

# PERBANDINGAN DIAGRAM KONTROL MEWMA DAN DIAGRAM KONTROL $T^2$ HOTELLING UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK KAIN POLYESTER (Studi Kasus : PT Daya Manunggal Kota Salatiga)

Abdiyasti Nurul Arifa<sup>1</sup>, Rukun Santoso<sup>2</sup>, Tatik Widiharih<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departemen Statistika FSM Universitas Diponegoro

Email: [rukunsantoso25@gmail.com](mailto:rukunsantoso25@gmail.com)

## ABSTRACT

Fabrics is one of the most important needs of human life, so demand for clothing is greatly increased. Polyester fabric is a superior product at PT Daya Manunggal Salatiga because it has good quality. The quality of the fabric is very important because it is very influential in the competition to attract consumer interest. To maintain the consistency of the quality of the products produced in accordance with specifications, it is necessary to control the quality of the production process. The quality characteristics used in the production process of polyester fabric are thick layers, thin layers, two weft threads partially and two weft threads one more interconnected with one another, so multivariate control diagrams are used. Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) and  $T^2$  Hotelling are control diagrams for monitoring mean process. The results showed that the MEWMA control diagram with lambda 0.7 yielded controlled results with a BKA value of 14.56021. Whereas in the Hotelling  $T^2$  control diagram a data reduction of four revisions was made to achieve controlled results with a final BKA value of 10.10928. The controlled production process obtained multivariate process capability values of  $0.9672105 < 1$  which means the process is not capable. Comparison of results from the two methods shows that the MEWMA control diagram is more sensitive than the  $T^2$  Hotelling control diagram.

**Keywords:** *Fabric, Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA), Hotelling  $T^2$ , Process Capability Analysis*

## 1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi yang modern ini, muncul peningkatan persaingan yang sangat pesat, salah satunya pada bidang industri tekstil. Banyak orang mendirikan perusahaan tekstil karena kebutuhan hidup manusia akan pakaian sangat meningkat. Salah satu perusahaan tekstil yang ada di Indonesia yaitu PT Daya Manunggal Tekstil atau biasa dikenal dengan nama Damatex yang berlokasi di Kota Salatiga. PT Daya Manunggal merupakan salah satu cabang dari Argo Manunggal Group yang ada di Jakarta. Hasil produksinya berupa benang, kain polos dan kain motif. Hasil produksi dari perusahaan ini sekitar 70% diekspor ke luar negeri dan 30% untuk dalam negeri. Banyak jenis kain yang diproduksi oleh perusahaan ini, namun jenis kain polyester menjadi salah satu yang paling sering diproduksi berdasarkan permintaan konsumen pada tahun 2017 dan merupakan produk unggulan perusahaan.

Kualitas pada kain sangat perlu diperhatikan karena hal tersebut sangat berpengaruh dalam persaingan untuk menarik minat konsumen. Menurut Assauri (2004), pengendalian kualitas merupakan usaha untuk mempertahankan kualitas dari barang yang dihasilkan, agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijaksanaan pimpinan perusahaan.

Menurut Montgomery (2009), salah satu cara melakukan pengendalian kualitas adalah dengan diagram kontrol. Diagram kontrol berupa grafik yang dapat mengetahui proses sudah terkendali atau tidak terkendali. Keadaan terkendali apabila titik-titik berada diantara batas pengendali sedangkan keadaan tidak terkendali apabila terdapat satu atau beberapa titik yang terletak di luar batas pengendali atau apabila titik-titik dalam grafik menunjukkan pola yang tidak random.

Dalam penelitian ini hanya menggunakan empat karakteristik kualitas karena empat karakteristik ini sering terjadi dalam setiap produksi. Empat karakteristik yang perlu diperhatikan dalam produksi kain polyester yaitu lapisan tipis, lapisan tebal, benang pakan dua jadi satu sebagian dan benang pakan dua jadi satu lebih sehingga diagram kontrol multivariat lebih tepat untuk digunakan. Sehubungan dengan adanya korelasi antar karakteristik kualitas kain, maka dalam penelitian ini digunakan diagram kontrol multivariat. Menurut Montgomery (2009), *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) dan  $T^2$  Hotelling merupakan diagram kontrol multivariat yang sama-sama digunakan untuk mendeteksi terjadinya perubahan rata-rata proses. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode MEWMA dan  $T^2$  Hotelling serta untuk mengetahui perbandingan dari kedua metode tersebut.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Industri Tekstil**

Kementerian Koordinator Perekonomian mengemukakan bahwa salah satu industri unggulan di koridor Pulau Jawa adalah industri tekstil dan produk tekstil. Keunggulan industri tekstil dan produk tekstil di koridor pulau Jawa harus dapat digunakan untuk mempercepat dan memperluas pembangunan ekonomi sedemikian rupa kemandirian, kemajuan, keadilan dan kesejahteraan di Indonesia dapat diraih.

#### **2.1.1 Sejarah Berdirinya PT Daya Manunggal Salatiga**

PT Daya Manunggal Salatiga adalah salah satu perusahaan perseroan terbatas yang berdiri pada hari Jumat tanggal 17 Februari 1961. PT Daya Manunggal ini berlokasi di Jalan Argobusono No.1 Kelurahan Ledok, Kecamatan Argomulyo, Kota Salatiga, Jawa Tengah Pada awal berdirinya, Damatex hanya memiliki 200 mesin konvensional dengan jumlah tenaga kerja 150 orang. Kemudian berproduksi pada tahun 1962 dengan hasil produksi *grey* jenis *cotton*. Damatex mampu meningkatkan hasil produksi yang semula hanya kain *grey* saat ini sudah memproduksi dari serat/kapas menjadi benang bahkan sampai menjadi kain jadi.

