

# Penerapan Bagan Kendali MEWMA-MEWMV pada Pengendalian Kualitas Lulusan Prodi Statistika FMIPA Universitas Syiah Kuala

Misbahul Jannah<sup>1</sup>, Evi Ramadhani<sup>1\*</sup>, Latifah Rahayu Siregar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Statistika, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

\*Corresponding author: evi.ramadhani@unsyiah.ac.id

Received: 28 September 2022

Revised: 28 February 2023

Accepted: 9 March 2023

**ABSTRAK** – Teknik statistika yang digunakan untuk menganalisis permasalahan kualitas dan meningkatkan kinerja proses adalah Statistical Process Control (SPC). Pada teknik SPC terdapat alat untuk mengukur proses dalam keadaan terkendali atau tidak secara statistika yaitu bagan kendali. Pada penelitian ini digunakan bagan kendali multivariat untuk mengontrol kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK, yaitu menggunakan bagan kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) untuk mengontrol rata-rata proses, Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV) untuk mengontrol variabilitas proses, serta Analisis Kapabilitas Proses untuk menilai keseluruhan proses. Data yang digunakan adalah data sekunder yaitu data IPK, lama penyusunan tugas akhir, dan lama studi lulusan Prodi Statistika FMIPA USK tahun 2016-2021 sebanyak 122 orang. Berdasarkan hasil penelitian, menggunakan bagan kendali MEWMA didapatkan bahwa rata-rata proses pada kualitas lulusan terkendali secara statistika pada fase II. Pemilihan pembobot paling optimal yaitu  $\lambda=0,9$ . Sedangkan untuk penerapan bagan kendali MEWMV didapatkan bahwa variabilitas proses pada kualitas lulusan juga terkendali secara statistika. Pemilihan pembobot paling optimal yaitu  $\lambda=0,9$  dan  $\omega=0,3$ . Hasil perhitungan kapabilitas proses, secara multivariat variabel IPK, lama penyusunan tugas akhir, dan lama studi menunjukkan ketiganya tidak kapabel.

**Kata kunci**– bagan kendali, MEWMA, MEWMV, kapabilitas proses.

**ABSTRACT** – Statistical technique used to analyze quality problems and improve process performance is Statistical Process Control (SPC). In this study, multivariate control chart is used to control the quality of the graduates of Statistics Study Program, FMIPA USK, namely using Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) control chart to control process average, Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV) to control process variability, and analysis Process Capability to assess the entire process. Data used is secondary data, namely GPA data, duration of thesis preparation, and length of study for graduates of Statistics Study Program, FMIPA USK in 2016-2021 as many as 122 people. Results of the study, using MEWMA control chart, it was found that the average process for quality of graduates was statistically controlled in phase II. Selection of the most optimal weighting is  $\lambda=0.9$ . Meanwhile, for application of the MEWMV control chart, it was found that the process variability in the quality of graduates was also statistically controlled. The selection of the most optimal weights is  $\lambda=0.9$  and  $\omega=0.3$ . The results of the calculation of process capability, multivariately the GPA variable, length of the final project preparation, and length of the study show that all three are not capable.

**Keywords**– control chart, MEWMA, MEWMV, process capability.

## I. PENDAHULUAN

Perguruan tinggi sebagai salah satu penyedia jasa pendidikan dan pengembangan sumber daya manusia dituntut untuk mengutamakan kualitas proses pendidikannya. Hal tersebut bertujuan untuk memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan perguruan tinggi dalam menghasilkan lulusan yang unggul. Universitas Syiah Kuala (USK) merupakan perguruan tinggi negeri tertua di Aceh yang telah memperoleh akreditasi A. Saat ini USK memiliki 12 Fakultas, salah satunya yaitu Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) yang memiliki 13 Program Studi, yaitu 2 Program Studi D3, 7 Program Studi S1 dan 4 Program Studi S2. Semua Program Studi (Prodi) berkeinginan untuk menghasilkan lulusan yang berkualitas dan berdaya saing tinggi, tak terkecuali Prodi Statistika. Berdasarkan rekapitulasi sidang Prodi Statistika sejak tahun ajaran semester genap 2016/2017 sampai dengan tahun ajaran semester genap 2020/2021 lulusannya sudah mencapai 122 orang. Untuk menghasilkan lulusan yang berkualitas, Prodi Statistika harus selalu mengendalikan kualitas lulusannya. Terdapat beberapa karakteristik dari kualitas lulusan Prodi Statistika yang harus dikendalikan yaitu Indeks Prestasi Kumulatif (IPK), dan lama penyusunan Tugas Akhir (TA), dan lama studi. Ketiga karakteristik tersebut saling berhubungan yaitu semakin tinggi nilai IPK maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan TA semakin cepat, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan TA maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan studi juga semakin lama.

Adanya keberhasilan akademik ditandai dengan perolehan prestasi akademik yang telah dicapai. Perolehan prestasi akan dikontrol oleh setiap perguruan tinggi guna menghasilkan lulusan mahasiswa yang memiliki mutu yang berkualitas. Kualitas prestasi dapat diukur melalui indeks prestasi kumulatif (IPK) yang diperoleh mahasiswa dari semua mata kuliah untuk semua semester yang sudah diikuti [6]. Semakin baik penguasaan akademik mahasiswa maka IPK yang diperoleh pun akan baik. Indeks Prestasi mahasiswa dipengaruhi oleh faktor dari dalam diri mahasiswa (faktor internal) maupun faktor dari luar diri mahasiswa (faktor eksternal) [16].

Salah satu teknik statistika yang digunakan untuk menganalisis permasalahan kualitas dan meningkatkan kinerja proses produksi adalah *Statistical Process Control* (SPC). Pada teknik SPC terdapat alat untuk mengukur proses dalam keadaan terkendali atau tidak secara statistika yaitu bagan kendali [15]. Bagan kendali terbagi dua, yaitu bagan kendali univariat dan bagan kendali multivariat. Bagan kendali univariat digunakan untuk mengontrol rata-rata maupun varian dari satu variabel. Sementara, pada suatu proses yang dijumpai dengan beberapa variabel yang saling berhubungan maka analisis yang relevan untuk mengontrol proses tersebut adalah dengan menggunakan bagan kendali multivariat. Bagan kendali multivariat dapat mengontrol proses secara bersamaan antar variabel yang digunakan [11].

