

IMPLEMENTASI PETA KENDALI MULTIVARIATE PADA PRODUKSI KERTAS KORAN PT. ADIX

Cellyn Auditihyah¹, Siti Nur Aida², Hani Khaulasari³

¹UIN Sunan Ampel Surabaya, cellynauditihyahhh@gmail.com

²UIN Sunan Ampel Surabaya, snaida922@gmail.com

³UIN Sunan Ampel Surabaya, hani.khaulasari@uinsby.ac.id

Abstrak. Persaingan dalam industri menjadikan setiap perusahaan harus meningkatkan kualitas terhadap produk yang dihasilkannya. Kualitas produk berperan penting dalam meningkatnya suatu kepuasan konsumen. Pengendalian kualitas produk penting untuk mengurangi jumlah produk cacat yang diproduksi dan meningkatkan penjualan. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis kualitas produksi kertas koran di PT. Adix dengan menggunakan peta kendali T^2 Hotelling dan *Generalized Variance*. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa data produksi kertas koran telah terkendali setelah mendapatkan perbaikan. Hasil dari analisis kapabilitas proses mendapatkan nilai C_p sebesar 1,35871 yang menyatakan bahwa data produksi kertas koran telah kapabel.

Kata kunci: Peta Kendali *Generalized Variance*, Peta kendali T^2 Hotelling, Kertas Koran

Abstract. Competition in the industry makes every company have to improve the quality of the products it produces. Product quality plays an important role in increasing consumer satisfaction. Product quality control is important to reduce the number of defective products produced and increase sales. This study aims to analyze the quality of newsprint production at PT Adiprima Suraprinta using T^2 Hotelling and Generalised Variance control maps. In this study, it was concluded that newsprint production data was under control after improvements. The results of the process capability analysis get a C_{ps} value of 1.35871 which states that the newsprint production data is capable.

Keywords: Generalised Variance Control Map, T^2 Hotelling Control Map, Newsprint Paper

1. Pendahuluan

Kualitas produk berperan penting untuk menumbuhkan kepuasan kepada pelanggan pada suatu produk yang dihasilkan oleh perusahaan. Dengan semakin berkembangnya kualitas proses produksi di era persaingan industri, perusahaan semakin kompetitif baik di bidang manufaktur maupun jasa [1]. Jika perusahaan sangat memperhatikan kualitas produk yang dihasilkannya, maka banyak masalah yang dapat dihindari dan sebaliknya penjualan produk tersebut akan meningkat. Tindakan pengendalian kualitas produk bertujuan untuk mengurangi jumlah produk cacat yang diproduksi oleh perusahaan. Dalam melakukan analisis ini dapat menggunakan metode statistik [2]. Meningkatnya permintaan masyarakat akan berbagai produk dan jasa mempercepat pertumbuhan industri yang menghasilkan produk dalam memenuhi kebutuhan masyarakat. Kertas menjadi bagian penting dalam pemenuhan kebutuhan manusia. Kertas juga dapat dimanfaatkan untuk kegiatan sehari-hari seperti menggambar, menulis, dll. Disisi lain masyarakat yang menggunakan kertas, banyak industri percetakan juga bergantung pada kertas dan membutuhkannya dalam jumlah besar untuk proses produksinya [3].

PT. Adix adalah bagian dari perusahaan Jawa Pos Group yang berfokus pada pembuatan kertas. PT tersebut memiliki produksi berbagai jenis kertas dengan menggunakan bahan baku kertas bekas atau koran bekas. Salah satu produk yang diproduksi adalah kertas koran. Oleh karena itu, menjaga kualitas produk menjadi tujuan utama perusahaan untuk memperluas posisi dominannya.

Untuk mencapai tujuan tersebut, perusahaan harus menerapkan kontrol kualitas yang konsisten dan berkesinambungan.

Data kualitas kertas koran memiliki satu atau lebih jenis parameter pengukuran kualitas, sehingga diklasifikasikan sebagai data multivariate. Untuk melakukan pengendalian kualitas data multivariate dapat menggunakan peta kendali. Peta kendali yang diterapkan untuk data multivariate yaitu T^2 Hotelling dan peta kendali *Generalized Variance* [4].

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Efita dkk [5] tentang pengendalian kualitas pada produksi gula menggunakan peta kendali multivariate diperoleh bahwa proses produksi yang dilakukan tidak kapabel dengan C_p sebesar 0,41. Selain itu, penelitian lain yang dilakukan oleh Fitria dkk [6] mengenai pengendalian kualitas pada produksi tepung terigu dengan peta kendali multivariate didapatkan hasil dari C_p yaitu 0,48 yang berarti proses produksi tidak kapabel. Marulu dkk [7] melakukan penelitian tentang pengendalian kualitas pada produksi bawang merah dengan menggunakan peta kendali multivariate dihasilkan nilai C_p sebesar 0,07 yang berarti bahwa proses tidak kapabel.

Berdasarkan gambar di atas, maka akan dilakukan analisis pada penelitian mengenai pengendalian kualitas menggunakan peta kendali multivariate produksi kertas koran di PT. AdiX. Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat mengetahui apakah kualitas produksi kertas koran oleh PT. AdiX berada dalam keadaan terkendali atau tidak serta mengetahui sebaik apa PT Adiprima Suraprinta dalam melakukan proses pengendalian kualitas.

2. Kajian Teori

2.1. Kertas Koran

Kertas koran adalah suatu macam kertas yang biasa dipergunakan sebagai media cetak massa dan biasanya dicetak secara harian dengan jumlah yang besar. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan kertas koran dapat bervariasi, termasuk kertas koran yang sudah bekas, campuran dari kertas bekas, serta campuran *pulp* kayu mekanik dan *pulp* kayu kimia. Kertas koran umumnya terkontaminasi oleh tinta cetak yang mengandung warna atau partikel tinta yang menghasilkan warna. Tinta ini dapat berinteraksi dengan serat kertas selama proses pencetakan. Komponen pembawa pigmen tinta kertas, seperti *vechine*, biasanya berupa resin, minyak nabati, atau larutan yang mudah menguap [8].