#### **2.1.2 Struktur Organisasi Perusahaan**

*Operational director* memegang tanggung jawab penuh pada proses produksi. *Operational director* membawahi langsung kepada *factory manager*. *Factory manager* juga membawahi langsung kepada 7 manajer, yaitu manajer *spinning*, manajer *weaving*, manajer *processing*, manajer *power utility*, manajer *accounting*, manajer *PPC* dan logistik, dan manajer umum personalia.

#### **2.1.3 Pemasaran dan Alur Bisnis**

Hasil produksi PT Daya Manunggal 70% diekspor ke berbagai negara di dunia, antara lain Argentina, Australia, Bahrain, Bangladesh, Cina, Jerman, Hong Kong, Italia, Jepang, Korea Selatan, Kuwait, Laos, Malaysia, Filipina, Arab Saudi, Singapura, Afrika Selatan, Sri Lanka, Thailand, Vietnam, Yunani. Alur produksinya dimuali dari menerima order kemudian merencanakan mesin dan membuat intruksi. Setelah itu diproses kemudian membuat laporan hasil produksi setelah itu mengirimkan ke konsumen.

#### **2.1.4 Bahan Baku (Raw Material)**

Setiap departemen memiliki bahan baku yang berbeda antara lain :

- a. Departemen *Spinning* bahan bakunya adalah kapas berasal dari serat alam. Selain kapas, ada juga *polyester* yang berasal dari serat buatan.

b. Departemen *Weaving* bahan bakunya adalah benang.

c. Departemen *Processing* bahan bakunya adalah kain *grey*.

### 2.1.5 Produk yang Dihasilkan

Produk yang dihasilkan oleh PT Daya Manunggal adalah kain. Setiap departemen di PT Daya Manunggal menghasilkan produk antara lain:

- Departemen *Spinning* menghasilkan kapas.
- Departemen *Weaving* menghasilkan kain *grey*.
- Departemen *Processing Dyeing* menghasilkan *Dyed Cotton, dyed CVC, Dyed T/C, Dyed T/R, Dyed Rayon*.
- Departemen *Processing Printing* menghasilkan *printing cotton, printing C/T, printing T/C, printing C/R, printing rayon*.

### 2.1.6 Alur Produksi

Alur produksi dari kapas diolah departemen spinning, kemudian menghasilkan benang. Setelah itu diolah oleh departemen weaving, kemudian dilah oleh departemen processing. Setelah kain jadi kemudian dibungkus untuk dipasarkan.

## 2.2 Parameter Kualitas Kain

Kain merupakan jenis bahan tekstil yang diolah sedemikian rupa dengan menyilangkan benang lusi (*Warp Yarn*) dan benang pakan (*Weft Yarn*). Polyester merupakan salah satu jenis serat sintetik yang banyak digunakan untuk tekstil sandang maupun non sandang. Sifat polyester antara lain memiliki kekuatan yang tinggi, tahan terhadap gosokan, tahan kusut, tahan jamur, dan mudah pemeliharaannya. Parameter kualitas yang digunakan dalam penelitian adalah lapisan tebal, lapisan tipis, benang pakan 2 jadi 1 sebagian, dan benang pakan 2 jadi 1 lebih.

Menurut Santoso (2006), nilai standar atau z-score adalah suatu bilangan yang menunjukkan seberapa jauh nilai mentah menyimpang dari rata-ratanya dalam distribusi data. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung nilai z-score adalah

$$Z_{ij} = \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)}{sd_i}, i=1, 2, \dots, p \text{ dan } j = 1, 2, \dots, n$$

## 2.3 Pengendalian Kualitas

Menurut Montgomery (2009), kualitas adalah seberapa baik produk sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Menurut Assauri (2004), pengendalian kualitas merupakan usaha untuk mempertahankan kualitas dari barang yang dihasilkan agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijaksanaan pimpinan perusahaan. Tujuan dari pengendalian kualitas yaitu :

- Agar barang hasil produksi dapat mencapai standar mutu yang telah ditetapkan.
- Mengusahakan agar biaya inspeksi dapat menjadi sekecil mungkin.
- Mengusahakan agar biaya produksi menjadi rendah.

## 2.4 Data Multivariat

Menurut Haryatmi dan Guritno (2008), data yang diperoleh dengan mengukur lebih dari satu kriteria variabel pada setiap individu anggota sampel disebut data multivariat.