Pengendalian kualitas pada variabel yang saling berkorelasi dapat ditangani dengan menggunakan bagan kendali multivariat, yaitu bagan kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) dan bagan kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA), di mana kedua bagan kendali ini *robust* terhadap distribusi normal. Penggunaan bagan kendali MEWMA dan MEWMV dapat melakukan pengawasan pada karakteristik kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK yang saling berhubungan, yaitu IPK, lama penyusunan TA, dan lama studi. Terutama pada variabel lama penyusunan TA dimana terdapat lulusan yang memiliki periode penyusunan TA diluar spesifikasi yang telah ditentukan, hal ini berpengaruh terhadap kinerja proses pada variabel lama studi lulusan.

Selain itu, bagan kendali MEWMA dan MEWMV merupakan alternatif yang baik untuk mengetahui adanya pergeseran yang sangat kecil pada kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK dengan mengendalikan rata-rata dan variabilitas proses. Kinerja bagan kendali ini dapat dilihat dari nilai pembobot  $\lambda$  yang optimal bagi bagan kendali MEWMA dan pembobot  $\lambda$  dan  $\omega$  yang optimal bagi bagan kendali MEWMV. Adapun kelebihan dari bagan kendali MEWMA ini adalah mengakumulasi informasi yang didapat dari masa lampau, hal ini membuat bagan kendali MEWMA lebih sensitif untuk mendeteksi pergeseran rata-rata yang kecil serta *robust* terhadap asumsi normal multivariat, sehingga ketika asumsi normal multivariat tidak terpenuhi, maka bagan kendali ini tetap masih dapat digunakan. Sementara itu, bagan kendali MEWMV dapat secara sensitif mendeteksi terjadinya perubahan pada variabilitas proses [3].

Beberapa referensi penelitian sebelumnya yang menggunakan bagan kendali MEWMA dan MEWMV diantaranya penelitian Nashrunisa (2015), bagan kendali MEWMA dan MEWMV digunakan pada pengendalian kualitas ampas tebu di pabrik gula, disimpulkan bahwa pengontrolan variabilitas proses menggunakan bagan kendali MEWMV dengan pemilihan pembobot paling optimal yaitu  $\omega = 0,4$  dan  $\lambda = 0,4$ , pengontrolan rata-rata proses menggunakan bagan kendali MEWMA didapatkan dalam keadaan tidak terkendali dan lebih sensitif menggunakan pembobot  $\lambda$  sebesar 0,9 [4]. Penelitian Jayanti & Wibawati (2015), penerapan bagan kendali MEWMA dan MEWMV pada pengendalian kualitas air produksi di IPAM Ngagel I, didapatkan hasil bahwa variabilitas proses telah terkendali secara statistika dengan  $\lambda = 0,1$ ,  $\omega = 0,3$ , hasil bagan kendali MEWMA diketahui bahwa rata-rata proses telah terkendali secara statistika menggunakan  $\lambda = 0,6$ . Hasil perhitungan kapabilitas diketahui bahwa nilai presisi dan akurasi yang rendah, sehingga dikatakan proses tidak kapabel [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pembobot  $\lambda$  yang optimal dari bagan kendali MEWMA dan pembobot  $\lambda$  dan  $\omega$  yang optimal dari bagan kendali MEWMV untuk kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK, serta menghitung nilai kapabilitas proses dalam memenuhi standar batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh Prodi Statistika. Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk mengkaji pengendalian kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK, yaitu dengan mengidentifikasi kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK dengan menggunakan bagan kendali MEWMA-MEWMV. Karakteristik kualitas lulusan yang digunakan yaitu IPK, lama masa studi dan lama penyusunan TA lulusan Prodi Statistika FMIPA USK.

## II. TINJAUAN LITERATUR

### Analisis Korelasi

Analisis korelasi merupakan uji statistika yang mengukur keeratan hubungan linier antara dua variabel. Indeks yang mengukur keeratan hubungan dua variabel disebut koefisien korelasi [13]. Koefisien korelasi didefinisikan sebagai ukuran keeratan hubungan linier antara dua peubah acak  $X$  dan  $Y$  yang dilambangkan dengan  $r$  untuk sampel, dan  $\rho$  untuk populasi. Ukuran korelasi linier antara dua peubah yang paling banyak digunakan adalah Koefisien korelasi *Pearson's product-moment* yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$r_{XY} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \tag{1}$$

dimana:

- $r_{XY}$ : koefisien korelasi antara  $X$  dan  $Y$
- $n$  : banyaknya pengamatan
- $x_i$  : nilai  $x$  ke-  $i$ , dengan  $i = 1, 2, \dots, n$
- $y_i$  : nilai  $y$  ke-  $i$ , dengan  $i = 1, 2, \dots, n$  [1].

### Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan suatu teknik yang perlu dilakukan agar suatu perusahaan dapat mengetahui kualitas produknya sebelum dipasarkan kepada konsumen. Proses pengendalian kualitas dilakukan sejak tahap perencanaan produk, perencanaan proses sampai dengan proses penawaran produk kepada konsumen. Tujuan utama pengendalian kualitas (*quality control*) dalam suatu proses adalah dalam rangka evaluasi produk, dengan harapan dapat menurunkan biaya produksi, pekerjaan yang berulang tidak terjadi, menurunkan keterlambatan dan meningkatkan penggunaan mesin. Dengan demikian, pengendalian kualitas ini penting karena akan berakibat pada peningkatan produktivitas, peningkatan pangsa pasar, peningkatan jumlah produk, terjaminnya keberlanjutan usaha dan perkembangan usaha [7]. Salah satu cara untuk menjaga kualitas produk yang dihasilkan adalah menetapkan standar kualitas, dengan adanya standar kualitas yang tetap dan terjaga akan menunjukkan bahwa perusahaan tersebut memiliki tanggung jawab yang penuh terhadap produk yang dihasilkan [9]. *Statistical Quality Control (SQC)* atau pengendalian kualitas statistik merupakan salah satu metode statistika yang digunakan untuk mengawasi standar, melakukan pengukuran dan mengambil tindakan korektif selagi sebuah produk atau jasa sedang diproduksi [8].

