

Received: 1 December 2023  
Revised: 26 December 2023  
Accepted: 30 December 2023  
Published: 31 December 2023

## Bagan Kendali Variansi dengan Penambahan Variabel pada Nilai Ekspor dan Berat Ekspor

Widyanti Rahayu<sup>1, a)</sup>, Daisy Salsabilah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta*

Email: <sup>a)</sup> wrahayu@unj.ac.id

### Abstract

To create products or services that meet certain quality standards, supervision and control need to be carried out. Quality control monitors changes in the level of variability, or the level of average, or both to observe changes that occur during the production process. The monitoring stage begins with controlling variability, followed by controlling the average level. Walter A. Shewhart (1920) introduced several variability control charts, including the  $S^2$  variance control chart, which involves one quality characteristic,  $Y$ . Riaz (2008) introduced a regression-type estimator of the variance of  $Y$  using additional correlated information  $X$ . This control chart is known as the  $V_r$  control chart and shows better results than the  $S^2$  control chart. Furthermore, Riaz (2009) introduced a  $V_t$  control chart, created based on a ratio-type estimator of the variance of  $Y$ . The accuracy of the  $V_t$  control chart increases as the value increases. The  $S^2$ ,  $V_r$ ,  $V_t$  control chart is used to monitor the variability of export value ( $Y$ ) using additional information on export weight ( $X$ ). All three charts indicate that the variability in export values is out of control. Comparison of the results obtained from the  $V_t$ ,  $V_r$ , and  $S^2$  control charts is made by examining the power curve of each chart. Specifically, it was observed that the  $V_t$  control chart produces more consistent and accurate conclusions.

**Keywords:** Control charts for variability, additional information, power curve, export value.

### Abstrak

Untuk menghasilkan produk atau jasa yang memenuhi standar mutu tertentu, perlu dilakukan pengawasan dan pengendalian. Pengendalian mutu untuk mengawasi perubahan di tingkat variabilitas, atau tingkat rata-rata, atau keduanya untuk melihat perubahan yang terjadi selama proses produksi. Tahapan pengawasan diawali dengan pengendalian variabilitas, dilanjutkan dengan pengendalian tingkat rata-rata. Walter A. Shewhart (1920) memperkenalkan beberapa bagan kendali variabilitas diantaranya bagan kendali variansi  $S^2$  yang melibatkan satu karakteristik mutu  $Y$ . Riaz (2008) memperkenalkan estimator tipe regresi dari variansi  $Y$  menggunakan informasi tambahan  $X$  yang berkorelasi dengan  $Y$ . Bagan kendali ini dikenal dengan bagan kendali  $V_r$  menunjukkan hasil yang lebih baik dari bagan kendali  $S^2$ . Selanjutnya

Riaz (2009) memperkenalkan bagan kendali  $V_t$  yang dibuat berdasarkan estimator tipe rasio dari variansi  $Y$ . Keakuratan bagan kendali  $V_t$  semakin meningkat jika nilai  $|\rho_{xy}|$  semakin tinggi.

Bagan kendali  $S^2$ ,  $V_r$ ,  $V_t$  digunakan untuk mengawasi variabilitas nilai ekspor ( $Y$ ) menggunakan informasi tambahan berat ekspor ( $X$ ). Ketiga bagan menunjukkan bahwa variabilitas nilai ekspor berada di luar kendali. Perbandingan hasil yang diperoleh bagan kendali  $V_t$ ,  $V_r$  dan  $S^2$  diperoleh dengan melihat kurva kuasa masing-masing bagan. Pengamatan secara khusus diperoleh bahwa bagan kendali  $V_t$  menghasilkan kesimpulan yang lebih konsisten dan akurat.