2.2. Check Sheet

Check sheet merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mencatat data. Check sheet umumnya berisi pertanyaan yang dirancang dengan baik, sehingga pencatat hanya perlu memberi tanda pada kolom yang tersedia dan memberikan keterangan tambahan sesuai kebutuhan. Alat ini memiliki banyak kegunaan dalam kegiatan pengumpulan data, sehingga memudahkan dalam menganalisis data dan pengambilan keputusan. Oleh karena itu, alat ini dikembangkan karena dapat membantu implementasi dalam menganalisis data dan memecahkan sebuah masalah. Dengan menggunakan check sheet bertujuan untuk membantu pengumpulan data yang konsisten, terstruktur, dan mudah diinterpretasikan. [9].

2.3. Uji Asumsi Keacakan Data

Suatu proses dianggap terkendali bila semua ukuran mutu atau mutu produk berada dalam batas kendali dan terdistribusi secara acak. Untuk menguji derajat keacakan digunakan metode uji acak atau tes mengemudi. Tujuan dilakukannya uji keacakan ini yaitu untuk menguji apakah data sampel dari suatu populasi tertentu sudah acak atau belum. Metode yang digunakan untuk menguji tingkat keacakan data yang biasanya didasarkan jumlah dan karakteristik urutan data yang diamati. Dalam konteks ini, rangkaian atau sequence dapat diartikan sebagai rangkaian kejadian, objek atau lambang yang memiliki ciri sama dan disertai oleh jenis benda, kejadian atau lambang yang berbeda. Tingkat keacakan rangkaian menjadi dipertanyakan ketika terlalu banyak atau terlalu sedikit rangkaian yang dibuat [10].

Hipotesis:

H_0 = Data diambil secara acak yang ada di populasi

H_1 = Data diambil secara tidak acak dari populasi

Kriteria pengujian:

- Apabila $p\text{-value} < 0.05$, dapat diambil kesimpulan tolak H_0 yang artinya data pengamatan yang diambil dari populasi tidak secara acak.
- Apabila $p\text{-value} > 0.05$, dapat diambil kesimpulan gagal tolak H_0 yang artinya data pengamatan yang diambil dari populasi secara acak.

2.4. Uji Asumsi Distribusi Multivariate Normal

Distribusi multivariate normal adalah distribusi probabilitas yang menggambarkan karakteristik statistik dari dua atau lebih variabel acak yang saling terkait secara linear. Dalam distribusi ini, setiap variabel memiliki mean dan variasi sendiri-sendiri, serta matriks kovariansi yang menggambarkan hubungan antarvariabel. Distribusi multivariate normal ditentukan oleh vektor rata-rata dari variabel-variabel tersebut, serta matriks kovarian yang menunjukkan hubungan kovariabel dan variasi dalam setiap variabel. Matriks kovarian ini menggambarkan kovariansi antara semua pasangan variabel dan varian diagonal dari setiap variabel. Pada uji distribusi multivariate normal untuk nilai karakteristik kualitas $p \geq 2$ dapat dilakukan pembuatan $Q - Q$ plot dari nilai jarak Mahalanobis [11].

Hipotesis:

H_0 = data berdistribusi normal

H_1 = data tidak berdistribusi normal

Statistik uji:

$$d_j^2 = (X_{ijk} - \bar{X}_{.k})' S^{-1} (X_{ijk} - \bar{X}_{.k}) \quad (1)$$

Keterangan:

S^{-1} = invers matriks varians kovarian

X_{ijk} = vektor subgroup ke- i , sampel ke- j , dan variabel ke- k

$\bar{X}_{.k}$ = vektor rata-rata variabel ke- k

d_j^2 = nilai jarak Mahalanobis

Kriteria pengujian:

- Apabila nilai $\left(d_j^2 \leq X_{[p, \frac{j-0.5}{n}]}^2 \right) < 50\%$ dari jumlah data, maka tolak H_0 berarti data tidak berdistribusi normal
- Apabila nilai $\left(d_j^2 \leq X_{[p, \frac{j-0.5}{n}]}^2 \right) > 50\%$ dari jumlah data, maka H_0 gagal ditolak berarti data berdistribusi normal

2.5. Uji Asumsi Korelasi Bartlett

Uji korelasi Bartlett merupakan metode statistik yang berperandalampenentuan apakah ditemukan perbedaan signifikan antara kovarians dalam setiap kelompok atau variabel yang diuji atau tidak. Uji korelasi Bartlett sering digunakan dalam analisis data multivariate, terutama ketika ingin mengetahui tingkat hubungan antara variabel-variabel yang sedang diteliti. Uji ini dapat memberikan informasi penting dalam memahami struktur korelasi antarvariabel [12].

Hipotesis:

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

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

Statistik uji:

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

Keterangan:

n = jumlah pengamatan

- p = jumlah karakteristik kualitas
 \mathbf{R} = matriks korelasi setiap variabel
 $|\mathbf{R}|$ = determinan matriks korelasi
 \mathbf{I} = matriks identitas
 $\chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$ = nilai *Chi-Square* dengan tingkat signifikansi sebesar α dan derajat kebebasan sebesar $\frac{1}{2}p(p-1)$.

Kriteria pengujian:

- Apabila $\chi^2_{hitung} \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$, dapat diambil kesimpulan tolak H_0 yang artinya terdapat korelasi antar variabel.
- Apabila $\chi^2_{hitung} \leq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$, dapat diambil kesimpulan terima H_0 yang artinya tidak terdapat korelasi antar variabel.

2.6. Peta Kendali

Peta kendali ialah sebuah peta pengendalian pada suatu data untuk mendeteksi dengan cepat kemungkinan penyebab atau perubahan yang tidak diinginkan dalam suatu proses, sehingga memungkinkan penyelidikan dan upaya perbaikan sebelum terjadi produksi yang signifikan yang tidak sesuai [13]. Peta kendali memberikan indikator visual perihal suatu proses berada pada batas kendali statistik. Batas kendali yang dimaksud yaitu batas kendali atas dan batas kendali bawah. Bagan kendali sangat penting pada saat mengendalikan suatu kualitas.

