

Process Capability Analysis of OPC Cement Production Using Statistical Process Control and IMR Method: Blaine Test Evaluation

Wafiq Alya Aufa¹, Yenni Kurniawati², Admi Salma³, Darwas⁴

^{1,2,3}Departemen Statistika, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

⁴Quality Assurance, Semen Padang, Padang, Indonesia

*Corresponding author: yennikurniawati@fmipa.unp.ac.id

Submitted : 07 Juni 2025

Revised : 26 Agustus 2025

Accepted : 28 Agustus 2025

ABSTRACT

The main challenge in cement production at PT Semen Padang is maintaining consistent product quality, particularly the fineness of cement particles measured by the Blaine test. Variations in raw materials and the production process can cause fluctuations in quality, which affect the performance of the final product. Therefore, it is crucial to monitor and control process stability and capability to consistently meet product specifications. Based on the Statistical Process Control (SPC) analysis using Individuals and Moving Range (I-MR) control charts on 28 observations of Ordinary Portland Cement (OPC) Blaine values from February 2025, one out-of-control point was detected on the Moving Range chart between observations 16 and 17, indicating a significant variation. However, all points on the Individuals chart remained within control limits, suggesting that the individual process values were still under control. After revising the outlier data, the process was confirmed stable. Process capability analysis showed a C_p value of 2.17 and a C_{pk} value of 1.98, indicating that the production process is not only statistically stable but also highly capable of meeting quality specifications. Therefore, despite some variation between data points, the cement production process at PT Semen Padang can be considered stable and capable. Nevertheless, periodic evaluations are recommended to maintain consistent product quality and provide strategic recommendations for the Quality Assurance division in implementing data-driven quality control.

Keywords: Blaine Test, Cement Quality, Control Chart, Process Capability, Statistical Process Control



This is an open access article under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2025 by author and Universitas Negeri Padang.

I. PENDAHULUAN

Pengendalian kualitas dalam industri manufaktur memegang peranan penting untuk menjaga kestabilan proses dan memastikan produk memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Salah satu pendekatan yang terbukti efektif dalam mengidentifikasi variabilitas proses dan mengevaluasi kapabilitas produksi adalah *Statistical Process Control* (SPC). Metode ini menggunakan alat bantu statistik seperti I-MR (*Individual-Moving Range*) Chart untuk menganalisis kestabilan proses secara visual, serta analisis kapabilitas proses (dengan indeks C_p dan C_{pk}) untuk menilai kemampuan proses dalam memenuhi batas spesifikasi yang telah ditentukan. Sejumlah studi sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan SPC dapat meningkatkan efektivitas pengendalian mutu di berbagai sektor industri (Sukmawati & Wijayaningrum, 2024; Sulistiyo & Vitasari, 2023). Meskipun begitu, pemanfaatan metode ini secara spesifik dalam industri semen, terutama untuk pengujian kehalusan semen (*Blaine test*), masih terbatas terutama dalam konteks industri nasional seperti PT Semen Padang.

Kehalusan semen, yang umumnya diukur menggunakan metode Blaine, merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian kualitas semen. Tingkat kehalusan partikel semen berpengaruh langsung terhadap karakteristik penting seperti kekuatan tekan awal, waktu pengerasan, dan performa jangka panjang produk di lapangan. Oleh karena itu, pengendalian kualitas yang akurat terhadap parameter ini sangat penting. Sebagai salah satu produsen semen terbesar di Indonesia, PT Semen Padang secara rutin melakukan pengujian kualitas melalui Unit Quality Assurance. Namun,

selama proses produksi, masih ditemukan variasi hasil uji Blaine yang tidak terkendali, yang berpotensi menyebabkan penurunan kualitas dan meningkatkan risiko produk tidak memenuhi spesifikasi.