**Tabel 1.** Struktur Data Multivariat

Variate	Objek				
	1	...	j	...	n
X <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	...	x <sub>1j</sub>	...	x <sub>1n</sub>
X <sub>2</sub>	x <sub>21</sub>	...	x <sub>2j</sub>	...	x <sub>2n</sub>
...	...	...	...	...	...
X <sub>i</sub>	x <sub>i1</sub>	...	x <sub>ij</sub>	...	x <sub>in</sub>
...	...	...	...	...	...
X <sub>p</sub>	x <sub>p1</sub>	...	x <sub>pj</sub>	...	x <sub>pn</sub>

Kovariansi sampel untuk variate ke-*i* dan *k* adalah

$$S_{ik} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(\bar{x}_{kj} - \bar{x}_k); i = 1, 2, \dots, p \text{ dan } k = 1, 2, \dots, p$$

Untuk kovariansi sampel variate ke-*i* dan *i*, akan menjadi variansi sampel untuk variate ke-*i* adalah

$$S_{ii} = S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2; i = 1, 2, \dots, p$$

### 2.5 Uji Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat merupakan asumsi yang harus dipenuhi sebelum menganalisis data menggunakan diagram kontrol multivariat dan kapabilitas proses multivariat. Langkah-langkah untuk pemeriksaan normalitas dengan membuat *q-q plot* menurut Johnson dan Wichern (2007) adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai vektor rata-rata :  $\bar{x}$
2. Menentukan nilai matriks variansi-kovariansi : **S**
3. Menentukan nilai jarak mahalnobis setiap titik pengamatan dengan vektor rata-ratanya  
 $d_j^2 = (\mathbf{x}_j - \boldsymbol{\mu})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_j - \boldsymbol{\mu}), j = 1, 2, \dots, n$
4. Mengurutkan nilai  $d_j^2$  dari kecil ke besar :  $d_{(1)}^2 \leq d_{(2)}^2 \leq \dots \leq d_{(n)}^2$
5. Menentukan nilai  $P_j = \frac{j-1}{n}, j = 1, 2, \dots, n$
6. Menentukan nilai  $q_{j,p}(P_j) = \chi_p^2 ((n - j + \frac{1}{2})/n)$
7. Membuat *scatterplot*  $d_j^2$  dengan  $q_j$

Jika *scatterplot* cenderung membentuk garis lurus dan lebih dari 50% nilai  $d_j^2 \leq \chi_{p,0.50}^2$  maka dapat dikatakan bahwa data berdistribusi normal multivariat (Haryatmi & Guritno, 2008). Sedangkan pemeriksaan normal multivariate dengan Kolmogorov-Smirnov menurut Daniel (1989) sebagai berikut:

H<sub>0</sub>: Data pengamatan berdistribusi normal multivariat ( $d_j^2$  berdistribusi  $\chi_p^2$ )

H<sub>1</sub>: Data pengamatan tidak berdistribusi normal multivariat ( $d_j^2$  tidak berdistribusi  $\chi_p^2$ )

Statistik Uji :

$$D = \text{Sup} |S(d_j^2) - F_0(d_j^2)|$$

Daerah kritis :

H<sub>0</sub> ditolak jika  $D > W_{(1-\alpha)}$  atau nilai *p-value*  $< \alpha$  dengan uji dua sisi, dengan  $W_{(1-\alpha)}$  adalah nilai dari tabel Kolmogorov-Smirnov dengan kuantil  $1-\alpha$ .

### 2.6 Uji Korelasi Antar Variate

Menurut Morrison (1990), uji bartlett merupakan metode pengujian untuk mendeteksi ada atau tidaknya korelasi pada sekelompok data. Untuk menguji ada tidaknya keterkaitan antar variat, maka dilakukan uji bartlett dengan hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis :

H<sub>0</sub> : **R** = **I** (tidak ada korelasi antar variat)

H<sub>1</sub> : **R** ≠ **I** (ada korelasi antar variat)

Statistik Uji :

$$\chi_{hitung}^2 = -\left\{n - 1 - \frac{2p + 5}{6}\right\} \ln|\mathbf{R}|$$

Daerah kritis :  $H_0$  ditolak jika nilai  $\chi_{hitung}^2 \geq \chi_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}^2$ .

## 2.7 Diagram Kontrol MEWMA

Menurut Montgomery (2009), diagram kontrol multivariat merupakan salah satu teknik utama pada proses pengendalian kualitas statistik yang digunakan untuk mengurangi variasi dalam proses variabel karakteristik kualitas yang diperiksa lebih dari satu variat atau biasa disebut multivariat. Diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan rata-rata proses. Kelebihannya adalah *robust* terhadap asumsi distribusi normal multivariat, sehingga ketika data tidak memenuhi asumsi normal multivariat maka diagram kendali ini masih bisa digunakan. MEWMA yang didefinisikan sebagai berikut, merupakan generalisasi dari proses untuk data univariat EWMA

$$\mathbf{Z}_{ij} = \lambda \mathbf{X}_{ij} + (1 - \lambda) \mathbf{Z}_{ij-1}$$

Pada diagram kendali ini dapat digunakan nilai pembobot yang sama atau tidak untuk masing-masing karakteristik kualitas. Apabila tidak ada alasan pemilihan pembobot yang berbeda untuk masing-masing karakteristik kualitas maka pembobot  $\lambda$  bernilai sama. Untuk menentukan nilai lambda digunakan *trial and error* sehingga grafik dalam keadaan terkendali. Titik pengamatan yang diplotkan di diagram kendali adalah

$$T_j = \mathbf{Z}'_{ij} \mathbf{S}^{-1}_{Z_{ij}} \mathbf{Z}_{ij}$$

Batas kontrol pada diagram MEWMA yaitu :

$$BKA = \bar{T}_j + 3S_T$$

$$BKB = 0$$

Pada diagram kontrol MEWMA, nilai Batas Kendali Atas (BKA) dinyatakan dalam  $H$  yang diperoleh berdasarkan nilai pembobot  $\lambda$ . Proses dikatakan tidak terkendali apabila terdapat nilai  $T_j > H$ .