### Bagan Kendali MEWMA

Bagan kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)* digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan pada rata-rata proses secara multivariat dengan sampel individual. Kelebihan dari bagan kendali ini adalah bagan kendali MEWMA mengakumulasi informasi yang didapat dari masa lampau, sehingga membuat bagan kendali MEWMA lebih sensitif untuk mendeteksi pergeseran rata-rata yang kecil serta *robust* terhadap asumsi normal multivariat. Bagan kendali MEWMA merupakan generalisasi dari proses untuk data univariat EWMA, dengan persamaan berikut.

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} ; i = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

Dimana:

$X_i$  : vektor sampel pengamatan ke- $i$  yang berdistribusi normal multivariat

$\lambda$  : pembobot dengan nilai  $0 \leq \lambda \leq 1$

$Z_0$  :  $0$

$Z_i$  : vektor berukuran  $p \times 1$

$p$  : banyak variabel yang digunakan

Titik pengamatan digambarkan pada bagan kendali menggunakan rumus:

$$T_i^2 = Z_i^T \Sigma_{Z_i}^{-1} Z_i \tag{3}$$

dimana matriks varians dan kovarians sebagai berikut,

$$\Sigma_{Z_i} = \frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}] (\Sigma) \tag{4}$$

dimana matriks kovarian  $\Sigma$  analog dengan varians pada data univariat EWMA. Nilai BKA diperoleh berdasarkan nilai pembobot  $\lambda$  yang telah ditentukan. Data disebut *out of control* ketika nilai pengamatan lebih besar dari pada BKA ( $T_i^2 > BKA$ ) dan dinyatakan terkendali apabila nilai pengamatan lebih kecil dari pada BKA atau ( $T_i^2 < BKA$ ) [3].

### Bagan Kendali MEWMV

Bagan kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV)* digunakan untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses yang kecil, tanpa asumsi tidak terjadi perubahan rata-rata proses selama periode pengamatan tersebut. Perumusan bagan kendali MEWMV dibentuk dari persamaan:

$$V_m = \omega(x_m - y_m)(x_m - y_m)^T + (1 - \omega) V_{m-1} \tag{5}$$

Dimana:

$\omega$  = pembobot *smoothing constant*,  $0 < \omega < 1$

$y_0 = 0$

$$V_0 = (x_m - y_m)(x_m - y_m)^T \tag{6}$$

$$y_m = \lambda x_m + (1 - \lambda)y_{m-1} \tag{7}$$

Untuk mendeteksi terjadinya perubahan dalam matriks kovarian, maka pertama kali didefinisikan,

$X = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$ ,  $Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$ , dan

$$C = \begin{bmatrix} (1-\omega)^{m-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (1-\omega)^{m-2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega(1-\omega) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega \end{bmatrix} \tag{8}$$

$C$  adalah matriks diagonal berukuran  $m \times m$  dengan  $\omega$  sebagai elemennya,  $\omega$  merupakan pembobot yang ditetapkan. Dari persamaan (5) dan persamaan (7) diperoleh.

$$V_m = \sum_{i=1}^m \omega(1-\omega)^{m-i} (x_i - y_i)(x_i - y_i)^T + (1-\omega)^m V_0 \tag{9}$$

$$y_i = \sum_{i=1}^m \lambda(1-\lambda)^{m-i} x_i \tag{10}$$

$$x_i - y_i = (1-\lambda)x_i - \lambda(1-\lambda)x_{i-1} - \dots - \lambda(1-\lambda)^{i-1}x_1; \quad i = 1, 2, \dots, m \tag{11}$$

Dari persamaan di atas, dilanjutkan dengan perhitungan:

$$(X - Y) = \begin{bmatrix} (x_1 - y_1)^T \\ (x_2 - y_2)^T \\ \vdots \\ (x_m - y_m)^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-\lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\lambda(1-\lambda)^{m-1} & \dots & -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1^T \\ X_2^T \\ \vdots \\ X_m^T \end{bmatrix} = (I_m - M)X \tag{12}$$

dimana

$$I_m = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \tag{13}$$

Dengan  $M$  adalah matriks segitiga bawah berukuran  $m \times m$  dengan  $\lambda$  merupakan bobot yang ditetapkan,

$$M = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & \dots & 0 \\ \lambda(1-\lambda) & \lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ \lambda(1-\lambda)^{m-1} & \dots & \lambda(1-\lambda) & \lambda \end{bmatrix} \tag{14}$$

Sesuai dengan Persamaan (12), maka

$$V_m = (X - Y)^T C (X - Y) = X^T (I_m - M)^T C (I_m - M) X = X^T Q X \tag{15}$$

dimana  $Q$  adalah matriks bujur sangkar berukuran  $m \times m$ :

$$Q = (I_m - M)^T C (I_m - M) = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mm} \end{bmatrix}; \quad 1 \leq i, j \leq m \tag{16}$$

Dari persamaan (15) didapat persamaan  $tr(V_m) = tr(X^T Q X)$ , oleh karena itu

$$tr(V_m) = \sum_{j=1}^m q_{1j} (\sum_{k=1}^m x_{1k} x_{jk}) + \sum_{j=2}^m q_{2j} (\sum_{k=1}^m x_{2k} x_{jk}) + \dots + \sum_{j=1}^m q_{ij} (\sum_{k=1}^m x_{ik} x_{jk}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m q_{ij} (\sum_{k=1}^m x_{ik} x_{jk}) \tag{17}$$

Saat  $p = 1$  persamaan  $tr(V_m)$  akan menjadi persamaan EWMV. Saat proses dalam keadaan terkendali dapat ditunjukkan dari nilai  $E(tr(V_m))$

$$E(tr(V_m)) = \sum_{i=1}^m q_{ii} E(\sum_{k=1}^m x_{ik}^2) + \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq i}^m q_{ij} E(\sum_{k=1}^m x_{ik} x_{jk}) = p \sum_{i=1}^m q_{ii} = p \times tr(Q) \tag{18}$$

