



Analisis Pengendalian Mutu *Sample* Uji Beton Proyek Rumah Tinggal Matera Signature dengan *Statistical Process Control* (SPC)

Sahrul Gunawan, Jalaludin

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara

sahrul.2nd@gmail.com, jalaludin@undira.ac.id*

Abstrak

Sektor konstruksi merupakan pilar utama perekonomian nasional yang menuntut standar keamanan material beton secara ketat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi variabilitas nilai kuat tekan beton serta menganalisis kestabilan proses pengecoran pada Proyek Rumah Tinggal Matera Signature di Gading Serpong. Permasalahan utama yang dikaji adalah fluktuasi mutu di lapangan meskipun material berasal dari batching plant yang sama dengan komposisi seragam. Metode penelitian yang diterapkan adalah *Statistical Process Control* (SPC) menggunakan peta kendali *Individual-Moving Range* (I-MR), yang dipilih karena keterbatasan ketersediaan data tunggal tanpa subgrup. Data sekunder berupa 27 hasil uji kuat tekan beton silinder ekuivalen umur 28 hari dianalisis melalui tahap statistik deskriptif dan pemetaan grafik pengendali. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 339,37 kg/cm² dengan standar deviasi 19,02 kg/cm² dan koefisien variasi sebesar 5,61%. Angka koefisien variasi tersebut mengindikasikan tingkat keseragaman mutu yang sangat baik sesuai standar industri. Analisis pada I-chart dan MR-chart menunjukkan seluruh 27 titik data individu dan 26 rentang bergerak berada di dalam batas kendali. Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah proses produksi dan pengecoran beton pada proyek tersebut telah stabil secara statistik dan memenuhi kriteria keamanan struktur SNI 2847:2019. Implementasi metode SPC terbukti efektif sebagai sistem peringatan dini dalam menjaga konsistensi mutu konstruksi secara berkelanjutan.

Kata kunci: Mutu Beton, *Statistical Process Control*, Peta Kendali I-MR, Kuat Tekan, Variabilitas.

Abstract

The construction sector is a major pillar of the national economy and requires strict safety standards for concrete materials. This study aims to evaluate the variability of concrete compressive strength and analyze the stability of the casting process at the Matera Signature Residential Project in Gading Serpong. The main issue examined is the fluctuation in concrete quality despite the materials being supplied by the same batching plant with a uniform composition. This study applied *Statistical Process Control* (SPC) using the *Individual-Moving Range* (I-MR) control chart, selected because only individual observations without subgroups were available. Secondary data consisting of 27 equivalent 28-day cylindrical concrete compressive strength test results were analyzed using descriptive statistics and control charts. The results showed an average compressive strength of 339.37 kg/cm², a standard deviation of 19.02 kg/cm², and a coefficient of variation of 5.61%. This coefficient indicates a very good level of quality uniformity according to industry standards. The I-chart and MR-chart analyses showed that all 27 individual observations and 26 moving ranges remained within the control limits. Therefore, the concrete production and casting processes were statistically stable and met the structural safety criteria of SNI 2847:2019. The implementation of SPC proved effective as an early warning system for continuously maintaining consistency in construction quality.

Keywords: Concrete Quality, *Statistical Process Control*, I-MR Control Chart, Compressive Strength, Variability

1. Pendahuluan

Sektor konstruksi di Indonesia terus mengalami pertumbuhan signifikan dengan kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto nasional mencapai 9,83 persen (Badan Pusat Statistik, 2026). Pertumbuhan ini menuntut setiap pelaku industri untuk senantiasa menjaga kualitas material struktural utama seperti beton agar memenuhi standar keamanan yang berlaku berdasarkan regulasi struktural nasional terbaru (Nugraha & Saputra, 2022). Di kawasan Gading Serpong, proyek perumahan seperti Cluster Matera Signature menghadapi tantangan besar dalam menjaga konsistensi mutu beton di tengah pesatnya pembangunan komersial (Eka Partama et al., 2024; Fikri et al., 2024). Meskipun beton diproduksi dengan proporsi campuran yang seragam di batching plant, kekuatan beton di lapangan

tetap menunjukkan variabilitas yang tinggi akibat fluktuasi waktu tempuh armada mixer, dinamika kondisi cuaca mikro, dan konsistensi metode *wet-curing* di lokasi proyek (Pratama & Wijaya, 2021; Sari et al., 2023).

