

Implementasi grafik pengendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) pada pengendalian kualitas proses produksi gula: Studi kasus PT PG Rajawali I Kabupaten Malang

Mutimatul Fadlilah

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
e-mail : 220601110038@student.uin-malang.ac.id

Kata Kunci:

MEWMA, pengendalian kualitas, gula kristal putih, grafik pengendali, statistik multivariat

Keywords:

MEWMA, quality control, white crystal sugar, control chart, multivariate.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas penerapan grafik pengendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) dalam pengendalian kualitas proses produksi gula kristal putih (GKP) di PT PG Rajawali I Kabupaten Malang. GKP merupakan salah satu komoditas strategis yang permintaannya terus meningkat, sehingga pengendalian kualitas menjadi aspek penting untuk memastikan produk sesuai dengan standar nasional maupun kebutuhan konsumen. Dalam penelitian ini, pengendalian kualitas dilakukan dengan menganalisis tiga variabel karakteristik mutu, yaitu kadar air, berat jenis butir, dan warna larutan (ICUMSA). Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan data sekunder yang diperoleh dari

bagian Quality Assurance PT PG Rajawali I selama periode giling 16 Mei – 20 Juli 2025. Analisis dilakukan melalui uji normalitas multivariat, uji korelasi antar variabel, dan pembentukan grafik pengendali MEWMA dengan berbagai nilai pembobot (λ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh pengamatan grafik MEWMA menghasilkan sinyal out of control, yang berarti terdapat variasi dalam proses produksi. Pembobot optimal diperoleh pada $\lambda = 0,1$ karena lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran kecil pada rata-rata proses. Temuan ini mengindikasikan bahwa faktor produksi di stasiun penguapan, masakan, dan puteran berpengaruh signifikan terhadap kualitas gula. Dengan demikian, implementasi grafik MEWMA terbukti efektif sebagai alat monitoring mutu yang mampu memberikan deteksi dini, mengurangi tingkat cacat produk, serta meningkatkan efisiensi produksi gula kristal putih di masa mendatang.

ABSTRACT

This study discusses the application of the Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) control chart in monitoring the quality of white crystal sugar (GKP) production at PT PG Rajawali I, Malang Regency. GKP is one of the strategic commodities in Indonesia whose demand continues to increase, making quality control an essential aspect to ensure that products meet both national standards and consumer needs. In this research, quality control was carried out by analyzing three key quality characteristics, namely moisture content, grain specific gravity, and solution color (ICUMSA). The research employed a quantitative approach using secondary data obtained from the Quality Assurance division of PT PG Rajawali I during the milling period from May 16 to July 20, 2025. The analysis included a multivariate normality test, correlation analysis among variables, and the construction of MEWMA control charts with various weighting factors (λ). The results showed that all MEWMA charts indicated out-of-control signals, which reflects the presence of variation in the production process. The optimal weighting factor was identified at $\lambda = 0.1$, as it was the most sensitive in detecting small shifts in the process mean. These findings suggest that production stages such as evaporation, cooking, and centrifugation significantly affect sugar quality. Thus, the implementation of the MEWMA chart proved



This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

to be effective as an early-warning statistical tool to detect deviations, reduce product defects, and improve the efficiency of white crystal sugar production.

Pendahuluan

Latar Belakang

Kualitas produk merupakan faktor fundamental karena menentukan kesesuaian dengan tujuan penggunaannya (Montgomery, 2013) dan sangat memengaruhi minat konsumen. Untuk menjaga kestabilan mutu, diperlukan pengendalian kualitas sebagai serangkaian teknik yang memastikan produk memenuhi spesifikasi (Aden dkk., 2019). Salah satu metode yang digunakan adalah pengendalian kualitas statistik melalui grafik kendali (Montgomery, 2013).