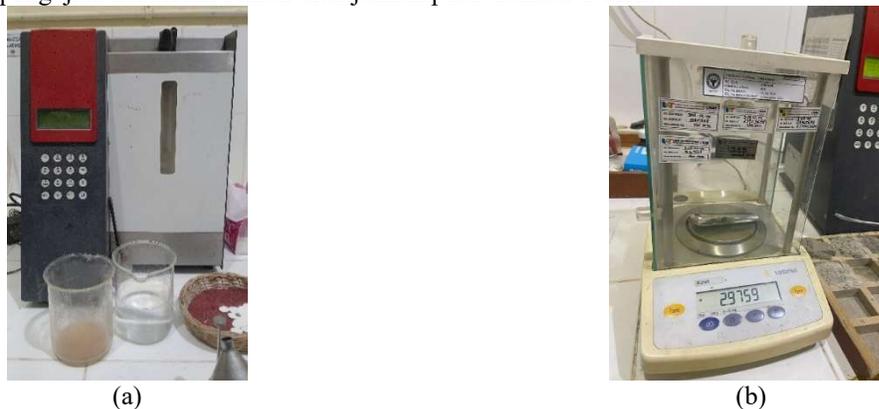
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kestabilan dan kapabilitas proses produksi semen jenis *Ordinary Portland Cement* (OPC) berdasarkan data hasil uji Blaine pada bulan Februari 2025. Dengan menerapkan pendekatan *Statistical Process Control* (SPC), khususnya melalui penggunaan *I-MR chart* serta analisis C_p dan C_{pk} , penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan proses produksi secara statistik sekaligus menilai apakah kapabilitasnya sudah memadai dalam memenuhi batas spesifikasi internal perusahaan. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan evaluasi berbasis data terhadap sistem pengendalian kualitas yang ada, sekaligus menjadi dasar pertimbangan bagi tim Quality Assurance PT Semen Padang dalam meningkatkan efektivitas proses produksi dan pengambilan keputusan manajerial ke depan.

II. METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif berupa hasil pengujian tingkat kehalusan semen (uji Blaine) pada produk *Ordinary Portland Cement* (OPC). Data tersebut diperoleh dari Unit Quality Assurance PT Semen Padang, yang merupakan unit pengendali mutu internal perusahaan. Data dikumpulkan selama periode Februari 2025, dengan jumlah observasi sebanyak 28 sampel yang diambil dari beberapa unit produksi, yaitu CM 06, CM 08, CM 09, CM 10, CM 11, dan CM 12.

Seluruh data yang digunakan merupakan data primer yang bersumber dari pencatatan operasional harian di laboratorium pengujian fisika semen dan telah melalui proses validasi oleh pihak laboratorium sebelum dianalisis secara statistik. Kehalusan semen ditentukan melalui pengujian menggunakan alat ToniPERM II, yaitu alat uji Blaine modern yang bekerja berdasarkan prinsip permeabilitas udara terhadap sampel semen dalam kondisi standar. Adapun alat yang digunakan untuk pengujian kehalusan semen ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. (a) Alat uji kehalusan semen ToniPERM II (b) Timbangan analitik digital (Sumber: Lab Quality Assurance, 2025)

Sebelum dilakukan pengujian kehalusan semen, sampel semen ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan analitik digital dengan akurasi tinggi sebanyak 2,97 gram. Penimbangan yang tepat penting untuk memastikan hasil pengujian konsisten dan akurat. Setelah ditimbang, sampel dimasukkan ke dalam wadah kecil khusus yang disebut sel pengujian, bagian dari alat uji kehalusan semen. Wadah ini kemudian dipasang ke dalam alat ToniPERM II, yang bekerja berdasarkan prinsip permeabilitas udara. Alat ini mengukur waktu aliran udara melalui sampel semen, di mana waktu aliran yang lebih lama menunjukkan kehalusan yang lebih tinggi karena partikel yang lebih halus menghambat aliran udara lebih kuat. Hasil pengujian ditampilkan dalam satuan luas permukaan spesifik (cm^2/g), yang menunjukkan tingkat kehalusan semen dan berpengaruh pada kualitas produk akhir.

B. Metode Analisis

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Control Chart (*I-MR Chart*) dan Analisis Kapabilitas Proses (C_p dan C_{pk}). Control Chart (*I-MR Chart*) merupakan metode pengendalian kualitas statistik untuk memonitor data individual dan variasi antar observasi berurutan, yang dikembangkan berdasarkan teori *Statistical Process Control* (SPC) oleh Walter A. Shewhart pada tahun 1931. Sementara itu, Analisis Kapabilitas Proses digunakan untuk mengukur

kemampuan proses dalam memenuhi batas spesifikasi produk, berdasarkan konsep yang dikembangkan oleh Douglas C. Montgomery dalam *Introduction to Statistical Quality Control* (2013).