## 2.8 Diagram Kontrol $T^2$ Hotelling

$T^2$  Hotelling pada diagram kendali multivariat digunakan untuk mendeteksi tanda-tanda yang berada di luar kendali, apakah proses terkendali secara statistik atau tidak. Dalam diagram  $T^2$  Hotelling titik pencaran yang masih berada di bawah batas kendali atas dapat diasumsikan bahwa proses produksi terkendali, dan fungsi dari statistik  $T^2$  Hotelling ini adalah dapat menunjukkan uji statistik yang optimal untuk mendeteksi pergeseran secara umum vektor rata-rata. Nilai statistik pada diagram kontrol  $T^2$  Hotelling untuk masing-masing pengamatan adalah

$$T_j^2 = (\mathbf{X}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_i)' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_i)$$

Batas kontrol pada diagram  $T^2$  Hotelling yaitu :

$$BKA = \frac{p(n+1)(n-1)}{n^2 - np} F_{\alpha; p; n-p}$$

$$BKB = 0$$

Menurut Montgomery (2009), proses dikatakan tidak terkendali apabila terdapat satu titik yang terletak diluar batas pengendali, titik-titik bertingkah secara sistematis atau tak random, dan titik-titik mengalami kenaikan atau penurunan secara berurutan. Pada setiap data yang berada di luar batas-batas pengendali statistik pasti akan disusun tindakan perbaikan atau bila perbaikan tidak mungkin dilakukan, maka data tersebut akan dibuang. Data yang dibuang tersebut juga berarti bahwa produk yang dihasilkan pada proses tersebut harus dibuang dengan segala konsekuensinya (Ariani, 2004).

## 2.9 Analisis Kapabilitas Proses

Menurut Gaspersz (2002), 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. Analisis kapabilitas proses dapat dilakukan apabila suatu proses dalam keadaan terkendali. Suatu proses produksi berjalan secara *capable* apabila nilai  $C_{pm} \geq 1$ . Menurut Raissi (2009), perhitungan indeks  $C_{pm}$  dan  $C_{pmk}$  untuk data univariat adalah :

$$C_{pm}(x_i) = \frac{USL_{x_i} - LSL_{x_i}}{6\sqrt{\sigma_x^2 + (\mu_{x_i} - T_{x_i})^2}}$$
$$C_{pmk}(x_i) = \min \left\{ \frac{USL_{x_i} - \hat{\mu}_{x_i}}{3\sqrt{\sigma_x^2 + (\mu_{x_i} - T_{x_i})^2}}, \frac{\hat{\mu}_{x_i} - LSL_{x_i}}{3\sqrt{\sigma_x^2 + (\mu_{x_i} - T_{x_i})^2}} \right\}$$

$T_{x_i}$  merupakan nilai target spesifikasi yang diinginkan oleh perusahaan atau bisa ditentukan dengan persamaan

$$T_{x_i} = \frac{USL_{x_i} - LSL_{x_i}}{2}$$

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

$$MC_{pm} = \sum_{i=1}^p W_i C_{pm}(x_i)$$
$$MC_{pmk} = \sum_{i=1}^p W_i C_{pmk}(x_i)$$

Dengan  $MC_{pm}$ ,  $MC_{pmk}$  berturut-turut merupakan  $C_{pm}$ ,  $C_{pmk}$  multivariat dengan  $W_i$  merupakan pembobotan berdasarkan kepentingan dengan  $\sum_{i=1}^p W_i = 1$ .

## 3. METODE PENELITIAN

Jenis data yang digunakan merupakan data sekunder dari proses produksi kain di PT Daya Manunggal Kota Salatiga. Data yang diambil setiap hari pada bulan Januari sampai Juni 2017 dengan jumlah 149 sampel. Karakteristik kualitas kain yang digunakan yaitu lapisan tebal, lapisan tipis, benang pakan dua jadi satu sebagian, dan benang pakan dua jadi satu lebih. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis data penelitian adalah:

1. Mengumpulkan data
2. Melakukan analisis deskriptif
3. Menstandarkan data untuk membuat kesamaan skala data
4. Melakukan pengujian distribusi normal multivariat
5. Melakukan pengujian korelasi
6. Melakukan analisis data dengan menggunakan Diagram Kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) dan  $T^2$  Hotelling:
7. Menghitung kapabilitas proses
8. Membuat kesimpulan

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Karakteristik Kualitas Produksi Kain Polyester

Diagram kontrol multivariat akan diterapkan pada data karakteristik kualitas produksi kain polyester di PT Daya Manunggal Kota Salatiga pada bulan Januari hingga Juni 2017 sebanyak 149 pengamatan dengan 4 karakteristik kualitas produksi kain yaitu lapisan tipis, lapisan tebal, benang pakan dua jadi satu sebagian, dan benang pakan dua jadi satu lebih dengan satuan berupa persen (%) yang dapat dilihat pada Tabel 2. Pada kolom 1 data diperoleh dari hasil penelitian pada tanggal 2 Januari 2017 yaitu, 1,52% lapisan tebal, 0% untuk lapisan tipis atau tidak ada lapisan tipis yang terjadi, 0,78% untuk benang pakan dua jadi 1 sebagian, dan 1,81% untuk benang pakan dua jadi 1 lebih. Hal tersebut berlaku untuk 149 data yang lain.

