

PENERAPAN BAGAN KENDALI T^2 HOTELLING DAN ANALISIS KEMAMPUAN PROSES DALAM PRODUKSI SEMEN PPC (*PORTLAND POZZOLLAND CEMENT*) DI PT. SEMEN PADANG

WURI WULANDARI, HAZMIRA YOZZA, MAIYASTRI

*Program Studi Matematika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas,
Kampus UNAND Limau Manis Padang, Indonesia,
w.wuri@yahoo.co.id*

Abstrak. Setiap perusahaan selalu bersaing dalam meningkatkan kualitas produk, karena kualitas merupakan hal terpenting bagi konsumen dalam memilih barang yang akan dibelinya. Untuk melihat apakah suatu produk sudah terkendali atau tidak. Dapat digunakan suatu alat statistik yaitu dengan Bagan Kendali. Untuk data peubah ganda digunakan Bagan Kendali T^2 Hotelling. Dan untuk mengetahui suatu produk sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan dapat digunakan Analisis Kemampuan Proses (AKP). Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan bagan kendali T^2 Hotelling dan analisis kemampuan proses dalam produksi semen PPC (*Portland Pozzolland Cement*) di PT. Semen Padang. Data yang digunakan adalah data kualitas semen tipe PPC, meliputi SO_3 , hilang pijar, *blaine*, *sieve on 45 μ* , bagian tak larut. Jika penyebab-penyebab khusus dikeluarkan maka didapat karakteristik kualitas semen PPC sudah terkendali secara statistik. Didapatkan juga bahwa data kualitas berada dalam batas spesifikasi yang telah ditetapkan.

Kata Kunci: Kualitas, bagan kendali, bagan kendali T^2 Hotelling, analisis kemampuan proses

1. Pendahuluan

Setiap perusahaan dalam dunia industri selalu dituntut untuk menjaga kualitas produk yang dihasilkannya. Hal ini dikarenakan kualitas merupakan faktor kunci yang membawa keberhasilan usaha [2]. Salah satu industri penting di Indonesia adalah industri semen.

Salah satu perusahaan yang memproduksi semen di Indonesia adalah PT. Semen Padang. Agar dapat bersaing dengan perusahaan sejenisnya, perusahaan ini harus secara terus menerus mengendalikan kualitasnya. Terdapat beberapa karakteristik yang harus dikendalikan oleh PT. Semen Padang sebagaimana yang telah ditetapkan oleh SNI (Standar Nasional Indonesia). Untuk semen tipe *Portland Pozzolland Cement* (PPC), karakteristik yang dikendalikan adalah karakteristik kimia yang terdiri atas MGO, SO_3 , hilang pijar atau *Loss On Ignition* (LOI) dan karakteristik bersifat fisika yang terdiri atas kehalusan dengan parameter *blaine*, waktu pengikatan atau *setting time*, kekekalan, kuat tekan, panas hidrasi, kandungan udara dari mortar [3].

Beragam cara yang dapat dilakukan oleh suatu industri dalam mengendalikan produk yang dihasilkan, salah satunya pengendalian kualitas secara statistika yang dilakukan melalui pengendalian kualitas proses statistik (*statistical process control*). Salah satu alat yang digunakan untuk mengendalikan kualitas produk adalah dengan membentuk bagan kendali. Bila terdapat lebih dari satu karakteristik, maka bagan kendali yang digunakan adalah bagan kendali multivariat. Bagan kendali T^2 Hotelling adalah satu diantaranya.

Bagan kendali hanya mampu untuk melihat apakah proses stabil dan terkendali, namun tidak bisa untuk mengetahui apakah proses tersebut telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Untuk tujuan tersebut diperlukan analisis lain yang dinamakan Analisis Kemampuan Proses (AKP).

2. Data dan Metode Penelitian

2.1. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah karakteristik kualitas semen jenis PPC (*Portland Pozzolland Cement*) yang diproduksi pada Semester 1 2014 (Bulan Januari – Juni). Data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari PT. Semen Padang. Karakteristik kualitas yang diamati adalah Kehalusan butiran (*blaine*), SO_3 , hilang pijar atau *loss on ignition* (LOI), bagian tak larut (*insoluble residu*), *sieve on 45*. Sampel diambil setiap hari dengan perlakuan 1 kali observasi setiap sampel, sehingga dalam penelitian ini diamati 181 subgrup, masing-masing berukuran satu pengamatan.