**Kata-kata kunci:** Bagan kendali variansi, informasi tambahan, kurva kuasa, nilai ekspor

## PENDAHULUAN

Nilai ekspor adalah jumlah uang yang diperoleh dari penjualan barang atau jasa ke luar negeri. Nilai ekspor dapat digunakan untuk menunjukkan daya saing suatu negara di pasar internasional. Dalam pelaksanaan kegiatan ekspor produk Indonesia terdapat hambatan dan kendala yang dihadapi dalam proses kegiatannya. Hambatan dalam pelaksanaan kegiatan ekspor dikelompokkan menjadi 2, yaitu hambatan tarif dan hambatan non tarif. Agar nilai ekspor Indonesia terus meningkat dari waktu ke waktu, selain perlu mengatasi hambatan-hambatan tersebut, juga perlu dihasilkan produk ekspor yang bermutu sesuai tuntutan konsumen.

Untuk menghasilkan produk atau jasa yang bermutu, perlu dilakukan pengawasan dan pengendalian atas mutu dari produk atau jasa yang dihasilkan. Pengendalian mutu secara statistik (*statistics process control*) berarti pengidentifikasian secara cepat sebab-sebab yang dapat mengakibatkan pergeseran proses produksi. Bagan kendali merupakan salah satu alat yang sering digunakan untuk melakukan pengendalian mutu secara statistik. Pada tahun 1920 Shewhart memperkenalkan bagan kendali yang terdiri dari bagan kendali atribut jika datanya diskrit dan bagan kendali variabel untuk data kontinu. Bagan kendali *Shewhart* untuk mengawasi tingkat rata-rata proses diantaranya adalah bagan kendali  $\bar{X}$  dan bagan kendali median, sedangkan untuk mengawasi proses variabilitas diantaranya adalah bagan kendali  $R$  dan bagan kendali  $S^2$  (Montgomery, 2009). Hasil dari bagan  $S^2$  ini akan diperbaiki dengan menambahkan variabel penjelas yaitu berat ekspor yang berkorelasi dengan nilai ekspor. Berat ekspor ( $X$ ) juga lebih mudah dihitung dibanding nilai ekspor ( $Y$ ).

Hasil kendali mutu yang hanya berdasarkan satu variabel sebenarnya kurang akurat, oleh karena itu diperlukan metode untuk meningkatkan ketelitian bagan kendali. Untuk meningkatkan ketelitian bagan kendali *Shewhart* dalam mendeteksi adanya perubahan variabilitas, Riaz (2008) mengajukan bagan kendali  $V_r$  sebagai alternatif untuk bagan kendali  $S^2$  dengan menambahkan variabel penjelas untuk respon. Sebagai contoh dalam pengawasan volume minuman botol, pada proses pengemasan minuman botol variable respon  $Y$  adalah volume minuman, kemudian ditambahkan variable penjelas  $X$  berupa kecepatan pengisian botol. Pada tahun 2009, Riaz (2009) memperkenalkan bagan kendali  $V_t$  dimana pembuatan bagan ini berdasarkan pada estimator tipe rasio dari variansi  $Y$ . Penggunaan bagan kendali  $V_t$  berdasarkan korelasi ini diharapkan dapat meningkatkan pengawasan variabilitas  $Y$  dalam proses produksi.

Karena pentingnya pengawasan mutu dalam mengawasi kualitas produk yang akan diekspor, maka akan dilakukan analisis kendali variabilitas nilai ekspor dengan bagan kendali  $S^2$ . Hasil dari bagan  $S^2$  ini akan diperbaiki dengan menambahkan variabel penjelas yaitu berat ekspor yang berkorelasi dengan nilai ekspor. Berat ekspor ( $X$ ) juga lebih mudah dihitung dibanding nilai ekspor ( $Y$ ). Selanjutnya akan dilakukan analisis pengendalian variabilitas nilai ekspor dengan bagan kendali  $V_r$  dan  $V_t$ . Hasil yang diperoleh diharapkan dapat meningkatkan keakuratan pengawasan variabilitas nilai ekspor.