Variabilitas hasil uji kuat tekan tersebut perlu dievaluasi secara objektif untuk memisahkan antara variasi acak normal (*chance causes*) dan penyimpangan teknis berbahaya (*assignable causes*) yang dapat mereduksi kapasitas layan struktur (Hidayat & Ramadhan, 2022). Metode *Statistical Process Control* (SPC) menawarkan keunggulan dalam memantau kestabilan proses pengecoran secara berkesinambungan melalui deteksi dini pada visualisasi peta kendali kontemporer (Fitriana et al., 2021; Setiadi et al., 2024). Penelitian ini secara spesifik menerapkan peta kendali *Individual-Moving Range* (I-MR) untuk menjawab rumusan masalah mengenai besarnya deviasi standar dan tingkat kestabilan proses pengecoran harian pada proyek tersebut (Lestari & Utomo, 2022; Lucas et al., 2022). Kebaruan penelitian ini terletak pada aplikasi analisis data tunggal berbasis SPC pada objek proyek perumahan tinggal horizontal, yang sejauh ini masih sangat jarang dikaji karena literatur kendali mutu beton terdahulu lebih didominasi oleh objek proyek gedung bertingkat besar atau rumah susun (Nabillah & Herdiman, 2025; Putra & Kusuma, 2024).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode *Statistical Process Control* (SPC) dengan data kuat tekan beton sebagai variabel utama yang dianalisis. Penelitian terdahulu oleh Fathoni dan Supriyadi (2023) serta Anwar dan Rosyid (2022) menegaskan bahwa metode SPC memberikan akurasi tinggi dalam memantau fluktuasi mutu beton secara real-time melalui peta kendali variabel.

Prosedur pengambilan contoh uji dan pengujian kuat tekan beton silinder dilakukan secara sistematis mengacu pada standar pengujian spesimen beton silinder (Badan Standardisasi Nasional, 2023). Data penelitian ini bersumber dari 27 laporan hasil uji silinder beton berukuran 15 cm x 30 cm pada Proyek Cluster Matera Signature, Gading Serpong, yang mencakup elemen Kolom Lantai 1, *Pile Cap*, *Tie Beam*, Pelat Lantai, dan *Canopy*. Rekapitulasi seluruh data hasil uji laboratorium disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton

No	Tanggal Cor	Umur (hari)	Kode Benda Uji	Kuat Tekan (kg/cm ²)
1	3-Jun-26	7	Kolom LT1 (LGK)	208.63
2	5-Jun-26	7	PC+TB/MS2 - MJB1	226.02
3	5-Jun-26	7	PC+TB/MS2 - MJB2	219.06
4	5-Jun-26	7	PC+TB/MS2 - MJB3	222.54
5	3-Jun-26	14	Kolom LT1 (LGK)	274.7
6	12-Jun-26	7	Kolom LT1 - MJB1	212.11
7	5-Jun-26	14	PC+TB/MS2 - MJB1	285.13
8	5-Jun-26	14	PC+TB/MS2 - MJB2	292.09
9	5-Jun-26	14	PC+TB/MS2 - MJB3	278.18
10	12-Jun-26	14	Kolom LT1 - MJB1	281.65
11	3-Jun-26	28	Kolom LT1 (LGK)	358.15
12	26-Jun-26	7	Plat SOG - MJB1	236.45
13	26-Jun-26	7	Plat SOG - MJB2	222.54
14	26-Jun-26	7	Plat SOG - MJB3	232.97
15	26-Jun-26	7	Plat SOG - MJB4	215.59
16	5-Jun-26	28	PC+TB/MS2 - MJB1	358.15
17	5-Jun-26	28	PC+TB/MS2 - MJB2	347.72
18	5-Jun-26	28	PC+TB/MS2 - MJB3	365.11
19	7-Jul-26	7	SOG+Canopy - MJB1	236.45
20	7-Jul-26	7	SOG+Canopy - MJB2	219.06
21	7-Jul-26	7	SOG+Canopy - MJB3	215.59
22	7-Jul-26	7	SOG+Canopy - MJB4	246.88
23	7-Jul-26	7	SOG+Canopy - MJB5	232.97

