

**PENERAPAN DIAGRAM KONTROL MEWMA DALAM PENGENDALIAN
KUALITAS PRODUKSI KERIPIK SINGKONG PADA UMKM
DI KOTA SEMARANG
(Studi Kasus: Ceriping Bintang Putra Bu Slamet)**

Nesari^{1*}, Mustafid², Tatik Widiharah³

^{1,2,3} Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

*email: nesnesari@gmail.com

DOI: 10.14710/j.gauss.11.3.355-365

Article Info:

Received: 2022-06-08

Accepted: 2022-08-13

Available Online: : 2023-01-03

Keywords:

Control chart; multivariate control; Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA); UMKM; multivariate process capability

Abstract: Quality is the main thing that needs to be considered by every company. Ceriping Bintang Putra Bu Slamet is an UMKM (Usaha Mikro, Kecil dan Menengah) that produces cassava chips. During production, there are three quality characteristics, namely large crumbs defects, small crumbs, and chips sticking together. It is important to control these defects to produce quality products according to customer needs. This research was conducted from July to August 2021. The purpose of this study was to control the production quality of cassava chips using the Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) control chart and multivariate process capability analysis. The MEWMA control chart is used to detect the shift in the process average which is more sensitive using weights (λ), while the process capability analysis is used to determine the process performance. The implementation of the MEWMA control chart is carried out in two stages, namely phase I control to obtain the optimal weighting and control limits so that it can be used in phase II control to monitor the average process for the next period. Based on the results of the analysis, the optimal weighting is $\lambda = 0,4$ with BKA=201,7434, GT=113,538, and BKB=0 in phase I control. Then, the results of phase II control show a shift in the average process in a better direction. In addition, the results of the process capability analysis show an improvement in the performance of the production process from July 2021 to August 2021 with MCpm values of 0,535 and 1,147.

1. PENDAHULUAN

Pandemi *Covid-19* yang terjadi sepanjang tahun 2020 hingga sekarang di Indonesia, tentunya berdampak besar untuk berbagai sektor industri. Dampak tersebut diantaranya penurunan terhadap jumlah permintaan, omset yang diperoleh, serta terhambatnya laju promosi. Meskipun menghadapi keadaan yang sulit, kualitas tetap menjadi hal utama yang perlu diperhatikan baik pada perusahaan berskala besar maupun kecil seperti UMKM agar produk yang dihasilkan dapat diterima dengan baik oleh konsumen. UMKM (Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah) merupakan sebutan bagi usaha berskala kecil di Indonesia.

Pengendalian kualitas merupakan cara yang dapat diterapkan untuk mengendalikan kualitas hasil produksi. Pengendalian kualitas merupakan suatu usaha untuk mempertahankan mutu produk yang dihasilkan agar produk tersebut sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh pimpinan (Assauri, 2004). Pengendalian kualitas dapat dilakukan secara multivariat apabila melibatkan lebih dari satu karakteristik kualitas, salah satunya dengan menggunakan diagram kontrol. Diagram kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) merupakan diagram kontrol multivariat untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses pada data hasil pengukuran atau kontinu. Diagram kontrol ini memiliki sensitivitas yang lebih baik dalam mendeteksi pergeseran rata-rata

proses yang lebih kecil dibandingkan dengan diagram sejenis lainnya dengan menggunakan nilai pembobot (λ) (Montgomery, 2013).

Sehubungan dengan pengamatan secara langsung yang dilakukan pada Ceriping Bintang Putra Bu Slamet, bahwa usaha ini merupakan salah satu UMKM di Kota Semarang dengan produksi utamanya ialah keripik singkong. Dalam proses produksi keripik singkong terdapat tiga karakteristik kualitas berupa cacat remuk besar, remuk kecil, dan keripik saling menempel yang merupakan data kontinu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pengendalian kualitas multivariat menggunakan diagram kontrol MEWMA. Penerapan diagram kontrol MEWMA dilakukan dalam dua tahap yaitu pengontrolan fase I untuk mendapatkan nilai pembobot (λ) yang optimal serta batas kendalinya sehingga dapat digunakan untuk memonitor proses pada periode berikutnya atau disebut pengontrolan fase II. Selain itu, untuk mengetahui kemampuan proses produksi maka dilakukan perhitungan terhadap indeks kapabilitas proses multivariat serta analisis jenis cacat yang dominan terjadi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Proses produksi keripik singkong pada usaha Ceriping Bintang Putra Bu Slamet secara garis besar terdiri dari enam tahap sebagai berikut:

1. Tahap pengupasan singkong dari kulit singkong.
2. Tahap pencucian singkong yang sudah dikupas menggunakan air.
3. Tahap pemotongan singkong menjadi irisan tipis-tipis.
4. Tahap penggorengan singkong. Singkong yang sudah matang kemudian ditiriskan lalu pekerja akan memilah keripik yang saling menempel dan belum matang untuk dibuang.
5. Tahap pemberian rasa keripik singkong dengan cara memasukannya ke dalam wadah berputar. Pada tahap ini, akan dijumpai keripik remuk yang berada pada wadah bagian bawah yang dibedakan menjadi remuk ukuran besar dan remuk ukuran kecil. Keripik remuk tersebut diperoleh saat pekerja menguras wadah berputar.
6. Tahap pengemasan keripik singkong dalam wadah plastik berukuran 2,5 kg per kemasan. Dengan demikian, dapat diidentifikasi bahwa terdapat tiga karakteristik kualitas berupa cacat produksi pada produk keripik singkong. Ketiga cacat produksi tersebut yaitu:
 1. Cacat remuk besar, yaitu keripik remuk tetapi ukurannya masih cukup besar sehingga pada proses selanjutnya dapat dijadikan imbuhan untuk produk yang akan dikemas.
 2. Cacat remuk kecil, yaitu keripik yang remuk dalam ukuran kecil sehingga nantinya akan dijual kembali dengan harga yang lebih murah.
 3. Keripik saling menempel, yaitu keripik yang saling menempel satu sama lain sehingga mengakibatkan keripik tidak matang secara merata dan akhirnya dibuang.

Pengendalian kualitas produk adalah hal yang penting dilakukan agar produk yang dihasilkan sesuai dengan harapan pelanggan. Penerapan diagram kontrol menjadi salah satu cara yang sering digunakan untuk mengendalikan kualitas produk. Menurut Montgomery (2013), diagram kontrol merupakan alat sederhana yang digunakan untuk memecahkan suatu prosedur proses kontrol. Manfaat dari penggunaan diagram ini yakni untuk mengurangi adanya variabilitas suatu proses, memantau keberjalanan proses produksi, dan menentukan kemampuan proses.

Diagram kontrol multivariat menjadi pilihan yang tepat digunakan ketika terdapat lebih dari satu karakteristik kualitas yang harus dikendalikan secara bersamaan. Analisis multivariat adalah metode analisis statistika yang digunakan untuk mengolah data secara bersama-sama dengan banyak variabel (Johnson dan Winchern, 2007). Pengujian dependensi variabel dengan menggunakan uji *Bartlett* perlu dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya korelasi pada sekelompok data sebelum melakukan analisis multivariat lebih lanjut (Morrison, 1990). Pengujian ini dilakukan untuk memenuhi syarat sebagai data

multivariat. Ketiga variabel yang akan dilakukan pengujian ini ialah cacat remuk besar, remuk kecil, dan keripik saling menempel dengan menggunakan hipotesis sebagai berikut:

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (tidak ada korelasi antar variabel)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (ada korelasi antar variabel)

$$\text{Statistik uji: } \chi_{hitung}^2 = - \left\{ n - 1 - \frac{2p+5}{6} \right\} \ln |\mathbf{R}| \quad (1)$$

dengan n adalah banyaknya pengamatan, p adalah banyaknya karakteristik kualitas, \mathbf{R} adalah matriks korelasi dari masing-masing variabel berukuran $p \times p$, $|\mathbf{R}|$ adalah determinan matriks korelasi, dan \mathbf{I} adalah matriks identitas. H_0 ditolak apabila nilai $\chi_{hitung}^2 > \chi_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}^2$ atau $p\text{-value} < \alpha$.

Data cacat produksi keripik singkong dapat dianalisis menggunakan metode analisis multivariat apabila data tersebut telah memenuhi asumsi sebagai multivariat. Salah satu metode analisis multivariat pada penelitian ini yaitu perhitungan indeks kapabilitas proses multivariat. Asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis ini adalah data berdistribusi normal multivariat dan proses multivariat berada dalam keadaan stabil atau terkendali secara statistik. Pengujian normal multivariat dilakukan pada ketiga variabel cacat yaitu remuk besar, remuk kecil, dan keripik saling menempel. Apabila terdapat p variabel, yaitu X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan berdistribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ jika mempunyai fungsi probabilitas seperti pada persamaan (2).

$$f(X_1, X_2, \dots, X_p) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu) \Sigma^{-1} (x-\mu)} \text{ dengan } -\infty < x < \infty \quad (2)$$

Pengujian distribusi normal multivariat secara visual dapat dilakukan dengan menggunakan q - q plot dengan langkah sebagai berikut (Johnson dan Winchern, 2007):

1. Menentukan nilai vektor rata-rata dari setiap variabel ($\bar{\mathbf{X}}_j$)
2. Menentukan nilai matriks varian-kovarian \mathbf{S}
3. Menghitung jarak mahalanobis: $d_i^2 = (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_j)' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_j)$ (3)
4. Mengurutkan nilai d_i^2 dari kecil ke besar: $d_{(1)}^2 \leq d_{(2)}^2 \leq d_{(3)}^2 \leq \dots \leq d_{(n)}^2$
5. Menentukan nilai $p_i = \frac{i-0.5}{n}, i = 1, 2, \dots, n$
6. Menentukan nilai $q_i = \chi_{p, (\frac{i-0.5}{n})}^2$
7. Membuat *scatter plot* antara sort $d_{(i)}^2$ dengan q_i dengan titik koordinat (sort $d_{(i)}^2, q_i$)

