

Pengendalian Kualitas Dengan Grafik Kendali T^2 Hotelling dan Analisis Kapabilitas Proses pada Produksi Gula Kristal Putih

Meilina Retno Hapsari*

¹ Universitas Gajayana, Malang, Indonesia

meilina@unigamalang.ac.id*

ABSTRAK

Gula kristal putih adalah produk utama dari setiap pabrik gula. Agar visi dan misi tercapai, Pabrik Gula harus mengatur dan menjaga kualitas produksi agar tetap berkualitas baik. Masih ada kemungkinan bahwa kualitas gula kristal putih yang dihasilkan tidak terkendali meskipun nira yang dihasilkan dari tahapan proses produksi sebelumnya terkendali. Peranan pengendalian kualitas sangat penting dalam menjaga kualitas produksi gula. Suatu analisis statistika yang dapat digunakan dalam mengendalikan kualitas produksi adalah grafik kendali multivariat T^2 Hotelling yaitu untuk proses pengendalian secara bersama-sama dengan dua atau lebih karakteristik kualitas. Kemudian dilakukan analisa kapabilitas proses untuk mengetahui kapabilitas proses produksi. Data yang digunakan adalah persentase brix dan pol gula kristal putih yang diambil pada tanggal 22 Mei 2022 sampai dengan 22 Juni 2022 saat musim giling 2022. Berdasarkan grafik T^2 Hotelling dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa terdapat proses produksi gula kristal putih yang belum terkendali secara statistik di mana dilihat dari pengamatan yang berada di luar batas pengendali atas. Analisis kapabilitas proses multivariat produksi gula kristal putih memiliki nilai lebih dari 1,33 maka dapat dijelaskan bahwa proses produksi gula kristal putih memiliki kapabilitas proses yang baik.

Kata kunci: Gula Kristal Putih, Pengendalian Kualitas, Grafik Kendali T^2 Hotelling, Kapabilitas Proses, Brix

ABSTRACT

White crystal sugar is the main product of every sugar factory. In order to achieve the vision and mission, the Sugar Factory must regulate and maintain the quality of production so that it remains of good quality. There is still a possibility that the quality of the white crystal sugar produced is not controlled even though the sap produced from the previous stage of the production process is controlled. The role of quality control is very important in maintaining the quality of sugar production. One of the statistical methods that can be applied in controlling production quality is multivariate control chart T^2 Hotelling, which is for controlling processes together with two or more quality characteristics. Then analyze the process capability to determine the capability of the production process. The data used is the percentage of brix and pol of white crystal sugar taken from 22 May 2022 to 22 June 2022 during the 2022 milling season. Based on the T^2 Hotelling chart with a 95% confidence level, it shows that there is a white crystal sugar production process that is not yet statistically controlled, because there are points that are outside the upper control limits. Multivariate process capability analysis for white crystal sugar production has a value of more than 1,33, so it can be stated that the white crystal sugar production process has good process capabilities.

Keywords: White Crystal Sugar, Quality Control, T^2 Hotelling Chart, Capability Process, Brix

Copyright (c) 2023 Meilina Retno Hapsari
DOI: <https://doi.org/10.36275/jgggt952>

PENDAHULUAN

Gula kristal putih adalah produk utama dari setiap pabrik gula. Agar visi dan misi tercapai, pabrik gula harus mengatur dan menjaga kualitas produksi agar tetap berkualitas baik. Oleh karena itu, perusahaan perlu memiliki kualitas hasil produksi yang baik dan terjamin sehingga meningkatkan kepuasan konsumen dan memperluas pasar. Kualitas gula

yang dihasilkan ditentukan oleh proses yang terjadi di dalam tujuh stasiun. Masih ada kemungkinan bahwa kualitas gula kristal putih yang dihasilkan tidak terkendali meskipun nira yang dihasilkan dari tahapan proses produksi sebelumnya terkendali.