Peta kendali multivariate yakni representasi visual yang menunjukkan korelasi pada beberapa variabel. Peta kendali ini digunakan untuk mengontrol variabel sekaligus dengan mempertimbangkan korelasi di antara mereka. Namun, penggunaan diagram kontrol multivariate terbatas pada data dengan distribusi normal multivariate [14]. Berikut peta kendali multivariate yang terdapat pada penelitian ini.

2.6.1. Peta Kendali *Generalized Variance*

Peta kendali *generalized variance* ($|S|$) adalah media yang berperan dalam mengontrol variabilitas dalam data multivariate. Variabilitas proses dijelaskan oleh matriks kovarian Σ berukuran $p \times p$. Diagonal pusat dari matriks ini merepresentasikan variasi dari masing-masing variabel proses, sedangkan data di luar diagonal pusat merepresentasikan kovarian. Matriks kovarian Σ biasanya diperkirakan menggunakan matriks kovarians sampel S berdasarkan analisis awal sampel [15]. Batas pada peta kendali $|S|$ dapat ditetapkan dengan cara berikut.

$$UCL = \frac{|S|}{b_1} (b_1 + \sqrt{3b_2}) \quad (3)$$

$$CL = |S| \quad (4)$$

$$LCL = \frac{|S|}{b_1} (b_1 - \sqrt{3b_2}) \quad (5)$$

2.6.2. Peta Kendali T^2 Hotelling

Peta kendali T^2 Hotelling yakni jenis peta kendali yang digunakan untuk memantau dan mengontrol rata-rata multivariate dari prosedur analitik menggunakan vektor rata-rata dan matriks kovarians. Berdasarkan jumlah pengamatan, terdapat dua jenis peta kendali T^2 Hotelling yakni peta kendali T^2 Hotelling untuk observasi subgrup dan observasi individu. Peta kendali T^2 Hotelling individual, yang memiliki m subgrup dengan ukuran tiap subgrup $n = 1$, digunakan ketika pengamatan dilakukan secara individu [16]. Untuk membuat peta kendali T^2 Hotelling, perlu dilakukan perhitungan statistik T^2 Hotelling seperti yang dijelaskan pada cara berikut.

$$T^2 = (x - \bar{x})' S^{-1} (x - \bar{x}) \quad (6)$$

yang mana,

x = nilai vektor di setiap atribut kualitas

\bar{x} = rata-rata vektor untuk setiap atribut kualitas

S^{-1} = matriks varians-kovarians terbalik

Batas pada peta kendali T^2 Hotelling dapat ditetapkan dengan cara berikut.

$$UCL = \frac{p(m-2)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (7)$$

$$LCL = 0 \quad (8)$$

2.7. Diagram Ishikawa

Diagram tulang ikan (*cause and effect diagram*), juga dikenal sebagai diagram ishikawa adalah alat yang digunakan secara sistematis untuk meningkatkan kualitas. Metode ini awalnya banyak digunakan dalam manajemen mutu untuk menganalisis data verbal (bukan numerik) atau kualitatif. Ilmuwan Jepang yang menemukan diagram tulang ikan yaitu Dr. Kaoru Ishikawa pada tahun 1960-an. Diagram tersebut menggambarkan dampak dari suatu masalah dengan banyak penyebab. Effect atau akibat tertulis pada bagian kepala ikan, sedangkan bagian tulang ikan diisi dengan penyebab-penyebab yang berhubungan dengan masalah yang akan dipecahkan [17].

Tahapan dalam menerapkan diagram Fishbone meliputi persiapan fase sebab-akibat, mengenali akibat yang terjadi, mengenali berbagai kategori, menentukan penyebab yang tersembunyi dengan mengumpulkan saran, dan mengevaluasi setiap kelompok penyebab utama. Beberapa kategori umum yang sering dijadikan sebagai sebab utama dalam konteks industri manufaktur adalah manusia, metode, material, mesin, pengukuran, dan lingkungan. Beberapa masalah yang sering dihadapi dalam bidang manufaktur mencakup keterlambatan proses produksi, tingginya tingkat kecacatan produk, sering terjadi kerusakan mesin produksi, ketidakstabilan produksi yang mengganggu jadwal produksi, produktivitas tidak sesuai target dan keluhan pelanggan yang sering terjadi. [18].

2.8. Analisis Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses ialah suatu aktivitas yang menentukan mampu tidaknya pada suatu proses. Dalam konteks ini, kapabilitas berarti kemampuan dalam menghasilkan suatu produk atau keluaran yang memenuhi tujuan dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Agar suatu proses dianggap valid, ia harus memenuhi beberapa syarat, seperti kontrol statistik, variasi acak, dan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi. Ini bisa dinilai dari indeks kemampuan atau kapabilitas [19].

Syarat yang harus dipenuhi untuk menghitung indeks kemampuan proses multivariate adalah bahwa peta kendali wajib berada pada keadaan terkendali dan asumsi multivariate normal harus terpenuhi. Dengan demikian, kita dapat mengungkapkan indeks nilai kapabilitas proses multivariate sebagai berikut.

$$C_p = \frac{K}{\chi_{\alpha,df}^2} \left(\frac{(v-1)p}{s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

dimana

v = banyaknyadata yang telah terkendali

p = banyaknya karakteristik kualitas.

$$s = \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})' A^{-1} (x_i - \bar{x}) \quad (10)$$

dimana,

$$A^{-1} = (x_i' x_i)^{-1} \quad (11)$$

$$K^2 = (x_i - \xi)' V_0^{-1} (x_i - \xi) \quad (12)$$

V_0^{-1} = invers matriks varian kovarians

$$\xi = \frac{1}{2} (BSA + BSB) \quad (13)$$

$\chi^2_{\alpha,df}$ = nilai uji *Chi-Square* dengan α sebesar 0,0027 dan df memiliki jumlah yang sama seperti karakteristik kualitas (p).