DOI: <https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i3.13465>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

No	Tanggal Cor	Umur (hari)	Kode Benda Uji	Kuat Tekan (kg/cm ²)
24	26-Jun-26	14	Plat SOG - MJB1	285.13
25	26-Jun-26	14	Plat SOG - MJB2	299.04
26	26-Jun-26	14	Plat SOG - MJB3	271.22
27	26-Jun-26	14	Plat SOG - MJB4	278.18

Mengingat data berasal dari umur pengujian yang berbeda, yaitu 7 hari dan 14 hari, dilakukan konversi terlebih dahulu ke nilai ekuivalen 28 hari menggunakan faktor konversi PBI 1971, yaitu 0,65 untuk umur 7 hari dan 0,88 untuk umur 14 hari. Hasil konversi seluruh data disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konversi Kuat Tekan Beton ke Ekuivalen Umur 28 Hari

No	Umur (hari)	Kuat Tekan Terukur (kg/cm ²)	Faktor Konversi	Kuat Tekan Ekuivalen 28 Hari (kg/cm ²)
1	7	208.63	0.65	320.97
2	7	226.02	0.65	347.72
3	7	219.06	0.65	337.02
4	7	222.54	0.65	342.37
5	14	274.7	0.88	312.16
6	7	212.11	0.65	326.32
7	14	285.13	0.88	324.01
8	14	292.09	0.88	331.92
9	14	278.18	0.88	316.11
10	14	281.65	0.88	320.06
11	28	358.15	1	358.15
12	7	236.45	0.65	363.77
13	7	222.54	0.65	342.37
14	7	232.97	0.65	358.42
15	7	215.59	0.65	331.68
16	28	358.15	1	358.15
17	28	347.72	1	347.72
18	28	365.11	1	365.11
19	7	236.45	0.65	363.77
20	7	219.06	0.65	337.02
21	7	215.59	0.65	331.68
22	7	246.88	0.65	379.82
23	7	232.97	0.65	358.42
24	14	285.13	0.88	324.01
25	14	299.04	0.88	339.82
26	14	271.22	0.88	308.2
27	14	278.18	0.88	316.11

Tahap pertama analisis adalah statistik deskriptif untuk menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, dan koefisien variasi. Rumus yang digunakan untuk mencari nilai rata-rata ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

dengan $\bar{x}$ adalah nilai rata-rata, $\sum x$ adalah jumlah seluruh nilai data, dan n adalah jumlah sampel yang digunakan. Standar deviasi selanjutnya dihitung menggunakan rumus pada persamaan (2).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

dengan σ adalah standar deviasi dan x_i adalah nilai data ke-i. Koefisien variasi kemudian diperoleh melalui rumus pada persamaan (3).

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

Tahap kedua adalah analisis SPC menggunakan peta kendali *Individual-Moving Range* (I-MR). Batas kendali atas peta individu ditentukan dengan rumus pada persamaan (4) dan batas kendali bawah ditentukan dengan rumus pada persamaan (5).

$$UCL = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4)$$

$$LCL = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (5)$$

dengan $\overline{MR}$ adalah rata-rata rentang bergerak antar dua data yang berurutan dan d_2 adalah konstanta statistik baku untuk peta kendali I-MR yang bernilai 1,128.