Analisa gula kristal putih dilakukan pemeriksaan mulai dari berat jenis butir gula (BJB), persentase pol gula, persentase brix gula, warna gula (icumsa), dan tingkat kejernihan gula. Berdasarkan Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, batas spesifikasi kontrol kualitas persentase brix gula antara 99.90% sampai 100% sedangkan persentase pol gula antara 99.70% sampai 100% (Anonim, 2019). Jika persentase brix dan pol gula kristal putih tidak memenuhi batas spesifikasi, maka gula kristal putih akan dicairkan dan disaring kotorannya di fosfatasi kemudian dimasukkan ke stasiun masakan untuk diolah lagi. Oleh karena itu, peranan pengendalian kualitas produk sangat penting dalam menjaga kualitas produksi gula agar tetap berkualitas baik.

Pengendalian kualitas adalah suatu teknik untuk menilai karakteristik kualitas produk, membandingkan ukuran apakah sudah sesuai dengan spesifikasi perusahaan dan pengambilan keputusan jika suatu produk tidak sesuai standart. Terdapat suatu metode untuk mengendalikan kualitas yaitu Statistical Proses Control (SPC). SPC terdiri dari dua jenis berdasarkan banyaknya variabel, yaitu grafik kendali univariat dan grafik kendali multivariat. Terdapat beberapa metode grafik kendali univariat yaitu p chart, c chart, np chart serta u chart, X-bar chart dan S chart (Montgomery, 2015). Pada grafik kendali univariat hanya bisa mengontrol satu variabel saja, padahal di banyak situasi variabel yang perlu dikontrol ada lebih dari satu. Oleh karena itu, grafik kendali multivariate sangat dibutuhkan untuk pengendalian kualitas lebih dari satu variabel. Salah satu analisis statistika yang dapat diterapkan dalam mengendalikan kualitas produksi adalah menggunakan grafik kendali multivariat T^2 Hotelling. Grafik T^2 Hotelling berfungsi untuk proses pengendalian secara bersama-sama dengan dua atau lebih variabel atau karakteristik kualitas dan memiliki sifat yang dependen atau diduga saling berhubungan.

Berikut hasil penelitian terdahulu tentang pengendalian kualitas gula kristal putih di berbagai pabrik gula. Pada penelitian Darmawan (2017), bahwa dengan grafik kendali P-chart didapatkan seluruh data kerusakan gula Krikilan berada dalam batas kendali selama 17 hari giling, maka proses produksi gula terkendali secara statistik. Sedangkan pada penelitian Sholiha & Syaichu (2017), bahwa dengan grafik kendali P-Chart didapatkan data kecacatan produksi gula ada 11 titik yang berada di luar batas kendali. Maka proses produksi gula di Pabrik Gula Lestari Patianrowo Nganjuk belum terkendali secara statistic dan perlu meningkatkan kualitas proses produksi yang akan datang.

Pada penelitian Taufiqi & Aksioma (2018) bahwa dengan grafik kendali T^2 Hotelling, produksi gula kristal putih belum terkendali secara statistik karena banyak penyimpangan atau terdapat sampel yang berada di luar batas kendali di Pabrik Gula Tjoekir Jombang. Pada penelitian Soejana (2020) bahwa dengan metode deskriptif dan seven tools, analisis BJB didapatkan ukuran gula Kristal putih sebesar 1,03 mm. Pada penelitian Susetyo, dkk (2020) bahwa dengan metode deskriptif SPC dan FMEA, gula kristal putih didapatkan jenis butiran BJB lebih besar dari 1,10 mm, dan nilai mode kegagalan gula halus sebesar 274, maka diartikan bahwa gula kristal putih tidak sesuai standar.

Dari uraian latar belakang di atas, peneliti ingin memberikan kontribusi yaitu melakukan pengendalian proses produksi gula kristal putih di PG Pesantren Baru Kediri dengan grafik kendali multivariat T^2 Hotelling dan dilanjutkan dengan analisis kapabilitas proses untuk memastikan apakah proses tersebut sudah mampu untuk menghasilkan gula kristal putih sesuai spesifikasi.