Kriteria pengujianya yaitu proses ini dinyatakan kapabel jika nilai $C_p > 1$ berarti proses memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi, jadi dapat disimpulkan bahwa data yang dianalisis berkedudukan pada batas spesifikasi.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data produksi kertas koran yang diproduksi oleh PT. AdiX. Variabel yang digunakan ada 4 yaitu variabel ukuran berat (*Basis Weight*), ketebalan (*Thickness*), keputihan (*Moisture*), dan gaya tarik (*Tensile MD & Tensile CD*). Berikut data yang digunakan.

Tabel 1. Data Produksi Kertas Koran

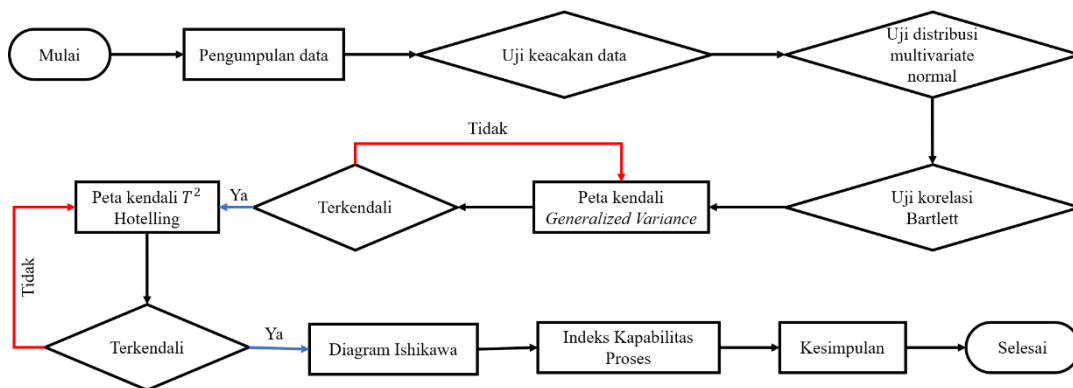
Sampel	BS	Thickness	Moisture	Tensile MD	Tensile CD
1	45.72	65.9	7.422	3.924	1.519
2	45.63	68.3	6.783	4.11	1.571
3	45.58	68.5	6.402	4.091	1.507
4	45.24	65.6	7.274	4.005	1.492
5	46.35	67.9	7.48	4.02	1.496
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
44	45.29	65.3	6.505	4.306	1.695
45	45.27	65.3	6.619	4.4	1.721
46	45.83	66.2	6.915	4.32	1.671
47	45.38	64.8	7.197	4.023	1.766
48	45.38	62.1	7.075	3.934	1.576

Dalam pengaturan ukuran pada variabel tersebut, perusahaan telah menetapkan detail sebagai berikut

Tabel 2. Detail Batas Kertas Koran

Variabel	Min	Max	Average	BSA	BSB
BS	45	46,35	45,515	46,35	43,65
Thickness	62,1	68,5	65,204	70	60
Moisture	6,402	7,798	7,100	8	6
Tensile MD	3,719	4,65	4,184	5	3
Tensile CD	1,155	1,929	1,637	2	0,8

Kemudian, data tersebut akan dilakukan analisis menggunakan analisis kapabilitas proses dengan peta kendali multivariate.



Gambar 1. Diagram Alir Kapabilitas Proses Produksi Kertas Koran

Adapun langkah-langkah analisis berdasarkan diagram alir pada Gambar 1 yaitu antara lain.

1. Pengumpulan data produksi kertas koran pada PT. AdiX

2. Melakukan uji asumsi keacakan data
3. Melakukan uji asumsi distribusi multivariate normal
4. Melakukan uji asumsi korelasi bartlett
5. Membuat *Generalized Variance control chart* dan T^2 Hotelling
6. Membuat diagram Ishikawa
7. Melakukan analisis kapabilitas proses

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Asumsi Keacakan Data

Langkah pertama dalam membentuk peta kendali *Generalized Variance* dan T^2 Hotelling yaitu data harus memenuhi uji asumsi keacakan data. Uji asumsi keacakan data dilakukan untuk mengevaluasi apakah data produksi kertas koran bersifat acak atau tidak. Di bawah ini merupakan hasil dari uji keacakan data pada produksi kertas koran.

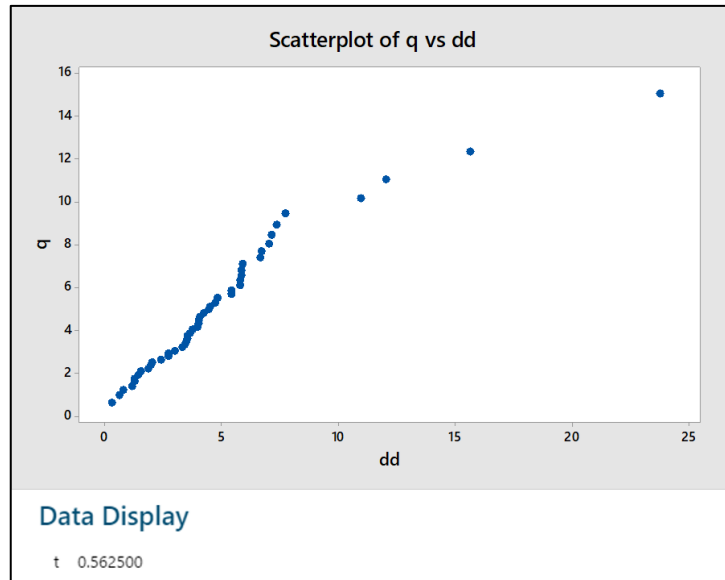
Tabel 3. Hasil Uji Keacakan Data Produksi Kertas Koran

Test				
Null hypothesis	H ₀ : The order of the data is random			
Alternative hypothesis	H ₁ : The order of the data is not random			
	Number of Runs			
Variable	Observed	Expected	P-Value	
Basis Weight	24	24.33	0.920	
Thickness	20	24.96	0.147	
Moisture	22	24.33	0.483	
Tensile MD	11	25.00	0.000	
Tensile CD	13	24.96	0.000	