2.2. Metode Penelitian

Berikut akan dijelaskan dengan lebih rinci langkah-langkah analisis data.

(1) Membentuk Bagan Kendali I-MR.

(a.) Pembentukan Bagan Kendali MR:

. Hitung MR_i untuk setiap pengamatan, didefinisikan sebagai berikut:

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|, \text{ dimana}$$

x_i = selisih data pada data atau sampel ke-i,

x_{i-1} = selisih data pada data atau sampel sebelum data ke-i.

. Hitung nilai rata-rata jarak yaitu \overline{MR} , didefinisikan sebagai berikut:

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{i=2}^m MR_i}{m-1},$$

dimana: m adalah banyaknya sampel.

. Hitung sepasang batas kendali untuk jarak yaitu BKA MR dan BKB MR, didefinisikan sebagai berikut:

$$BKA_{MR} = D_4 \overline{MR},$$

$$BKB_{MR} = D_3 \overline{MR}.$$

- . Plot setiap nilai MR_i sehingga dapat dilihat mana sampel dari data yang berada diluar atau didalam batas kendali.

(b.) Pembentukan Bagan Kendali I:

- . Hitung nilai rata-rata individu yaitu \bar{x} , didefinisikan sebagai berikut:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}$$

- . Hitung sepasang batas kendali untuk rata-rata yaitu BKA \bar{x} dan BKB \bar{x} , didefinisikan sebagai berikut:

$$BKA_{\bar{x}} = \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

$$BKB_{\bar{x}} = \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

- . Plotkan setiap nilai x_i pada bagan kendali sehingga dapat dilihat mana sampel dari data yang berada diluar atau didalam batas kendali.

(2) Membentuk Bagan Kendali Peubah Ganda T^2 Individu.

(a.) Tentukan vektor nilai tengah sebagai berikut:

$$\bar{x} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_j \end{bmatrix}, \text{ dengan}$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^m x_{ij}}{m}.$$

(b.) Hitung matrik varians-kovarians tiap karakteristik kualitas, didefinisikan sebagai berikut:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})(\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})^t.$$

(c.) Hitung sepasang batas kendali sebagai berikut:

$$BKA = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha \frac{p}{2}, \frac{m-p-1}{2}},$$

$$BKB = 0.$$

(d.) Hitung nilai statistik T^2 Hotelling untuk setiap pengamatan, didefinisikan sebagai berikut:

$$T_i^2 = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})^t (\mathbf{S})^{-1} (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}).$$

(e.) Plot semua sampel untuk nilai T_i^2 .

(f.) Jika nilai T_i^2 berada diluar batas kendali atas, maka sampel ke-i dikatakan tidak terkendali, dan jika disebabkan oleh penyebab khusus, maka sampel ke-i tersebut dapat dihapus.

(3) Menganalisis Kemampuan Proses.

- (a.) Hitung standar deviasi untuk unit-unit individu, didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{\overline{MR}}{d_2}.$$

- (b.) Hitung rasio kemampuan proses, didefinisikan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{BSA - BSB}{6\sigma}.$$

- (c.) Hitung perbandingan rentang rerata, didefinisikan sebagai berikut:

$$C_{pu} = \frac{BSA - \mu}{3\sigma},$$

$$C_{pl} = \frac{\mu - BSB}{3\sigma}.$$

- (d.) Hitung indeks kemampuan proses, didefinisikan sebagai berikut:

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}).$$

- (e.) Analisis nilai rasio dan indeks kemampuan proses. Jika $C_p > 1$ maka proses dikatakan masih baik, jika $C_p < 1$ maka proses dikatakan tidak baik, dan jika $C_p = 1$ maka proses sama dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Jika $C_p = C_{pk}$ maka proses terpusat di rataaan spesifikasi, dan tidak terpusat bila $C_p < C_{pk}$. Semakin tinggi nilai C_{pk} maka semakin sedikit produk yang diluar batas kendali.

3. Pembahasan

3.1. Eksplorasi Data

Nilai-nilai dari kelima karakteristik kualitas untuk 181 subgrup yang tercantum pada Tabel 1.