METODE

Sumber Data Penelitian

Data penelitian ini merupakan data yang diambil oleh bagian Quality Control PG Pesantren

Baru setiap dua jam sekali selama 24 jam dan diambil rata-rata setiap harinya. Data tersebut merupakan data proses produksi gula kristal putih selama musim giling 2022 mulai tanggal 22 Mei 2022 sampai dengan 22 Juni 2022. Variabel yang digunakan adalah persentase brix dan pol gula kristal putih.

Analisis Data

Tahapan yang dilakukan untuk analisis pada penelitian ini adalah analisis deskriptif, uji asumsi normal multivariate dan uji korelasi Pearson. Jika hasilnya normal multivariate dan variabel saling berkorelasi kemudian dilanjutkan dengan diagram kendali T^2 Hotelling. Kemudian dilanjutkan dengan analisis kapabilitas proses.

Grafik Kendali

Grafik kendali adalah metode pengendalian proses yang sering bermanfaat untuk menilai proses produksi yang bertujuan untuk menentukan kemampuan proses produksi apakah sudah sesuai dengan standar atau belum dan akan memberikan informasi untuk meningkatkan proses produksi tersebut (Montgomery, 2015). Kegunaan grafik kendali yang pertama untuk melihat atau menilai apakah suatu proses berada dalam pengendalian statistik. Oleh karena itu grafik kendali digunakan untuk mencapai proses yang terkendali secara statistik. Kedua, untuk mengawasi atau mengontrol proses sepanjang waktu agar tetap stabil secara statistik. Grafik kendali terdiri dari nilai karakteristik kualitas pengamatan yaitu garis batas pengendali atas (*upper control limit*), garis batas pengendali bawah (*lower control limit*) dan garis median (*center line*). Grafik kendali terdiri dari dua jenis berdasarkan banyaknya variabel, yaitu grafik kendali univariat dan grafik kendali multivariat. Pada grafik kendali univariat hanya bisa mengontrol satu variabel saja. Sedangkan grafik kendali multivariate digunakan untuk mengontrol kualitas lebih dari satu variabel yang saling berhubungan.

Grafik Kendali Multivariat T^2 Hotelling

Grafik kendali T^2 Hotelling merupakan prosedur pengendalian kualitas dan pengawasan proses yang paling dikenal untuk kasus-kasus variabel pengendalian kualitas lebih dari satu atau yang disebut kasus multivariat (Montgomery, 2015). Hal yang harus dipenuhi sebelum melakukan pembuatan grafik kendali multivariat adalah memenuhi syarat yaitu data yang digunakan berdistribusi normal multivariate dan terdapat hubungan yang signifikan antar karakteristik kualitas atau variabel. Uji asumsi normal multivariat yaitu dengan melihat nilai *skewness* dan *kurtosis* (Johnson & Winchern, 2015).

Pada pengujian, jika $p\text{-value multivariate skewness}$ dan $\text{multivariat kurtosis} > \alpha$ (0,05) maka terima H_0 atau berarti data menyebar normal multivariat. Korelasi *Pearson* dilambangkan (r), di mana jika nilai r atau koefisien korelasi mendekati 1 atau -1 maka korelasinya kuat. Pada uji korelasi, jika nilai $p\text{-value} < \alpha$ (0,05) maka tolak H_0 atau kedua variabel memiliki korelasi yang signifikan (Gujarati, 2012). Jika hasilnya normal multivariate dan variabel saling berkorelasi kemudian dilanjutkan dengan diagram kendali T^2 Hotelling.