Grafik kendali pertama kali diperkenalkan oleh Shewhart (1924), namun grafik ini kurang sensitif dalam mendeteksi pergeseran kecil. Roberts (1959) kemudian mengembangkan grafik Exponentially Weighted Moving Average (EWMA), yang lebih efektif mendeteksi pergeseran rata-rata kecil. Untuk data multivariat, metode ini dikembangkan menjadi Multivariate EWMA (MEWMA). Grafik MEWMA lebih robust terhadap pelanggaran asumsi kenormalan sehingga cocok digunakan pada data industri yang dinamis (Rio dkk., 2013).

Penggunaan grafik kendali banyak diaplikasikan di industri, termasuk gula kristal putih (GKP), salah satu bahan pokok di Indonesia. Permintaan GKP terus meningkat, namun produksi dalam negeri masih jauh dari kebutuhan, yaitu 2,7 juta ton dari total 6,8 juta ton pada 2023. Hal ini menjadi tantangan besar dalam meningkatkan kuantitas sekaligus kualitas. PT PG Rajawali I di Kabupaten Malang sebagai salah satu produsen gula BUMN melakukan pengendalian mutu dengan memantau kadar air, berat jenis butir, dan warna larutan gula (ICUMSA). Faktor lain seperti rendemen tebu juga berpengaruh signifikan terhadap kualitas gula (Hartatie dkk., 2022).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menerapkan grafik MEWMA untuk pengendalian kualitas produksi GKP di PT PG Rajawali I, dengan harapan dapat meningkatkan mutu, menekan cacat produk, serta mendukung efisiensi produksi.

Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah kuantitatif dengan menggunakan data sekunder dari bagian Quality Assurance PT PG Rajawali I Kabupaten Malang. Data mencakup tiga variabel kualitas gula, yaitu kadar air, berat jenis butir, dan warna larutan (ICUMSA). Data diambil pada periode 16 Mei – 20 Juli 2025. Analisis dilakukan melalui uji normalitas multivariat, uji korelasi, dan pembuatan grafik pengendali MEWMA dengan berbagai nilai pembobot λ (0,1 hingga 0,9). Kriteria pemilihan λ optimal berdasarkan kriteria tertentu.

Pembahasan

Langkah awal memahami karakteristik variabel-variabel yang digunakan dimana pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui gambaran umum katakteristik data yang

akan diuji. Kualitas variabel-variabel yang diamati adalah kadar air (X_1), berat jenis butir (X_2), dan warna larutan (X_3). Deskripsi kualitas gula disajikan pada tabel 1.

Tabel 1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Gula

Variabel	N	Minimal	Maksimal	Rata-rata	Varians	Batas Standar
X_1	66	0,02	0,04	0,0322727	0,0000209	$\leq 0,1\%$
X_2	66	0,8	1,06	0,892576	0,0704710	0,2–1,2 mm
X_3	66	266,05	299,63	295,474	36,4912	76–300 IU

Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa rata-rata kadar air gula pada Mei–Juli 2025 sebesar 0,0322727 dengan varians 0,0000209, nilai yang relatif kecil dan masih di bawah batas maksimum SNI, sehingga memenuhi standar kualitas. Variabel berat jenis butir memiliki rata-rata 0,892576 dengan varians 0,0704710 serta nilai maksimum 1,06 yang juga berada di bawah standar SNI. Sementara itu, variabel warna larutan memiliki rata-rata 295,474 dengan varians 36,4912, dan nilai maksimum 0,04 yang masih sesuai ketentuan SNI. Dengan demikian, gula yang diproduksi PT PG Rajawali I telah memenuhi standar kualitas nasional untuk didistribusikan ke masyarakat.