**METODOLOGI****BAHAN DAN DATA**

Data yang digunakan adalah data sekunder yang berasal dari Badan Pusat Statistik yang telah dipublikasikan, berupa data bulanan nilai ekspor Indonesia selama 5 tahun, dari tahun 1999 s.d. 2013. Variabel nilai ekspor (Y) berupa nilai tukar riil yang diturunkan dari nilai tukar nominal ekspor dari negara tujuan ekspor didalam jutaan rupiah. Variabel penjelas berupa berat dalam ton dari berbagai komoditas ekspor (X).

**Metode Penelitian**

Tahapan-tahapan dalam analisis pada data, pertama adalah analisis deskriptif untuk melihat sebaran data dan kaitan kedua variabel, kemudian melakukan analisis variabilitas nilai ekspor dengan bagan kendali. Pertama akan dianalisis dengan bagan kendali  $S^2$  dengan satu variabel saja, selanjutnya dibangun bagan kendali  $V_r$  dan  $V_t$  dengan memberikan informasi tambahan berupa berat ekspor pada variabel nilai ekspor. Tahap akhir adalah menentukan bagan kendali terbaik, yaitu bagan kendali yang paling efisien dan konsisten dalam mengambil keputusan.

**Bagan Kendali  $S^2$** 

Pengendalian mutu secara statistik pada umumnya direpresentasikan dalam bentuk bagan kendali (*control chart*). Apabila karakteristik mutu dinyatakan dalam angka-angka yang kontinyu maka karakteristik tersebut dinamakan variabel. Pengawasan mutu dilakukan dengan memperhatikan perubahan-perubahan yang terjadi pada proses produksi, yang dapat terjadi pada tingkat variabilitas atau tingkat rata-rata atau keduanya. Tahapan proses pengendalian mutu diawali dengan pengendalian variabilitas dilanjutkan dengan pengendalian tingkat rata-rata. Bagan kendali Shewhart menggunakan satu variabel saja untuk mengawasi proses variabilitas, salah satunya adalah bagan kendali  $S^2$ . Dari Riaz (2008) variabel acak yang digunakan dalam bagan kendali variansi  $S^2$  adalah:

$$J = \frac{s_y^2}{\sigma_y^2} \quad (1)$$

Batas-batas bagan kendali  $S^2$  ini adalah

$$\begin{aligned} \text{UCL} &= \frac{\bar{s}^2}{n-1} X_{\frac{\alpha}{2}, n-1}^2 \\ \text{CL} &= \bar{s}^2 \\ \text{LCL} &= \frac{\bar{s}^2}{n-1} X_{1-\left(\frac{\alpha}{2}\right), n-1}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

**Bagan Kendali  $V_r$** 

Riaz (2008) mengajukan bagan kendali  $V_r$  sebagai alternatif untuk meningkatkan ketelitian bagan kendali  $S^2$  dengan menambahkan variabel penjelas X bagi Y. Misal diasumsikan karakteristik mutu Y berkorelasi dengan variabel X melalui hubungan regresi  $Y = a + bX$ . Jika variansi Y dilambangkan  $\sigma_y^2$  dan estimasi dari variansi Y adalah  $\hat{\sigma}_y^2$  maka estimator  $V_r$  diperoleh dengan memanfaatkan variabel tambahan X dari sampel acak bivariat  $(y_1, x_1), (y_2, x_2), \dots, (y_n, x_n)$  berukuran n dari populasi sebesar N.

Estimator  $V_r$  menurut Riaz (2008) didefinisikan sebagai

$$V_r = \hat{\sigma}_y^2 (1 - \rho_{xy}^2) \tag{3}$$

dimana  $\rho_{xy}^2$  = koefisien korelasi variabel X dan Y

Misal peubah acak D adalah  $D = \frac{V_r}{\sigma_y^2}$  maka mean dari D adalah

$$E(D) = E\left(\frac{V_r}{\sigma_y^2}\right) = \frac{E(V_r)}{\sigma_y^2} = 1 + (1 - \rho_{xy}^2) / [(n/2) - 1]$$