Jika *scatter plot* cenderung membentuk garis lurus dan terdapat minimal 50% nilai $d_i^2 \leq \chi_p^2(0,50)$ maka dapat dikatakan bahwa data berdistribusi normal multivariat. Sedangkan pengujian normal multivariat secara formal dapat menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov sebagai berikut (Daniel, 1989):

Hipotesis:

H_0 : Data pengamatan berdistribusi normal multivariat (d_i^2 berdistribusi χ_p^2)

H_1 : Data pengamatan tidak berdistribusi normal multivariat (d_i^2 tidak berdistribusi χ_p^2)

$$\text{Statistik uji: } D = \sup_i |S(d_i^2) - F_0(d_i^2)| \quad (4)$$

dengan $S(d_i^2)$ adalah proporsi jarak mahalanobis yang $\leq d_i^2$, $F_0(d_i^2)$ adalah fungsi peluang kumulatif dari distribusi *chi-square*. H_0 ditolak jika $D > W_{(1-\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$ dengan uji dua sisi, dengan $W_{(1-\alpha)}$ adalah nilai dari tabel Kolmogorov-Smirnov dengan kuantil $1-\alpha$.

Pada proses produksi keripik singkong terdapat tiga karakteristik kualitas yang perlu dikendalikan, oleh karena itu digunakan diagram kontrol multivariat untuk mengendalikannya. *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA)

merupakan pengembangan untuk kasus multivariat dengan $p > 1$ dari data univariat pada diagram kontrol *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA). Diagram kontrol MEWMA digunakan untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses produksi yang lebih kecil secara multivariat pada data variabel atau kontinu (Montgomery, 2013). Model MEWMA untuk X_1, X_2, \dots, X_p secara matematis didefinisikan seperti pada persamaan (5) (Montgomery, 2013).

$$\mathbf{Z}_i = \lambda \mathbf{X}_i + (1 - \lambda) \mathbf{Z}_{i-1} \quad (5)$$

dengan \mathbf{Z}_0 adalah vektor 0 berukuran $p \times 1$, \mathbf{Z}_{i-1} adalah vektor rata-rata berbobot MEWMA dari semua nilai rata-rata sampel sebelumnya berukuran $p \times 1$, \mathbf{X}_i adalah vektor karakteristik kualitas pada pengamatan ke- i berukuran $p \times 1$, dan λ adalah pembobot yang bernilai $0 < \lambda < 1$. Titik pengamatan atau statistik sampel yang diplotkan pada diagram kontrol MEWMA dapat ditentukan menggunakan persamaan (6).

$$T_i^2 = \mathbf{Z}_i' \mathbf{S}_{\mathbf{Z}_i}^{-1} \mathbf{Z}_i \quad (6)$$

dengan $\mathbf{S}_{\mathbf{Z}_i}$ merupakan matriks varian-kovarian berukuran $p \times p$ dari \mathbf{Z}_i yang dirumuskan dengan $\mathbf{S}_{\mathbf{Z}_i} = \frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}] \mathbf{S}$. Kemudian batas kontrol pada diagram kontrol MEWMA dirumuskan menggunakan persamaan (7), persamaan (8), dan persamaan (9).

$$\text{BKA} = \bar{T}_i^2 + 3S_T \quad (7)$$

$$\text{GT} = \bar{T}_i^2 \quad (8)$$

$$\text{BKB} = 0 \quad (9)$$

dengan \bar{T}_i^2 adalah rata-rata T_i^2 dan S_T merupakan standar deviasi dari T_i^2 . Proses dikatakan tidak terkendali apabila terdapat nilai $T_i^2 > \text{BKA}$ dan terdapat titik-titik tak random (Montgomery, 2013).

Diagram kontrol MEWMA memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap pergeseran rata-rata proses untuk data berdistribusi normal multivariat jika dibandingkan dengan grafik kendali multivariat variabel lainnya yaitu T^2 Hotelling (Khoo, 2004). Hal ini karena diagram kontrol MEWMA memperhatikan adanya pembobot (λ) dalam penerapannya. Oleh karena itu, penentuan pembobot optimal sangat diperlukan agar diagram kontrol MEWMA dapat bekerja dengan lebih baik dalam mengendalikan rata-rata proses. Pada penelitian ini, pembobot (λ) yang digunakan bernilai 0,1 hingga 0,9 dengan jarak antar pembobot sebesar 0,1 karena belum pernah dilakukan pengendalian kualitas menggunakan diagram kontrol MEWMA sebelumnya. Pembobot optimal dapat ditentukan dengan mengamati ada atau tidaknya pengamatan yang berada di luar batas kendali dan mengamati pola plot yang terbentuk untuk setiap nilai pembobot yang digunakan. Selain itu, Stoumbos dan Sullivan (2002) serta Testik *et al.* (2003) dalam Montgomery (2013) menyatakan bahwa penggunaan pembobot yang semakin kecil akan menghasilkan diagram kontrol MEWMA yang dapat bekerja dengan sangat baik.