Batas kendali atas peta rentang bergerak (*MR-chart*) dihitung menggunakan rumus pada persamaan (6) dan batas kendali bawah ditentukan menggunakan rumus pada persamaan (7).

$$UCL = D_4 \times \overline{MR} \quad (6)$$

$$LCL = D_3 \times \overline{MR} \quad (7)$$

dengan konstanta D_4 sebesar 3,267 dan konstanta D_3 sebesar 0, mengikuti ketentuan baku peta kendali I-MR untuk rentang bergerak dua data berurutan (Montgomery, 2019).

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan rekapitulasi terhadap 27 data kuat tekan ekuivalen 28 hari pada Tabel 2, diperoleh nilai rata-rata sebesar 339,37 kg/cm² (33,28 MPa). Perhitungan simpangan tiap data terhadap nilai rata-rata beserta kuadratnya, yang menjadi dasar perhitungan standar deviasi, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Simpangan dan Kuadrat Simpangan Data

No	xi (kg/cm ²)	(xi - $\bar{x}$)	(xi - $\bar{x}$) ²
1	320.97	-18.4	338.41
2	347.72	8.36	69.85
3	337.02	-2.35	5.52
4	342.37	3	9.02
5	312.16	-27.21	740.18
6	326.32	-13.04	170.1
7	324.01	-15.35	235.74
8	331.92	-7.44	55.43
9	316.11	-23.25	540.64
10	320.06	-19.31	372.82
11	358.15	18.78	352.87
12	363.77	24.4	595.55
13	342.37	3	9.02

No	xi (kg/cm ²)	(xi - $\bar{x}$)	(xi - $\bar{x}$) ²
14	358.42	19.05	362.91
15	331.68	-7.69	59.11
16	358.15	18.78	352.87
17	347.72	8.35	69.8
18	365.11	25.74	662.79
19	363.77	24.4	595.55
20	337.02	-2.35	5.52
21	331.68	-7.69	59.11
22	379.82	40.45	1636.21
23	358.42	19.05	362.91
24	324.01	-15.35	235.74
25	339.82	0.45	0.21
26	308.2	-31.16	970.99
27	316.11	-23.25	540.64

Jumlah seluruh nilai kuadrat simpangan pada Tabel 3 adalah 9.409,51, sehingga diperoleh nilai standar deviasi sebesar 19,02 kg/cm² dan koefisien variasi sebesar 5,61%. Koefisien variasi tersebut menunjukkan bahwa mutu pelaksanaan pengecoran beton pada proyek ini menghasilkan tingkat keseragaman yang sangat baik karena nilai CV berada di bawah 10%. Rekapitulasi hasil perhitungan statistik deskriptif disajikan pada Tabel 4.

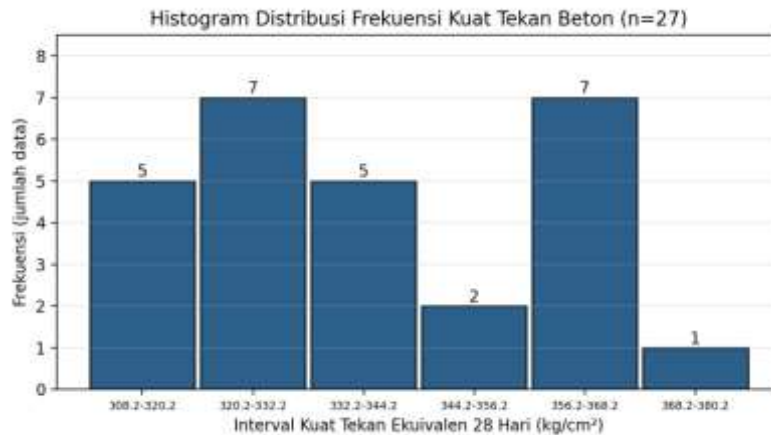
Tabel 4. Rekapitulasi Statistik Deskriptif Kuat Tekan Beton