**Tabel 2.** Struktur Data Karakteristik Kualitas Produksi Kain Polyester

Variat	Objek (%)				
	1	2	3	...	149
Lapisan Tebal	1,52	1,72	0,99	...	1,24
Lapisan Tipis	0	0,05	0,19	...	0,05
Benang Pakan 2 Jadi 1 Sebagian	0,78	0,27	1,44	...	0,82
Benang Pakan 2 Jadi 1 Lebih	1,81	1,26	2,01	...	1,88

### 4.2 Deskripsi Data

Deskripsi karakteristik kualitas kain dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Deskripsi Karakteristik Kualitas

Variat	Mean	Variansi	St. Dev	Min	Max
Lapisan Tebal	1,61	0,25	0,5	0,33	2,91
Lapisan Tipis	0,08	0,01	0,08	0	0,32
Benang Pakan 2 Jadi 1 Sebagian	0,53	0,19	0,43	0	2
Benang Pakan 2 Jadi 1 Lebih	1,12	0,32	0,57	0	2,9

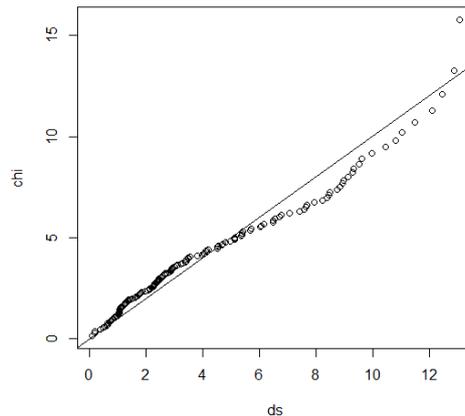
Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa pada bulan Januari 2017 hingga Juni 2017, lapisan tebal mempunyai rata-rata paling tinggi yaitu 1,61% yang menandakan bahwa prosentase cacat kain lapisan tebal lebih banyak daripada cacat yang lain. Variansi yang paling tinggi yaitu sebesar 0,32 untuk benang pakan dua jadi satu lebih. Nilai standar deviasi untuk keempat variat kurang dari sama dengan nilai rata-ratanya, itu berarti persebaran datanya tidak bervariasi. Nilai maximum dan minimum digunakan untuk mengetahui rentang data. Dalam penerapan diagram kontrol MEWMA dan  $T^2$  Hotelling yang digunakan dalam penelitian ini, data karakteristik kualitas tersebut distandarkan sesuai dengan *z-score* untuk membuat data lebih homogen. Deskripsi data karakteristik kualitas produksi kain polyester yang sudah distandarkan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Deskripsi Data Standarisasi Karakteristik Kualitas

Variat	Mean	Variansi	St. Dev	Min	Max
Lapisan Tebal	-7,369E-16	1	1	-2,54945	2,59171
Lapisan Tipis	2,813E-16	1	1	-1,01020	3,04081
Benang Pakan 2 Jadi 1 Sebagian	-3,219E-16	1	1	-1,22534	3,40503
Benang Pakan 2 Jadi 1 Lebih	-7,690E-16	1	1	-1,96507	3,12763

### 4.3 Uji Normal Multivariat

#### 4.3.1 Uji Secara Visual



**Gambar 1.** Plot Normal Multivariat dengan *Software R*

Berdasarkan Gambar 1, dapat disimpulkan bahwa plot normal multivariat ( $d_j^2$ ,  $q_j$ ) cenderung membentuk garis lurus. Sehingga secara visual, data berdistribusi normal multivariat. Berdasarkan hasil perhitungan, dari 149 pengamatan lebih dari 50% nilai  $d_j^2$  lebih kecil dari nilai  $\chi_{4,0.50}^2 = 3,35669398$ , maka dapat diasumsikan data karakteristik kualitas produksi kain polyester berdistribusi normal multivariat.

#### 4.3.2 Uji Secara Formal

Uji secara formal menggunakan Kolmogorov-Smirnov untuk keseluruhan variat dengan hipotesis berikut:

$H_0$  : Data pengamatan berdistribusi normal multivariat ( $d_j^2$  berdistribusi  $\chi_p^2$ )

$H_1$  : Data pengamatan tidak berdistribusi normal multivariat ( $d_j^2$  tidak berdistribusi  $\chi_p^2$ )

Taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$

Statistik Uji :

$D = 0,097952$

$p\text{-value} = 0,1146$

$H_0$  diterima, karena nilai  $D = 0,097952 <$  nilai pada table Kolmogorov-Smirnov sebesar  $0,110596$  dan  $p\text{-value}$  bernilai  $0,1146 > \alpha$  sebesar  $0,05$ . Dapat disimpulkan bahwa data karakteristik kualitas produksi kain polyester berdistribusi normal multivariat.