$E(tr(V_m))$  konvergen ke  $E(V_m) = \frac{2(1-\lambda)^2 \Sigma}{2-\lambda}$  saat  $\lambda \neq 1 - \sqrt{1-\omega}$  untuk  $m \rightarrow \infty$ . Untuk mendapatkan batas control dari  $(tr(V_m))$  maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan  $Var(tr(V_m))$ , Persamaan (18) menunjukkan bahwa akan menjadi batas yang memungkinkan untuk setiap  $m$ . Dari persamaan didapat pula batas kontrol untuk nilai Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) berdasarkan  $tr(V_m)$  adalah sebagai berikut:

$$Var(tr(V_m)) = [\sum_{j=1}^m q_{ii} \sum_{k=1}^m x_{ik}^2 + 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq i}^m q_{ij} \sum_{i=1}^m x_{ik} x_{jk}] = \sum_{j=1}^m q_{ii} var(\sum_{k=1}^m x_{ik}^2) + 4 \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq i}^m q_{ij}^2 var \sum_{k=1}^m x_{ik} x_{jk} = 2p \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m q_{ij}^2 + 4p \sum_{i=1}^m \sum_{j < i}^m q_{ij}^2 = 2p \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m q_{ij}^2 \tag{19}$$

$$BKA = p \cdot \text{tr}(\mathbf{Q}) + L \sqrt{2p \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m q_{ij}^2} \tag{20}$$

$$BKB = p \cdot \text{tr}(\mathbf{Q}) - L \sqrt{2p \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m q_{ij}^2} \tag{21}$$

Dimana  $L$  merupakan konstanta yang bergantung pada  $p$ , nilai  $\omega$  dan  $\lambda$  telah ditentukan sebelumnya [12].

**Analisis Kapabilitas Proses**

Kapabilitas proses merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses mampu menghasilkan sesuai dengan spesifikasi produk yang diterapkan oleh manajemen berdasarkan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan. Suatu proses disebut mempunyai kapabilitas jika proses tersebut menghasilkan *output* yang berada dalam batas spesifikasi yang diharapkan. Perhitungan kapabilitas menggunakan indeks  $C_p$ ,  $C_{pk}$ , dan  $C_{pkm}$ . Namun pada tahun 1991, *the Automotive Industry Action Group* (AIAG) menyarankan penggunaan indeks kapabilitas  $C_p$  dan  $C_{pk}$ . Analisis kapabilitas proses dapat dilakukan apabila suatu proses telah terkendali secara statistik. Proses dikatakan kapabel jika:

1. Dalam keadaan terkendali
2. Memenuhi batas spesifikasi
3. Tingkat presisi dan akurasi tinggi [15].

Pada metode analisis untuk peningkatan kualitas, biasanya dipergunakan kriteria kapabilitas proses untuk nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  sebagai berikut:

- a. Nilai  $C_p \geq 1,33$ , maka kapabilitas proses sangat baik.
- b. Nilai  $1,00 \leq C_p < 1,33$ , maka kapabilitas proses baik.
- c. Nilai  $C_p < 1,00$ , maka kapabilitas proses tidak baik.

Dimana jika nilai  $C_p \geq 1$  proses dikatakan potensial kapabel sehingga masih terdapat kecenderungan proses tidak kapabel. Apabila nilai  $C_p \geq 1,33$  dikatakan proses pasti kapabel. Untuk mengetahui proses mutlak kapabel atau tidak maka menggunakan  $C_{pk}$  dengan kriteria penilaian sebagai berikut:

- a. Nilai  $C_{pk} \geq 1$ , maka proses menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi.
- b. Nilai  $C_{pk} < 1$ , maka proses menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi [5].

Perhitungan indeks  $C_p$  dan  $C_{pk}$  untuk data univariat adalah:

$$C_p(x_i) = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \tag{22}$$

$$C_{pk}(x_i) = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\} \tag{23}$$

Dimana:

USL: *Upper Specification Limit*

LSL: *Lower Specification Limit*

$\sigma$  : Standar deviasi

$\mu$  : Rata-rata

Sedangkan perhitungan analisis kapabilitas proses secara multivariat dengan mempertimbangkan pembobot dari masing-masing karakteristik, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$MC_p = \sum_{i=1}^p W_i C_p(x_i) \tag{24}$$

$$MC_{pk} = \sum_{i=1}^p W_i C_{pk}(x_i) \tag{25}$$

Keterangan:

$MC_p$  : Tingkat presisi data multivariat

$MC_{pk}$ : Tingkat akurasi data multivariat

$W_i$  merupakan pembobotan dengan  $\sum_{i=1}^p W_i = 1$ . Presisi adalah ukuran kedekatan antara satu pengamatan dengan pengamatan lain dan nilai akurasi adalah ukuran kedekatan hasil pengamatan dengan nilai target [14].

**III. METODOLOGI**

**Data**

Penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu data lulusan Prodi Statistika FMIPA Universitas Syiah Kuala (USK) tahun ajaran semester genap 2016/2017 hingga tahun ajaran semester genap 2020/2021 sebanyak 122 orang. Variabel yang digunakan merupakan kualitas lulusan Prodi Statistika berupa Indeks Prestasi Kumulatif (IPK), lama studi dan lama penyusunan Tugas Akhir (TA). Data diperoleh dari Sub Bagian Akademik Fakultas MIPA Universitas Syiah Kuala.

**Tabel 1.** Variabel penelitian

Variabel	Skala Data	Satuan	Batas Spesifikasi
IPK	Rasio	-	2 - 4
Lama Penyusunan TA	Rasio	Hari	61 - 365
Lama Studi	Rasio	Bulan	42 - 84

Batas spesifikasi pada Tabel 1 menunjukkan nilai batas spesifikasi minimum atau *Lower Spesification Limit* (LSL) dan batas spesifikasi maksimum atau *Upper Spesification Limit* (USL) pada setiap variabel yang sudah ditentukan oleh perguruan tinggi berdasarkan Panduan Akademik USK 2016 dan Panduan Tugas Akhir dan Tesis FMIPA USK 2019.