Apabila S digunakan untuk mengestimasi Σ maka statistik uji bagi T^2 Hotelling adalah sebagai berikut (Yuneidi, Rahmi, & Yozza, 2012)

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

di mana :

T^2 : nilai statistik T^2 Hotelling

x : matrik $px1$ rerata karakteristik kualitas

$\bar{x}$: matriks $px1$ karakteristik kualitas

S : matriks pxp kovarians

S^{-1} : invers matriks pxp kovarians

Batas grafik pengendali dapat ditentukan dari persamaan :

Fase I :

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

$$LCL = 0$$

Fase II :

$$UCL = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (\text{Persamaan 3})$$

$$LCL = 0$$

di mana :

p : banyaknya karakteristik kualitas

m : banyaknya subgrup

n : banyaknya pengamatan

$F(\alpha,p,mn-m-p+1)$: nilai tabel $F(\alpha,p,mn-m-p+1)$

UCL : *Up Control Line* (garis batas pengendali atas pada grafik)

LCL : *Low Control Line* (garis batas pengendali bawah pada grafik).

Kapabilitas Proses Multivariat

Kapabilitas proses multivariate merupakan kemampuan suatu proses untuk menghasilkan suatu produk yang sesuai dengan standar yang ditentukan dan sesuai yang diharapkan oleh konsumen, di mana variabel atau karakteristik yang diukur lebih dari satu. Untuk mengetahui suatu proses berjalan secara *capable* atau menghasilkan suatu produk sesuai standart atau tidak menggunakan analisis kapabilitas proses (Montgomery, 2015). Process Capability juga diartikan sebagai ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses mampu menghasilkan sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan oleh manajemen berdasarkan kebutuhan pelanggan (Marimin, dkk, 2019). Analisis kapabilitas proses menggunakan *batas spesifikasi*. Batas spesifikasi adalah batas-batas yang ditetapkan untuk suatu produk, karakteristik produk yang ditetapkan oleh perusahaan untuk meyakinkan konsumen bahwa suatu produk dapat berfungsi dengan baik dan tepat guna. Batas-batas itu adalah Batas Atas Spesifikasi (*Upper Specification Limit, USL*) dan Batas Bawah Spesifikasi (*Lower Specification Limit, LSL*) Indeks kapabilitas proses multivariat MC_{pm} sangat tepat digunakan untuk menyatakan kapabilitas dengan memperhatikan target spesifikasi. Indeks kapabilitas multivariat yang digunakan adalah 1,33 pada proses normal. Apabila nilai MC_{pm} lebih dari 1,33 maka dapat diartikan bahwa proses tersebut dikatakan mampu untuk memenuhi batas spesifikasi (Scagliarini & Vermiglio, 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Deskriptif

Hasil analisis deskriptif terdiri dari rata-rata, data maksimum, data minimum, dan batas spesifikasi untuk masing-masing variabel pengukuran. Nilai batas spesifikasi diperoleh dari buku Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia yang menjadi acuan proses produksi gula. Penyajian hasil analisis deskriptif pengumpulan data persentase brix dan pol adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Statistika Deskriptif Untuk Masing-Masing Variabel

	Statistika Deskriptif			Batas Spesifikasi	
	Rata-rata	Maks	Min	Maks	Min
Brix (%)	99,97	99,99	99,95	100	99,90
Pol (%)	99,87	99,90	99,82	100	99,70

Berdasarkan Tabel 1 dijelaskan bahwa sebagian besar hasil pengukuran brix untuk gula kristal putih pada tanggal 22 Mei 2022 – 22 Juni 2022 berkisar 99,97% dan hasil pengukuran pol berkisar 99,87%. Hasil pengukuran brix untuk gula kristal putih paling besar adalah 99,99% dan hasil pengukuran pol paling besar 99,90%. Nilai maksimum variabel persentase brix dan pol tersebut sesuai dengan spesifikasi ukuran yang ditetapkan. Sedangkan hasil pengukuran brix untuk gula kristal putih paling kecil adalah 99,95% dan hasil pengukuran pol paling kecil 99,82%. Nilai minimum variabel persentase brix dan pol tersebut sesuai dengan spesifikasi ukuran yang ditetapkan.

