

Penggunaan Estimator *Robust Reweighted Minimum Covariance Determinant* pada Diagram Kontrol T^2 Hotelling untuk Monitoring Penyebaran Covid-19 di Korea Selatan

Andi Nur Fadhilah Utami*, Suwanda

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*andinfadhilahutami@gmail.com , suwanda@yahoo.com

Abstract. Control charts are one of the widest used techniques in statistical process control. Hotelling's control chart are commonly used in process quality control to control the vector mean shift and the covariance matrix in individual observations. In phase I, it is possible that Hotelling's can't detect observation that are out of control due to masking effect if there are outliers. In this paper we propose a robust alternative to Hotelling's control chart with estimator robust Reweighted Minimum Covariance Determinant (RMCD) for individual observation. Robust Hotelling's multivariate control chart will be applied to monitoring growth index of new cases and growth index of daily death due to Coronavirus Disease-19 (Covid-19) in South Korean. This control chart is applied to the data using and it obtained the result $UCL = 9,47998$ and $LCL = 0$. There are 5 observations that are out of control which is observation in 11, 39, 90, 158, and 167. Using estimators robust Reweighted Minimum Covariance Determinant is more effective in detecting outliers which is there are found 2 new observation that out of control. From these result it can be concluded that using control chart with RMCD estimator for Covid-19 in South Korean not controlled because there are data out of control.

Keywords: Robust Estimator, Hotelling's T^2 , RMCD.

Abstrak. Diagram kontrol merupakan salah satu metode yang paling banyak di gunakan dalam pengendalian kualitas proses. Diagram kontrol T^2 Hotelling merupakan salah satu alat yang biasa digunakan dalam pengendalian kualitas proses untuk mengontrol pergeseran vektor rata-rata dan matriks kovarians dalam hal pengamatan individu. Pada saat pengontrolan proses pada fase I, diagram kontrol T^2 Hotelling dimungkinkan tidak dapat mendeteksi pengamatan yang out of control akibat efek masking apabila terdapat outlier. Pada penelitian ini akan dibahas alternatif diagram kontrol T^2 Hotelling dengan menggunakan estimator robust Reweighted Minimum Covariance Determinant (RMCD) untuk pengamatan individual. Diagram kontrol T^2 Hotelling RMCD akan diaplikasikan pada pengontrolan Index Pertumbuhan Kasus Baru dan Index Pertumbuhan Kematian Harian karena Coronavirus Disease-19 (Covid-19) di Korea Selatan. Diagram kontrol ini diaplikasikan pada data menggunakan dan sehingga didapat nilai $BKA = 9,47998$ dan $BKB = 0$. Terdapat out of control sebanyak 5 pengamatan yaitu pengamatan ke 11, 39, 90, 158, 167. Menggunakan estimator robust Reweighted Minimum Covariance Determinant lebih efektif mendeteksi data yang mengandung outlier dimana terdapat 2 pengamatan baru yang terdeteksi sebagai data out of control. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan diagram kontrol T^2 RMCD kasus Covid-19 di Korea Selatan belum terkendali karena masih terdapat data out of control.

Kata Kunci: Estimator Robust, Diagram Kontrol T^2 Hotelling, RMCD.

A. Pendahuluan

Coronavirus Disease-19 (Covid-19) merupakan pandemi yang dialami oleh dunia pada saat ini. Pada tanggal 29 Desember 2019, peningkatan jumlah dari kasus Novel CoronaVirus (2019-nCov) telah diidentifikasi di Wuhan, China dengan 4 kasus pertama dilaporkan, semuanya terkait dengan pasar grosir seafood Huanan yang berada di China Selatan (Zhu dkk., 2020). Persebaran ini dikarenakan kurangnya informasi dan kesadaran masyarakat mengenai bahaya dari penyakit Covid-19. Pandemi ini memicu berbagai permasalahan di dunia, seperti krisis ekonomi, kehilangan pekerjaan, tingkat kematian tinggi dan lain-lain.

Pemerintahan di berbagai negara mengandalkan segala cara agar persebaran Covid-19 ini bisa berkurang, World Health Organization (2020) memberi arahan upaya mencegah terjadinya penyebaran Covid-19 diantaranya melakukan jaga jarak, menggunakan masker, hindari kerumunan, mencuci tangan dan berbagai upaya lainnya. Tidak menutup kemungkinan masyarakat menghiraukan semua upaya tersebut karena kebutuhan yang mendesak. Maka dari itu perlu dilakukan monitoring apakah upaya yang dilakukan efektif dalam penyebaran Covid-19 atau tidak agar pemerintah bisa memaksimalkan upaya apa yang harus dilakukan. Monitoring ini bisa melihat pola penyebaran Covid-19.