Parameter Statistik	Nilai (kg/cm ²)	Nilai (MPa)
Jumlah data (n)	27	-
Nilai rata-rata ($\bar{x}$)	339,37 kg/cm ²	33,28 MPa
Standar deviasi (σ)	19,02 kg/cm ²	1,87 MPa
Koefisien variasi (CV)	5,61 %	-
Nilai minimum	308,20 kg/cm ²	30,22 MPa
Nilai maksimum	379,82 kg/cm ²	37,25 MPa

Nilai dalam MPa pada Tabel 4 dicantumkan sebagai pembandingan terhadap mutu rencana beton f'_c 25 MPa, menggunakan faktor konversi 1 kg/cm² = 0,0980665 MPa. Distribusi frekuensi disusun untuk melihat pola sebaran data kuat tekan beton secara visual menggunakan aturan Sturges dengan jumlah kelas sebanyak 6 kelas dan panjang interval 12 kg/cm², sebagaimana disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Distribusi Frekuensi Kuat Tekan Beton

Kelas	Interval Kelas (kg/cm ²)	Titik Tengah	Frekuensi (f)
1	308,20 - 320,20	314.2	5
2	320,20 - 332,20	326.2	7
3	332,20 - 344,20	338.2	5
4	344,20 - 356,20	350.2	2
5	356,20 - 368,20	362.2	7
6	368,20 - 380,20	374.2	1



Gambar 1. Histogram Distribusi Frekuensi Kuat Tekan Beton

Histogram pada Gambar 1 menunjukkan bahwa data kuat tekan beton cenderung terkonsentrasi pada kelas dengan titik tengah 326,20 kg/cm² dan 362,20 kg/cm², dengan frekuensi tertinggi masing-masing sebanyak 7 data. Pola sebaran data tidak menunjukkan penyimpangan ekstrem dari bentuk lonceng normal, sehingga dapat diindikasikan bahwa proses produksi beton pada proyek ini secara umum berjalan relatif konsisten.

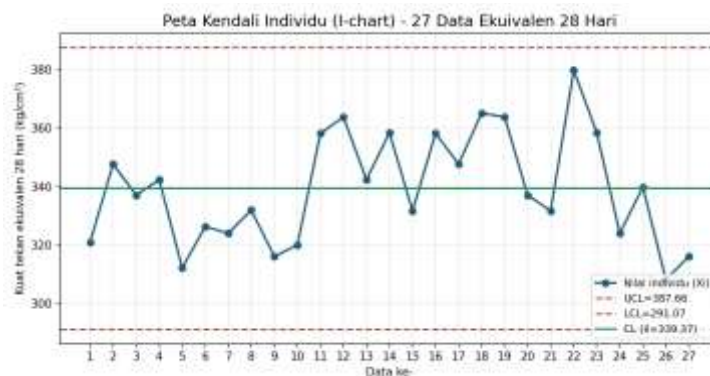
Analisis kestabilan proses selanjutnya dilakukan menggunakan peta kendali I-MR, yaitu peta kendali yang dirancang untuk data individual sehingga tidak memerlukan pembentukan subgrup. Nilai individu (x_i) dan rentang bergerak (MR_i) untuk seluruh 27 data disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Individu (x_i) dan Rentang Bergerak (MR_i)

No	Tanggal Cor	Umur (hari)	x_i (kg/cm ²)	MR _i = $ x_i - x_{i-1} $ (kg/cm ²)
1	3-Jun-26	7	320.97	-
2	5-Jun-26	7	347.72	26,75
3	5-Jun-26	7	337.02	10,71
4	5-Jun-26	7	342.37	5,35
5	3-Jun-26	14	312.16	30,21
6	12-Jun-26	7	326.32	14,16
7	5-Jun-26	14	324.01	2,31
8	5-Jun-26	14	331.92	7,91
9	5-Jun-26	14	316.11	15,81
10	12-Jun-26	14	320.06	3,94
11	3-Jun-26	28	358.15	38,09
12	26-Jun-26	7	363.77	5,62
13	26-Jun-26	7	342.37	21,40
14	26-Jun-26	7	358.42	16,05
15	26-Jun-26	7	331.68	26,74
16	5-Jun-26	28	358.15	26,47
17	5-Jun-26	28	347.72	10,43
18	5-Jun-26	28	365.11	17,39
19	7-Jul-26	7	363.77	1,34
20	7-Jul-26	7	337.02	26,75
21	7-Jul-26	7	331.68	5,34
22	7-Jul-26	7	379.82	48,14
23	7-Jul-26	7	358.42	21,40