**Tahapan Analisis**

Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan data, data yang digunakan merupakan data karakteristik dari lulusan Prodi Statistika FMIPA USK tahun ajaran semester genap 2016/2017 hingga tahun ajaran semester genap 2020/2021 sebanyak 122 orang yang dimasukkan ke dalam *Microsoft Excel*.
2. Menyajikan statistika deskriptif berupa *summary* statistik untuk melihat gambaran umum dari kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK.
3. Melakukan Uji korelasi *pearson* untuk melihat hubungan antar variabel pada data kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK menggunakan persamaan (1).
4. Membentuk bagan kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA)
  - a. Menentukan nilai pembobot ( $\lambda$ )
  - b. Menghitung nilai  $Z_i$  untuk masing-masing sampel menggunakan persamaan (2)
  - c. Menghitung titik pengamatan  $T_i^2$  untuk masing-masing sampel dengan persamaan (3)
  - d. Menghitung batas kendali atas sesuai persamaan (4)
  - e. Membentuk bagan kendali
  - f. Mengidentifikasi titik-titik yang berada di luar batas kendali
5. Membentuk bagan kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV)
  - a. Memanggil data yang telah disimpan dalam *Microsoft excel*.
  - b. Menentukan nilai pembobot  $\lambda$ ,  $\omega$ , dan  $L$
  - c. Menentukan jumlah karakteristik yang digunakan,  $p = 3$ .
  - d. Membentuk matriks  $A = (X * X')$  berukuran  $122 \times 122$ .  $X$  merupakan matriks vektor berukuran  $122 \times 3$ .
  - e. Membuat matriks identitas  $I_m$  dengan ukuran  $122 \times 122$  sesuai persamaan (13).
  - f. Membuat matriks segitiga bawah  $M$  dengan elemen  $\lambda$  yang telah ditentukan berukuran  $122 \times 122$  sesuai persamaan (14).
  - g. Membuat matriks dengan diagonal  $C$  dengan elemen  $\omega$  yang telah ditentukan berukuran  $122 \times 122$  sesuai persamaan (8).
  - h. Membuat matriks bujur sangkar  $Q$  dengan menggunakan persamaan (16) berukuran  $122 \times 122$ .
  - i. Menghitung nilai  $tr(V_m)$  sebanyak 122 pengamatan menggunakan persamaan (17).
  - j. Menghitung  $E(tr(V_m))$  untuk mendapatkan nilai batas kendali sebanyak 122 pengamatan menggunakan persamaan (18).
  - k. Menghitung nilai  $Var(tr(V_m))$  sebagai nilai batasan untuk setiap pengamatan menggunakan persamaan (19)
  - l. Menghitung BKA dan BKB untuk setiap pengamatan menggunakan persamaan (20) dan (21).
  - m. Membentuk bagan kendali MEWMV.
6. Menghitung nilai kapabilitas proses pada kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK.
7. Kesimpulan.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Deskriptif**

Analisis deskriptif dilakukan untuk mengetahui gambaran umum dari data kualitas lulusan Prodi Statistika tahun ajaran semester genap 2016/2017 hingga tahun ajaran semester genap 2020/2021 yang disajikan pada Tabel 2 Data yang digunakan pada penelitian ini meliputi IPK, lama penyusunan Tugas Akhir (TA), dan lama studi (Lampiran 1). Pada tabel 4.1 juga terdapat nilai *Lower Spesification Limit* (LSL) dan *Upper Spesification Limit* (USL) yang merupakan nilai batas spesifikasi bawah dan atas pada setiap variabel yang telah ditetapkan FMIPA USK bagi lulusannya.

**Tabel 2.** Analisis deskriptif variabel penelitian

Variabel	Mean	StDev	Minimum	Maksimum	LSL	USL
IPK	3,34	0,24	2,74	3,74	2	4
Lama Penyusunan TA	149,5	97,38	29,0	628	61	365
Lama Studi	51,89	8,07	42,0	87	42	84

Rata-rata IPK dari 122 orang lulusan Prodi Statistika FMIPA USK tahun ajaran semester genap 2016/2017 hingga tahun ajaran semester genap 2020/2021 sebesar 3,34 dan standar deviasi sebesar 0,24. Nilai minimum dan maksimum dari IPK yang diperoleh masing-masing adalah 2,74 dan 3,74. Ini menunjukkan semua lulusan memiliki nilai IPK berada dalam batas spesifikasi yang diharapkan.

Rata-rata lama penyusunan Tugas Akhir (TA) dari 122 orang lulusan Prodi Statistika FMIPA USK, tahun ajaran semester genap 2016/2017 hingga tahun ajaran semester genap 2020/2021 adalah 149,5 hari (sekitar 5 bulan) penyelesaian dengan standar deviasi sebesar 97,38. Nilai minimum dan maksimum dari lama penyusunan TA masing-masing adalah

29 hari dan 628 hari (1 tahun 8 bulan 17 hari). Ini menunjukkan terdapat lulusan yang memiliki waktu lama penyusunan TA tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan yaitu dalam rentang waktu 61 hari (2 bulan) dan 365 hari (12 bulan).

Rata-rata lama studi dari 122 orang lulusan Prodi Statistika FMIPA USK tahun ajaran semester genap 2016/2017 hingga tahun ajaran semester genap 2020/2021 adalah 51,89 bulan (sekitar 4 tahun 3 bulan) dengan standar deviasi sebesar 8,07. Nilai minimum dan maksimum dari lama studi masing-masing adalah 42 bulan (3 tahun 6 bulan) dan 87 bulan (7 tahun 3 bulan). Ini menunjukkan terdapat lulusan yang memiliki lama studi lebih dari 84 bulan (7 tahun) dan tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

**Analisis Korelasi**

Analisis korelasi dilakukan untuk mengukur keeratan hubungan linier antara dua variabel. Pengujian asumsi korelasi dilakukan terhadap tiga karakteristik lulusan yang ada yaitu IPK, lama penyusunan TA dan lama studi menggunakan uji korelasi *Pearson* dengan tingkat signifikansi  $\alpha$  sebesar 0,05, berikut hipotesis yang diuji.