### 4.4 Uji Korelasi Antar Variat

Penghitungan uji korelasi Bartlett dengan menggunakan hipotesis berikut:

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

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

Taraf Signifikansi  $\alpha = 5\%$

Statistik Uji :

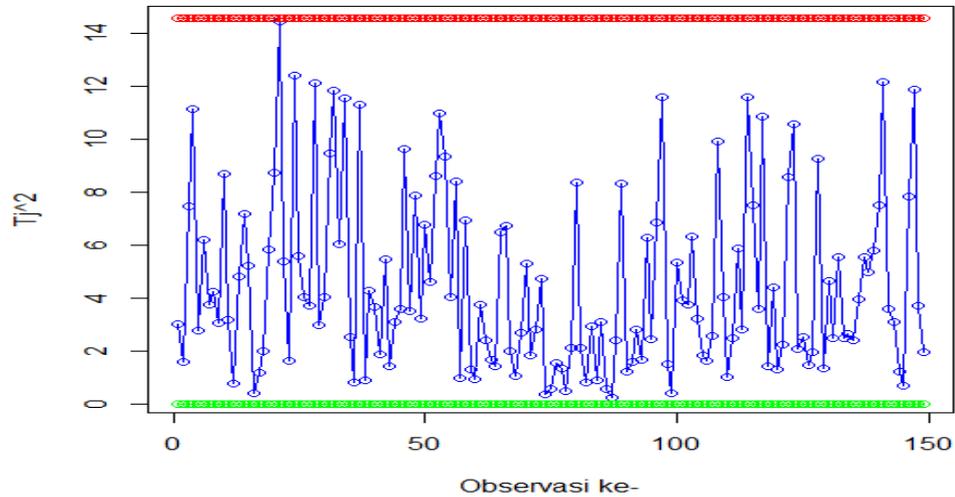
$\chi_{hitung}^2 = 68,83792$

$p\text{-value} = 7,076562e-13$

$H_0$  ditolak, karena nilai  $\chi_{hitung}^2$  sebesar  $68,83792 > \chi_{(0.05,6)}^2$  sebesar  $12,59158724$  dan  $p\text{-value}$  bernilai  $7,076562e-13 < \alpha$  sebesar  $0,05$  sehingga dapat disimpulkan bahwa keempat variat pada karakteristik kualitas kain polyester terdapat korelasi.

#### 4.5 Diagram Kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA)

Stabilitas proses merupakan asumsi yang harus dipenuhi sebelum menghitung kemampuan proses multivariat. Proses dikatakan stabil jika seluruh data berada diantara batas-batas pengendali. Pengendali rata-rata proses dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA).

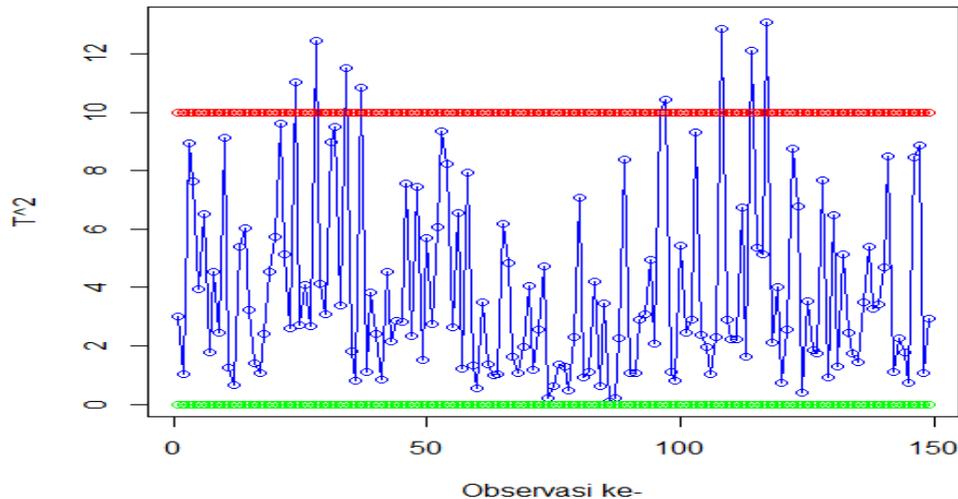


**Gambar 2.** Diagram Kontrol MEWMA dengan  $\lambda = 0,7$

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat dengan besar pembobot  $\lambda = 0,7$  serta batas kendali atas untuk diagram kontrol MEWMA sebesar 14,56021 dan batas pengendali bawah adalah 0 maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses terkendali secara statistik.

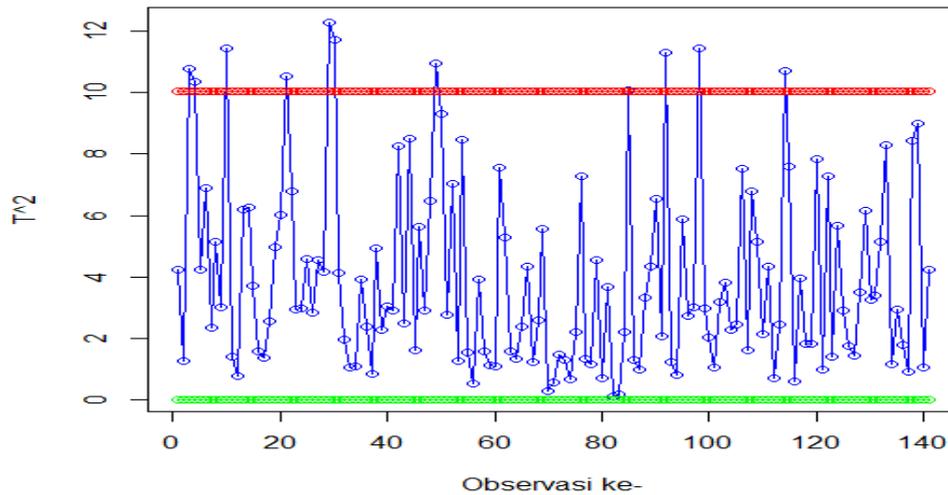
#### 4.6 Diagram Kontrol $T^2$ Hotelling