Data berdistribusi normal multivariat merupakan asumsi yang harus terpenuhi untuk meakukan pengendalian kualitas menggunakan grafik pengendalian multivariat dan analisis kapabilitas. Dengan menghitung nilai d_j^2 dengan persamaan $d_j^2 = (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{x}})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_j - \bar{\mathbf{x}})$, selanjutnya bandingkan dengan $\chi_{3,0.5}^2 = 2,366$, hasilnya berada di tabel 2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Nilai d_j^2

j	d_j^2	$\chi_{3,0.5}^2$	Keterangan
1	1,12702	2,366	Lebih kecil
2	6,97140	2,366	Lebih besar
3	5,67495	2,366	Lebih besar
4	3,81658	2,366	Lebih besar
5	6,34208	2,366	Lebih besar
6	18,03813	2,366	Lebih besar
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
66	1.56657	2,366	Lebih kecil

Berdasarkan Tabel 2, dari 66 pengamatan terdapat $\geq 50\%$ nilai d_j^2 lebih kecil dari nilai $\chi_{3,0.5}^2 = 2,366$. Maka terdapat diasumsikan data karakteristik kualitas gula berdistribusi normal.

Data yang digunakan merupakan data multivariat sehingga perlu dilakkuakn uji korelasi antar variabel untuk mengetahui ketiga variabel tersebut berhubungan. Uji korelasi yang digunakan adalah uji korelasi variabel menggunakan uji Bartlett

Dengan hipotesis

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

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

Statistika uji:

$$\chi^2_{hitung} = - \left(n - 1 - \frac{(2m + 5)}{6} \right) \ln |\mathbf{R}| \quad (2.1)$$

