

**ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI GULA
MENGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MEWMV DAN MEWMA
DENGAN PENDEKATAN RESIDUAL *TIME SERIES***

SKRIPSI



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh
SITI NUR AIDA
09020220040

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2024

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : SITI NUR AIDA

NIM : 09020220040

Program Studi : Matematika

Angkatan : 2020

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI GULA MENGGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MEWMV DAN MEWMA DENGAN PENDEKATAN RESIDUAL *TIME SERIES*". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 21 Juni 2024

Yang menyatakan,



SITI NUR AIDA
NIM. 09020220040

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

Nama : SITI NUR AIDA
NIM : 09020220040
Judul Skripsi : ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI
GULA MENGGUNAKAN DIAGRAM KENDALI
MEWMV DAN MEWMA DENGAN PENDEKATAN
RESIDUAL *TIME SERIES*

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Pembimbing I



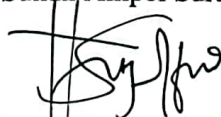
Aris Fanani, M.Kom
NIP. 198701272014031002

Pembimbing II



Hani Khaulasari, A.Md, S.Si, M.Si
NIP. 199102092020122011

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika
UIN Sunan Ampel Surabaya



Yuniar Farida, M.T.
NIP. 197905272014032002

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

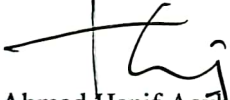
Skripsi oleh

Nama : SITI NUR AIDA
NIM : 09020220040
Judul Skripsi : ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI
GULA MENGGUNAKAN DIAGRAM KENDALI
MEWMV DAN MEWMA DENGAN PENDEKATAN
RESIDUAL *TIME SERIES*

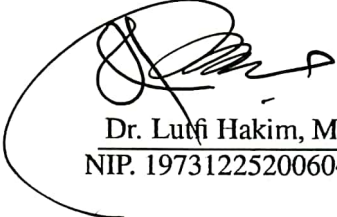
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 21 Juni 2024

Mengesahkan,
Tim Penguji

Penguji I


Ahmad Hanif Asyhar, M.Si
NIP. 198601232014031001


Penguji II


Dr. Lutfi Hakim, M.Ag
NIP. 197312252006041001

Penguji III


Aris Fanani, M.Kom
NIP. 198701272014031002

Penguji IV


Hani Khaulasari, A.Md, S.Si, M.Si
NIP. 199102092020122011

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya


Dr. A. Saepul Hamdani, M.Pd
NIP. 196507312000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Siti Nur Aida
NIM : 09020220040
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
E-mail address : sitinuraidakuliah92@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Sekripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)

yang berjudul :

ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI GULA MENGGUNAKAN

DIAGRAM KENDALI MEWMV DAN MEWMA DENGAN PENDEKATAN RESIDUAL

TIME SERIES

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 10 Juli 2024

Penulis



(SITI NUR AIDA)
nama terang dan tanda tangan

ABSTRACT

ANALYSIS OF SUGAR PRODUCTION QUALITY CONTROL USING MEWMV AND MEWMA CONTROL CHARTS WITH A RESIDUAL TIME SERIES APPROACH

Quality control is a crucial aspect in manufacturing a product, such as sugar. Quality control in sugar production in this study involves factors like moisture content, color of the sugar solution, and grain size. The objective of this research is to statistically evaluate the quality of sugar production and identify process capability analysis. The methods employed include Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV) and Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) control charts. Autocorrelation among observations in the sugar production process was found, hence quality control was implemented using a time series approach. The best result from residual model analysis showed a VARI(12,1) model. In the MEWMV control chart, the selected optimal weights were $\omega = 0.4$, $\lambda = 0.3$, indicating the process was under control after 2 adjustments. Meanwhile, in the MEWMA control chart, the selected optimal weight was $\lambda = 0.1$, indicating the process was under control after 1 adjustment. Common factors influencing sugar production processes include human factors, machinery, and methods. Process capability analysis resulted in MC_n and MC_{nk} values less than 1, indicating that the process did not meet the desired capability.