Pengujian Asumsi Normal Multivariat

Untuk mengetahui kenormalan data, kita dapat menguji asumsi normal multivariat dengan melihat nilai *multivariate skewness* dan *multivariate kurtosis*. Berikut hasil uji asumsi normal multivariate.

Tabel 2. Hasil Uji Asumsi Normalitas Multivariat

<i>Multivariate Skewness</i>	
Z-score	1,91299
p-value	0,0633115
<i>Multivariate Kurtosis</i>	
Z-score	0,986967
p-value	0,323659

Berdasarkan Tabel 2. tersebut diketahui bahwa *p-value multivariate skewness* dan *multivariate kurtosis* $> \alpha$ (0,05) sehingga terima H_0 . Artinya, dengan tingkat kepercayaan sebesar 95% sudah cukup bukti untuk menyatakan data menyebar normal multivariat. Selain dari *p-value*, kenormalan multivariat dapat dilihat dari nilai *Z-score skewness* dan *kurtosis*. Dapat dilihat bahwa nilai *Z-score skewness* dan *kurtosis* berada di antara -1,96 dan 1,96 maka data berdistribusi atau menyebar normal multivariat.

Uji Korelasi Pearson

Syarat kedua menggunakan grafik kendali multivariat T^2 Hotelling adalah bahwa antar variabel harus bersifat dependen atau saling berkorelasi. Berikut hasil analisis korelasi dari dua variabel pengukuran.

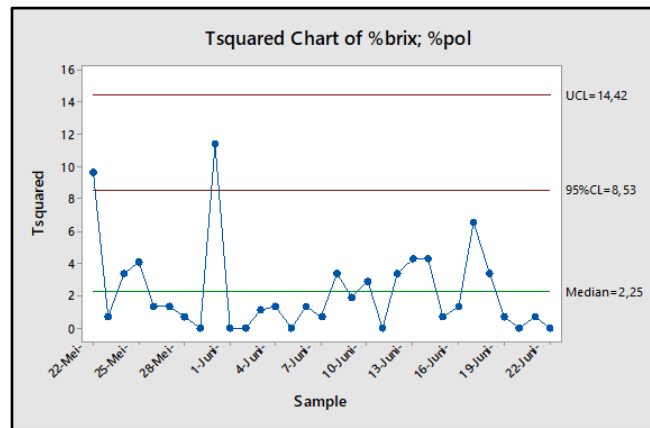
Tabel 3. Hasil Korelasi Pearson Brix (%) dan Pol (%)

Korelasi Pearson	0,752
p-value	0,000

Berdasarkan hasil Tabel 3, dapat dilihat bahwa brix terhadap pol memiliki nilai Korelasi *Pearson* sebesar 0,752 dan dengan nilai *p-value* (0,000) $< \alpha$ (0,05) maka tolak H_0 jadi dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara variabel brix terhadap pol dengan resiko berbuat salah 5%.

Grafik Kendali T^2 Hotelling

Grafik kendali T^2 -Hotelling dapat diperoleh dengan menggunakan *software Minitab 17*. Kedua variabel pengukuran dimensi brix dan pol digambarkan secara simultan pada grafik kendali T^2 -Hotelling sebagai berikut.



Gambar 1. Grafik Kendali T^2 Hotelling dengan $\alpha=0.05$

Berdasarkan Gambar 1 diperoleh informasi bahwa nilai untuk *Upper Control Line* (UCL) atau batas pengendali atas dengan $\alpha=0,05$ menurut grafik kendali multivariat T^2 Hotelling adalah sebesar 8.53, sedangkan untuk *Lower Control Line* (LCL) selalu bernilai 0 karena merupakan plot untuk T^2 . Untuk median dari grafik kendali tersebut adalah 2,25.