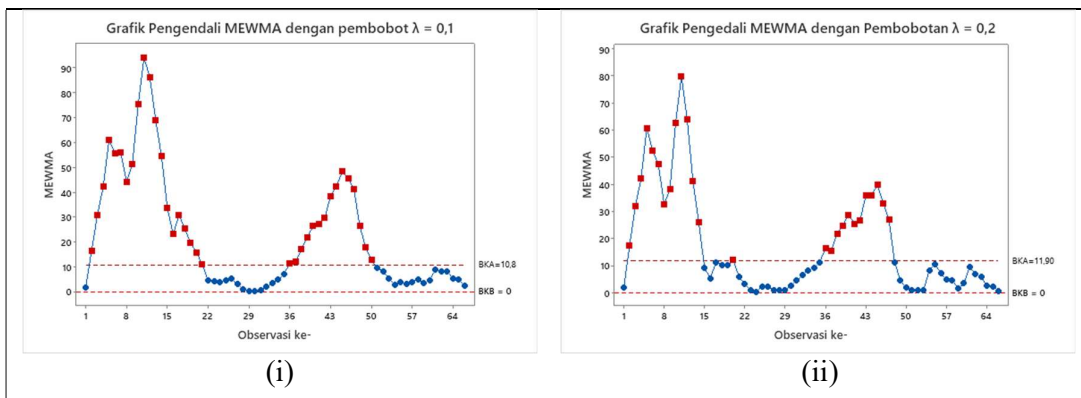
$$\chi^2_{hitung} = 8,820$$

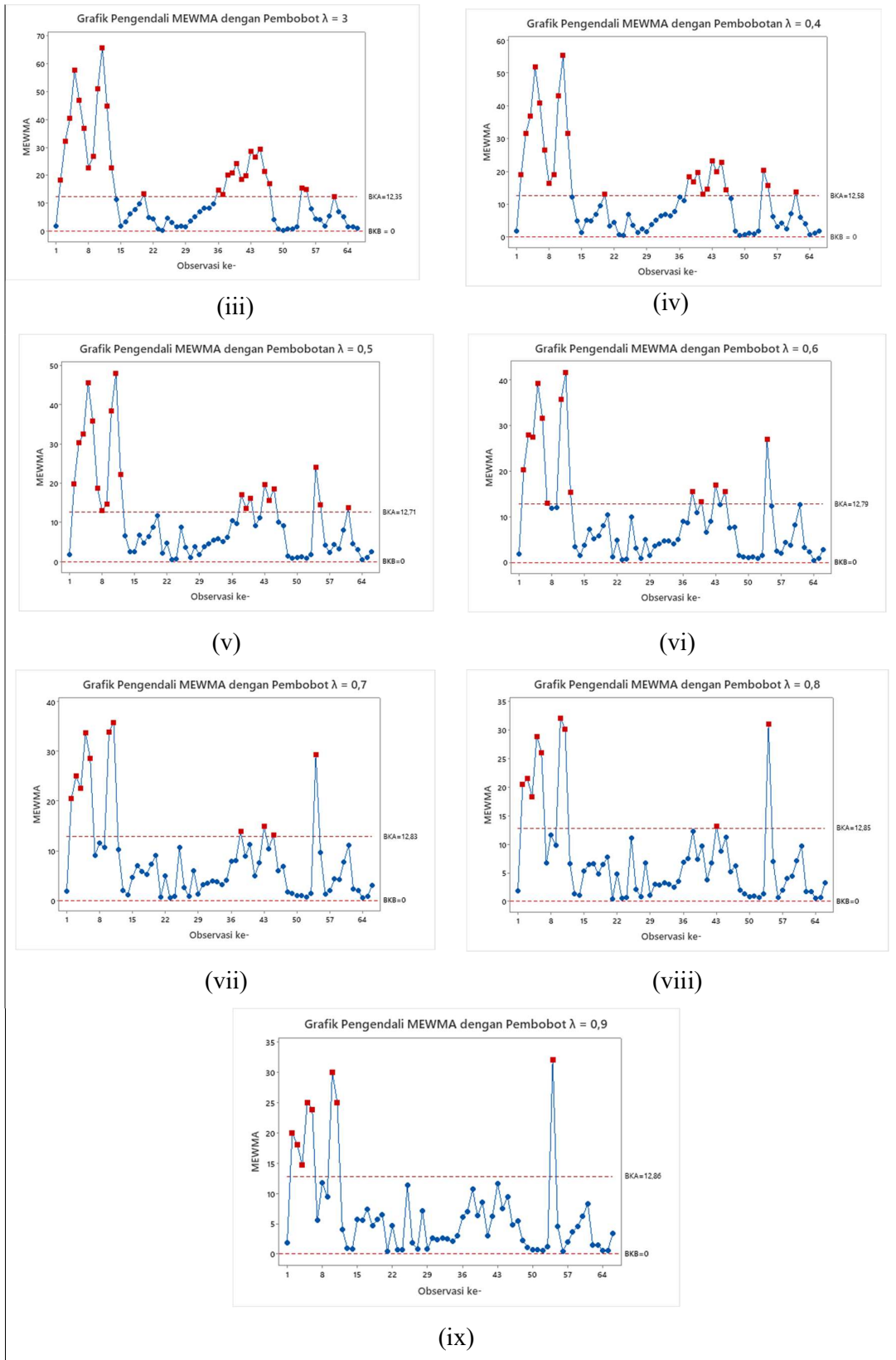
$$p - value = 0,032$$

Pada taraf signifikansi $\alpha = 5\%$ H_0 ditolak, karena nilai χ^2_{hitung} sebesar 8,820 > $\chi^2_{(0,05;3)}$ sebesar 7,815 dan $p - value$ bernilai 0,032 < α sebesar 0,05. Dapat disimpulkan bahwa variabel pada kualitas gula terdapat korelasi.

Setelah dilakukan uji multivariat dan uji korelasi yang sudah terpenuhi, langkah selanjutnya yaitu membuat grafik pengendali MEWMA. Pembuatan grafik pengendali MEWMA akan menghasilkan pembobot yang optimal. Pada penelitian ini tidak di berikan pembobot yang berbeda pada masing-masing karakteristik kualitas, artinya $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda$. Nilai pembobot λ yang optimal dapat di peroleh melakukan simulasi dan pembuatan grafik pengendali MEWMA terlebih dahulu. Simulasi yang digunakan dengan menggunakan pembobot $\lambda \in \{0,1; 0,2; \dots; 0,9\}$. Kemudian, akan dipilih pembobot λ optimal dengan kriteria tertentu.