- a. Korelasi antara IPK dengan lama penyusunan TA
  - $H_0 : \rho = 0$  (Tidak ada korelasi antara IPK dengan lama penyusunan TA)
  - $H_1 : \rho \neq 0$  (Terdapat korelasi antara IPK dengan lama penyusunan TA)

Hasil uji korelasi *pearson* dengan tingkat signifikan 0,05 didapatkan hasil *p-value* sebesar 0,003, nilai tersebut lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ , sehingga keputusannya tolak  $H_0$  yaitu terdapat korelasi antara IPK dengan lama penyusunan TA. Nilai koefisien korelasinya ( $r$ ) sebesar -0,269 (Lampiran 3) artinya hubungan antar kedua variabel lemah dan bersifat negatif. Tanda negatif dalam koefisien korelasi memberi arti bahwa semakin tinggi nilai IPK, maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan TA semakin cepat.
- b. Korelasi antara IPK dengan lama studi
  - $H_0 : \rho = 0$  (Tidak ada korelasi antara IPK dengan lama studi)
  - $H_1 : \rho \neq 0$  (Terdapat korelasi antara IPK dengan lama studi)

Hasil uji korelasi *pearson* dengan tingkat signifikan 0,05 didapatkan hasil *p-value* sebesar 0,00, nilai tersebut lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ , sehingga keputusannya tolak  $H_0$  yaitu terdapat korelasi antara IPK dengan lama studi. Nilai koefisien korelasinya ( $r$ ) sebesar -0,498 (Lampiran 3) artinya hubungan antar kedua variabel agak lemah dan bersifat negatif. Tanda negatif dalam koefisien korelasi memberi arti bahwa semakin tinggi nilai IPK, maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan studi semakin cepat.
- c. Korelasi antara lama penyusunan TA dengan lama studi
  - $H_0 : \rho = 0$  (Tidak ada korelasi antara lama penyusunan TA dengan lama studi)
  - $H_1 : \rho \neq 0$  (Terdapat korelasi antara lama penyusunan TA dengan lama studi)

Hasil uji korelasi *Pearson* dengan tingkat signifikan 0,05 didapatkan hasil *p-value* sebesar 0,00, nilai tersebut lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ , sehingga keputusannya tolak  $H_0$  yaitu terdapat korelasi antara lama penyusunan TA dengan lama studi. Nilai koefisien korelasinya ( $r$ ) sebesar 0,587 (Lampiran 3) artinya hubungan antar kedua variabel agak lemah dan bersifat positif. Tanda positif dalam koefisien korelasi memberi arti bahwa semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan TA, maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan studi juga cenderung lama.

**Bagan Kendali MEWMA**

Bagan kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) memiliki tujuan utama yaitu melakukan pengontrolan terhadap rata-rata proses dengan pengambilan sampel individual. Bagan kendali MEWMA dapat memberikan sinyal *out-of-control* melalui nilai  $T_i^2$  (titik pengamatan) untuk  $i = 1, 2, \dots, n$  melalui persamaan (3). Nilai  $T_i^2$  pada bagan kendali MEWMA dibentuk menggunakan berbagai pembobot  $\lambda$  yang hasilnya diringkas pada tabel berikut.

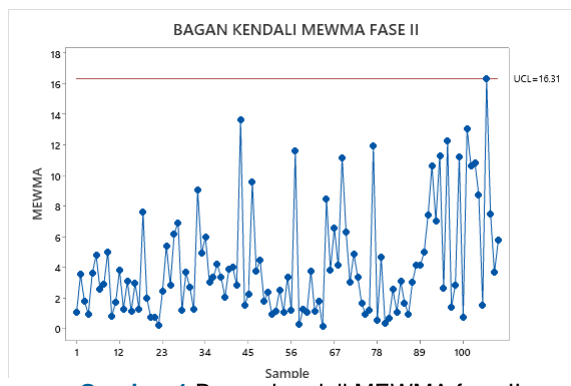
**Tabel 3** Hasil perhitungan nilai  $T_i^2$  maks – BKA

$\lambda$	BKA	Nilai $T_i^2$ Maksimum	$ T_i^2 \text{ Maks} - \text{BKA} $	<i>Out of Control</i>
0,1	10,8	108,6	97,8	39
0,2	11,9	130,3	118,4	15
0,3	12,4	133,5	121,1	14
0,4	12,6	125,0	112,4	13
0,5	12,7	111,4	98,7	13
0,6	12,8	96,2	83,4	11
0,7	12,83	81,31	68,48	9
0,8	12,85	72,91	60,06	9
<b>0,9</b>	<b>12,86</b>	<b>64,08</b>	<b>51,22</b>	<b>8</b>

Pada Tabel 3 dapat diamati jika nilai pembobot  $\lambda$  semakin besar, maka nilai BKA juga mengalami peningkatan. Hal ini mengakibatkan lebar bagan kendali MEWMA menjadi semakin besar, dan pengamatan yang *out of control* pun semakin sedikit. Selanjutnya menentukan bagan kendali MEWMA dengan pemilihan nilai pembobot ( $\lambda$ ) yang paling optimal dalam mengontrol rata-rata proses. Menurut Jayanti dan Wibawati (2014) pemilihan nilai pembobot ( $\lambda$ ) yang optimal dapat dilakukan dengan menghitung selisih nilai maksimum MEWMA atau nilai  $T_i^2$  tertinggi dengan batas kendali atas

(BKA) dari bagan kendali MEWMA yang telah dihitung. Pembobot yang paling optimal dalam mengontrol nilai  $T_i^2$  (titik pengamatan) pada bagan kendali MEWMA merupakan pembobot dengan nilai selisih yang paling kecil. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Pemilihan nilai pembobot ( $\lambda$ ) yang optimal berdasarkan hasil perhitungan selisih antara nilai  $T_i^2$  tertinggi dengan nilai BKA pada Tabel 3 tersebut dapat diketahui bahwa pembobot  $\lambda = 0,9$  merupakan hasil selisih yang paling kecil yaitu 51,22. Artinya bagan kendali dengan pembobot  $\lambda = 0,9$  merupakan bagan kendali MEWMA yang paling sensitif dalam pengendalian kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK dengan menggunakan variabel IPK, lama penyusunan TA, dan lama studi dibandingkan bagan kendali dengan pembobot lainnya. Maka selanjutnya dengan menggunakan nilai pembobot  $\lambda = 0,9$  akan digunakan untuk membuat bagan kendali MEWMA pada fase II. Berikut ini merupakan bagan kendali MEWMA pada fase II.