Penggunaan diagram kontrol untuk mengendalikan proses produksi dapat dilakukan dengan dua tahap yaitu pengontrolan fase I dan fase II (Montgomery, 2013). Pada penelitian ini, penerapan diagram kontrol MEWMA dilakukan dalam dua tahap yaitu pengontrolan fase I dan fase II. Pengontrolan fase I dilakukan untuk mendapatkan nilai pembobot (λ) yang optimal beserta batas kendalinya dengan menggunakan n pengamatan pendahuluan. Sedangkan pengontrolan fase II digunakan untuk memonitor rata-rata proses pada periode waktu berikutnya.

Analisis kapabilitas proses dapat digunakan untuk mengetahui kinerja proses produksi (Montgomery, 2013). Pada penelitian ini, perhitungan kapabilitas proses dilakukan secara multivariat karena data pengamatan merupakan data multivariat dengan tiga karakteristik kualitas. Perhitungan ini dapat dilakukan dengan syarat data berdistribusi normal multivariat dan hasil dari diagram kontrol multivariat menunjukkan proses dalam keadaan stabil atau terkendali secara statistik. Perhitungan kapabilitas proses multivariat (MC_{pm}) didefinisikan sebagai rasio dari dua volume sebagai pada persamaan (10) (Taam *et al.*, 1993).

$$MC_{pm} = \frac{vol(R_1)}{vol(R_2)} \quad (10)$$

dengan R_1 merupakan daerah spesifikasi yang dibentuk dari nilai target, sedangkan R_2 merupakan daerah proses variasi yang dibentuk dari data pengamatan yang sudah terkendali. Untuk menghitung volume R_1 digunakan rumus pada persamaan (11) (Taam *et al.*, 1993).

$$vol(R_1) = \frac{2 \prod_{j=1}^p M_j}{p} \times \frac{\pi^{p/2}}{\Gamma(p/2)} \quad (11)$$

dengan nilai $\pi = 3,14$ dan M_j merupakan nilai target spesifikasi variabel cacat ke- j ($j = 1, 2, \dots, p$) yang dihitung dengan rumus $M = \frac{USL+LSL}{2}$. Sedangkan untuk volume R_2 dirumuskan seperti persamaan (12) (Taam *et al.*, 1993).

$$vol(R_2) = |S|^{1/2} (\pi K(p))^{p/2} [\Gamma(p/2 + 1)]^{-1} \times \left[1 + \frac{n}{n-1} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_j)' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_j) \right]^{1/2} \quad (12)$$

dengan S merupakan matriks varian-kovarian dari data sampel dan $K(p)$ merupakan kuantil 99,73% dari distribusi χ^2 dengan derajat bebas p . Apabila MC_{pm} bernilai > 1 , maka proses produksi telah berjalan dengan baik atau kapabel dan sebaliknya (Zahid dan Sultana, 2008).

Diagram pareto merupakan alat pengendalian kualitas statistik selain diagram kontrol dan indeks kapabilitas proses yang dapat digunakan untuk mengetahui jenis cacat yang paling dominan terjadi dalam suatu proses produksi. Diagram ini memiliki bentuk seperti histogram frekuensi dari item cacat berdasarkan karakteristik kualitas cacat yang diurutkan dari frekuensi yang paling besar sampai yang paling kecil (Montgomery, 2013).

3. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh melalui pengamatan secara langsung serta wawancara dengan pemilik usaha Ceriping Bintang Putra Bu Slamet. Pengamatan secara langsung dilakukan untuk memperoleh data jumlah cacat produksi keripik singkong berupa cacat remuk besar, remuk kecil, dan keripik saling menempel. Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengukur berat dalam kilogram (kg) pada ketiga jenis cacat tersebut dalam periode harian menggunakan inspeksi secara menyeluruh. Pengamatan dilakukan pada 01 Juli 2021 hingga 30 Agustus 2021 dengan jumlah sampel yang diperoleh sebanyak 39 sampel. Dengan demikian, maka terdapat tiga variabel dalam penelitian ini yaitu X_1 adalah cacat remuk besar, X_2 adalah cacat remuk kecil, dan X_3 adalah cacat keripik saling menempel.

Langkah analisis yang digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data cacat produksi keripik singkong.
2. Melakukan analisis statistika deskriptif pada data cacat produksi keripik singkong.
3. Membuat diagram pareto untuk mengetahui jenis cacat yang dominan terjadi.
4. Menentukan data yang digunakan dalam pengontrolan fase I dan fase II.
5. Melakukan pemeriksaan uji normal multivariat dan uji dependensi variabel.
6. Melakukan pengontrolan fase I menggunakan diagram kontrol MEWMA hingga diperoleh nilai pembobot (λ) optimal.