Langkah awal yang harus dilakukan dengan menghitung T_j^2 dengan niali $j = 1,2,3,\dots, 66$. Hasil perhitungan T_j^2 pada MEWMA terlampir pada lampiran 3 dan 4. Selanjutnya ditentukan batas kendala bawah dan batas kendala atas dari grafik pengendali MEWMA. Adapun batas kendali bawah adalah 0 dan nilai batas kendali atas tergantung pada nilai pembobot λ . Kemudian, di bentuk grafik pengendali MEWMA dengan batas kendala dan nilai $T_1^2, T_2^2, \dots, T_{66}^2$ yang sudah di ketehui. Pembuatan Grafik dengan Menggunakan aplikasi minitabe.





Gambar 1 Grafik Pengendali MEWMA dengan Pembobot $\lambda \in \{0,1; 0,2; \dots; 0,9\}$

Hasil grafik pengendali MEWMA dengan pembobotan $\lambda = 0,1$ hingga $\lambda = 0,9$ disajikan dalam gambar 1. pada gambar tersebut memberikan informasi pergerakan rata-rata proses produksi gula di PT PG Rajawali I Kabupaten Malang. Secara berurutan dari (i) – (ix), disajikan grafik pengendali MEWMA dengan pembobot λ sebesar 0,1 sampai 0,9. Grafik yang dihasilkan dari sembilan besaran pembobot yang berbeda memiliki pola yang hampir sama.

Gambar 1 menunjukkan bahwa grafik (i) – (ix) memiliki batas kendali atas yang berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi pada besaran pembobot yang sedang diuji. Pada grafik pengendali MEWMA dengan pembobot $\lambda = 0,1$ memiliki batas kendali atas sebesar 10,8. Kemudian, secara berurutan dari grafik pengendali MEWMA dengan pembobot $\lambda = 0,2$ hingga $\lambda = 0,9$ memiliki batas kendali atas sebesar 11,0; 12,35; 12,58; 12,71; 12,79; 12,83; 12,85; 12,86. Pada gambar 1 menunjukkan adanya potensi pengendalian kualitas proses produksi gula yang tidak terkendali secara statistik.

Setelah dilakukan pembuatan grafik pengendali MEWMA untuk pembobot $\lambda \in \{0,1; 0,2; \dots; 0,9\}$. Selanjutnya akan dipilih pembobot optimal. Pemilihan pembobotan optimal berdasarkan kriteria berikut:

- 1) Selisih nilai mutlak antara T_j^2 tertinggi dengan batas kendali atas yang paling kecil $\min(|\max(T_j^2 - BKA)|)$.
- 2) Nilai rata-rata paling kecil dari mutlak T_j^2 dengan batas kendali atas $\min(|T_j^2 - BKA|)$
- 3) Banyak pengamatan yang out of control pada setiap grafik pengendali.

Tabel 3 Nilai Kriteria Pembobot Optimal MEWMA

λ	BKA	Max (T_j^2)	$ \max(T_j^2 - BKA) $	$ T_j^2 - BKA $	Banyak Pengamatan Out of Control
0,1	10,8	9,711885	1,088115	8,047558	35
0,2	11,0	11,86374	0,86374	8,174708	26
0,3	12,35	16,91608	4,56608	9,519235	14
0,4	12,58	21,30943	8,72943	9,827182	24
0,5	12,71	24,79596	12,086	10,05624	20
0,6	12,79	27,36557	14,5756	10,23475	14
0,7	12,83	29,09573	16,26573	10,40273	11
0,8	12,85	30,07356	17,22356	10,54867	9
0,9	12,86	30,36665	17,50665	10,67357	8

Berdasarkan table 2, diperoleh informasi bahwa nilai selisih T_j^2 tertinggi dengan batas kendali atas yang paling kecil adalah sebesar 0,86374 pada nilai pembobot $\lambda = 0,2$. Kemudian, nilai rata-rata paling kecil dari hasil mutlak selisih T_j^2 dan batas kendali atas adalah 8,047558 pada nilai pembobot $\lambda = 0,1$. Sedangkan jumlah pengamatan yang out of control paling banyak, yaitu sebesar 35, terjadi pada pembobot $\lambda = 0,1$. Dengan demikian, pembobot yang memenuhi kriteria paling optimal pada grafik pengendali MEWMA adalah pembobot $\lambda = 0,1$ yang merupakan grafik pengendali MEWMA paling sensitif dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses.