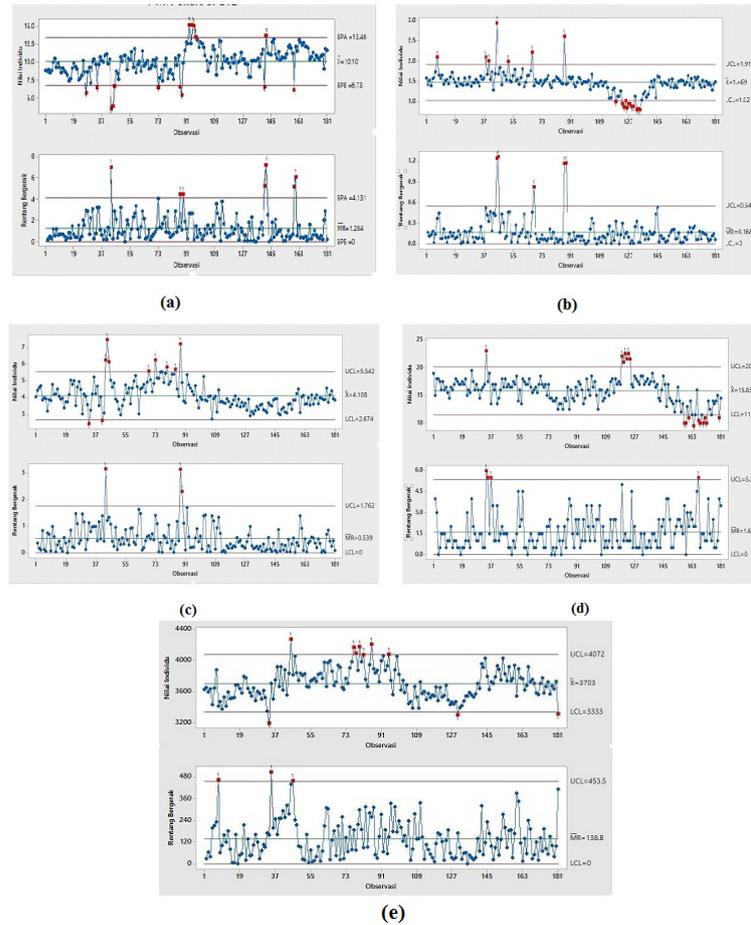
Tabel 1. Statistika Deskriptif dari Karakteristik Kualitas Semen PPC

| Karakteristik Kualitas | Batas Spesifikasi | Nilai Tengah | Standar Deviasi | Min | Maks |
|------------------------------------|-------------------------------|--------------|-----------------|--------|--------|
| BTL | Maksimal 17 persen | 10,097 | 1,897 | 3,490 | 15,240 |
| SO_3 | 1-2 persen | 1,4686 | 0,2657 | 0,8000 | 2,9400 |
| LOI | Maksimal 4,5 persen | 4,1083 | 0,8065 | 2,4300 | 7,4600 |
| <i>Sieve on 45μ</i> | Maksimal 15 persen | 15,826 | 2,496 | 9,500 | 23,000 |
| <i>Blaine</i> | Minimal 3600 $\frac{cm^2}{g}$ | 3702,6 | 193,4 | 3193,0 | 4272,0 |

Jika dibandingkan dengan batas spesifikasi, ternyata ada beberapa rataaan hitungan karakteristik kualitas berada diluar batas spesifikasi. Hal ini, dapat dilihat pada karakteristik kualitas *Sieve on 45 μ* . Pada nilai minimum dan maksimum ternyata terdapat juga karakteristik kualitas yang berada diluar batas spesifikasi seperti, SO_3 , LOI, *sieve on 45 μ* , dan *blaine*. Dari kondisi dapat diduga bahwa terjadinya masalah dalam pengendalian proses produksi semen.

3.2. Bagan Kendali I-MR

Untuk mengetahui terkendali atau tidaknya masing-masing karakteristik kualitas semen tersebut, pada Gambar 1 diberikan hasil plot data dalam bagan kendali *I-MR*