Statistical Process Control (SPC) bisa digunakan untuk membantu memonitoring proses penyebaran pandemi. Control chart merupakan grafik yang didalamnya terdapat data yang diplotkan dari waktu ke waktu dan bisa digunakan untuk mempelajari kestabilan dari proses. Control chart atau biasa dikenal dengan diagram kontrol merupakan salah satu alat yang biasa digunakan dalam pengendalian kualitas proses. Diagram kontrol ini sering digunakan karena dapat diketahui apakah proses diluar kendali (out of control) atau tidak. Pengendalian kualitas proses bisa dilakukan secara univariat maupun multivariat.

Proses monitoring dalam kasus multivariat, bisa digunakan dengan diagram kontrol T2 Hotelling (Hotelling, 1947). Menurut Montgomery (2009), T2 Hotelling paling banyak digunakan dalam pengendalian kualitas proses secara multivariat untuk memonitor vektor rata-rata dan matriks kovariansi dari sampel. Vektor rata-rata dan matriks kovariansi sampel sangat sensitif terhadap titik ekstrim (outliers), sehingga diperlukan alternatif T2 Hotelling yang robust. Vargas (2003), Jensen dkk. (2007), Chenouri dkk. (2009), dan Alfaro dan Ortega (2008) melakukan studi dari berbagai macam alternatif robust untuk mengestimasi parameter yaitu Minimum Volume Ellipsoid (MVE), Minimum Covariance Determinant (MCD), Reweighted MCD (RMCD) dan Trimmed Estimator.

Chenouri dkk (2009) mengusulkan untuk menggunakan estimator Reweighted Minimum Covariance Determinant (RMCD) dalam membuat diagram kontrol T2 Hotelling karena memiliki estimator vektor rata-rata dan matriks kovariansi populasi yang robust (tegar).

Prosedur penaksiran robust Reweighted Minimum Covariance Determinant beserta pemanfaatannya dalam membangun diagram kontrol T2 Hotelling akan dikemukakan pada bagian 2 tentang metodologi. Pada bagian metodologi juga dijelaskan asal data yang digunakan dalam implementasi, beserta langkah-langkah analisisnya. Hasil analisis data beserta interpretasinya akan dijelaskan pada bagian 3 tentang pembahasan dan diskusi. Dan pada bagian akhir akan dikemukakan kesimpulan.

B. Metodologi

Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari *website Our World in Data* yaitu data Covid-19 di Korea Selatan yang dimulai dari tanggal 3 Desember 2020 sampai 8 Juni 2021. Karakteristik yang akan diamati ada dua buah variabel yaitu X_1 = Index Pertumbuhan Kasus Baru dan X_2 = Index Pertumbuhan Kematian Harian. Dengan menggunakan ukuran sampel $n=188$.

Metode Analisis Data

Metode *Robust Reweighted Minimum Covariance Determinant*

Estimator *robust Reweighted Minimum Covariance Determinant* (RMCD) merupakan estimator *Minimum Covariance Determinant* (MCD) yang di boboti, Penaksir MCD lokasi dan

scatter dari distribusi ditentukan oleh himpunan bagian x_1, x_2, \dots, x_n berukuran $h = \lfloor n\gamma \rfloor$ dimana $0.5 \leq \gamma \leq 1$ dengan γ merupakan nilai *breakdown point*, dalam hal ini matriks kovarians mempunyai determinan yang paling kecil. **Penaksir lokasi** MCD, \bar{x}_{MCD} didefinisikan sebagai rata-rata dari himpunan bagian dengan h titik ini, dan **penaksir scatter** MCD diberikan oleh $S_{MCD} = a_{\gamma,p}^n C_{MCD}$, dimana C_{MCD} merupakan matriks kovarians dari himpunan bagian, konstanta $a_{\gamma,p}^n = c_{\gamma,p} \times b_{\gamma,p}^n$, dimana $c_{\gamma,p}$ = faktor konsistensi (lihat Croux dan Haesbroeck, 1999) dan $b_{\gamma,p}^n$ adalah faktor koreksi untuk sampel berhingga (lihat Pison dkk., 2002). Disini $1 - \gamma$ menjelaskan *breakdown* asimtotis dari penaksir MCD yaitu $\varepsilon^* = 1 - \gamma$.