Jika  $E(D) = v_0$  dan standar deviasi untuk D adalah  $v_1$  maka estimasi variansi dari  $V_r$  adalah

$$\sigma_{V_r} = v_1 \frac{\bar{V}_r}{v_0}$$

Bagan kendali  $V_r$  dengan batas kendali 3-sigma dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} UCL &= \bar{V}_r (1 + 3 \frac{v_1}{v_0}) \\ CL &= \bar{V}_r \\ LCL &= \bar{V}_r (1 - 3 \frac{v_1}{v_0}) \end{aligned} \tag{4}$$

Nilai  $v_0$  dan  $v_1$  tergantung dari besar korelasi  $\rho_{xy}^2$  dan ukuran sampel n.

**Bagan Kendali  $V_t$**

Tahun 2009 Riaz membangun bagan kendali  $V_t$  berdasarkan estimator tipe rasio dari variansi Y dengan menambahkan variabel penjelas X. Misal  $(y_1, x_1), (y_2, x_2), \dots, (y_n, x_n)$  adalah sampel acak ukuran n dari populasi normal bivariat. Peubah acak  $V_t$  didefinisikan sebagai berikut:

$$V_t = s_y^2 (\sigma_x^2 / s_x^2) \rho_{xy}^2 \tag{5}$$

Peubah acak A ditentukan sebagai berikut  $A = V_t / \sigma_y^2$  maka mean dan standar deviasi dari A adalah

$$E(V_t) = \sigma_y^2 \quad \text{dan} \quad \sigma_A = \sigma_{V_t} / \sigma_y^2$$

Berdasarkan standar deviasi dari A diperoleh standar deviasi dari  $V_t$  yaitu  $\sigma_{V_t} = r_2 \sigma_y^2$

Distribusi asimtotik dari A adalah

$$N(1, \sqrt{2(1 - \rho_{yx}^4)/n})$$

Sehingga diperoleh batas-batas bagan kendali 3-sigma dari  $V_t$  adalah,

$$UCL = \bar{V}_t + 3r_2 \bar{V}_t$$

$$CL = \bar{V}_t$$

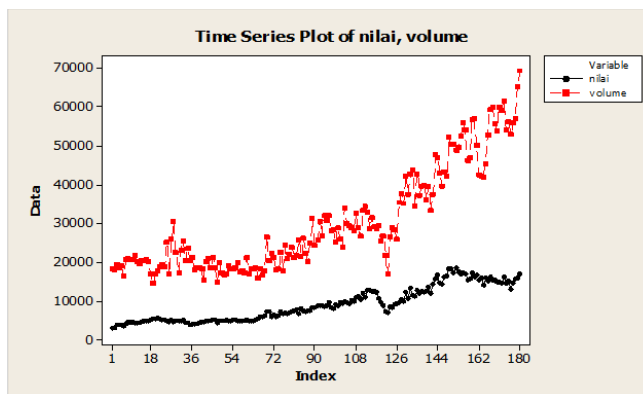
$$LCL = \bar{V}_t - 3r_2 \bar{V}_t \tag{6}$$

Dengan pendekatan nilai untuk  $r_2$  adalah  $r_2 \sim \sqrt{2(1 - \rho_{yx}^4)/n}$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif digunakan untuk mengetahui gambaran secara umum hubungan antara total berat ekspor Indonesia (X) dan karakteristik mutu berupanilai ekspor Indonesia (Y). Seperti diketahui bahwa ekspor Indonesia mengandalkan produk-produk nonmigas selain migas. Produk-produk nonmigas yang utama untuk ekspor Indonesia yaitu CPO, batubara, dan karet (Ratana, 2012). Hasil analisis deskriptif disajikan pada GAMBAR 1 berikut.