7. Melakukan pengontrolan fase II menggunakan diagram kontrol MEWMA menggunakan pembobot (λ) optimal serta batas kendali yang diperoleh dari pengontrolan fase I.
8. Menghitung kapabilitas proses multivariat dari data hasil pengontrolan fase I dan fase II.
9. Membuat kesimpulan dari hasil analisis.

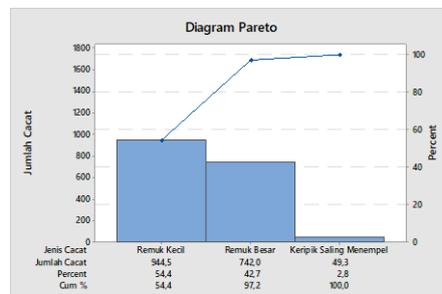
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Statistika Deskriptif Data Cacat Produksi Keripik Singkong

Waktu Pengamatan	Statistika Deskriptif	Karakteristik Kualitas (dalam kg)		
		Remuk Besar	Remuk Kecil	Keripik Saling Menempel
Bulan Juli 2021	Banyak Data	18	18	18
	Rata-Rata	21,72	27,35	1,51
	Variansi	36,14	66,35	0,79
Bulan Agustus 2021	Banyak Data	21	21	21
	Rata-Rata	16,71	21,54	1,05
	Variansi	38,98	72,60	0,47

Analisis statistika deskriptif terlebih dahulu dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari variabel-variabel yang diamati. Hasil analisis statistika deskriptif pada Tabel 1. menunjukkan bahwa nilai rata-rata untuk seluruh jenis cacat produksi pada bulan Agustus 2021 mengalami penurunan dibanding bulan sebelumnya yaitu Juli 2021.

Langkah analisis selanjutnya yaitu menggunakan diagram pareto untuk mengetahui jenis cacat yang paling dominan terjadi selama proses produksi keripik singkong.



Gambar 1. Diagram Pareto Cacat Produksi Keripik Singkong

Hasil analisis pada Gambar 1. menunjukkan bahwa cacat remuk kecil menjadi yang paling dominan terjadi selama proses produksi keripik singkong pada Juli s.d. Agustus 2021 dengan total kejadian sebesar 944,5 kg dan persentasenya sebesar 54,4%.

Uji dependensi variabel merupakan langkah awal yang perlu dilakukan untuk memenuhi syarat sebagai data multivariat sebelum menerapkan analisis pengendalian kualitas multivariat. Pengujian ini menggunakan uji *Bartlett* menggunakan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : $\mathbf{R} = \mathbf{I}$ (tidak ada korelasi antar variabel)

H_1 : $\mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (ada korelasi antar variabel)

Taraf signifikansi: $\alpha=5\%$

Statistik uji:

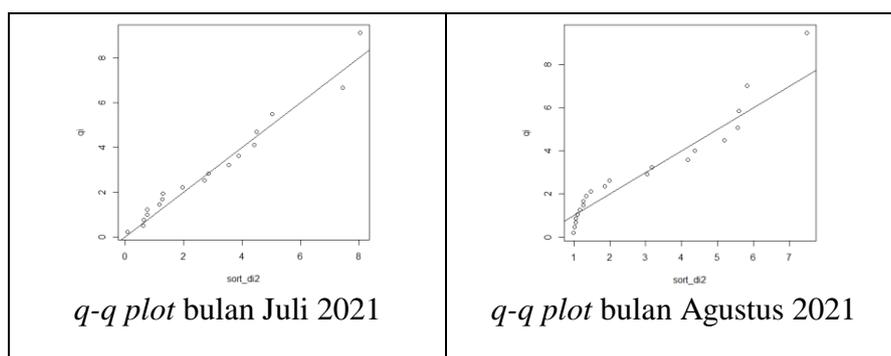
χ_{hitung}^2 data bulan Juli 2021 = 17,38040, $p\text{-value} = 5,9018 \times 10^{-4}$

χ_{hitung}^2 data bulan Agustus 2021 = 53,16336, $p\text{-value} = 1,6921 \times 10^{-11}$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak karena nilai χ^2_{hitung} pada data pengamatan bulan Juli 2021 = 17,38040 dan Agustus 2021 = 53,16336 nilainya lebih dari $\chi^2_{(0,05,3)} = 7,81$. Sedangkan nilai p -*valu*nya berturut-turut $5,9018 \times 10^{-4}$ dan $1,6921 \times 10^{-11}$ nilainya kurang dari $\alpha = 0,05$ sehingga terdapat hubungan pada ketiga variabel cacat produksi pada pengamatan bulan Juli 2021 maupun Agustus 2021.