Berdasarkan hasil uji asumsi keacakan data diperoleh nilai p - value dari variabel *Basis Weight* sebesar 0,920, *Thickness* sebesar 0,147, dan *Moisture* sebesar 0,483, dimana nilai tersebut lebih besar 0,05. Oleh karena itu, dinyatakan gagal tolak H₀ artinya data yang diambil dari survei merupakan data yang sudah acak. Sedangkan, nilai p - value dari variabel *Tensile MD* dan *Tensile CD* sebesar 0, dimana nilai tersebut lebih kecil 0,05. Oleh karena itu, dinyatakan tolak H₀ artinya data yang diambil dari survei merupakan data yang belum acak. Dikarenakan variabel ukuran *Tensile MD* dan *Tensile CD* belum memenuhi uji keacakan data maka data variabel tersebut diasumsikan memenuhi uji keacakan data agar dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

4.2. Asumsi Distribusi Multivariate Normal

Setelah mendapatkan hasil uji asumsi keacakan data, langkah selanjutnya adalah melakukan uji asumsi distribusi multivariate normal. Langkah ini dilakukan untuk mengevaluasi apakah data produksi kertas koran mengikuti distribusi multivariate normal atau tidak. Hasil dari uji asumsi distribusi multivariate normal untuk data produksi kertas koran dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Hasil Uji Distribusi Multivariate Normal Data Produksi Kertas Koran

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa nilai $(d_j^2 \leq X_{[5,0.5]}^2) > 50\%$ dari jumlah data ialah 0,5625, maka keputusan dinyatakan gagal tolak H_0 yang berarti data produksi kertas koran berdistribusi multivariate normal.

4.3. Asumsi Korelasi Bartlett

Langkah selanjutnya, yang akan dilakukan setelah mendapatkan hasil dari uji asumsi distribusi multivariate normal yaitu uji asumsi korelasi bartlett. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui apakah data produksi kertas koran memiliki korelasi antar variabel atau tidak. Di bawah ini adalah hasil uji asumsi korelasi bartlett dari data produksi kertas koran.

Tabel 2. Hasil Uji Korelasi Bartlett Data Produksi Kertas Koran

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.352
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	55.566
	df	10
	Sig.	<.001

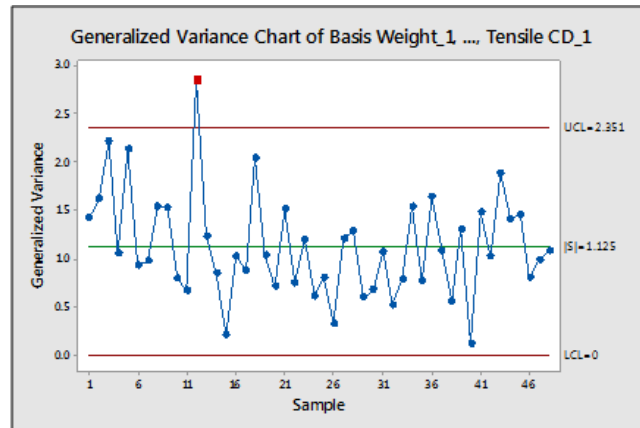
Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat untuk nilai χ_{hitung}^2 sebesar 55,566 dan untuk karakteristik kualitas sebanyak 5 sehingga didapatkan nilai $\chi_{(0.05,10)}^2$ sebesar 18,307. Sehingga, $\chi_{hitung}^2 \geq \chi_{(0.05,10)}^2$ maka keputusan dinyatakan tolak H_0 yang berarti terdapat korelasi antar variabel.

4.4. Peta Kendali

Setelah dilakukan uji distribusi multivariate normal dan uji korelasi bartlett, langkah berikutnya adalah mengendalikan kualitas dengan melakukan pembentukan peta kendali multivariate. Pada proses ini, dua jenis peta kendali yang akan diimplementasikan, yaitu peta kendali *Generalized Variance* dan peta kendali kendali T^2 Hotelling.

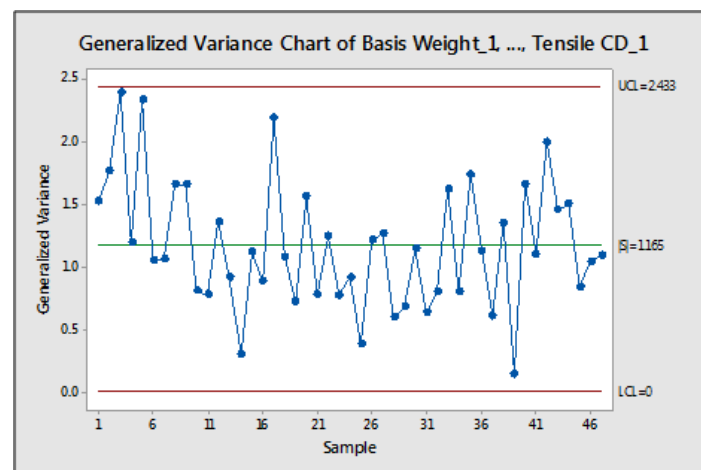
4.4.1. Peta Kendali Generalized Variance

Sebelum membuat peta kendali T^2 Hotelling, dilakukan analisis peta kendali *Generalized Variance* dalam mengevaluasi apakah variabilitas dari 48 data pada 5 karakteristik kualitas proses produksi kertas koran dikendalikan secara statistik atau tidak. Gambar 4 di bawah menunjukkan plot kontrol *Generalized Variance* untuk produksi kertas koran.



Gambar 3. Peta Kendali *GV* Data Produksi Kertas Koran

Pada Gambar 3, peta kendali *Generalized Variance*, menunjukkan adanya data yang di teliti berada pada luar batas kendali. Oleh karena itu, variabilitas karakteristik kualitas dikatakan belum terkendali secara statistic. Langkah penanganan yang dapat dilakukan adalah mengeliminasi data yang ada diluar batas. Pada kasus ini, eliminasi diterapkan pada subgrup ke-12 karena melebihi batas kendali atas (UCL). Berikut adalah peta kendali *Generalized Variance* setelah dilakukan penanganan.