Dari Gambar tersebut menunjukkan selama musim giling tahun 2022 yaitu tanggal 22 Mei 2022 sampai 22 Juni 2022 terdapat dua titik yang keluar dari UCL atau batas pengendali atas pada tanggal 22 Mei dan 31 Mei maka dapat diartikan bahwa terdapat proses produksi gula kristal putih yang tidak terkendali secara statistik. Jadi dengan tingkat kepercayaan 95%, dapat disimpulkan bahwa proses produksi gula kristal putih PG Pesantren Baru Kediri sudah berjalan dengan baik tetapi terdapat produksi yang tidak berada dalam batas kendali proses yaitu pada tanggal 22 Mei dan 31 Mei. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Sholiha & Syaichu (2017), Taufiqi & Aksioma (2018), dan Rabbani, dkk (2020) tahapan proses produksi gula belum terkendali secara statistik.

Analisis sebab-sebab terduga dari titik-titik yang tidak terkendali secara statistik tidak dapat diketahui secara langsung karena pada dasarnya sebab-sebab terduga dapat terjadi karena kesalahan operator, mesin, metode dan sebagainya. Hal ini sejalan dengan penelitian Yunika & Ahsan (2023) dan Susati (2023) bahwa penyebab terjadinya out of control produksi gula kristal putih di pabrik gula yaitu dari mesin, bahan baku, manusia metode dan lingkungan. Pada tanggal 22 Mei tidak terkendali disebabkan karena pada tanggal tersebut adalah hari pertama pabrik mulai giling kemungkinan persiapan bahan baku kurang memadai dan operator baru mulai bekerja. Sedangkan tanggal 31 Mei tidak terkendali karena tanggal 30 Mei pabrik berhenti giling sementara karena nira mentah dan nira kental melebihi kapasitas dan pada hari itu juga diharuskan untuk mengatur likel.

Analisis Kapabilitas Proses Multivariat

Selanjutnya dilakukan analisis kapabilitas proses multivariat untuk memastikan apakah proses tersebut telah mampu untuk menghasilkan gula kristal putih sesuai spesifikasi yang dikehendaki perusahaan. Menurut buku Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, batas spesifikasi kontrol kualitas persentase brix gula antara 99,90% sampai 100% sedangkan persentase pol gula antara 99,70% sampai 100%.

Berdasarkan hasil analisis kapabilitas proses multivariat dengan *Software R* didapatkan nilai MCpm untuk produksi gula kristal putih lebih dari 1,33 yaitu sebesar 5,416 maka proses dapat dikatakan mempunyai kapabilitas yang baik. Hal tersebut menunjukkan bahwa persentase brix dan pol gula kristal putih masih dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh pihak perusahaan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Ghiyats, dkk (2020) bahwa nilai kapabilitas produksi gula rafinasi PT Sugar Labinta sebesar 1,67 artinya kemampuan proses sangat baik maka perusahaan telah cukup mampu dan perlu upaya yang giat untuk peningkatan kualitas menuju target yang diinginkan.

SIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan yaitu hasil pengendalian kualitas menggunakan grafik kendali multivariat T^2 Hotelling dengan tingkat kesalahan 5%, menunjukkan bahwa produksi gula kristal putih belum terkendali secara statistik, hal ini terlihat bahwa terdapat dua titik yang masih berada diluar UCL yaitu pada tanggal 22 Mei 2022 dan 31 Mei 2022. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh bahan baku, kesalahan operator, mesin dan proses produksi. Berdasarkan analisis kapabilitas proses multivariat proses produksi gula kristal putih dapat dikatakan mampu memenuhi spesifikasi.