Langkah analisis selanjutnya adalah pengujian normal multivariat. Pengujian ini merupakan salah satu asumsi sebelum melakukan analisis kapabilitas proses multivariat. Pengujian normal multivariat dilakukan dalam dua cara yaitu uji secara visual dan uji secara formal dengan hasil sebagai berikut:

1. Uji Secara Visual



Gambar 2. Plot Normal Multivariat ($sort\ d_i^2, q_i$)

Plot yang terbentuk pada Gambar 2. menunjukkan pola yang cenderung membentuk garis lurus sehingga dapat disimpulkan bahwa data pengamatan pada bulan Juli 2021 dan Agustus 2021 berdistribusi normal multivariat secara visual.

2. Uji Formal

Pengujian normal multivariat secara formal ialah menggunakan Kolmogorov-Smirnov dengan hipotesis sebagai berikut (Daniel, 1989):

H_0 : Data pengamatan berdistribusi normal multivariat (d_i^2 berdistribusi χ_p^2)

H_1 : Data pengamatan tidak berdistribusi normal multivariat (d_i^2 tidak berdistribusi χ_p^2)

Taraf signifikansi: $\alpha = 5\%$

Statistik Uji:

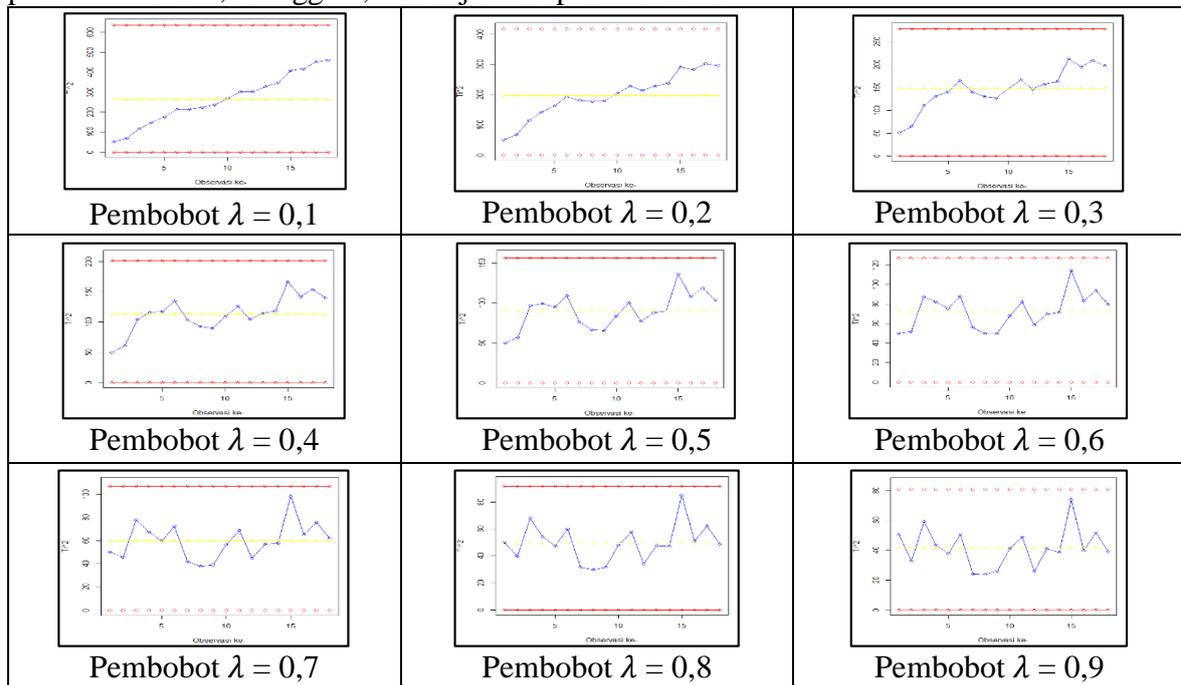
Data pengamatan bulan Juli 2021 : $D = 0,17454$ dan p -*value* = 0,5836

Data pengamatan bulan Agustus 2021 : $D = 0,19749$ dan p -*value* = 0,3401

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima karena nilai D pada pengamatan bulan Juli 2021 = 0,17454 < nilai tabel KS = 0,309 dan nilai D pada bulan Agustus 2021 = 0,19749 < nilai tabel KS = 0,287. Sedangkan nilai p -*valu*nya berturut-turut 0,5836 dan 0,3401 nilainya lebih besar dari $\alpha = 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa data cacat produksi keripik singkong pada bulan Juli 2021 dan Agustus 2021 berdistribusi normal multivariat.