Keywords: BJB, MEWMA, MEWMV, Moisture, Quality, Sugar, Sugar Solution Color, Time Series

ABSTRAK

ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI GULA MENGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MEWMV DAN MEWMA DENGAN PENDEKATAN RESIDUAL *TIME SERIES*

Pengendalian kualitas merupakan aspek krusial dalam pembuatan suatu produk, salah satunya yaitu gula. Pengendalian kualitas terhadap produksi gula pada penelitian ini melibatkan faktor-faktor seperti kadar air, warna larutan gula, dan besar jenis butir. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi kualitas produksi gula secara statistik dan mengidentifikasi analisis kapabilitas proses. Metode yang digunakan melibatkan diagram kendali MEWMV (*Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance*) dan MEWMA (*Multivariate Exponentially Weighted Moving Average*). Ditemukan adanya autokorelasi antar pengamatan dalam proses produksi gula, sehingga pengendalian kualitas diterapkan menggunakan pendekatan *time series*. Hasil terbaik dari analisis model residual menunjukkan model VARI(12,1). Pada diagram kendali MEWMV, pembobot optimum yang terpilih ialah $\omega = 0.4, \lambda = 0.3$, menandakan bahwa proses telah terkendali setelah dilakukan 2 kali perbaikan. Sedangkan, pada diagram kendali MEWMA, pembobot optimum yang terpilih ialah $\lambda = 0.1$ menandakan bahwa proses telah terkendali setelah dilakukan 1 kali perbaikan. Faktor umum yang mempengaruhi proses produksi gula seperti faktor manusia, mesin, maupun metode. Analisis kapabilitas proses mendapatkan hasil MC_n dan MC_{nk} kurang dari 1, menandakan bahwa proses belum memenuhi kapabilitas yang diinginkan.

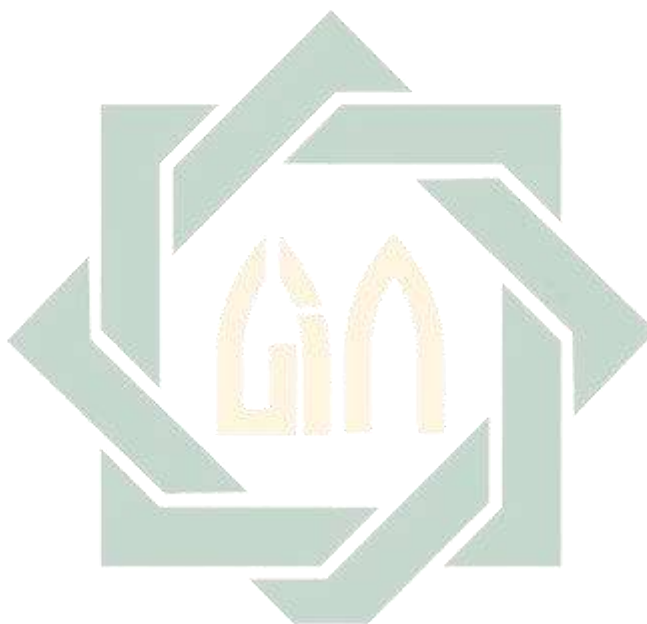
Kata kunci: BJB, Gula, Kadar Air, Kualitas, MEWMA, MEWMV, *Time Series*, Warna Larutan Gula

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	12
1.3. Tujuan Penelitian	13
1.4. Manfaat Penelitian	13
1.5. Batasan Masalah	13
1.6. Sistematika Penulisan	14
II TINJAUAN PUSTAKA	16
2.1. Model Umum <i>Vector Autoregressive</i> (VAR)	16
2.2. Stasioneritas	17
2.3. Identifikasi Model	19
2.3.1. <i>Correlation Matrix Function</i>	20
2.3.2. <i>Partial Correlation Matrix Function</i>	21
2.4. Estimasi Parameter Model	22
2.5. Pemeriksaan Asumsi Residual	23