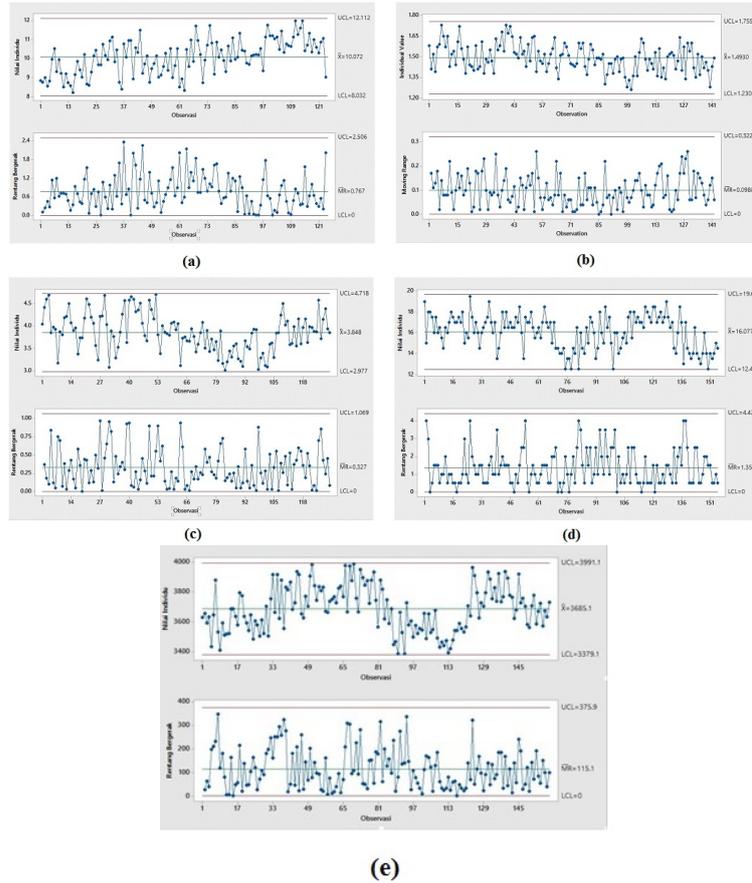


Gambar 1. Bagan kendali I dan MR data (a)BTL (b) SO_3 (c)LOI (d)sieve on 45μ (e)blaine

Hasil dari analisis pada bagan kendali *I-MR* untuk kelima karakteristik kualitas semen menunjukkan bahwa proses tidak terkendali. Hal ini dapat dilihat dengan adanya beberapa titik yang berada diluar batas kendali. Setelah dikonfirmasi kembali penyebab terjadinya bagan kendali tidak terkendali adalah terjadi masalah operasional sewaktu data tersebut didapat. Oleh karena bagan kendali tidak terkendali dapat diketahui penyebabnya, maka pengamatan yang berada diluar batas kendali dapat dikeluarkan untuk mendapatkan proses terkendali.

Pada Gambar 2 diberikan bagan kendali *I-MR* terkendali untuk masing-masing karakteristik kualitas setelah data yang tidak terkendali dari bagan kendali dikelu-

arkan.



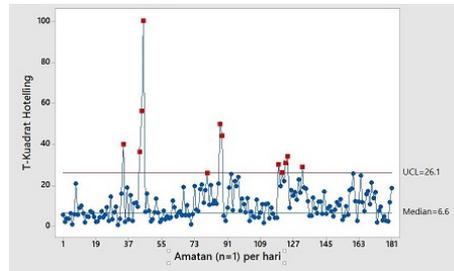
Gambar 2. Bagan kendali I dan MR proses terkendali data (a)BTL (b) SO_3 (c)LOI (d)sieve on 45μ (e)blaine

Bagan kendali I dan MR untuk data BTL, SO_3 , LOI, sieve on 45μ , blaine memperlihatkan kondisi sudah terkendali, karena diketahui penyebabnya.

3.3. Kendali Peubah Ganda T^2 Individu

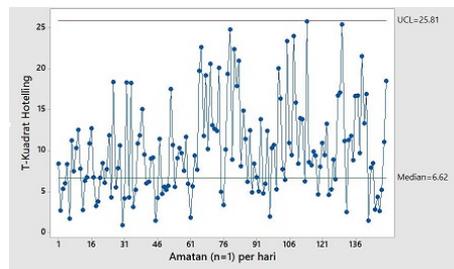
Pada Gambar 3 diberikan hasil plot data untuk kelima karakteristik dengan menggunakan bagan kendali Peubah Ganda T^2 Individu $n = 1$.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa nilai T_i^2 berada diluar batas kendali, maka sampel ke-i dikatakan tidak terkendali, pengamatan yang berada diluar kendali akan dilakukan tindak lanjut sama halnya dengan bagan kendali peubah tunggal. Setelah dikonfirmasi, ternyata penyebab penyimpangan yaitu terjadinya masalah operasional. Maka pengamatan yang mengalami penyimpangan dapat dikeluarkan untuk mencapai perbaikan.