Untuk mengontrol dan memonitor rata-rata proses pada kasus multivariat yaitu dengan menggunakan diagram kontrol  $T^2$  Hotelling



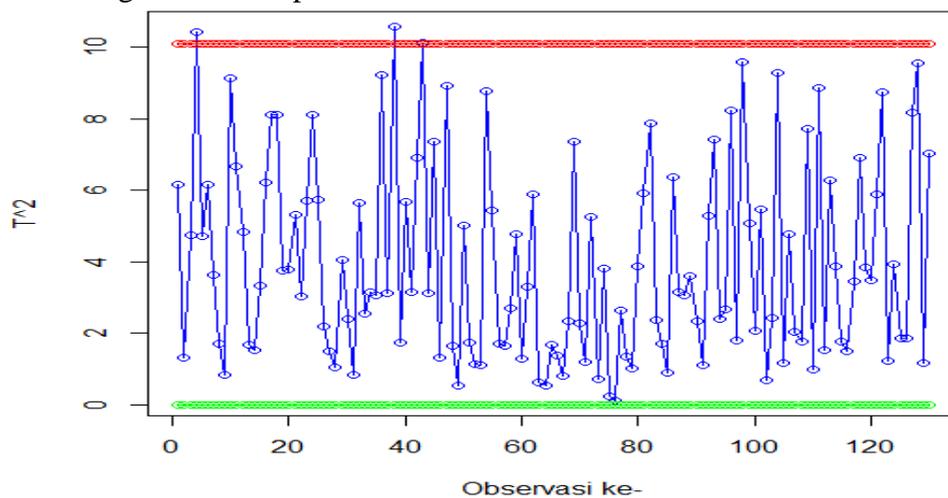
**Gambar 3.** Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa proses tidak terkendali dan masih ada titik yang keluar dari batas kendali yaitu titik ke-24, 28, 34, 37, 97, 108, 114, dan 117. Batas kontrol yang didapat dengan 149 pengamatan adalah 10.0044 pada batas kontrol atas dan 0 pada batas kontrol bawah. Kemudian dilakukan pengurangan data untuk data yang berada di luar batas kendali dan harus dihitung lagi dengan data yang sudah dihilangkan.



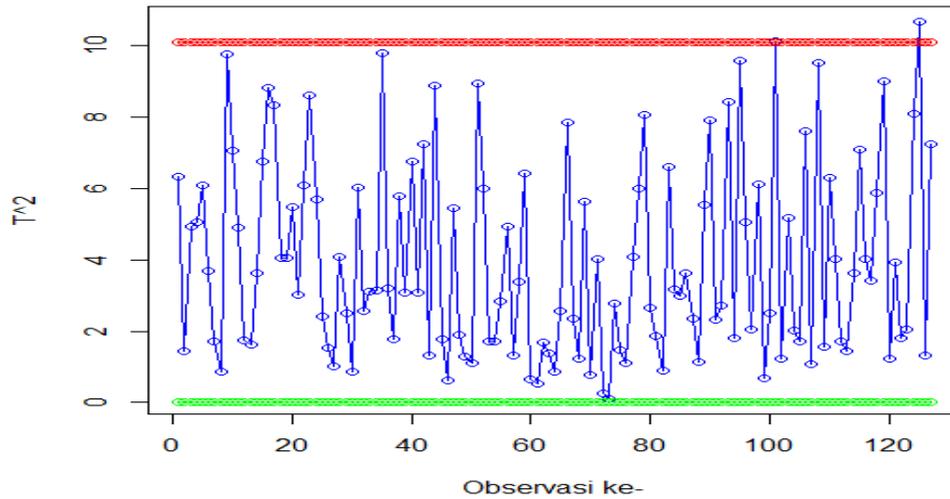
**Gambar 4.** Revisi ke-1 Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling

Setelah dilakukan revisi, diperoleh hasil seperti pada Gambar 4. Terlihat bahwa proses masih tidak terkendali dengan batas kendali atas yaitu 10,03519 dan batas kendali bawah adalah 0 untuk 141 pengamatan. Data yang berada di luar batas kendali harus dihilangkan kembali yaitu data ke-3, 4, 10, 21, 29, 30, 49, 85, 92, 98, dan 114. Setelah itu dihitung kembali dan menghasilkan diagram kontrol pada Gambar 5.