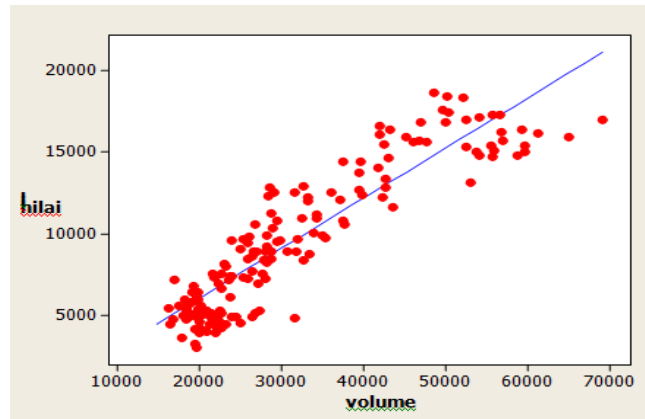
**GAMBAR 1.** Grafik Nilai Ekspor dan Berat Ekspor Indonesia

Berdasarkan GAMBAR 1. di atas terlihat bahwa berat ekspor dan nilai ekspor Indonesia mengalami peningkatan terus menerus kecuali pada bulan ke 108 sampai 126 terdapat penurunan karena adanya krisis ekonomi global. Jadi terdapat korelasi positif antara berat ekspor dengan nilai ekspornya.

**TABEL 1.** Data Nilai Ekspor dan Berat Ekspor Indonesia

Variabel	N	Mean	St. Dev	Minimum	Maksimum
Nilai Ekspor	180	9138	4403	3018	18650
Berat Ekspor	180	30175	13281	14740	69200

Berdasarkan TABEL 1. di atas terlihat adanya jarak yang cukup lebar dari berat ekspor Indonesia, yang berarti terdapat usaha-usaha yang signifikan meningkatkan komoditas ekspor oleh pemerintah. Dari Ratana,dkk (2012) menyimpulkan bahwa terdapat hubungan kausalitas antara berat dan nilai ekspor, hal ini sesuai dengan grafik 1. Korelasi yang tinggi antara nilai dan berat ekspor ditampilkan dalam GAMBAR 2 berikut:



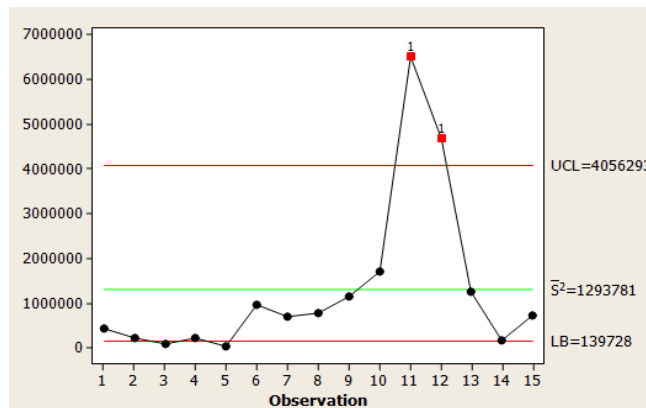
**GAMBAR 2.** Plot Nilai Ekspor dan Berat Ekspor

Dengan rumus korelasi Pearson diperoleh nilai korelasi antara nilai ekspor (Y) dan berat ekspor (X) adalah  $\rho^2_{xy} = 0,923$  yang menunjukkan bahwa korelasi antara nilai ekspor dan berat ekspor sangat tinggi, sehingga berat ekspor (X) dapat digunakan sebagai variabel penjelas untuk nilai ekspor (Y).

**Bagan Kendali  $S^2$ ,  $V_r$ , dan  $V_t$**

Dari data nilai ekspor akan dibangun bagan kendali variansi  $S^2$ , kemudian dari data nilai ekspor dan berat ekspor akan dibangun bagan kendali  $V_r$  dan  $V_t$ . Dari data sebanyak 180 dibagi ke dalam 15 kelas menurut tahun, dengan anggota tiap kelas sebanyak 12 yaitu terdiri dari nilai dan berat ekspor setiap bulan. Kemudian dilakukan pengambilan sampel sebanyak 5 dari tiap kelas dengan *systematic sampling*. Diperoleh hasil bagan kendali berikut:

