statistik baik untuk variabilitas maupun *mean* proses yang ditandai dengan adanya data *out of control* maka indeks kapabilitas proses yang digunakan adalah indeks *performance process* yaitu MP_p dan MP_{pk} . Secara univariat, hasil perhitungan P_p dan P_{pk} adalah sebagai berikut.

TABEL 5. KAPABILITAS PROSES SECARA UNIVARIAT

Fase	Variabel	P_p	P_{pk}
Satu	Kandungan calcium	0,74	0,73
	Kandungan protein	0,85	0,73
Dua	Kandungan calcium	0,73	0,61
	Kandungan protein	1,09	0,65

Secara univariat, hanya kandungan protein pada fase dua yang menunjukkan presisi yang baik, karena nilai P_p lebih dari satu. Kandungan yang lainnya menunjukkan nilai presisi dan akurasi yang rendah karena nilai P_p dan P_{pk} masih kurang dari satu. Selanjutnya, perhitungan secara univariat ini digunakan untuk menghitung indeks *performance process* secara multivariat. Sehubungan dengan tidak adanya pembobotan untuk kandungan calcium dan protein yang ditetapkan oleh perusahaan, maka pembobotnya dianggap sama dimana masing-masing bernilai 0,5. Berdasarkan persamaan (17) dan (18) didapatkan indeks *performance process* secara multivariat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kapabilitas Proses Secara Multivariat

Fase	MP_p	MP_{pk}
Satu	0,795	0,73
Dua	0,91	0,63

Pada Tabel 6 terlihat bahwa secara multivariat nilai MP_p dan MP_{pk} pada fase satu sebesar 0,795 dan 0,73, sedangkan fase dua sebesar 0,91 dan 0,63. Keempat nilai tersebut kurang dari satu yang menunjukkan bahwa tingkat presisi dan akurasi proses tidak baik, variasi proses tidak berada dalam batas yang ditentukan dan produk tidak mendekati nilai target yang ditentukan oleh perusahaan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa variabilitas proses produksi pakan ternak tipe G 11 S *Crumble* terkendali secara statistik, sedangkan rata-rata prosesnya tidak terkendali secara statistik. Baik pada fase satu amupun fase dua, terdapat 2 titik yang berada di luar batas kendali untuk diagram MEWMA. Berdasarkan hasil perhitungan kapabilitas proses, secara multivariat kinerja proses terhadap kandungan calcium dan protein tidak memiliki presisi dan akurasi yang baik karena nilai masing-masing indeks kinerja proses baik MP_p dan MP_{pk} lebih kecil dari satu, untuk fase satu sebesar 0,795 dan 0,73 sedangkan fase dua sebesar 0,91 dan 0,63. Dengan demikian perlu dilakukan perbaikan proses untuk meminimalisir adanya variansi yang besar antar produk serta menghilangkan variasi selama proses produksi melalui adanya pembersihan bin, *elevator*, atau *conveyor*, pemeriksaan bahan baku yang lebih ketat, melakukan kalibrasi alat serta pelatihan kepada operator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik. (2014). Konsumsi Rata-rata per Kapita Seminggu Beberapa Macam Bahan Makanan Penting, 207-2014. Dipetik pada 11 Oktober 2015 dari website: <http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/950>.
- [2] Heizer, J., & Render, B. (2009). *Operations Management* (ed.9). (Terj. C. Sungkono) Jakarta: Salemba Empat.
- [3] Lowry, C.A et al. (1992). A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Technometrics*, 34. pp. 46-53.
- [4] Walpole, R. E. 1995. *Introduction to Statistics* (3rd Ed.). US: Prentice Hall PTR.
- [5] Jhonson, W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. USA: Prentice Hall.
- [6] Huwang, L., Arthur, & Chien-Wei. (2007). *Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observations*. *Journal of Quality Technology*, 39. pp .258-278.
- [7] Montgomery, D. C. (2009). *Statistical Quality Control* (ed.6). United States: John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Raissi, S. (2009). Multivariate process capability indices on the presence of priority for quality characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, Vol. 5, No. 9, 27-36.
- [9] Ketaren, P. (2010). Kebutuhan Gizi Ternak Unggas di Indonesia. *WARTAZOA*, 20. pp. 172-180.
- [10] Widodo, Wahyu. (2006). *Pengantar Ilmu Nutrisi Ternak*. Fakultas Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang (UMM).