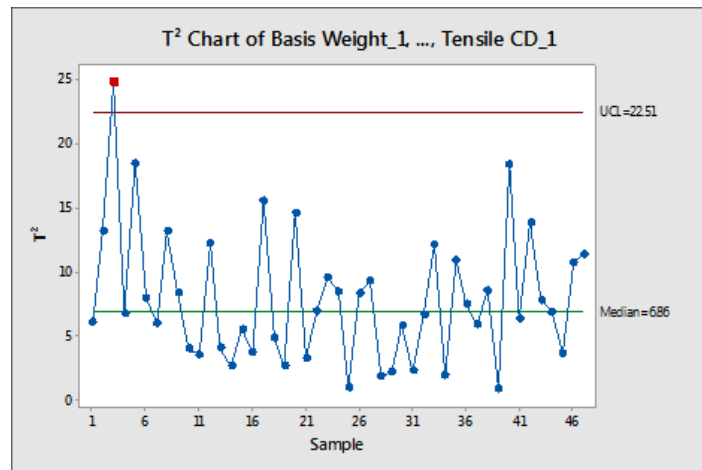


Gambar 4. Peta Kendali *GV* Data Produksi Kertas Koran Terkendali

Gambar 4 menunjukkan bahwa tidak terdapat satu pun data yang melebihi batas kendali. Ini berarti bahwa variasi karakteristik kualitas kertas koran terkendali secara statistik. Setelah proses terkendali, Anda dapat melanjutkan proses dengan membuat grafik T^2 Hotelling.

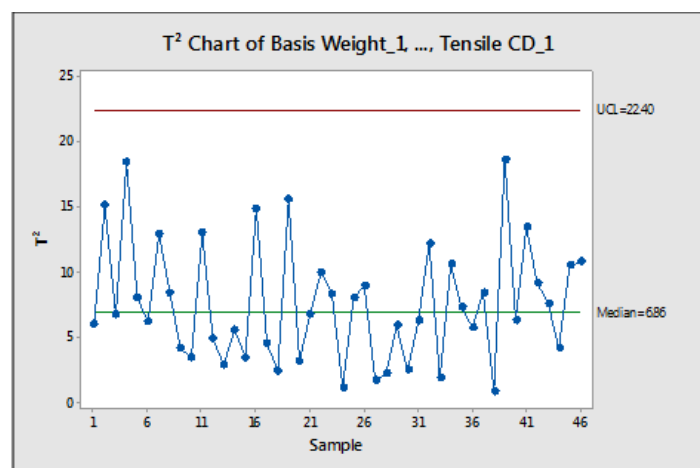
4.4.2. Peta Kendali T^2 Hotelling

Setelah menganalisis peta kendali atau yang biasa disebut diagram kontrol *Generalized Variance*, langkah selanjutnya ialah melakukan analisis terhadap peta kendali T^2 Hotelling yang tujuannya untuk pengendalian statistik dari proses produksi kertas koran rata-rata. Terdapat 47 data yang diambil dari pembuatan kertas koran yang telah terkendali dalam analisis peta kendali *Generalized Variance* dengan 5 karakteristik kualitas. Gambar 6 menampilkan peta kendali T^2 Hotelling dari produksi kertas koran.



Gambar 5. Peta Kendali T^2 Hotelling Data Produksi Kertas Koran

Pada Gambar 5, peta kendali T^2 Hotelling, terlihat bahwa ada data yang berada di luar batas kendali. Oleh karena itu, dapat diperoleh kesimpulan bahwa rata-rata karakteristik kualitas pada kertas koran belum terkendali secara statistik. Langkah penanganan yang dapat dilakukan adalah mengeliminasi data yang melebihi batas kendali. Dalam kasus ini, eliminasi dilakukan pada subgrup ke-3 karena melebihi batas kendali atas (UCL). Berikut adalah peta kendali T^2 Hotelling setelah tindakan penanganan dilakukan.

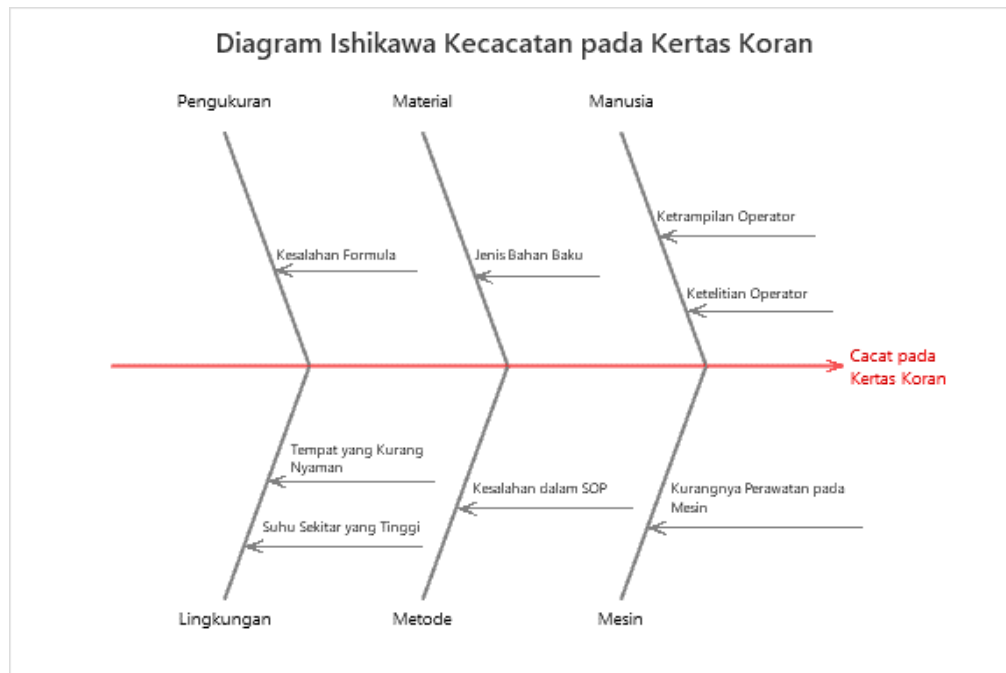


Gambar 6. Peta Kendali T^2 Hotelling Data Produksi Kertas Koran Terkendali

Berdasarkan Gambar 6, terlihat bahwa tidak ada lagi data yang melebihi batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata karakteristik kualitas yang terdapat pada kertas koran telah terkendali secara statistik.