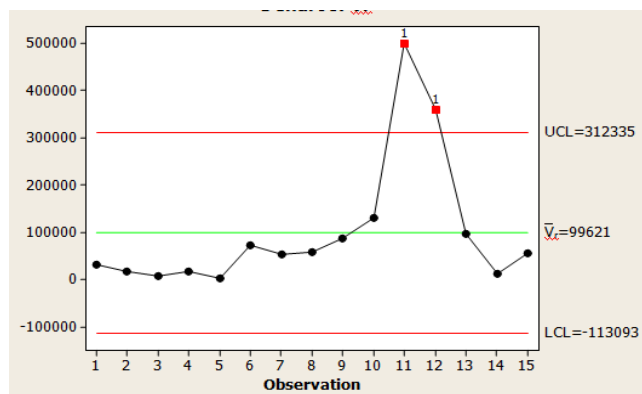
*Bagan  $S^2$*



**GAMBAR 3.** Bagan Kendali  $S^2$  dari Nilai Ekspor

Jadi dengan bagan  $S^2$  ditemukan bahwa proses berada di luar kendali yang disebabkan terdapat titik di luar batas atas bagan dan ada 2 dari 3 titik berada atau melebihi zona A, yaitu titik ke- 2, 3, 4 dan titik ke- 4, 5, 6. Hasil kendali mutu yang diperoleh hanya berdasarkan nilai ekspor sebenarnya kurang akurat, karena nilai riil ekspor sulit dihitung secara pasti. Oleh karena itu diperlukan metode yang dapat meningkatkan keakuratan dan efisiensi bagan kendali  $S^2$  ini. Hasil dari bagan  $S^2$  ini akan diperbaiki dengan menambahkan variabel penjelas yaitu berat ekspor yang berkorelasi dengan nilai ekspor. Berat ekspor (X) juga lebih mudah dihitung dibanding nilai ekspor (Y).

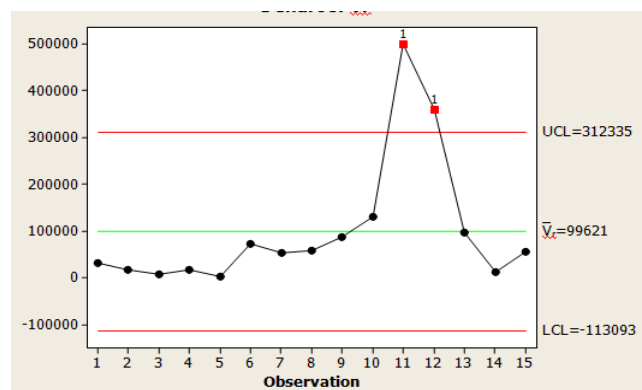
*Bagan  $V_r$*



**GAMBAR 4.** Bagan Kendali  $V_r$  dari Nilai Ekspor

Berdasarkan GAMBAR 4, ditemukan bahwa proses berada di luar kendali yang disebabkan terdapat titik di luar batas atas bagan dan terdapat 9 titik yaitu titik-titik ke-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 berturut-turut berada di bawah garis CL, maka menurut uji analisis pola terdapat sebab-sebab khusus dalam variasi proses.

*Bagan  $V_t$*



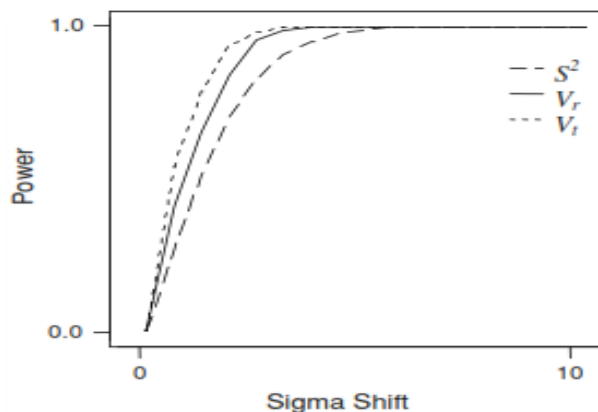
**GAMBAR 5.** Bagan Kendali  $V_t$  dari Nilai Ekspor

Berdasarkan bagan  $V_r$  ini bahwa prosesnya berada di luar kendali karena terdapat 2 kelas di luar batas atas (UCL) yaitu kelas ke-11 dan ke-12.