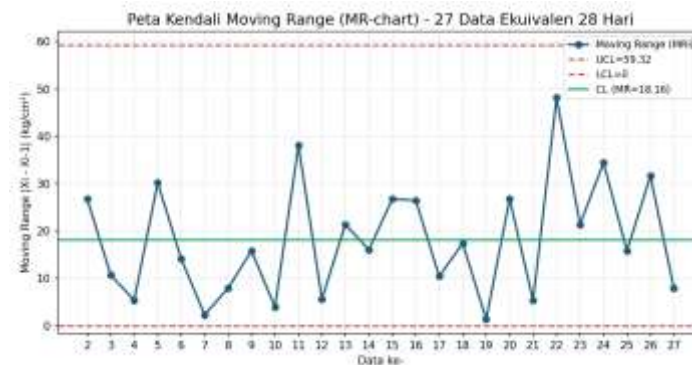
No	Tanggal Cor	Umur (hari)	xi (kg/cm ²)	MRi = Xi - Xi-1 (kg/cm ²)
24	26-Jun-26	14	324.01	34,40
25	26-Jun-26	14	339.82	15,81
26	26-Jun-26	14	308.2	31,61
27	26-Jun-26	14	316.11	7,91

Berdasarkan Tabel 6, jumlah seluruh 27 data (xi) adalah 9.162,88 kg/cm², sehingga nilai rata-rata $\bar{x} = 339,37$ kg/cm² (33,28 MPa). Jumlah seluruh 26 nilai rentang bergerak (MRi) adalah 472,06 kg/cm², sehingga diperoleh $\bar{MR} = 18,16$ kg/cm² (1,78 MPa). Batas kendali peta individu (*I-chart*) diperoleh sebesar 387,65 kg/cm² (38,02 MPa) untuk batas atas, 339,37 kg/cm² (33,28 MPa) untuk garis tengah, dan 291,08 kg/cm² (28,54 MPa) untuk batas bawah. Nilai-nilai tersebut kemudian dipetakan ke dalam grafik sehingga menghasilkan Peta Kendali Individu pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Kendali Individu (*I-chart*)

Batas kendali peta rentang bergerak (*MR-chart*) diperoleh sebesar 59,32 kg/cm² (5,82 MPa) untuk batas atas, 18,16 kg/cm² (1,78 MPa) untuk garis tengah, dan 0 untuk batas bawah. Batas-batas tersebut kemudian digambarkan ke dalam grafik sehingga menghasilkan Peta Kendali *Moving Range* pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Kendali *Moving Range* (*MR-chart*)

Berdasarkan Gambar 2, seluruh 27 data individu berada di dalam batas kendali, yaitu antara LCL sebesar 291,08 kg/cm² hingga UCL sebesar 387,65 kg/cm². Nilai terendah tercatat pada data ke-26 sebesar 308,20 kg/cm², sedangkan nilai tertinggi tercatat pada data ke-22 sebesar 379,82 kg/cm², yang keduanya masih aman berada dalam batas kendali. Sementara itu, pada Gambar 3, seluruh 26 nilai rentang bergerak juga berada di dalam batas kendali antara 0 hingga 59,32 kg/cm², dengan nilai tertinggi tercatat pada MR ke-22 sebesar 48,14 kg/cm², yang masih berada di bawah batas kendali atas. Secara keseluruhan, tidak ditemukan titik yang keluar dari batas kendali maupun pola non-acak, sehingga proses pengecoran beton pada proyek tersebut dinyatakan terkendali secara statistik.