Pengendalian proses produksi menggunakan diagram kontrol MEWMA dapat diterapkan untuk mengendalikan rata-rata proses produksi keripik singkong apabila asumsi dependensi variabel telah terpenuhi. Pada penelitian ini, penerapan diagram kontrol MEWMA dilakukan dalam dua tahap yaitu pengontrolan fase I dan pengontrolan fase II. Pengontrolan fase I menggunakan data pengamatan bulan Juli 2021 sebanyak 18 sampel. Pengontrolan fase ini bertujuan untuk memperoleh pembobot (λ) yang optimal serta batas kendalanya sehingga dapat digunakan untuk memonitor rata-rata proses pada periode

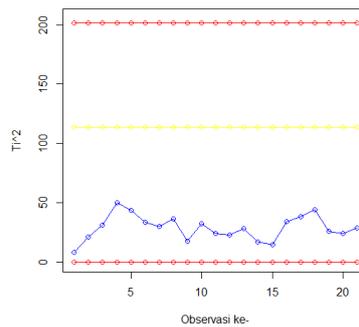
selanjutnya. Hasil pengontrolan menggunakan diagram kontrol MEWMA dengan berbagai pembobot dari 0,1 hingga 0,9 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Kontrol MEWMA Fase I dengan Berbagai Nilai Pembobot

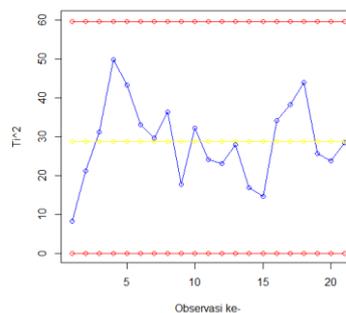
Hasil diagram kontrol MEWMA pada Gambar 3. menunjukkan bahwa dengan menggunakan pembobot 0,1, 0,2, dan 0,3 menunjukkan bahwa terdapat pola yang tidak random pada titik pengamatan karena membentuk pola yang cenderung naik sehingga dengan menggunakan pembobot tersebut menunjukkan proses belum terkendali secara statistik. Kemudian dengan menggunakan pembobot yang lebih besar yaitu 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, dan 0,9 dapat dilihat bahwa telah terjadi pergeseran beberapa titik pengamatan yang cukup signifikan sehingga grafik yang terbentuk berangsur-angsur mulai menunjukkan pola yang random. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa diagram kontrol MEWMA dengan pembobot 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, dan 0,9 menunjukkan proses yang terkendali secara statistik. Pembobot 0,4 merupakan pembobot paling kecil yang menunjukkan proses dalam keadaan terkendali secara statistik, maka pembobot 0,4 dipilih sebagai pembobot optimal pada pengontrolan fase I dengan nilai $BKA = 201,7434$, $GT = 113,5380$, dan $BKB = 0$.

Pengontrolan fase II menggunakan diagram kontrol MEWMA merupakan langkah analisis selanjutnya setelah pengontrolan fase I selesai. Pengontrolan fase ini bertujuan untuk memonitor rata-rata proses produksi keripik singkong pada periode selanjutnya yaitu pada bulan Agustus 2021 menggunakan 21 sampel. Pada pengontrolan fase ini digunakan nilai pembobot optimal ($\lambda = 0,4$) dengan $BKA = 201,7434$, $GT = 113,5380$, dan $BKB = 0$ dari hasil pengontrolan fase I sebelumnya. Hasil pengontrolan fase II ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengontrolan Fase II dengan Pembobot Optimal $\lambda = 0,4$

Hasil pengontrolan fase II pada Gambar 4. menunjukkan bahwa seluruh nilai T_i^2 berada di bawah GT. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi pergeseran rata-rata proses produksi keripik singkong pada bulan Agustus 2021 sehingga memiliki nilai T_i^2 lebih kecil dibandingkan pada pengontrolan dibulan Juli 2021. Jika dilihat dari analisis statistika deskriptif sebelumnya, rata-rata dari masing-masing jenis cacat produksi pada bulan Agustus 2021 mengalami penurunan dibanding Juli 2021 sehingga dapat dikatakan bahwa pergeseran yang terjadi merupakan pergeseran ke arah yang lebih baik. Oleh karena itu, diperlukan pembuatan batas kendali baru pada diagram kontrol MEWMA untuk mengontrol proses produksi keripik singkong bulan Agustus 2021 menggunakan pembobot 0,4.



Gambar 5. Diagram Kontrol MEWMA bulan Agustsus 2021

Hasil pembuatan diagram kontrol MEWMA pada Gambar 5. diperoleh nilai batas kendali yang baru yaitu $BKA = 59,70357$, $GT = 28,74486$, dan $BKB = 0$. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa seluruh titik pengamatan berada di dalam batas kendali dan tidak membentuk pola yang tidak random. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses produksi keripik singkong pada bulan Agustus 2021 telah terkendali secara statistik.

Langkah analisis dapat dilanjutkan dengan perhitungan indeks kapabilitas proses multivariat karena melalui pengujian normal multivariat dan pengontrolan dengan diagram kontrol MEWMA sebelumnya diperoleh hasil bahwa data pengamatan telah berdistribusi normal multivariat dan proses dalam keadaan stabil. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kinerja proses produksi keripik singkong pada Ceriping Bintang Putra Bu Slamet dengan melibatkan tiga karakteristik kualitas. Nilai batas spesifikasi yang akan digunakan dalam perhitungan ini disajikan dalam Tabel 2. sesuai kebijakan pemilik usaha.