Penaksir MCD mempunyai *breakdown* sampel hingga paling tinggi ketika $h = \lfloor (n + p + 1) / 2 \rfloor$ (Rousseeuw dan Leroy, 1987). Penaksir MCD (\bar{x}_{MCD}, S_{MCD}) yang distribusi normal multivariat $N_p(\mu, \Sigma)$ dengan $c_{\gamma,p} = \gamma / P(\chi_{(p+2)}^2 \leq q_\gamma)$ adalah konsisten untuk (μ, Σ) , dimana $\chi_{(r)}^2$ menjelaskan variabel acak *Chi-kuadrat* dengan db = r dan q_γ kuantil ke- γ dari $\chi_{(r)}^2$.

Ada pilihan diantara efisiensi dan kerobusan, tetapi jika peneliti tertarik dalam memperoleh efisiensi dan kerobusan keduanya, tampaknya langkah dua tahap perlu diambil atau penaksir *reweighted* (Rousseeuw dan Van Zomeren, 1990), Woodruff dan Rocke (1994). Pada penelitian ini akan menggunakan penaksir *reweighted* MCD yang diperkenalkan oleh Willems dkk. (2002). Hal ini karena *reweighted* MCD adalah penaksir *affine equivariant* dengan *breakdown point* tinggi, dengan *rate covergensi* $n^{-1/2}$, dan efisien.

Perhitungan eksak penaksir MCD (\bar{x}_{MCD}, S_{MCD}) sangatlah mahal atau tidak memungkinkan untuk sampel berukuran besar dalam dimensi tinggi (lihat Woodruff dan Rocke, 1994). Sebagai algoritma telah muncul untuk mengaproksimasi MCD. Algoritma cepat diperkenalkan secara bebas oleh Hawkins dan Olive (1999), dan Rousseeuw dan Van Driessen (1999). Pada data kecil algoritma Rousseeuw dan Van Driessen (1999) dikenal dengan *FAST-MCD*, khususnya untuk menentukan MCD eksak, sedangkan untuk data besar hal ini bersifat aproksimasi.

Penaksir *reweighted* MCD dari μ dan Σ merupakan vektor *mean* diboboti:

$$\bar{x}_{RMCD} = \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n w_i \right)$$

dan matriks kovarians:

$$S_{RMCD} = c_{\eta,p} d_{\gamma,\eta}^{n,p} \frac{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{x}_{RMCD})(x_i - \bar{x}_{RMCD})^t}{\left(\sum_{i=1}^n w_i \right)}$$

$$w_i = \begin{cases} 1, & \text{jika } D(x_i) \leq q_\eta \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

$$D(x_i) = \sqrt{(x_i - \bar{x}_{MCD})^t S_{MCD}^{-1} (x_i - \bar{x}_{MCD})} \leq q_\eta$$

Kita gunakan $\eta = 0.975$ seperti yang disarankan dan digunakan Rousseeuw dan Van Driessen (1999). Menggunakan $c_{\eta,p} = \eta / P(\chi_{(p+2)}^2 \leq q_\eta)$, menjadikan S_{RMCD} konsisten di bawah distribusi normal multivariat. Faktor $d_{\gamma,\eta}^{n,p}$ merupakan faktor koreksi yang diberikan oleh Pison dkk. (2002).

Batas Kontrol Diagram T^2 RMCD

Misalkan $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{K}, \mathbf{x}_n$ merupakan sampel *random* berukuran n dari $N_p(\mu, \Sigma)$, merupakan data fase I. Pada fase II sebuah pengamatan $x_f \notin \{x_1, x_2, \mathbf{K}, x_n\}$ diambil, telah ditunjukkan bahwa:

$$T^2(f) \sim \left[\frac{p(n+1)(n-1)}{n(n-p)} \right] F(p, n-p)$$

(Wilks, 1963 halaman 263).