Grafik pengendali MEWMA dengan pembobot optimal $\lambda = 0,1$ memiliki batas kendali atas sebesar 10,8. Pada Gambar 1 terlihat bahwa seluruh pengamatan keluar dari batas kendali atas.. Pengamatan tersebut berlokasi di JL. Raja Krebet, Krebet, Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang. Adanya sinyal *out of control* ini diduga dipengaruhi oleh tahapan dalam proses produksi gula yang dilakukan oleh PT PG Rajawali I Kabupaten Malang di wilayah Krebet, Bululawang. Variabel kadar air lebih banyak dipengaruhi oleh stasiun penguapan, berat jenis butir oleh stasiun masakan dan puteran, sedangkan warna larutan gula dipengaruhi oleh stasiun gilingan, pemurnian, masakan, serta puteran. Pada stasiun gilingan, penggunaan tebu yang kurang segar dapat meningkatkan non-sukrosa sehingga larutan gula lebih pekat. Di stasiun pemurnian, proses defekasi, sulfitasi, atau karbonatasi yang tidak optimal menyebabkan pengotor tidak sepenuhnya terpisah dan memengaruhi kejernihan larutan gula. Pada stasiun penguapan, pengolahan yang kurang sempurna membuat kadar air tetap tinggi dan menurunkan daya simpan gula.

Sementara itu, di stasiun masakan, ketidakstabilan kristalisasi, pendinginan, dan pengadukan menghasilkan butiran tidak seragam sehingga berat jenis butir menyimpang, ditambah suhu pemasakan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan karamelisasi dan perubahan warna gula. Pada stasiun puteran, pemisahan yang kurang sempurna memungkinkan molase terbawa, yang akhirnya memengaruhi berat jenis maupun warna larutan gula. Kondisi tersebut berimplikasi pada terganggunya proses produksi dan distribusi gula, sehingga berdampak pada karakteristik kualitas gula kristal putih.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dibahas pada BAB IV, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai bahwa hasil penerapan grafik MEWMA pada proses produksi gula di PT PG Rajawali I Kabupaten Malang. Grafik pengendali MEWMA dengan semua pembobot $\lambda \in \{0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$ mendeteksi adanya sinyal *out of control*. Artinya, terdapat suatu hal yang menyebabkan nilai statistik tersebut melebihi dari batas kendali yang telah ditetapkan. Berdasarkan kriteria statistik yang telah ditentukan, dipilih satu pembobot λ sebagai pembobot optimal sebesar 0,1. Pembobot ini merupakan pembobot dengan hasil paling sensitive terhadap hasil Grafik pengendali MEWMA. Adanya nilai yang keluar dari batas kendali ini berarti terdapat nilai statistik yang keluar dari batas kendali. Pada dasarnya, nilai statistik yang keluar dari batas kendali belum tentu keluar dari batas spesifikasi.

Berdasarkan hasil dan pembahasan, peneliti memberikan beberapa saran untuk perbaikan penelitian maupun praktik pengendalian mutu di lapangan. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan lebih banyak variabel karakteristik kualitas GKP serta mengidentifikasi secara tepat variabel yang paling berpengaruh terhadap mutu gula. Selain itu, perlu dilakukan identifikasi yang lebih spesifik terkait penyebab timbulnya sinyal *out of control* pada pengamatan sehingga dapat ditangani secara tepat. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan bahan evaluasi oleh pihak instansi dalam upaya meningkatkan kualitas produksi. Lebih lanjut, analisis pengendalian kualitas sebaiknya

dilakukan secara berkala dengan menggunakan data terbaru agar hasil pemantauan mutu tetap akurat dan relevan dengan kondisi produksi di pabrik.