1. Kumpulkan data individual dari hasil pengujian variabel kehalusan (Blaine) secara berurutan berdasarkan waktu atau urutan produksi.
2. Hitung rata-rata \bar{X} dan moving range rata-rata \overline{MR} dari data. Moving range dihitung dari selisih absolut antara dua observasi berturutan.
3. Hitung batas kontrol atas (UCL) dan batas kontrol bawah (LCL) untuk I-Chart menggunakan rumus:

$$UCL = \bar{X} + 3 \times \frac{\overline{MR}}{d_2} \tag{1}$$

$$LCL = \bar{X} - 3 \times \frac{\overline{MR}}{d_2} \tag{2}$$

Hitung UCL dan LCL untuk MR-Chart menggunakan konstanta $D3$ dan $D4$.

$$UCL = D4 \times \overline{MR} \tag{3}$$

$$LCL = D3 \times \overline{MR} \tag{4}$$

4. Periksa apakah semua titik data pada I-MR Chart berada di dalam batas kontrol dan tidak menunjukkan pola tertentu (seperti trend, run, atau siklus).
5. Jika proses stabil, lanjutkan dengan menghitung indeks kapabilitas Cp dan Cpk

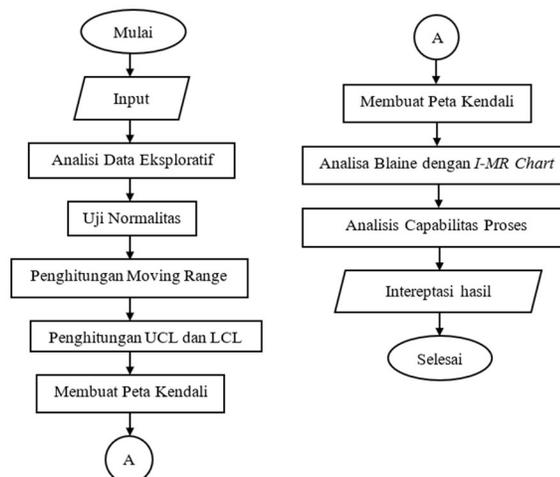
$$Cp = \frac{(USL - LSL)}{6\sigma} \tag{5}$$

$$Cpk = \min \left\{ \frac{(USL - \mu)}{3\sigma}, \frac{(LSL - \mu)}{3\sigma} \right\} \tag{6}$$

Gunakan spesifikasi batas atas (USL) dan batas bawah (LSL) yang telah ditetapkan perusahaan.

6. Jika $Cp \geq 1,33$ dan $Cpk \geq 1,33$, maka proses dianggap kapabel dan memenuhi spesifikasi. Jika Cp atau $Cpk < 1,33$, maka diperlukan evaluasi terhadap faktor-faktor penyebab variasi.
7. Jika proses tidak stabil, lakukan identifikasi akar masalah dan perbaikan. Jika proses stabil namun tidak kapabel, pertimbangkan penyesuaian spesifikasi atau peningkatan kontrol proses.

Alur penelitian selama penelitian di PT Semen Padang ditunjukkan dalam gambar *flowchart* di bawah ini:

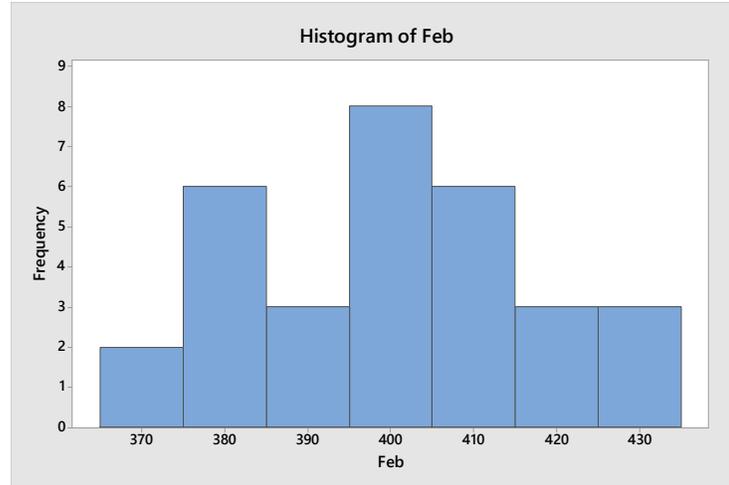


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

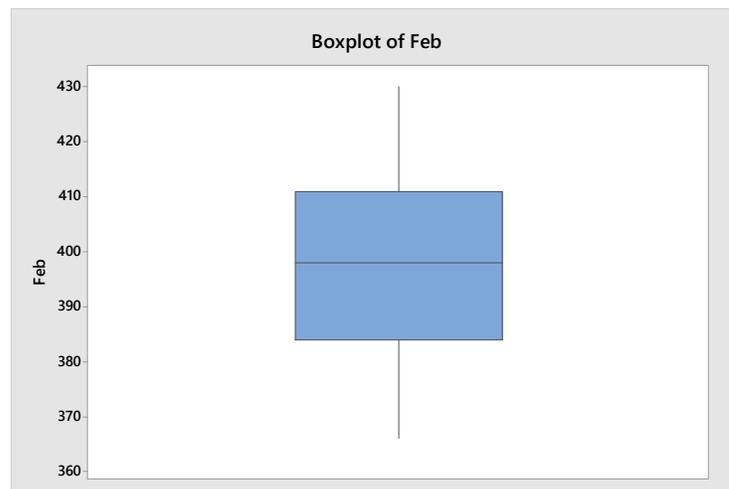
A. Analisis Data Eksploratif

Untuk mendukung analisis pengendalian dan kapabilitas proses, dilakukan terlebih dahulu eksplorasi terhadap data hasil uji Blaine guna melihat pola sebaran dan karakteristik statistik dasarnya. Hal ini dapat dilihat pada histogram data yang disajikan pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Histogram Variabel Blaine (Sumber: Minitab 18, 2025)

Histogram pada Gambar 3 menunjukkan sebaran data uji Blaine bulan Februari dengan distribusi yang mendekati simetris. Nilai kehalusan paling banyak berada pada rentang 390–400 cm²/g, yang mengindikasikan bahwa proses produksi berada pada kisaran yang relatif stabil dan tidak ditemukan pencilan ekstrem. Distribusi ini memberikan gambaran awal bahwa proses berjalan cukup konsisten terhadap standar yang ditetapkan. Untuk melengkapi analisis eksploratif, visualisasi data juga ditampilkan dalam bentuk boxplot. Boxplot digunakan untuk melihat penyebaran data secara lebih jelas, termasuk nilai median, rentang antar kuartil (IQR), serta potensi adanya pencilan. Visualisasi ini membantu dalam menilai simetri data dan mengidentifikasi variabilitas hasil uji Blaine selama periode pengamatan.



Gambar 4. Box Plot Variabel Blaine Bulan Februari

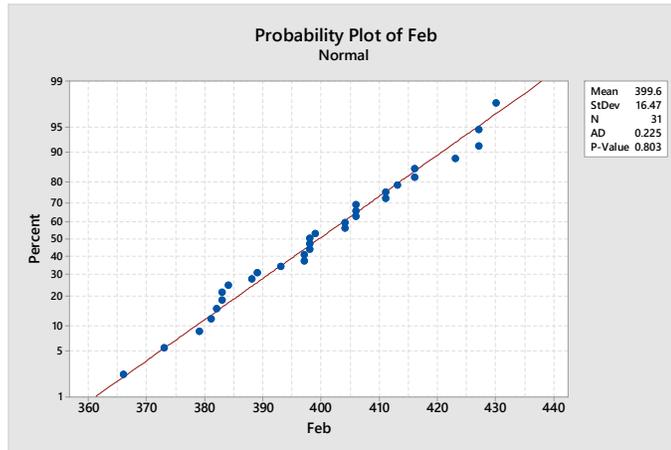
Boxplot menunjukkan bahwa data tersebar cukup merata tanpa pencilan (outlier). Median berada di sekitar nilai 395–400 cm²/g, menandakan distribusi data relatif simetris. Rentang interkuartil (IQR) cukup lebar, menunjukkan adanya variasi yang wajar dalam hasil uji Blaine selama proses produksi.

B. Uji Normalitas

Uji Normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data yang dilakukan berdistribusi normal atau tidak. Distribusi data dapat dikatakan normal atau tidak dapat dilihat berdasarkan *Probability Plot* yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.