Apabila menggunakan penaksir RMCD, statistik pengontrolnya adalah

$$T_{RMCD}^2(f) = (x_f - \bar{x}_{RMCD})^t S_{RMCD}^{-1} (x_f - \bar{x}_{RMCD})$$

Untuk $n \rightarrow \infty$, menggunakan teorema Slutsky (Serfling, 1980)

$$(x_f - \bar{x}_{RMCD})^t S_{RMCD}^{-1} (x_f - \bar{x}_{RMCD}) \xrightarrow{D} (x_f - \mu)^t \Sigma^{-1} (x_f - \mu) \sim \chi_{(p)}^2$$

Distribusi tersebut merupakan distribusi asimtotis, sehingga hanya berlaku untuk sampel berukuran besar, apabila sampel berukuran kurang dari 200, distribusi empirik akan dilakukan secara simulasi Monte Carlo.

Prosedur simulasinya adalah sebagai berikut (lihat Chenouri, 2009):

1. Kuantil ke 99% dan 99.9% dari $T_{RMCD}^2(f)$ akan ditaksir sesuai ukuran sampel berukuran n pada fase I, berdimensi p , dan *breakdown point* $1 - \gamma$.
2. Bangkitkan data berukuran n sebanyak $K = 10000$ dari $N_p(0, I_p)$.
3. Dari masing-masing himpunan data berukuran n , hitung penaksir vektor *mean* dan matriks kovarians MCD, yaitu $\bar{x}_{MCD}(k)$ dan $S_{MCD}(k)$, $k = 1, 2, \mathbf{K}, K$.
4. Bangkitkan lagi data *future* $x_{f,k}$ dari $N_p(0, I_p)$, diperlakukan sebagai data fase II.
5. Distribusi empiris $T_{RMCD}^2(f)$ didasarkan pada nilai simulasi
6. $T_{RMCD}^2(1, f), T_{RMCD}^2(2, f), \mathbf{K}, T_{RMCD}^2(K, f)$
7. Dengan menginverskan fungsi distribusi empiris $T_{RMCD}^2(f)$, kita dapat memperoleh kuantil 99% dan 99.9%.
8. Lakukan konstruksi distribusi empiris dari $T_{RMCD}^2(f)$ untuk kombinasi $p = 2, \mathbf{K}, 10$ dan $n = 20, 21, \mathbf{K}, 50, 55, 60, \mathbf{K}, 200$.
9. Dari nilai pasangan kuantil $T_{RMCD}^2(f)$ dan ukuran sampel n akan dibuat kurva untuk berbagai nilai p .
10. Selanjutnya dari kurva tersebut akan ditaksir model regresi kuantil $T_{RMCD}^2(f)$ atas ukuran sampel (n) yang berbentuk: $f(n) = b_1 + b_2 / n^{b_3}$.
11. Karena distribusi asimtotik dari $T_{RMCD}^2(f)$ adalah $\chi_{(p)}^2$, sehingga persamaan kurva dapat digambarkan berikut:

$$f_{p, 1-\alpha, \gamma}(n) = \chi_{(p, 1-\alpha)}^2 + \frac{a_{1, p, 1-\alpha, \gamma}}{n^{a_{2, p, 1-\alpha, \gamma}}}$$

Nilai $a_{1, p, 1-\alpha, \gamma}$ dan $a_{2, p, 1-\alpha, \gamma}$ ditabulasi pada Tabel 1.

Tabel 1. Estimasi Nilai *Least Square* dari Parameter Regresi $\alpha_{1,p,1-\alpha,\gamma}$, $\alpha_{2,p,1-\alpha,\gamma}$

P	$\gamma = 0,5$			
	99% quantil		99,9% quantil	
	$\alpha_{1,p,0,99,0,5}$	$\alpha_{2,p,0,99,0,5}$	$\alpha_{1,p,0,999,0,5}$	$\alpha_{2,p,0,999,0,5}$
2	1387,415	1,632	6225,543	1,795
3	13533,973	2,018	71901,268	2,204
4	110115,900	2,420	1897062,000	2,917
5	401744,300	2,618	2261387,000	2,838
6	3168654,000	3,060	12987610,000	3,195
7	2733044,000	2,904	10857430,000	3,019
8	5828231,000	3,009	12730200,000	2,976
9	9063979,000	3,048	27445690,000	3,114
10	41396480,000	3,385	471116200,000	3,824
P	$\gamma = 0,75$			
	99% quantil		99,9% quantil	
	$\alpha_{1,p,0,99,0,75}$	$\alpha_{2,p,0,99,0,75}$	$\alpha_{1,p,0,999,0,75}$	$\alpha_{2,p,0,999,0,75}$
2	208,836	1,251	1476,590	1,568
3	830,500	1,474	3530,978	1,647
4	1709,908	1,563	23453,370	2,050
5	7625,221	1,868	22914,710	1,950
6	13075,115	1,925	55097,744	2,103
7	43535,449	2,166	219090,500	2,407
8	64711,622	2,197	145095,600	2,223
9	80949,116	2,184	195972,600	2,231
10	91663,370	2,154	227923,500	2,209