2.5.1. Uji Asumsi Residual <i>White Noise</i>	23
2.5.2. Uji Distribusi Normal Multivariat	24
2.6. Pemilihan Model Terbaik	26
2.7. Uji Dependensi Variabel	26
2.8. Diagram Pengendalian Kualitas Statistik	27
2.8.1. Diagram Kendali <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV)</i>	28
2.8.2. Diagram Kendali <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)</i>	33
2.9. Analisis Kapabilitas Proses	34
2.10. Diagram Ishikawa	35
2.11. Proses Produksi Gula	36
2.12. Integrasi Keislaman	40
III METODE PENELITIAN	44
3.1. Sumber Data	44
3.2. Variabel Penelitian	44
3.3. Analisis Data	46
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1. Deskriptif Karakteristik Kualitas Gula	51
4.2. Pengecekan Autokorelasi Karakteristik Kualitas Gula	53
4.3. Pemodelan <i>Vector Autoregressive</i>	55
4.3.1. Identifikasi Stasioneritas	55
4.3.2. Penentuan Orde <i>Vector Autoregressive</i>	62
4.3.3. Estimasi Parameter Model	63
4.3.4. Pengujian Asumsi Residual	67
4.3.5. Pemeriksaan Uji Distribusi Normal Multivariat	69
4.4. Pengendalian Karakteristik Kualitas	70
4.4.1. Pengendalian Kualitas Pada Variabilitas Proses Produksi Gula (MEWMV)	70
4.4.2. Pengendalian Kualitas Pada Rata-Rata Proses Produksi Gula	77
4.5. Diagram Ishikawa	82

4.6. Analisis Kapabilitas Kualitas Proses Gula	84
4.7. Integrasi Keilmuan	85
V PENUTUP	89
5.1. Kesimpulan	89
5.2. Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	90



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

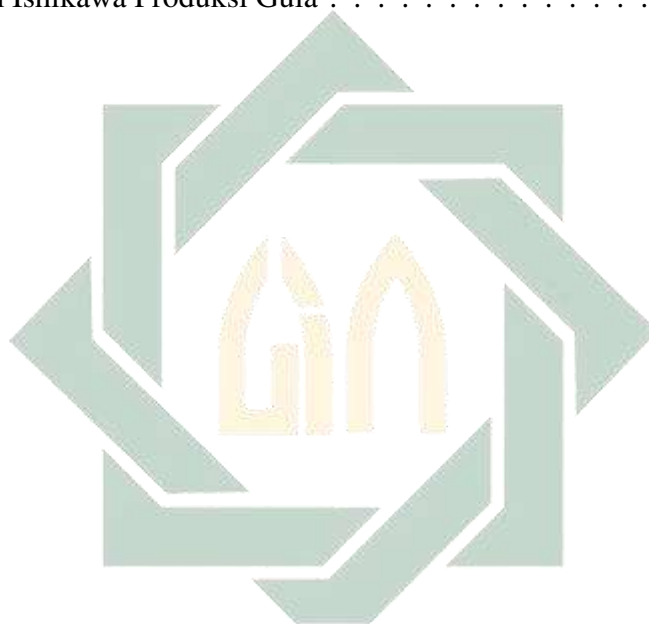
DAFTAR TABEL

2.1	Transformasi Box-Cox	18
3.1	Variabel Kualitas	44
3.2	Struktur data	46
4.1	Statistika Deskriptif Karakteristik Kualitas Gula	52
4.2	Identifikasi Uji Stasioneritas dalam Varians Setelah Transformasi	58
4.3	Uji ADF	59
4.4	Nilai <i>Akaike Information Criterion</i> (AIC)	63
4.5	Estimasi Parameter Model VARI(12,1)	63
4.6	Uji Portmanteu Model VAR(12,1)	67
4.7	Percobaan Perhitungan Diagram Kendali MEWMV Kombinasi ω dan λ Sama	70
4.8	Hasil Perhitungan BKA-BKB Diagram Kendali MEWMV	73
4.9	Hasil Perhitungan Berbagai Pembobot Diagram Kendali MEWMA	80
4.10	Analisis Kapabilitas Proses Secara Univariat	84
4.11	Analisis Kapabilitas Proses Secara Multivariat	85