**Perbandingan Bagan Kendali**

Berdasarkan ketiga bagan menunjukkan kestabilan nilai ekspornya kurang bagus karena adanya variabilitas nilai ekspor yang terlalu tinggi atau terlalu rendah. Ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan usaha-usaha untuk memperkecil perbedaan nilai ekspor tiap bulannya dan peningkatan pengawasan ekspor melalui pengawasan berat atau volume ekspor agar tidak terdapat berat ekspor yang nilainya sangat kecil ataupun sangat besar tiap bulannya.

Untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari bagan  $S^2$ ,  $V_r$ , dan  $V_t$  akan dianalisis menggunakan kurva kuasa dan analisis pola. Hasilnya terdapat pada GAMBAR 6 dan TABEL 2 berikut:



**GAMBAR 6.** Kurva Kuasa  $S^2$ ,  $V_r$ ,  $V_t$  untuk  $n=15$

Pada GAMBAR 6. kurva kuasa  $V_t$ ,  $V_r$ , dan  $S^2$  untuk  $|\rho_{xy}| = 0,90$  dan  $\alpha = 0,002$ . Dari grafik di atas diketahui bahwa kurva kuasa  $S^2$  paling rendah powernya, dan kurva kuasa  $S^2$  hampir sama dengan kurva kuasa  $V_r$  jika  $n$  dan  $|\rho_{xy}|$  semakin kecil, tetapi jika  $n$  dan  $|\rho_{xy}|$  semakin besar maka kurva kuasa  $S^2$  hampir sama dengan  $V_t$ . Dari ketiga kurva kuasa maka kurva kuasa  $V_t$  paling tinggi powernya dibanding  $V_r$  dan  $S^2$  seperti terlihat pada grafik 6.

**TABEL 2.** Perbandingan Hasil Uji Analisis Pola Bagan  $S^2$ ,  $V_r$ , dan  $V_t$ .

Uji	Kriteria	Hasil Uji		
		$S^2$	$V_r$	$V_t$
1	Satu atau lebih titik melebihi zona A	<b>Memenuhi</b>	<b>Memenuhi</b>	<b>Memenuhi</b>
2	9 titik berturutan terletak pada atau melebihi zona C	Tidak memenuhi	<b>Memenuhi</b>	Tidak memenuhi
3	6 titik berturutan semakin naik atau semakin turun	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi
4	14 titik bergantian naik turun	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi
5	2 dari 3 titik terletak pada atau melebihi zona A	<b>Memenuhi</b>	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi
6	4 dari 5 titik terletak pada atau melebihi zona B	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi
7	15 titik berturutan terletak pada zona C	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi
8	8 titik berturutan terletak pada sisi luar dan tidak satupun di zona C	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi

Hasil analisis mutu untuk variabilitas nilai ekspor dengan bagan kendali  $S^2$  terdapat 2 uji yang memenuhi yaitu uji ke-1 dan ke-5, dengan bagan kendali  $V_r$  juga terdapat 2 uji yang memenuhi yaitu uji ke-1 dan ke-2 sementara uji ke-5 tidak memenuhi. Hal ini mengakibatkan bias dalam pengambilan kesimpulan karena ada ketidakkonsistenan hasil uji. Tetapi dengan bagan  $V_t$  hanya terdapat 1 uji yang memenuhi uji analisis pola yaitu uji ke- 1, yang juga dipenuhi jika menggunakan bagan kendali  $S^2$  maupun bagan kendali  $V_r$ . Sehingga dengan bagan  $V_t$  diperoleh kesimpulan yang lebih konsisten.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa pengendalian mutu secara statistik dengan memanfaatkan variabel penjelas X dapat membantu meningkatkan ketepatan