Sehingga dapat digunakan untuk mengontrol proses fase I dengan batas-batas kontrol sebagai berikut:

$$BKA = \chi_{p,1-\alpha}^2 + \frac{\alpha_{1,p,1-\alpha,\gamma}}{n^{\alpha_{2,p,1-\alpha,\gamma}}}$$

$$BKB = 0$$

Dimana,

$\alpha_{1,p,1-\alpha,\gamma}$ dan $\alpha_{2,p,1-\alpha,\gamma}$ = nilai *least square* dari parameter regresi

p = banyaknya variabel

n = banyaknya data

α = nilai konfidensi

γ = *breakdown point*

Tahapan Analisis Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pembuatan diagram kontrol multivariat T^2 *Hotelling* menggunakan *robust Reweighted Minimum Covariance Determinant*, langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Melakukan ringkasan data (N, *mean* (rata-rata), *median*, simpangan baku (StDev), *trimmed* (TrMean)) untuk masing-masing variabel.

2. Membuat *boxplot* untuk masing-masing variabel.
3. Uji asumsi normalitas multivariat menggunakan statistic uji *skewness* dan *kurtosis*.
4. Membuat diagram kontrol T^2 Hotelling dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Hitung vektor rata-rata sampel \bar{x} dengan $n = 188$.
 - b. Hitung matriks kovarians sampel S .
 - c. Tentukan nilai T_i^2 , $i = 1, 2, \dots, 188$ untuk masing-masing individu.
 - d. Tentukan nilai BKA dan BKB
 - e. Plotkan T_i^2 , $i = 1, 2, \dots, 188$ langkah c) pada diagram kontrol d).
 - f. Menarik kesimpulan.
5. Membuat diagram kontrol T_{RMCD}^2 dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Tentukan probabilitas sinyal *false alarm* tipe 1 $\alpha = 0,01$ atau $0,001$.
 - b. Menggunakan data fase I pada Tabel 3.1 untuk menaksir vektor rata-rata dan matriks kovariansi menggunakan estimator MCD.
 - c. Kemudian menaksir estimator *robust* RMCD sehingga didapat \bar{x}_{RMCD} dan S_{RMCD} dengan *breakdown point* $1 - \gamma = 0,5$ atau $0,25$.
 - d. Menghitung T_{RMCD}^2 dengan menggunakan Persamaan.
 - e. Menentukan estimasi *least square* $\hat{a}_{1,p,1-\alpha,\gamma}$ dan $\hat{a}_{2,p,1-\alpha,\gamma}$ yang terdapat pada Tabel
 - f. Kemudian hitung nilai BKA dan BKB.
 - g. Mengkonstruksi diagram kontrol dengan memetakan nilai-nilai T_{RMCD}^2 dengan Batas Kontrol Atas.
 - h. Membuat kesimpulan dari hasil diagram kontrol T_{RMCD}^2 .

C. Hasil dan Pembahasan

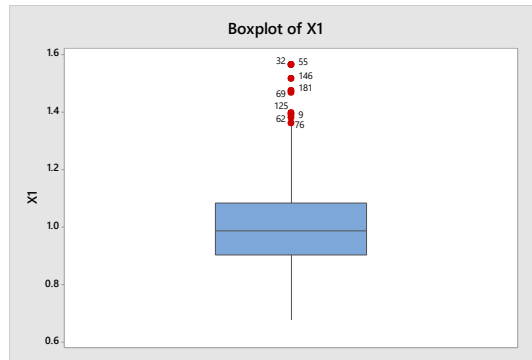
Ringkasan Data

Berikut merupakan ringkasan data *Covid-19* untuk variabel Index Pertumbuhan Kasus Harian (X1) dan Index Pertumbuhan Kematian Harian (X2) di Korea Selatan menggunakan tabel statistik dan *boxplot*.