Gambar 1 Bagan kendali MEWMA fase II

Bagan kendali MEWMA fase II pada Gambar 1 menggunakan nilai pembobot  $\lambda = 0,9$  dengan nilai batas kendali atas sebesar 16,31, terlihat bahwa semua titik pengamatan berada dalam batas kendali atau dapat disebut *in control*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengendalian rata-rata proses pada kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK sudah terkendali secara statistik. Selanjutnya dilakukan pengontrolan pada variabilitas proses menggunakan bagan kendali MEWMV.

**Bagan Kendali MEWMV**

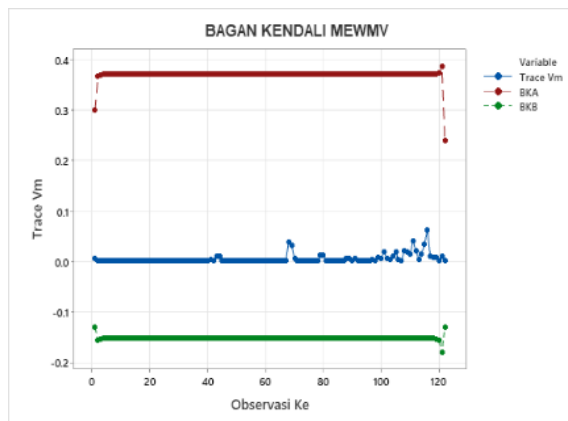
Penerapan bagan kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) digunakan untuk melakukan pengontrolan variabilitas proses pada kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK menggunakan variabel IPK, lama penyusunan TA, dan lama studi. Bagan kendali MEWMV dibentuk dengan mengkombinasikan nilai pembobot  $\lambda$  dan  $\omega$  sebanyak 122 sampel menggunakan persamaan (17). Setelah membentuk bagan kendali MEWMV, didapatkan 7 hasil bagan kendali MEWMV terbaik dari kombinasi pembobot  $\omega = 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ , dengan pembobot  $\lambda = 0,9$  yang hasilnya dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil perhitungan nilai  $tr(V_m)$  – BKA pada MEWMV

$\omega$	$\lambda$	$L$	$tr(V_m)$ Maksimum	BKA Maksimum	Max $tr(V_m)$ -BKA	Out of Control
0,3	0,9	3,7070	0,038	0,220	0,182	0
0,4	0,9	3,9492	0,044	0,248	0,204	0
0,5	0,9	4,1328	0,048	0,274	0,226	0
0,6	0,9	4,2715	0,052	0,299	0,247	0
0,7	0,9	4,3758	0,056	0,323	0,267	0
0,8	0,9	4,4551	0,059	0,351	0,291	0
0,9	0,9	4,4984	0,062	0,386	0,324	0

Hasil perhitungan selisih antara nilai  $tr(V_m)$  maksimum dengan nilai BKA maksimum pada Tabel 4 tersebut dapat diketahui bahwa pembobot  $\omega = 0,3$  dan  $\lambda = 0,9$  menghasilkan nilai selisih yang paling kecil yaitu 0,182. Artinya bagan kendali MEWMV dengan menggunakan pembobot  $\omega = 0,3$  dan  $\lambda = 0,9$  merupakan bagan kendali yang paling sensitif dibandingkan bagan kendali dengan pembobot lainnya dalam pengendalian variabilitas proses pada kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK dengan menggunakan variabel IPK, lama penyusunan TA, dan lama studi.





Gambar 2. Bagan kendali MEWMA ( $\omega = 0,3; \lambda = 0,9$ )

Gambar 2 menunjukkan bagan kendali MEWMA yang paling sensitif dalam mengontrol variabilitas proses kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK. Titik biru menunjukkan titik pengamatan yang berada dalam batas kendali, sehingga dapat disimpulkan variabilitas proses sudah terkendali secara statistika.

**Analisis Kapabilitas Proses**

Indeks kapabilitas proses yang digunakan yaitu  $C_p$  dan  $C_{pk}$  pada persamaan (22) dan (23) didapatkan nilai kapabilitas proses pada masing-masing karakteristik lulusan adalah sebagai berikut.

Tabel 5 Kapabilitas proses univariat

Variabel	$C_p$	$C_{pk}$
IPK	1,55	1,03
Lama penyusunan TA	0,82	0,48
Lama Studi	2,01	0,95

Tabel 5 menunjukkan kapabilitas proses secara univariat pada variabel IPK, lama penyusunan TA, dan lama studi. Nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  pada variabel IPK sebesar 1,55 dan 1,03, nilai tersebut lebih besar dari 1 sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja proses IPK sudah baik atau kapabel, dengan kata lain tingkat presisi dan akurasi tinggi dan variasi proses berada dalam batas yang ditentukan. Nilai  $C_p$  dan  $C_{pk}$  pada variabel lama penyusunan TA sebesar 0,82 dan 0,48, nilai tersebut kurang dari 1 sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja proses lama penyusunan TA belum kapabel, dimana tingkat presisi dan akurasi proses belum baik dan variasi proses belum berada dalam batas yang ditentukan. Sedangkan pada variabel lama studi nilai  $C_p$  sebesar 2.01 yaitu lebih besar dari 1 yang berarti tingkat presisi tinggi, sehingga masih ada kecenderungan kinerja proses yang baik. Penentuan kapabilitas kinerja proses secara mutlak dapat dilihat pada nilai  $C_{pk}$  sebesar 0,95 yaitu kurang dari 1 yang berarti tingkat akurasi rendah, kinerja proses dikatakan kapabel apabila tingkat presisi dan akurasi tinggi sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja proses lama studi belum kapabel.

Karena variabel IPK, lama penyusunan TA, dan lama studi merupakan karakteristik yang saling berhubungan maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kapabilitas proses secara multivariat dengan menggunakan persamaan (24) dan (25), variabel yang diukur yaitu IPK, lama penyusunan TA, dan lama studi.