Gambar 3. Bagan kendali Peubah Ganda T^2

Selanjutnya dilakukanlah perhitungan kembali terhadap nilai-nilai T^2 Hotelling dengan jumlah contoh yang lebih sedikit dari sebelumnya, sehingga diperoleh bagan kendali peubah ganda yang baru, dengan proses telah terkendali secara statistik dengan $BKA = 25.81$. Pada Gambar 4 dapat dilihat proses terkendali, hal ini ditandai dengan tidak ada lagi T_i^2 berada diluar batas kendali. Berikut gambar bagan kendali peubah ganda T^2 yang sudah terkendali.



Gambar 4. Bagan kendali Peubah Ganda T^2 ketika proses terkendali

3.4. Analisis Kemampuan Proses

Pada Tabel 2 diberikan hasil analisis kemampuan proses dalam suatu simpangan untuk masing-masing karakteristik kualitas.

Proses dikatakan memiliki keadaan baik jika memiliki nilai $Cp > 1$. Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa Cp yang dihasilkan oleh masing-masing karakteristik kualitas adalah lebih dari satu, maka dapat disimpulkan bahwa proses produksi yang dilakukan PT. Semen Padang sudah sangat baik dalam menghasilkan barang yang sesuai dengan batas spesifikasi perusahaan.

Pada Tabel 3 diberikan analisis kemampuan proses dalam hubungan antara rata proses dengan nilai target spesifikasi untuk masingmasing karakteristik kualitas.

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa ada rerata proses kurang dari nol dan ada yang terjadi pergeseran rerata proses ke arah yang lebih baik, untuk itu tidak

Tabel 2. Nilai Cp untuk masing-masing karakteristik kualitas

| Karakteristik Kualitas | BSA | BSB | σ | Cp |
|------------------------------------|-----|------|-----------|---------|
| BTL | 17 | 0 | 0,679957 | 4,16693 |
| SO_3 | 2 | 1 | 0,0875865 | 1,90288 |
| LOI | 4,5 | 0 | 0,290079 | 2,58534 |
| <i>Sieve on 45μ</i> | 15 | 0 | 1,20026 | 2,08288 |
| <i>Blaine</i> | - | 3600 | 101,995 | 5,88437 |

Tabel 3. Nilai Cpk untuk masing-masing karakteristik kualitas

| Karakteristik Kualitas | BSA | BSB | σ | μ | Cpu | Cpl | Cpk |
|------------------------------------|-----|------|-----------|--------|--------|-------|--------|
| BTL | 17 | 0 | 0,679957 | 10,072 | 3,396 | 4,938 | 3,396 |
| SO_3 | 2 | 1 | 0,0875865 | 1,4930 | 1,929 | 1,876 | 1,876 |
| LOI | 4,5 | 0 | 0,290079 | 3,848 | 0,749 | 4,422 | 0,749 |
| <i>Sieve on 45μ</i> | 15 | 0 | 1,20026 | 16,077 | -0,299 | 4,465 | -0,299 |
| <i>Blaine</i> | - | 3600 | 101,995 | 3685,1 | 12,043 | 0,278 | 0,278 |

ada salahnya PT. Semen Padang lebih meningkatkan batas spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis peubah ganda, terdeteksi adanya penyimpangan proses yang disebabkan oleh masalah operasional. Penelitian ini melibatkan lebih dari satu karakteristik kualitas semen, penerapan bagan kendali peubah ganda dalam penelitian ini lebih cepat mendapatkan kesimpulan serta dapat melihat secara simultan suatu produksi, tidak membuang waktu, dan tidak menghabiskan biaya. Tetapi bagan kendali peubah tunggal memiliki ketelitian yang signifikan.

Pada analisis kemampuan proses besar keragaman proses terhadap spesifikasi dalam seluruh karakteristik kualitas semen yang terlibat dalam penelitian ini memperlihatkan hasil bahwa proses produksi yang dilakukan PT. Semen Padang sudah baik. Hubungan antara nilai rerata proses dengan nilai target spesifikasi bahwa terjadi pergeseran dari rerata proses ke arah yang lebih baik, untuk itu tidak ada salahnya PT. Semen Padang lebih meningkatkan batas spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

5. Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Dodi Devianto, Bapak Yudiastri Asdi, M.Sc dan Bapak Efendi, M.Si yang telah memberikan masukan dan saran sehingga paper ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Standarisasi Nasional. 2014. *SNI 15-0302 Semen Portland Pozollan*. Jakarta.
- [2] Grant. Eugene L, and Richard S. Leavenworth. 1996. *Pengendalian Kualitas Statistis Edisi Keenam Jilid I*. Erlangga: Jakarta.
- [3] Montgomery, D.C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition*. John Wiley And Son, Inc: New York.