DAFTAR GAMBAR

2.1	Flowsheet Proses Produksi Gula	37
3.1	Flowchart Penelitian	46
3.2	Flowchart Penelitian (Lanjutan)	47
4.1	Plot ACF Kadar Air	53
4.2	Plot ACF Warna Larutan Gula	54
4.3	Plot ACF Besar Jenis Butir	54
4.4	Box-Cox Plot Kadar Air	56
4.5	Box-Cox Plot Warna Larutan Gula	56
4.6	Box-Cox Plot Besar Jenis Butir	57
4.7	Box-Cox Plot Transformasi Besar Jenis Butir	58
4.8	Time Series Plot Kadar Air	60
4.9	Time Series Plot Warna Larutan Gula	60
4.10	Time Series Plot Besar Jenis Butir	60
4.11	Time Series Plot Kadar Air Setelah <i>Differencing</i>	61
4.12	Time Series Plot Warna Larutan Gula Setelah <i>Differencing</i>	61
4.13	Time Series Plot Besar Jenis Butir Setelah <i>Differencing</i>	62
4.14	Plot MPACF	62
4.15	Plot ACF Residual Kadar Air VARI(12,1)	68
4.16	Plot ACF Residual Warna Larutan Gula VARI(12,1)	68
4.17	Plot ACF Residual Besar Jenis Butir VARI(12,1)	69
4.18	Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega = 0.1, \lambda = 0.1, L = 2.7900$	71
4.19	Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega = 0.3, \lambda = 0.3, L = 3.6602$	72
4.20	Diagram Kendali MEWMV Terpilih dengan $\omega = 0.4, \lambda = 0.3, L = 3.9121$	75
4.21	Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega = 0.4, \lambda = 0.3, L = 3.9121$ Perbaikan I	76

4.22	Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega = 0.4$, $\lambda = 0.3$, $L = 3.9121$ Perbaikan II	77
4.23	Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0.1$	78
4.24	Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0.3$	79
4.25	Diagram Kendali MEWMA Terpilih dengan $\lambda = 0.1$	81
4.26	Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0.1$ Setelah Perbaikan I	82
4.27	Diagram Ishikawa Produksi Gula	83



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Amry, F., Kusnandar, D., and Debataraja, N. N. (2018). Model Vector Autoregressive (VAR) dalam Meramal Produksi Kelapa Sawit PTPN XIII. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, 7(2):77–84.
- Andini, E., Sudarno, S., and Rahmawati, R. (2021). Penerapan Metode Pengendalian Kualitas Mewma Berdasarkan ARL Dengan Pendekatan Rantai Markov (Studi Kasus: Batik Semarang 16, Meteseh). *Jurnal Gaussian*, 10(1):125–135. Diakses pada 16 Desember 2023.
- Arba, I. T., Wibawati, W., and Paramita, N. L. P. S. P. (2020). Pengendalian Kualitas Pengolahan Limbah Air PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk Menggunakan Grafik Kendali Multivariat Berbasis Time Series. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(2):D223–D231.
- Audina, B., Fatekurohman, M., and Riski, A. (2021). Peramalan Arus Kas dengan Pendekatan Time Series Menggunakan Support Vector Machine. 4(1):34–431.
- B. P. S. N., I. (2010). Gula Kristal–Bagian 3: Putih. *SNI*, 3140(3):1–18.
- Bisri, H. (2018). Menghilangkan Autokorelasi Pada Diagram Kontrol Shewhart Menggunakan Diagram Kontrol Residual Berdasarkan Model Extension Support Vector Regression.
- Cahyani, E. and Wachidah, L. (2020). Pemodelan Vector Autoregressive X (Varx) untuk Meramalkan Impor Ekspor Migas dan Non Migas di Indonesia. *Prosiding Statistika*, 6(2):41–48.