1. Menghitung nilai  $MC_p$

$$\begin{aligned}
 MC_p &= \sum_{i=1}^p W_i C_p(x_i) \\
 &= (1,55 \times 0,33) + (0,82 \times 0,33) + (2,01 \times 0,33) \\
 &= 0,51 + 0,27 + 0,66 = 1,44
 \end{aligned}$$

2. Menghitung nilai  $MC_{pk}$

$$\begin{aligned}
 MC_{pk} &= \sum_{i=1}^p W_i C_{pk}(x_i) \\
 &= (1,03 \times 0,33) + (0,48 \times 0,33) + (0,95 \times 0,33) \\
 &= 0,34 + 0,16 + 0,31 = 0,81
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan indeks kapabilitas  $MC_p$  dan  $MC_{pk}$  disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Kapabilitas proses multivariat

$MC_p$	$MC_{pk}$
1,44	0,81

Tabel 6. menunjukkan hasil perhitungan indeks kapabilitas  $MC_p$  adalah sebesar sebesar 1,44 yaitu lebih besar dari 1 yang berarti tingkat presisi tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran kedekatan antar karakteristik lulusan satu dengan lulusan lainnya berada dekat, sehingga masih ada kecenderungan kinerja proses yang baik. Penentuan kapabilitas kinerja proses secara mutlak dapat dilihat pada nilai  $MC_{pk}$  sebesar 0,81 yaitu kurang dari 1 yang berarti tingkat akurasi rendah.

Hal ini menunjukkan ukuran kedekatan nilai karakteristik lulusan dengan nilai target spesifikasi yang ditentukan oleh Prodi Statistika FMIPA USK berada jauh. Kinerja proses dikatakan kapabel apabila tingkat presisi dan akurasi tinggi sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja proses lulusan Prodi Statistika FMIPA USK belum kapabel

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan pengendalian rata-rata proses dengan menggunakan bagan kendali MEWMA yang paling sensitif adalah menggunakan pembobot  $\lambda = 0,9$  dengan batas kendali atas sebesar 12,86. Pembobot tersebut merupakan pembobot optimal yang dapat mendeteksi pergeseran rata-rata proses pada fase II sehingga kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK terkendali secara statistik. Pengendalian variabilitas proses menggunakan bagan kendali MEWMV yang paling sensitif adalah dengan nilai pembobot  $\lambda = 0,9$  dan  $\omega = 0,3$ . Pembobot tersebut merupakan nilai optimal yang dapat mendeteksi pergeseran variabilitas proses yang kecil sehingga kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK terkendali secara statistik. Hasil perhitungan kapabilitas proses pada kualitas lulusan Prodi Statistika FMIPA USK menggunakan variabel IPK, lama penyusunan TA, dan lama studi yang saling berkorelasi menunjukkan secara multivariat proses belum kapabel. Hal ini disebabkan karena terdapat lulusan yang memiliki nilai lama penyusunan TA dan lama studi di luar batas spesifikasi yang telah ditentukan Prodi Statistika FMIPA USK.

## REFERENSI

- [1] A. Suharsimi, *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*, Jakarta: PT. Rineka Cipta, 2013.
- [2] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. United States of America: John & Wiley Sons, Inc, 2009.
- [3] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*. New Jersey: John Wiley Sons, 2013.
- [4] D. Nashrunisa, "Analisis Pengendalian Kualitas Ampas Tebu di Pabrik Gula Pesantren Baru Kediri Menggunakan Diagram Kontrol MEWMV dan MEWMA". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [5] D. Rimantho and Athiyah, "Analisis Kapabilitas Proses Untuk Pengendalian Kualitas Air Limbah di Industri Farmasi," *J. Teknol.*, vol. 11, no. 1, pp. 1-8, 2019.
- [6] D. U. Setyawati, B. D. Korida, and B. R. A. Febrilia, "Analisis Regresi Logistik Ordinal Faktor-Faktor yang Mempengaruhi IPK Mahasiswa," *J. Varian*, vol. 3, no. 2, pp. 65-72, 2020, doi: 10.30812/varian.v3i2.615
- [7] E. Ramadhani, H. Mawengkang, Sutarman, and M. Ramli, "Controlling industrial processes using multivariate exponential weighted moving average (Mewma)," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 7, no. 6, pp. 1448-1451, 2019.
- [8] Heizer, Jay, and B. Render. "Manajemen Operasi, Edisi 7." *Jakarta: Salemba Empat* (2006).
- [9] I. Sanjaya, "Analisis Perbandingan Kualitas Pengalaman dengan Standar Kualitas Layanan bagi Pelanggan Seluler," *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 10, no. 1, p. 23, 2015, doi: 10.17933/bpostel.2012.100103.
- [10] J. D. Jayanti and W. Wibawati, "Penerapan Diagram Kontrol MEWMA dan MEWMV pada Pengendalian Kualitas Air Produksi di IPAM Ngagel I," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 3, no. 2, pp. D314-D321, 2014.
- [11] Johnson, R, A., & Wichern, D, W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis 6th edition*. United States of America: Pearson Education, Inc
- [12] L. Huwang, A. B. Yeh, and C. W. Wu, "Monitoring multivariate process variability for individual observations," *J. Qual. Technol.*, vol. 39, no. 3, pp. 258-278, 2007, doi: 10.1080/00224065.2007.11917692.
- [13] S. Nugroho, S. Akbar, and R. Vusvitasari, "Kajian Hubungan Koefisien Korelasi Pearson (r), Spearman-rho (ρ), Kendall-Tau (τ), Gamma (G), dan Somers (dyx)," *J. Gradien*, vol. 4, no. 2, pp. 372-381, 2008.
- [14] S. Raissi, "Multivariate Process Capability Indices on The Presence of Priority for Quality Characteristics. *J. of Industrial Engineering International*, pp. 27-36, 2009.
- [15] V. Gaspersz, *Total Quality Management, Edisi 1*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2004.
- [16] Y. Tampil, H. Komaliq, and Y. Langi, "Analisis Regresi Logistik Untuk Menentukan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Prestasi Kumulatif (IPK) Mahasiswa FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado," *d'CARTESIAN*, vol. 6, no. 2, p. 56, 2017, doi: 10.35799/dc.6.2.2017.17023.



© 2023 by the authors. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).