Pabrik Gula Pesantren Baru sudah menerapkan pengendalian kualitas yang sangat baik dengan selalu melakukan pengawasan dan perbaikan terhadap proses produksi. Saran untuk pabrik gula pesantren baru yaitu ilmu statistika seharusnya dapat diterapkan untuk mengontrol proses produksi khususnya untuk proses produksi gula kristal putih.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2019. *Pelatihan Analisis Gula Kristal Putih*. Pasuruan: Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia.
- Darmawan, A.S. 2017. Analisis Pengendalian Kualitas Produk Gula Kristal Putih Pabrik Gula Kremboong PT Perkebunan Nusantara X Dengan Metode Statistical Quality Control. *Jurnal Teknik Industri UNTAG Surabaya*.
- Gujarati, D.N. 2012. *Basic Econometrics, 6th edition*. New York : McGraw-Hill.
- Ghiyats, F, Saty, F. M & Riniarti, D. 2020. Analisis Pengendalian Kualitas dalam Upaya Meminimalisasi Tingkat Kerusakan Produk Gula Rafinasi. *Jurnal Agro Industri Perkebunan* 8(2), 69-83.
- Jonhson, R. A & Winchern, D., W. 2015. *Applied Multivariate Statistic Analysis*. New Jersey : Prentice Hall.
- Lupiyoadi, R & Hamdani, D.A. 2011. *Manajemen Pemasaran Jasa*. Jakarta: Salemba Empat.
- Marimin, Ismayana, A dan Lohjayanti, A. 2019. Keragaan Kinerja Dan Sistem Penunjang Keputusan Pengendalian Proses Produksi Gula Kristal Di Pt. Rajawali Ii Unit Pabrik Gula Jati Tujuh-Majalengka. *J. Tek. Ind. Pert.* Vol. 19(3), 170-181.
- Montgomery, D. C. 2015. *Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik Cetakan Pertama*, Terjemahan Zanzawi Soejoeti. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Rabbani, M.F., Jamhari, Darwanto, D. H. 2020. Pengendalian Mutu Gula Di PG Madukismo PT. Madubaru Dengan Menggunakan Statistical Quality Control. Tesis. Universitas Gadjah Mada.
- Safrizal & Muhajir. 2016. Pengendalian Kualitas Dengan Metode Six Sigma. *Jurnal Manajemen dan Keuangan*, 5(2): 615-626.
- Scagliarini, M. dan Vermiglio, R. 2009. Computing Multivariate Process Capability Indices, *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 7(1):346-357. doi: [10.22237/jmasm/1209616140](https://doi.org/10.22237/jmasm/1209616140)
- Sholiha, L & Syaichu, A. 2017. Analisa Pengendalian Kualitas Produk Gula Kristal Putih Dengan Metode Seven Tools. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik - Sistem* 13(1) : 50-58.
- Soejana, F. A. 2020. Pengendalian Mutu Proses Produksi Gula di PT. Perkebunan Nusantara X Pabrik Gula Gempolkrep, Mojokerto. *TEKNOTAN*, 14(2) : 55-60. doi : <https://doi.org/10.24198/jt.vol14n2.4>
- Susetyo, J , Yusuf, M & Geriot, J. 2020. Pengendalian Kualitas Produk Gula Dengan Metode

- Statistical Processing Control (SPC) Dan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA). *Jurnal Teknologi*, 13(2) : 127-135. doi: <https://doi.org/10.3415/jurtek.v13i2.3216>
- Taufiqi, M. S. & Aksioma, D. F. 2018. Pengendalian Kualitas Gula Kristal Putih (GKP) di PG Tjoekir Jombang Menggunakan Diagram Kontrol Multivariat Berbasis Time Series. *INFERENSI*, 1(1) : 17-22. doi: <http://dx.doi.org/10.12962/j27213862.v1i1.6716>
- Yuneidi, B., Rahmi, I., & Yozza, H. 2012. Pembuatan Bagan Kendali Multivariat T^2 Hotelling untuk Proses Perkuliahan. *Jurnal Matematika Universitas Andalas Padang*, 1.
- Yunika, A & Ahsan, M. 2023. Pengendalian Kualitas Proses Produksi Hasil Gula Kristal Putih di Pabrik Gula Djatiroto PT Perkebunan Nusantara XI Menggunakan Diagram Kontrol Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max-MCUSUM) Berbasis Residual Model Multioutput Least Square Support Vector Regression (MLS-SVR). *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 12(1): 2337-3520. DOI: [10.12962/j23373520.v12i1.101891](https://doi.org/10.12962/j23373520.v12i1.101891)