- Damiana (2023). Produksi Gula RI Diramal Turun, Ini Biang Keroknya. Diakses pada 04 Desember 2023.
- Desi, D., Rizki, S. W., and Yundari, Y. (2022). Combined Model Time Series Regression - ARIMA on Stocks Prices. *Tensor: Pure and Applied Mathematics Journal*, 3(2):65–72.
- Ditjenbun (2023). Tingkatkan Protas Tebu Menuju Swasembada Gula Nasional. Diakses pada 15 November 2023.
- Ekasari, N., Paramita, N. L. P. S. P., and Mashuri, M. (2019). Pengendalian Kualitas Bahan Bakar Gas PT Indonesia Power UPJP-PGT Pasuruan Peta Kendali Univariate Berbasis Model Time Series. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(2):D162–D167.
- El Vinie, R. A., Martha, S., and Rizki, S. W. (2019). Model Vector Autoregressive Exogenous (VARX) dalam Memprediksi Hasil Produksi Karet PTPN XIII Provinsi Kalimantan Barat. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, 8(4):667–674.
- Fitriasari, D., Suharsono, A., and Paramita, N. L. P. S. P. (2019). Pengendalian Kualitas Bulb Lampu Pijar Tipe PS 47 di PT. Sinar Angkasa Rungkut Menggunakan Diagram Kendali Multivariat. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(2):D82–D88.
- Gujarati, D. N. and Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics*. New York The McGraw-Hill, Inc.
- Hairiyah, N., Amalia, R. R., and Luliyanti, E. (2019). Analisis Statistical Quality

- Control (SQC) pada Produksi Roti di Aremania Bakery. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 8(1):41–48.
- Hasananda, S. and Wibawati, W. (2023). Pengendalian Kualitas Statistik Air Higiene Sanitasi Menggunakan Peta Kendali SSRM. *Inferensi*, 1(1):41–52.
- Hindayani, A. and Hamim, N. (2022). Akurasi dan Presisi Metode Sekunder Pengukuran Konduktivitas Menggunakan Sel Jones Tipe E untuk Pemantauan Kualitas Air Minum. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 5(1):41–51.
- Huwang, L., Yeh, A. B., and Wu, C.-W. (2007). Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observations. *Journal of Quality technology*, 39(3):258–278.
- Irma, I., Anggraini, D., and Farid, F. M. (2022). Peta Kendali Multivariat np. *RAGAM: Journal of Statistics & Its Application*, 1(1):74–87.
- Jannah, M., Ramadhani, E., and Siregar, L. R. (2023). Penerapan Bagan Kendali MEWMA-MEWMV pada Pengendalian Kualitas Lulusan Prodi Statistika FMIPA Universitas Syiah Kuala. *Inferensi*, 6(1):73–82.
- Kashi, R. Y. and Widodo, E. (2019). Pengendalian Kualitas Crude Palm Oil (CPO) Dengan Diagram Kontrol Multivariat Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA). In *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, volume 2, pages 848–853.
- Kostenko, A. V. and Hyndman, R. J. (2008). Forecasting without significance tests. *manuscript, Monash University, Australia*.

Maharani, A. A., Mustafid, M., and Sudarno, S. (2018). Penerapan Diagram Kontrol MEWMA Dan MEWMV Pada Pengendalian Karakteristik Kualitas Air (Studi Kasus: Kualitas Pengolahan Air II PDAM Tirta Moedal Kota Semarang). *Jurnal Gaussian*, 7(1):23–32.

Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley Sons.

Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods*. New York: Mc Graw Hill Publishing Company, 3 edition.

Nesari, N., Mustafid, M., and Widiariyah, T. (2023). Penerapan Diagram Kontrol MEWMA Dalam Pengendalian Kualitas Produksi Keripik Singkong Pada Umkm Di Kota Semarang. *Jurnal Gaussian*, 11(3):355–365.

Nisar, N. and Suharsono, A. (2020). Pengendalian Kualitas Film Biaxially Oriented Polypropylene (BOPP) di PT. Trias Sentosa Tbk Sidoarjo Menggunakan Metode Diagram Kendali Multivariat. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(2):D321–D328.

Nurhayati, S. and Suliadi (2022). Diagram Kendali Multivariat Poisson untuk Pengendalian Kualitas Proses Produksi di PT. X. *Jurnal Riset Statistika*, pages 57–64.

PTPNX (2016). PG Pesantren Baru Siap Produksi Gula Premium. Diakses pada 24 November 2023.

Rosidin, A. M. and Sirodj, D. A. N. (2022). Diagram Kontrol U dan Diagram Kontrol DOB dalam Pengendalian Kualitas Produksi Tepung. *Jurnal Riset Statistika*, pages 35–42.

- Sampelawang, D. T. (2021). Laporan Praktik Kerja Lapangan Proses Pengolahan Gula PT. Perkebunan Nusantara X PG. Pesantren Baru Kediri. Diakses pada 24 November 2023.
- Shiyamy, A. F., Rohmat, S., Sopian, A., and Djatnika, A. (2021). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Dengan Statistical Process Control. *Komitmen: Jurnal Ilmiah Manajemen*, 2(2):32–44.
- Sintia, G. and Pratiwi, N. (2021). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Minyak Zaitun Menggunakan Peta Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average dan Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance. *Jurnal Statistika Industri dan Komputasi*, 6(2):113–122.
- Siswanda, A. H. and Aridinanti, L. (2022). Kapabilitas Proses Pembelajaran Daring di Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 11(3):D282–D289.
- Sitohang, M. (2022). Prospek Swasembada gula Indonesia menggunakan model sistem dinamik. *Jurnal Agriust*, pages 67–76. Diakses pada 16 Desember 2023.
- Suharyanto, Herlina, R. L., and Mulyana, A. (2022). Analisis pengendalian kualitas produk waring dengan metode seven tools di cv. kas sumedang. *Jurnal TEDC*, 16(1):37–49.
- Suhermi, N., Puspitaningrum, R., and Suharsono, A. (2019). Diagram Kendali MEWMV Dan MEWMA Berbasis Model Time Series Pada Data Berautokorelasi: Studi Kasus Gula Kristal Putih. *MEDIA STATISTIKA*, 12(1):26–38.
- Suseno, S. and Hermansyah, R. A. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Produk

- Gula Menggunakan Metode Six Sigma Pada PT Madu Baru. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 2(2):489–504.
- Taufiqi, M. S. and 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.
- Tiao, G. C. and Box, G. E. (1981). Modeling Multiple Time Series with Applications. *journal of the American Statistical Association*, 76(376):802–816.
- Villasenor Alva, J. A. and Estrada, E. G. (2009). A generalization of Shapiro–Wilk’s test for multivariate normality. *Communications in Statistics—Theory and Methods*, 38(11):1870–1883.
- Wei, W. W. (2018). *Multivariate Time Series Analysis and Applications*. John Wiley Sons.
- Wei, W. W. S. (2006). *Time Series Analysis, Univariate and Multivariate Methods*. Pearson Education, second edition.
- Wibawati and Fadhila, A. N. (2023). A Monitoring Kualitas Kaca Panasab dengan Diagram Kontrol MEWMA. *Proximal: Jurnal Penelitian Matematika dan Pendidikan Matematika*, 6(1):70–78.