Daftar Pustaka

- Andini, E., Sudarno, S., & 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. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.v10i1.30939>
- Fahlevi, R., Yasin, H., & Ispriyanti, D. (2020). KOMPUTASI METODE MULTIVARIATE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE (MEWMA) UNTUK PENGENDALIAN KUALITAS PROSES PRODUKSI MENGGUNAKAN GUI MATLAB (STUDI KASUS: PT. Pismatex Textile Industry Pekalongan). *Jurnal Gaussian*, 9(3), 283–291. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.v9i3.28908>
- FAO. (2022). OECD-FAO Agricultural Outlook - OECD-FAO Agricultural Outlook. In *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030*. https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2023-2032_o8801ab7-en%0Ahttps://www.agri-outlook.org/
- Irsyad, T., Wuryandini, E., Yunus, M., & Hadi, D. P. (2020). Analisis Keaktifan Mahasiswa dalam Proses Pembelajaran Statistika Multivariat. *Jurnal Pendidikan Ekonomi Undiksha*, 12(1), 89. <https://doi.org/10.23887/jjpe.v12i1.24294>
- Jannah, M., Ramadhani, E., & Siregar, L. R. (2023). Penerapan Bagan Kendali MEWMA-MEWMV pada Pengendalian Kualitas Lulusan Prodi Statistika FMIPA Universitas Syiah Kuala. *Inferensi*, 6(1), 73. <https://doi.org/10.12962/j27213862.v6i1.14457>
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (7th ed.). NJ: John Wiley & Sons.
- Pratama, D. S. (2023). Penerapan grafik pengendali MEWMA dengan model time series dalam pengendalian kualitas produksi gula kristal putih (Studi kasus: PG Madukismo Yogyakarta). <http://etheses.uin-malang.ac.id/51791/>
- Pratama, D. S., & Rozi, F. (2024). Implementation of MEWMA chart using time series model for monitoring the white crystal sugar quality. *BAREKENG: Journal of Mathematics and Its Applications*, 18(2), 809–820. <https://repository.uin-malang.ac.id/19405/>
- Putri, R. S. W. (2012). *The effect of sea water abrasion on concrete with sugar based additives in terms of specific gravity, compressive strength, and porosity*.
- Rozi, F. (2016). Konstruksi grafik pengendali EWMA menggunakan teknik transformasi fuzzy & fuzzy rules. Research Report. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. <https://repository.uin-malang.ac.id/2887/>
- Rozi, F. (2012, November 3). Aplikasi grafik pengendali fuzzy multinomial pada pengendalian kualitas proses di industri jasa. Seminar Nasional Matematika dan Terapan (SNMTT), Medan, Indonesia. <https://repository.uin-malang.ac.id/123/>
- Rofikoh, B., & Rozi, F. (2011). Kajian grafik pengendali dan analisis kemampuan proses statistik berdistribusi gamma pada produksi air PDAM. In *Proceeding 2nd National Conference on Green Technology: Eco-technology for Sustainable Living* (pp. F1–F4). Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik

Ibrahim Malang. ISBN: 978-602-97320-2-3. <https://repository.uin-malang.ac.id/271/>

Sari, R. S. (2024). Penentuan Warna Pada Gula Kristal Rafinasi Dengan Metode Icumsa Untuk Jenis Gula R1 Dan R2 Pada Pt. Xyz. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 13(1), 20–26. <https://doi.org/10.32520/jtp.v13i1.3177>

Wilberta, N., Sonya, N. T., & Lydia, S. H. R. (2021). ANALISIS KANDUNGAN GULA REDUKSI PADA GULA SEMUT DARI NIRA AREN YANG DIPENGARUHI pH DAN KADAR AIR. *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 12(1), 101. <https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v12i1.3760>