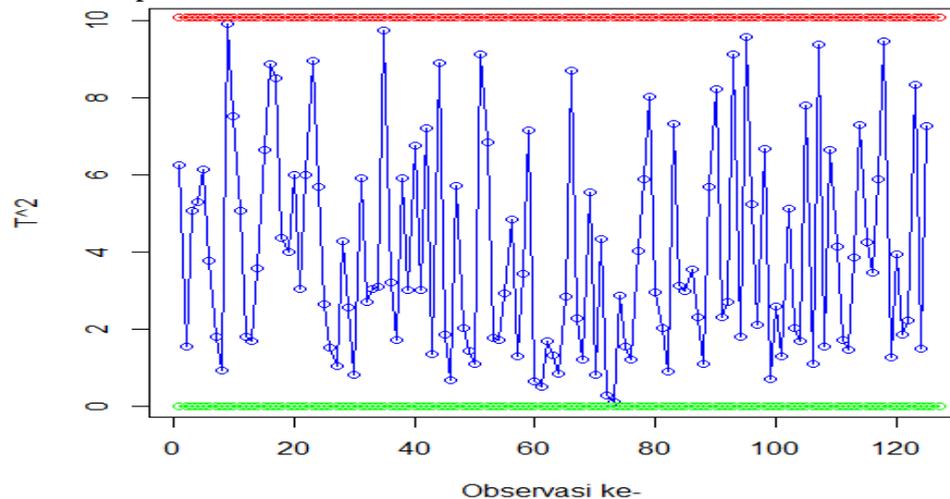
**Gambar 5.** Revisi ke-2 Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa masih ada beberapa data yang berada di luar batas kendali. Data pengamatan yang berada di luar batas kendali yaitu data ke-4, 38, dan 43 dengan batas kendali atas 10,08406 dan batas kendali bawah 0 dan jumlah data 130. Sehingga harus dilakukan penghilangan data yang berada di luar batas kendali. Hasil revisi ke-3 terlihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Revisi ke-3 Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling

Pada Gambar 6, masih terlihat 2 data yang berada di atas batas kendali atas yaitu data ke-101 dan ke-125, dengan batas kendali atas adalah 10,09894 dan batas kendali bawah 0 untuk 127 data. Sehingga harus dilakukan lagi penghilangan data yang berada di luar batas kendali. Hasil revisi ke-4 terlihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Revisi ke-4 Diagram Kontrol  $T^2$  Hotelling

Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa semua data sudah terkendali karena tidak ada data yang berada di luar batas kendali. Batas kendali atasnya yaitu 10,10928 dan batas kendali bawah yaitu 0 dengan banyaknya data yaitu 125. Hal ini menunjukkan bahwa secara rata-rata proses produksi kain polyester sudah baik.

#### 4.7 Analisis Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses pada penelitian ini berguna untuk mengetahui secara keseluruhan kinerja dari proses yang dilakukan dalam pengolahan produk kain polyester di PT Daya Manunggal Salatiga. Indeks yang digunakan untuk mengukur kapabilitas proses dalam penelitian adalah  $C_{pm}$  dan  $C_{pmk}$  ketika data pengamatan telah terkendali secara statistik. Suatu proses dikatakan baik apabila nilai indeks yang dihasilkan lebih dari 1.

**Tabel 6.** Kapabilitas Proses Secara Univariat

Variat	Cpm	Cpmk
Lapisan Tebal	0,9792	0,9792
Lapisan Tipis	0,4738	0,2387
Benang Pakan 2 Jadi 1 Sebagian	0,5267	0,3055
Benang Pakan 2 Jadi 1 Lebih	0,7349	0,5817

Setelah dilakukan analisis kapabilitas secara univariat, dilakukan perhitungan nilai  $MC_{pm}$  dan  $MC_{pmk}$ . Diperoleh hasil  $MC_{pm}$  sebesar 0,9672105 dan nilai  $MC_{pmk}$  sebesar 0,9611152, dengan nilai  $MC_{pm}$  kurang dari 1 sehingga menandakan bahwa secara multivariat kinerja proses memiliki presisi yang kurang baik untuk keempat variat tersebut. Jadi, dapat disimpulkan bahwa kapabilitas proses produksi kain polyester di PT Daya Manunggal Kota Salatiga tidak *capable*. Ketika proses tidak *capable* maka disarankan untuk mencari tahu penyebab proses tidak *capable* dan selanjutnya memperbaiki proses untuk meningkatkan kualitas proses produksi.

## 5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penerapan diagram kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) menunjukkan bahwa rata-rata proses terkendali secara statistik dengan  $\lambda = 0,7$  dan diperoleh nilai BKA sebesar 14,56021. Penerapan untuk diagram kontrol  $T^2$  Hotelling menunjukkan bahwa proses juga terkendali secara statistik dengan 4 kali revisi dan dengan pengurangan data yang menghasilkan nilai BKA sebesar 10,10928.
2. Nilai kapabilitas proses multivariate yang diperoleh yaitu  $MC_{pm} = 0,9672105$  dan kurang dari 1, sehingga menunjukkan bahwa proses multivariat tidak *capable*.
3. Perbandingan dari diagram kontrol *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) yaitu lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses daripada diagram kontrol  $T^2$  Hotelling.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, D. 2004. *Pengendalian Kualitas Statistik "Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas"*. Yogyakarta: Andi.
- 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.
- Gaspersz, V. 2002. *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Haryatmi, S. dan Guritno, S. 2008. *Metode Statistika Multivariat*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Johnson, R.A. dan Wichern, D.W. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis 6th Edition*. United States of America: Pearson Education.
- Montgomery, D.C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. United States of America: John & Wiley Sons, Inc.
- Morrison, D. 1990. *Multivariate Statistical Methods 3th Edition*. New York: Mc Graw Hill Publishing Company.
- Raissi, S. 2009. *Multivariate Process Capability Indices On The Presence of Priority For Quality Characteristic*. *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 5, No. 9: Hal 27-36.
- Santoso, S. 2006. *Seri Solusi Bisnis Berbasis TI: Menggunakan SPSS untuk Statistik Multivariat*. Jakarta : Elex Media Komputindo.