Tabel 2. Batas Spesifikasi dan Nilai Target Cacat Produksi Keripik Singkong

j	Karakteristik Kualitas	Batas Spesifikasi (dalam kg)		Nilai Target (M_j)
		USL	LSL	
1	Remuk Besar	40	0	20

2	Remuk Kecil	50	0	25
3	Keripik Saling Menempel	3	0	1,5

Hasil perhitungan indeks kapabilitas multivariat untuk pengontrolan fase I diperoleh nilai $MC_{pm} = 0,5349052$ yang nilainya < 1 , sehingga proses produksi keripik singkong pada bulan Juli 2021 dikatakan tidak kapabel sehingga kinerja prosesnya belum baik dan perlu dilakukan perbaikan. Sedangkan, pada pengontrolan fase II diperoleh nilai $MC_{pm} = 1,146747$ yang nilainya > 1 , sehingga proses produksi keripik singkong pada bulan Agustus 2021 dikatakan kapabel sehingga kinerja proses produksi yang berlangsung sudah baik. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kinerja proses produksi keripik singkong telah mengalami perbaikan dari bulan Juli 2021 ke bulan Agustus 2021.

5. KESIMPULAN

Pengamatan yang dilakukan pada usaha Ceriping Bintang Putra Bu Slamet memperoleh hasil bahwa terdapat tiga karakteristik kualitas produk keripik singkong yang menjadi produksi utama usaha ini yaitu cacat remuk besar, remuk kecil, dan keripik saling menempel. Dengan demikian, untuk mengendalikan kualitas hasil produksi usaha ini diperlukan pengendalian kualitas multivariat menggunakan diagram kontrol MEWMA serta analisis kapabilitas proses multivariat. Penerapan diagram kontrol MEWMA pada pengontrolan fase I menggunakan data bulan Juli 2021 menghasilkan pembobot optimal $\lambda = 0,4$ dengan BKA = 201,7434, GT = 113,5380, dan BKB = 0. Nilai pembobot serta batas kendali tersebut dapat digunakan untuk memonitor rata-rata proses produksi keripik singkong pada usaha Ceriping Bintang Putra Bu Slamet untuk periode mendatang atau disebut pengontrolan fase II. Pengontrolan fase II dicontohkan dengan menggunakan data pengamatan bulan Agustus 2021. Hasil dari pengontrolan fase II menunjukkan bahwa telah terjadi pergeseran rata-rata proses produksi keripik singkong ke arah yang lebih baik dibanding bulan Juli 2021. Perhitungan kapabilitas proses multivariat (MC_{pm}) pada bulan Juli 2021 diperoleh hasil sebesar $0,5349052 < 1$, sedangkan pada bulan Agustus 2021 sebesar $1,146747 > 1$ sehingga menunjukkan bahwa telah terjadi perbaikan kinerja proses produksi pada bulan Agustus 2021 dibanding bulan Juli 2021. Sedangkan selama proses produksi keripik singkong pada Juli s.d. Agustus 2021 diketahui bahwa cacat remuk kecil menjadi yang paling dominan terjadi dengan persentase sebesar 54,4%.

DAFTAR PUSTAKA

- Assauri, S. 2004. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Daniel, W. W. 1989. *Statistika Non Parametrik Terapan*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Johnson, R. A. dan Wichern, D. W. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis Sixth Edition*. United States of America: Pearson Education.
- Khoo, M. B. C. 2004. An Extension for the Univariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Jurnal Matematika UTM* Vol. 20, No. 1, Hal: 43-48. https://www.researchgate.net/publication/26605750_An_Extension_for_the_Univariate_Exponentially_Weighted_Moving_Average_Control_Chart
- Montgomery, D. C. 2013. *Statistical Quality Control (Seventh Edition)*. Singapore: John Wiley & Sons.
- Morrison, D. 1990. *Multivariate Statistical Methods (Third Edition)*. New York: Mc Graw Hill Publishing Company.

- Taam, W., Subbaiah, P., dan Liddy, J. W. 1993. A Note on Multivariate Capability Indices. *Journal of Applied Statistics* Vol. 20, No. 3, Hal: 339-351. <https://doi.org/10.1080/02664769300000035>
- Testik, M. C., Runger, G. C., dan Borrer, C. M. 2003. Robustness Properties of Multivariate EWMA Control Charts. *Quality and Reliability Engineering International* Vol. 19, No. 1, Hal: 31-38. <https://doi.org/10.1002/qre.49>
- Zahid, M. A. dan Sultana, A. 2008. Assessment and Comparison of Multivariate Process Capability Indices in Ceramic Industry. *Journal of Mechanical Engineering* Vol. ME39, No. 1, Hal: 18-25. <https://www.banglajol.info/index.php/JME/article/view/1829>