4.5. Diagram Ishikawa

Diagram Ishikawa merupakan alat yang mengidentifikasi penyebab data *out of control* yang berpotensi mempengaruhi hasil yang tidak diinginkan pada data produksi kertas koran. Berikut ini ialah gambaran diagram Ishikawa dengan beberapa faktor yang mempengaruhi kecacatan pada pembuatan kertas koran.



Gambar 7. Diagram Ishikawa Kecacatan Pada Produksi Kertas Koran

Berdasarkan diagram ishikawa yang terdapat dalam Gambar 7, terlihat bahwa ada empat faktor yang menyebabkan terjadinya data *out of control* dalam produksi kertas koran. Faktor pertama adalah manusia, material, pengukuran, mesin, metode, dan lingkungan. Dalam faktor manusia, ketrampilan dan ketelitian operator sangat penting untuk menjaga kinerja mesin agar optimal. Ketidaktepatan operator saat melakukan pengaturan mesin dapat mengakibatkan hasil akhir yang tidak optimal. Oleh karena itu, operator diharapkan melatih ketrampilan mereka, tetap fokus, dan teliti dalam menjalankan tugas mereka.

Faktor material juga dapat menyebabkan cacat produksi, terutama jika bahan yang dipilih tidak memenuhi kriteria produksi kertas koran. Maka dari itu, penting bagi pekerja untuk mengklasifikasikan jenis bahan yang digunakan dalam proses produksi agar sesuai dengan kriteria jenis kertas koran yang akan diproduksi.

Faktor pengukuran juga berkontribusi pada kecacatan dalam hasil produksi karena ketidaksesuaian formula yang digunakan selama proses produksi. Oleh karena itu, pekerja diharapkan untuk mempelajari dan mengikuti prosedur operasi standar (SOP) yang mengatur penggunaan formula sebelum menjalankan tugas mereka.

Mesin yang kurang terawat juga merupakan faktor yang dapat menyebabkan kecacatan dalam proses produksi. Misalnya, dalam proses pemotongan, jika pisau pada mesin pemotongan tidak tajam, kertas koran tidak akan dipotong dengan ketebalan yang diinginkan, menghasilkan kecacatan dalam hasil produksi. Oleh karena itu, perawatan yang baik terhadap mesin diperlukan untuk mencegah kecacatan.

Kesalahan dalam menerapkan SOP adalah faktor metode yang dapat menyebabkan kecacatan dalam hasil produksi. Oleh karena itu, pekerja diharapkan untuk mempelajari dan memahami dengan baik SOP yang telah ditetapkan oleh perusahaan guna menghindari terjadinya kecacatan. Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu yang tinggi juga dapat mempengaruhi terjadinya kecacatan. Suhu yang tinggi dapat mengurangi konsentrasi operator, sehingga inspeksi yang dilakukan oleh operator menjadi kurang fokus dan teliti selama proses produksi berlangsung.

4.6. Analisis Kapabilitas Proses

Sesudah memastikan bahwa peta kendali *Generalized Variance* dan T^2 Hotelling telah berada pada keadaan terkendali, langkah selanjutnya ialah membuat analisis kapabilitas proses melaluidata

yang telah terkendali baik dari segi varians maupun rata-rata. Berikut adalah hasil dari analisis tersebut.

Tabel 5. Hasil Analisis Kapabilitas Proses Produksi Kertas Koran

Data Display	Data Display
sbaru 4.00002	chi 18.2051
Data Display	Data Display
k2 10.8772	cp 1.35871
Data Display	
k 3.29807	

Berdasarkan hasil pada Tabel 5, didapatkan nilai C_p sebesar 1,35871. Dengan nilai C_p lebih dari 1, diperoleh kesimpulan bahwa proses pembuatan kertas koran mempunyai kemampuan yang berada dalam rentang detail batasan yang telah ditentukan. Sehingga, proses data produksi kertas koran dinyatakan kapabel.

5. Kesimpulan

Dari analisis yang dilakukan pada data produksi kertas koran didapatkan bahwa data telah berdistribusi multivariate normal dan data berkorelasi antar variabel. Berdasarkan analisis, peta kendali *Generalized Variance* dan peta kendali T^2 Hotelling masih ada bagian dari variabel yang melewati batas normal. Sehingga, hal tersebut dapat dikatakan bahwa data produksi kertas koran belum terkendali. Namun, telah dilakukan pengendalian pada peta kendali *Generalized Variance* dan T^2 Hotelling sebanyak 1 kali yang kemudian mendapatkan hasil bahwa peta tersebut berada dibatas normal yang berarti data tersebut telah terkendali. Setelah itu, dilakukan analisis kapabilitas proses yang menghasilkan nilai C_p sebesar 1,35871, dimana nilai tersebut lebih dari 1. Dengan demikian, didapatkan kesimpulan untuk nilai C_p yaitu berada pada rentang batas normal dan proses dinyatakan kapabel.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Setiawannie And R. Irmayanti, "Pengendalian Kualitas Produksi Kertas Struk Belanja Pada Mesin Rewinder Di Pt . Grafika Nusantara," *Iesm Journal*, Vol. 2, No. 2, Pp. 157–166, 2021, Doi: [Http://Dx.Doi.Org/10.22303/Iesm%20journal.2.2.2021.157-166](http://Dx.Doi.Org/10.22303/Iesm%20journal.2.2.2021.157-166).
- [2] A. B. Tibo, A. Atti, M. Lobo, And M. Kleden, "Implementasi Pengendalian Kualitas Pencetakan Koran Harian Dengan Metode Six Sigma (Studi Kasus : Pt. Arnoldus Nusa Indah Di Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur)," *Jurnal Diferensial*, Vol. 3, No. 1, Pp. 13–21, 2021, Doi: 10.35508/Jd.V3i1.4006.
- [3] Setiawan Et Al., "Pengendalian Kualitas Produk Menggunakan Metode Six Sigma Dan Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Pada Pt. Papertech Indonesia Unit Ii Magelang," *Jurnal Rekavasi*, Vol. 9, No. 1, Pp. 65–74, 2021.
- [4] P. Fathurrahmi And N. Pratiwi, "Pengendalian Kualitas Produksi Air Menggunakan Peta Kendali Multivariat T^2 Hotelling Serta Analisis Kemampuan Proses (Studi Kasus Di Pdam Kabupaten Sleman)," *Jurnal Statistika Industri Dan Komputasi*, Vol. 4, No. 1, Pp. 89–98, 2019.
- [5] E. Erianti, Irwan, And Muh. Irwan, "Analisis Pengendalian Kualitas Tatistik Gula Rafinasi Dengan Peta Kendali Multivariat T-Square," *Jurnal Matematika Dan Statistika Serta Aplikasinya*, Vol. 8, No. 1, Pp. 90–97, 2020.