Hasil analisis variabilitas menunjukkan bahwa nilai koefisien variasi kuat tekan beton pada Proyek Cluster Matera Signature tergolong sangat kecil, yaitu sebesar 5,61%. Angka tersebut mengindikasikan bahwa hasil uji kuat tekan antar benda uji memiliki konsistensi yang tinggi dan tersebar rapat di sekitar nilai rata-ratanya. Temuan ini didukung oleh visualisasi histogram pada Gambar 1, di mana sebagian besar data mengelompok di pusat sebaran tanpa membentuk pola ekstrem yang menyimpang. Penggunaan beton *ready mix* dari penyedia tunggal, yaitu PT Merak Jaya Beton, turut menjaga konsistensi mutu tersebut melalui homogenitas campuran serta pengendalian proses produksi di *batching plant*.

Analisis kestabilan proses menggunakan peta kendali I-MR memperlihatkan bahwa seluruh 27 data individu dan 26 data rentang bergerak berada sepenuhnya di dalam batas kendali tanpa satu pun titik yang mengindikasikan kehadiran penyebab khusus. Kondisi ini membuktikan bahwa proses produksi beton pada proyek tersebut berada dalam keadaan yang stabil secara statistik meskipun mencakup beragam elemen struktur dan umur pengujian. Melalui pendekatan I-MR ini, seluruh 27 data dapat dianalisis secara langsung sebagai data individual tanpa memerlukan pembentukan subgroup.

Evaluasi mutu beton mengacu pada SNI 2847:2019 menyajikan kriteria penerimaan yang berbeda secara konseptual dari pendekatan SPC. Standar tersebut menetapkan bahwa rata-rata dari setiap tiga hasil uji berurutan harus memenuhi mutu rencana f'_c , serta tidak boleh ada nilai individual yang kurang dari f'_c dikurangi 3,5 MPa untuk f'_c kurang dari atau sama dengan 35 MPa (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Pada mutu rencana f'_c 25 MPa, batas minimum individual yang diizinkan berada pada angka 21,5 MPa. Hasil pengujian 27 data ekuivalen 28 hari mencatat nilai individual terendah sebesar 30,22 MPa, jauh melampaui syarat minimum tersebut dengan margin keamanan yang sangat memadai. Perbandingan kedua metode ini membuktikan bahwa kriteria SNI 2847:2019 dan pendekatan SPC saling melengkapi dalam mengawal mutu beton, di mana SNI menilai kelayakan batas keamanan struktural jangka pendek sedangkan SPC bertindak sebagai sistem peringatan dini yang mengukur konsistensi proses produksi secara berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Analisis terhadap pengendalian mutu beton pada Proyek Rumah Tinggal Matera Signature menyimpulkan bahwa variabilitas kuat tekan beton tergolong rendah dengan koefisien variasi sebesar 5,61%, yang menunjukkan mutu beton relatif seragam di atas mutu rencana 25 MPa. Berdasarkan analisis peta kendali I-MR, seluruh data individu dan rentang bergerak berada di dalam batas kendali tanpa indikasi penyebab khusus, sehingga proses produksi dinyatakan stabil secara statistik selama periode pengamatan. Disarankan bagi pihak proyek untuk mempertahankan konsistensi komposisi campuran yang ada dan mulai menstandarisasi jumlah pengambilan benda uji agar pemantauan di masa depan dapat ditingkatkan menggunakan peta kendali yang lebih peka seperti peta kendali X-R. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah data yang relatif kecil, yaitu 27 hasil uji dari satu proyek rumah tinggal dengan rentang waktu pengecoran kurang dari dua bulan, sehingga generalisasi hasil terhadap proyek lain dengan skala, elemen struktur, atau penyedia beton yang berbeda perlu dilakukan secara hati-hati. Penggunaan peta kendali I-MR pada penelitian ini juga didasarkan pada ketersediaan data tunggal tanpa subgroup, sehingga sensitivitas peta kendali dalam mendeteksi pergeseran mutu berskala kecil relatif lebih rendah dibandingkan peta kendali X-R yang menggunakan subgroup data. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas jumlah sampel, membandingkan hasil dari beberapa penyedia beton *ready mix*, serta menerapkan peta kendali X-R agar pergeseran mutu yang bersifat gradual dapat terdeteksi lebih dini. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah pentingnya penerapan SPC secara rutin oleh kontraktor dan konsultan pengawas sebagai bagian dari sistem penjaminan mutu proyek, tidak hanya sebagai alat evaluasi pasca pelaksanaan, melainkan juga sebagai instrumen pemantauan berkelanjutan selama proses pengecoran berlangsung.