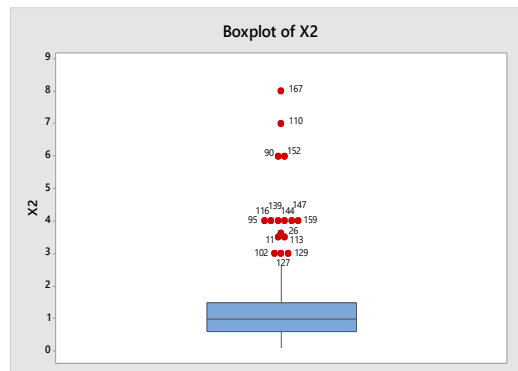
Tabel 2. Statistik Deskriptif Data *Covid-19* di Korea Selatan

Variabel	N	Rata-Rata	Median	StDev	TrMean
Index Pertumbuhan Kasus Harian (X1)	188	1,0143	0,9871	0,1733	1,0053
Index Pertumbuhan Kematian Harian (X2)	188	1,3177	1	1,1742	1,1683

Berdasarkan Tabel 2 dengan jumlah data sebanyak 188, secara rata-rata pertumbuhan kasus harian (X1) di Korea Selatan yaitu sebesar 1,0143 dengan sebaran data sebesar 0,1733, nilai tengah 0,9871 menandakan setelah data diurutkan 50% index pertumbuhan berada diatas 0,9871 dan 50% index pertumbuhan berada dibawah 0,987 dan *Trmean* 1,0053 merupakan rata-rata dengan 5% data yang diurutkan telah dipangkas. Sementara rata-rata pertumbuhan kematian harian (X2) di Korea Selatan yaitu sebesar 1,3177 dengan sebaran data sebesar 1,1742, nilai tengah 1 menandakan setelah data diurutkan 50% index pertumbuhan berada diatas 1 dan 50% index pertumbuhan berada dibawah 1 dan *Trmean* 1,1638 merupakan rata-rata dengan 5% data yang diurutkan telah dipangkas.



Gambar 1. *Boxplot* Variabel X1



Gambar 2. *Boxplot* Variabel X2

Berdasarkan Gambar 1 *boxplot* variabel X1 menunjukkan adanya 9 *outlier* yang berada diatas garis yaitu pada pengamatan 9, 32, 55, 62, 69, 76, 125, 146, dan 181. Sedangkan pada Gambar 2 *boxplot* variabel X2 menunjukkan adanya 16 *outlier* yang berada diatas garis yaitu pada pengamatan 11, 26, 90, 95, 102, 110, 113, 116, 127, 129, 139, 144, 147, 152, 159, 167.

Uji Normalitas Multivariat

Data yang digunakan harus berdistribusi normal multivariat dalam melakukan pengontrolan proses menggunakan diagram kontrol T^2 Hotelling, maka dari itu data Covid-19 yang digunakan pada penelitian ini akan di uji normal multivariat. Pengujian normal multivariat menggunakan uji *Skewness* dan *Kurtosis*. Hipotesis uji normalitas multivariat sebagai berikut:

H_0 : data berdistribusi normal multivariat

H_1 : data tidak berdistribusi normal multivariat

Nilai statistik uji dari *skewness* dan *kurtosis* sebagai berikut:

$Z_{ske} = 264,5400$ dengan $Pvalue = 0,000$

$Z_{kur} = 18,8462$ dengan $Pvalue = 0,0000$

Menggunakan tingkat signifikasi $\alpha = 1\%$ didapat nilai $Z_{0,01} = 2,58$. Berdasarkan nilai Z_{ske} maupun nilai Z_{kur} $284,5400 > 2,58$ dan $18,8462 > 2,58$, yang berarti kriteria uji hipotesis H_0 ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa data Covid-19 tidak berdistribusi normal multivariat.

Dikarenakan data tidak berdistribusi normal multivariat maka akan dilakukan transformasi data menggunakan tranformasi *box cox*,

Nilai statistik uji dari *Skewness* dan *Kurtosis* menggunakan data hasil transformasi sebagai berikut:

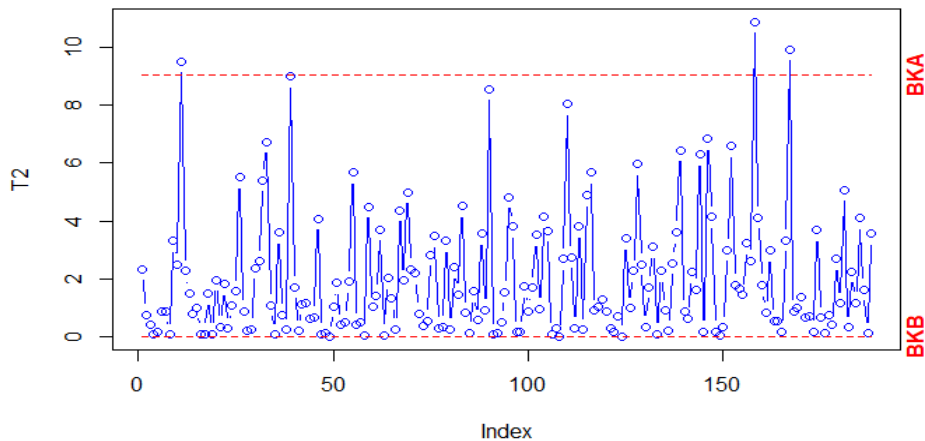
$Z_{ske} = 1,2178$ dengan $Pvalue = 0,8752$

$Z_{kur} = 1,0129$ dengan $Pvalue = 0.3111$

Menggunakan tingkat signifikansi $\alpha = 1\%$ didapat nilai $Z_{0,01} = 2,58$. Berdasarkan nilai *skewness* maupun nilai *kurtosis* $1,2178 < 2,58$ dan $1,0129 < 2,58$, yang berarti kriteria uji hipotesis H_0 diterima, maka dapat disimpulkan bahwa data *Covid-19* berdistribusi normal multivariat.

Diagram Kontrol T^2 Hotelling

Diagram kontrol ini digunakan untuk melakukan proses pengontrolan pada kasus multivariat. Setelah melakukan perhitungan nilai T_i^2 dan nilai BKA maka diagram kontrol T^2 Hotelling dapat digambarkan menggunakan bantuan *software* Rstudio sehingga terlihat pada Gambar 3



Gambar 3. Diagram Kontrol T^2 Hotelling

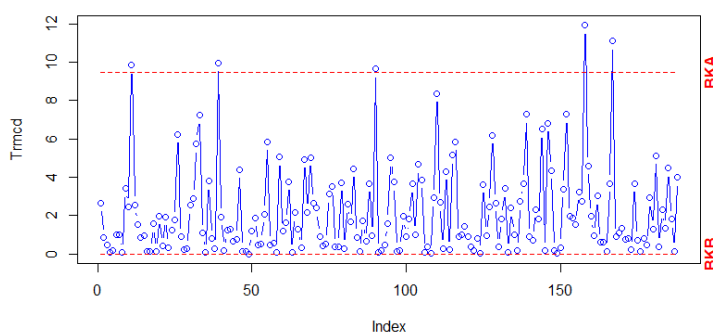
Hasil perhitungan T^2 Hotelling pada Gambar 4.3 menunjukkan terdapat data *out of control* dimana terdapat 3 pengamatan yang terletak diatas nilai BKA untuk data *Covid-19* yaitu pengamatan ke 11, 158, dan 167. Berikut adalah nilai T^2 untuk 3 pengamatan yang terletak diatas nilai BKA:

Tabel 3. Data Pengamatan T^2 yang Terletak diatas Nilai BKA

No Pengamatan	T^2	BKA
11	9,515967	9,033652
158	10,876950	9,033652
167	9,9304879	9,033652

Diagram Kontrol T^2 RMCD

Selanjutnya, memetakan diagram kontrol T^2 Hotelling menggunakan estimator *robust* RMCD untuk data *Covid-19* di Korea Selatan. Dengan menggunakan $\alpha = 0,01$ dan $\gamma = 0,5$ didapat gambar menggunakan bantuan *software* RStudio sehingga terlihat pada Gambar 4. Didapat hasil sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Kontrol dengan Estimator *Robust* RMCD

Tabel 4. Data Pengamatan T^2_{RMCD} yang Terletak diatas Nilai BKA

No Pengamatan	T^2_{RMCD}	BKA
11	9,84544	9,47998
39	9,968561	9,47998
90	9,644575	9,47998
158	11,93513	9,47998
167	11,0979	9,47998

Hasil perhitungan T^2_{RMCD} pada Gambar 4.4 menunjukkan terdapat data *out of control* dimana terdapat 5 pengamatan yang terletak diatas nilai BKA untuk data *Covid-19* yaitu pengamatan ke 11, 39, 90, 158, dan 167 dengan nilai T^2_{RMCD} terdapat pada Tabel 4.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang terdapat pada bab IV kesimpulan yang didapat pada penulisan skripsi ini, yaitu:

1. Terdapat perbedaan dari hasil perhitungan T2 menggunakan estimator klasik dengan estimator robust RMCD, dimana dengan menggunakan estimator klasik diperoleh 3 data yang out of control pada diagram kontrol T2 Hotelling dengan BKA = 9,033652 dan 5 data yang out of control pada diagram kontrol T2 RMCD dengan BKA = 9,47798. Hasil tersebut menunjukkan bahwa estimator robust Reweighted Minimum Covariance Determinant (RMCD) lebih sensitif mendeteksi data yang mengandung outlier.
2. Menggunakan diagram kontrol T2 Hotelling dengan estimator robust RMCD dalam memonitoring Covid-19 di Korea Selatan menunjukkan bahwa terdapat data yang out of control yaitu terdapat pada pengamatan ke 11, 39, 90, 158, dan 167 sehingga dapat disimpulkan bahwa proses tidak terkendali.

Acknowledge

Artikel ini merupakan bagian dari hasil Penelitian Kolaborasi Internasional yang disuport oleh LPPM Unisba. Oleh karena itu kami ucapkan terima kasih kepada Bapak Rektor Unisba dan Ketua LPPM Unisba serta seluruh pihak yang membantu memberi saran maupun masukkan sampai terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

[1] Alfaro, J. L., & Ortega, J. F. (2008). robust alternative to Hotelling’s T2 control chart using trimmed estimators. *Quality and Reliability Engineering International*, 601-611.
 [2] Chenouri, S., Steiner, S. H., & Variyath, A. M. (2009). A Multivariate Robust Control Chart for Individual. *Journal of Quality Technology*, Vol 31, No 3, 259-271.
 [3] Hawkins, D. M., & Olive, D. J. (1999). Improved Feasible Solution Algorithm for High Breakdown Estimation. *Computational Statistics and Data Analysis* 30, 1–11.

- [4] Hotelling, H. (1947). Multivariate Quality Control Illustrated by Air Testing of Sample Bombsights. In H. Eisenhart, M. W. Hastay, & W. A. Wallis, *Techniques of Statistical Analysis* (pp. 111-184). New York: McGraw Hill.
- [5] Jensen, W. A., Birch, J. B., & Woodall, W. H. (2007). High Breakdown Estimation Methods for Phase I Multivariate Control Charts. *Quality and Reliability Engineering International* 23(5), 615-529.
- [6] Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control. Sixth edition*. United State of America: John Wiley and Sons.
- [7] Our World In Data. (2021). *Coronavirus Pandemic Country Profile*. Retrieved from Our World In Data: <https://ourworldindata.org/coronavirus/country>
- [8] Pison, G., van Alest, S., & Willems, G. (2002). Small Sample Correlation for LTS and MCD. *Metrika* 55, 111-123.
- [9] Rousseeuw, P. J., & Leroy, A. M. (1987). *Robust Regression and Outlier Detection*. New York: John Wiley and Sons.
- [10] Rousseeuw, P. J., & Van Driessen, K. (1999). Fast Algorithm for the Minimum Covariance Determinant Estimator. *Technometrics, Vol 41, No. 3,* 212-223.
- [11] Rousseeuw, P. J., & van Zomeren, B. C. (1990). Unmasking Multivariate Outliers and Leverage Points. *Journal of American Statistical Association* 85, 633–639.
- [12] Serfling, R. (1980). *Approximation Theorems of Mathematical Statistics*. New York: John Wiley and Sons.
- [13] Vargas, J. A. (2003). Robust Estimation in Multivariate Control Charts for Individual Observations. *Journal of Quality Technology*, 367-376.
- [14] Wilks, S. S. (1963). *Mathematical Statistics*. New York: John Wiley and Sons.
- [15] Willems, G., Pison, G., Rousseeuw, P. J., & Van Alest, S. (2002). A Robust Hotelling Test. *Metrika* 55, 125-138.
- [16] Woodruff, D. L., & Rocke, D. M. (1994). Computable Robust Estimation of Multivariate Location and Shape in High Dimension Using Compound Estimators. *Journal of American Statistical Association* 89, 888-896.
- [17] World Health Organization. (2020). *Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public*. Retrieved from World Health Organization: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>
- [18] Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., . . . Tan, W. (2020). A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *The New England Journal of Medicine*.