dalam mengawasi variabilitas karakteristik mutu  $Y$ . Berdasarkan kurva kuasa diperoleh kesimpulan bahwa bagan kendali  $V_t$  lebih efisien dibanding bagan kendali  $S^2$  dan  $V_r$ . Hasil analisis mutu untuk variabilitas nilai ekspor dengan ketiga bagan menunjukkan kestabilan nilai ekspornya kurang bagus karena adanya variabilitas nilai ekspor yang terlalu tinggi atau terlalu rendah. Perbandingan hasil analisis ketiga bagan dengan kurva kuasa dan analisis pola menunjukkan bahwa bagan  $V_t$  lebih efisien dan lebih konsisten dibanding bagan  $S^2$  maupun bagan  $V_r$ .

#### REFERENSI

- Ahmad, S, Lin, Z, Abbasi, S.A., Riaz, M 2012, 'On Efficient Monitoring of Process Dispersion using Interquartile Range', *Open Journal of Applied Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 39-43
- Barbosa, E.P, Gneri, M.A, Meneguetti, A, 2014, *Improving Shewhart-type Generalized Variance Control Charts for Multivariate Process Variability Monitoring using Cornish-Fisher Quantile Correction, Meijer-G Function and Other Tools*, IMECC-UNICAMP Brazil, pp. 1-25
- Cingi, H & Kadilar, C 2006, 'Ratio Estimator for the Population Variance in Simple and Stratified Random Sampling', *Applied Mathematics and Computation*, vol. 173, no. 2, pp. 1047-1059
- Djauhari, M, Mohamad, I, 2010. How to Control Process Variability more Effectively: the case of a b-complex Vitamin production process, *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 21, no. 2., pp. 207-215
- Djauhari, M.A, Mashuri, M, Herwindiati, D.E, 2008, 'Multivariate Process Variability Monitoring', *Communications in Statistics-Theory and Methods*, vol. 37, no. 11, pp. 1742-1754
- Isaki, C.T., 1983, 'Variance Estimation Using Auxiliary Information', *Journal of the American Statistical Association*, vol. 78, pp. 117-123
- Montgomery, D.C, 2009, *Introduction to Statistical Quality Control*, 6<sup>th</sup> ed. New York: Wiley
- Nelson, L.S, 1984, 'The Shewhart Control Chart – Test for Special Causes', *Journal of Quality Technology*, vol. 21, pp. 287 – 289
- Riaz, M, 2008. 'Monitoring Process Variability Using Auxiliary Information', *Journal Computation Statistics*, vol. 23, pp. 253 – 276
- Riaz, M, Does, R, (2009). 'A Process Variability Control Chart', *Journal Computation Statistics*, vol. 24, pp. 345 – 368
- Ratana, D.S, Achsani, N.A, Andati, T, 2012, 'Dampak Perubahan Nilai Tukar Mata Uang Terhadap Ekspor Indonesia', *Jurnal Manajemen & Agribisnis*, vol. 9, No. 3. pp. 154 – 162
- Sahabuddin, S, 2013, *Pengendalian Proses Variabilitas Multivariate Melalui Vektor Variansi*, Thesis, Universitas Hasanuddin.
- Singh, J, Singh, V.K, Malik, S, Singh, R, 2013, 'Use of Auxiliary Information in Variance Estimation', *Journal of Modern Management and Entrepreneurship*, vol. 2, no. 3, pp. 75-81
- Singh, R, 2001, 'Improved Ratio-type Estimator for Variance Using Auxiliary Information', *Journal of The Indian Society of Agricultural Statistics*, vol. 54, no. 3, pp. 276-287
- Dinas Perdagangan dan Perindustrian Pemkab Ponorogo, 2023, *Hambatan Ekspor Produk Indonesia*, Pemkab Ponorogo, (<https://disdagin.kulonprogokab.go.id/detil/505/hambatan-ekspor-produk-Indonesia>)