- [6] F. D. Arista, S. D. Ramadini, And M. Ahsan, “Pengendalian Kualitas Statistik Pada Tepung Terigu Menggunakan Peta Kendali Multivariat,” *Inferensi*, Vol. 4, No. 2, P. 109, 2021, Doi: 10.12962/J27213862.V4i2.10830.
- [7] P. L. Marulu, Junaidi, And Fadryani, “Penerapan Peta Kendali T2 Hotelling Algoritma Fasi Minimum Covariance Determinant Pada Pengendalian Kualitas Bawang Merah Varietas Lembah Palu,” *Jambura Journal Of Probability And Statistics*, Vol. 2, No. 3, Pp. 97–109, 2021.
- [8] Y. K. L. B. Tracy Amelia, “Eksperimen Material Untuk Mebel Dari Limbah Kertas Koran,” *Jurnal Intra*, Vol. 6, No. 2, 2018.
- [9] E. Kurnia Sandy And Mk. S. Makrnuri, “Analisis Pengendalian Kualitas Produk Paving Block Untuk Mengurangi Tingkat Kerusakan Menggunakan Metode Statistical Quality Control (Sqc) (Studi Kasus Cv. Halim Jaya Abadi),” [Online]. Available: [Http://Conference.Binadarma.Ac.Id/Index.Php/Bdces](http://conference.binadarma.ac.id/index.php/bdces)
- [10] F. Arwindy, F. Buulolo, And E. Rosmaini, “Analisis Dan Simulasi Sistem Antrian Pada Bank Abc,” *Saintia Matematika*, Vol. 2, No. 2, Pp. 147–162, 2014.
- [11] P. Fathurrahmi, N. Pratiwi, And J. Statistika, “Pengendalian Kualitas Produksi Air Menggunakan Peta Kendali Multivariat T 2 Hotelling Serta Analisis Kemampuan Proses (Studi Kasus Di Pdam Kabupaten Sleman),” *Jurnal Statistika Industri Dan Komputasi*, Vol. 4, No. 1, Pp. 89–98, 2019.
- [12] P. Ayu Utami And T. Widiarih, “Pengendaian Multivariate Dengan Digram Kontrol Mewma Enggunakan Metode Six Sigma (Studi Kasus Pt Fumira Semarang Tahun 2019),” *Jurnal Gaussian*, Vol. 9, No. 1, Pp. 98–111, 2020, [Online]. Available: [Http://Ejournal3.Undip.Ac.Id/Index.Php/Gaussian](http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/gaussian)
- [13] E. Khikmawati, H. Wibowo, And R. F. Romadhona, “Analisis Pengendalian Kualitas Air Dengan Menggunakan Peta Kendali X Dan Peta Kendali R Pada Pdam Way Rilau Bandar Lampung,” *Seminar Nasional Teknik Dan Manajemen Industri*, Vol. 1, No. 1, Pp. 73–81, 2021, Doi: 10.28932/Sentekmi2021.V1i1.37.
- [14] S. R. Aprilianti, T. Widiarih, And S. Sudarno, “Penerapan Diagram Kendali Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max-Mcusum) Pada Pengendalian Kualitas Produk Kacang (Studi Kasus: Produk Kacang Garing Di Pt Xy),” *Jurnal Gaussian*, Vol. 10, No. 4, Pp. 573–582, 2021, Doi: 10.14710/J.Gauss.V10i4.30139.
- [15] S. Barlian Sari, E. Tri Herdiani, And N. Sirajang, “Monitoring Variabilitas Proses Berdasarkan Statistik Wilks,” *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, Vol. 16, No. 1, P. 1, 2019, Doi: 10.20956/Jmsk.V16i1.6485.
- [16] P. Peta, K. Multivariat, H. Untuk, And E. Pembelajaran, “Daring Mata Kuliah Wajib Bidang Statistika Program Studi (Prodi) Sarjana (S1),” *Jurnal Matematika Unand*, Vol. 12, No. 2, Pp. 78–85, 2023.
- [17] I. A. Risyat And Arisman, “Analisis Faktor Penyebab Pembinaan Kurang Berjalan Maksimal Di Rutan Kelas Iib Pelahihari Dengan Metode Diagram Fishbone,” *Nusantara: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*, Vol. 7, No. 2, Pp. 408–420, 2020.

- [18] Suharyanto, R. L. Herlina, And A. Mulyana, “Analisis Pengendalian Kualitas Produk Waring Dengan Metode Seven Tools Di Cv. Kas Sumedang,” *Jurnal Tedc*, Vol. 16, No. 1, Pp. 37–49, 2022.
- [19] A. H. Siswanda And L. Aridinanti, “Kapabilitas Proses Pembelajaran Daring Di Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember,” *Jurnal Sains Dan Seni Its*, Vol. 11, No. 3, 2022, Doi: 10.12962/J23373520.V11i3.80877.