H_0 : data berdistribusi normal

H_1 : data tidak berdistribusi normal

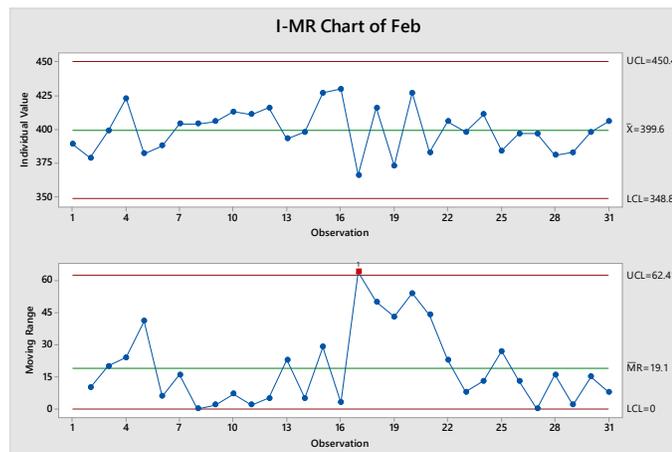


Gambar 5. Probability Plot Blaine Bulan Februari

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa sebagian besar titik data berada sangat dekat dengan garis diagonal, yang menunjukkan adanya kesesuaian dengan distribusi normal. Meskipun terdapat beberapa titik yang sedikit menyimpang dari garis, hal ini tidak cukup signifikan untuk menyimpulkan bahwa data menyimpang dari normalitas. Untuk memastikan hal tersebut, dilakukan uji normalitas menggunakan metode Anderson-Darling, yang menghasilkan nilai statistik AD sebesar 0.225 dan p-value sebesar 0.803, maka tidak terdapat cukup bukti untuk menolak H_0 , sehingga dapat disimpulkan bahwa data kehalusan semen pada bulan Februari mengikuti distribusi normal. Hasil ini juga diperkuat oleh visualisasi pada plot probabilitas, di mana sebagian besar titik mengikuti pola garis distribusi normal.

C. Peta Kendali

Bagian hasil dan pembahasan diawali dengan pembuatan control chart untuk variabel Blaine pada bulan Februari 2025 menggunakan software Minitab.



Gambar 6. Control Chart variable Baline Bulan Februari 2025 (Sumber: Minitab 18, 2025)

Berdasarkan Gambar 6 terdapat satu titik data yang berada di luar batas kendali (*out of control*) yang ditandai dengan titik merah pada diagram. Umumnya, titik yang berada di luar batas kendali disebabkan oleh penyebab khusus (*special cause*) dan perlu ditinjau lebih lanjut. Namun, pada data ini tidak ditemukan indikasi adanya penyebab khusus, sehingga penyimpangan dianggap berasal dari penyebab umum (*common cause*) yang merupakan bagian dari variasi normal proses. Oleh karena itu, data tersebut tidak direvisi dan tetap disertakan dalam analisis untuk menjaga objektivitas hasil evaluasi kapabilitas proses.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *control chart* dan kapabilitas proses terhadap variabel kehalusan semen (Blaine) pada bulan Februari 2025, diketahui bahwa terdapat satu titik data yang berada di luar batas kendali. Namun, setelah ditinjau lebih lanjut, penyimpangan tersebut disebabkan oleh variasi alami (*common cause variation*), sehingga data tetap dipertahankan dalam analisis karena tidak ada indikasi kesalahan khusus (*special cause*).

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa proses berada dalam kondisi yang stabil secara statistik (*in-control*). Selanjutnya, hasil analisis kapabilitas proses menunjukkan bahwa nilai Cp sebesar 2.17 dan Cpk sebesar 1.98. Nilai Cp yang tinggi menandakan bahwa variasi proses relatif kecil terhadap lebar spesifikasi, sedangkan nilai Cpk yang mendekati Cp menunjukkan bahwa proses cukup terpusat dan mampu menghasilkan produk yang sesuai dengan batas spesifikasi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses produksi kehalusan semen pada bulan Februari 2025 telah stabil dan memiliki kapabilitas yang baik, meskipun evaluasi berkala tetap diperlukan untuk menjaga kestabilan dan mutu produksi secara konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

- Alinka, L. R. (2023). Analisis Kapabilitas Proses Produksi Kecap Manis Dengan Metode Statistical Process Control (Studi Kasus: Pt Xyz). *Industrial Engineering Online Journal*, 12(4).
- Fernandez, B. R., Rachmiadji, I., & Pratikha, R. S. (2024). THROUGHPUT PABRIK KELAPA SAWIT: ANALISIS MENGGUNAKAN INDIVIDUAL MOVING RANGE (I-MR) CHART. *Jurnal Agroindustri, Agribisnis, dan Agroteknologi*, 3(2), 29-33.
- Imro'ah, N., Satyahadewi, N., & Perdana, H. (2017). Implementasi Bagan Kendali Individual Moving Range dalam Evaluasi Proses Perkuliahan di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Tanjungpura. In *PROCEEDINGS OF NATIONAL COLLOQUIUM RESEARCH AND COMMUNITY SERVICE (Vol. 1)*.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control*. John wiley & sons.
- Sukmawati, R. A., & Wijyaningrum, T. N. (2024). Analisis Pengendalian Kualitas Semen di PT X Menggunakan Metode Peta Kendali I-MR. *Indonesian Journal of Humanities and Social Sciences*, 5(2), 899–902
- Sulistiyo, W., & Vitasari, P. (2023). Pengendalian Kualitas Produk Di Pt Xyz Dengan Menggunakan Peta Kendali I-Mr. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 13(1), 1–5.