Reference

1. Anwar, A., & Rosyid, A. (2022). Penerapan peta kendali variabel pada pemantauan mutu beton ready mix. *Jurnal Teknik Sipil dan Keanekaragaman Konstruksi*, 10(2), 112–121. <https://doi.org/10.31289/jtsk.v10i2.6450>
2. Badan Pusat Statistik. (2026). *Indikator konstruksi triwulan IV-2025*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id>
3. Badan Standardisasi Nasional. (2023). *SNI 1974:2023 Metode uji kekuatan tekan spesimen beton silinder*. Badan Standardisasi Nasional. <https://akses-sni.bsn.go.id/sni/detail/16789>
4. Eka Partama, I. G. N., Astariani, N. K., Sudika, I. G. M., & Silvi, N. P. (2024). Evaluasi mutu beton proyek pembangunan gedung di Desa Pesagi Kabupaten Tabanan-Bali. *Jurnal Ilmiah Telsinas*, 7(1), 74–83. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v7i1.5175>
5. Fathoni, M., & Supriyadi, A. (2023). Analisis pengendalian kualitas beton berbasis Statistical Process Control (SPC) pada struktur gedung. *Jurnal Konstruksi dan Material*, 5(1), 45–58. <https://doi.org/10.31258/jkm.v5i1.4891>
6. Fikri, I. M., Pontan, D., & Bhekti, D. S. (2024). Analisis implementasi manajemen konstruksi terhadap keberhasilan proyek lantai beton superflat. *Syntax Idea*, 6(1), 76–93. <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v6i1.2840>

7. Fitriana, R., Sari, D. K., & Habyba, A. N. (2021). *Pengendalian dan penjaminan mutu*. Wawasan Ilmu. <https://wawasanilmu.com/buku-pengendalian-mutu>
8. Hidayat, R., & Ramadhan, A. (2022). Identifikasi faktor penyebab variabilitas mutu beton pada pelaksanaan konstruksi landed house. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 4(2), 89–98. <https://doi.org/10.21070/jik.v4i2.1520>
9. Lestari, D., & Utomo, S. (2022). Penerapan peta kendali Individual-Moving Range (I-MR) dalam pemantauan kualitas material konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil dan Bangunan*, 8(1), 33–42. <https://doi.org/10.23960/jtsb.v8i1.189>
10. Lucas, J., Hutabarat, L. E., & Mulyani, A. S. (2022). Analisis pengendalian mutu sample uji beton untuk lantai pondasi di proyek One Tower BSD City dengan menggunakan SPC. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan – CENTECH*, 3(1), 46–56. <https://doi.org/10.33541/cen.v3i1.3791>
11. Nabillah, A. Y. A., & Herdiman, L. (2025). Pengendalian kualitas berdasarkan uji kuat tekan produk beton dan penentuan Failure Mode and Effect Analysis di PT Sumber Wijaya Sakti. *Talenta Conference Series: Energy and Engineering*, 8(1), 797–802. <https://doi.org/10.32734/ee.v8i1.2646>
12. Nugraha, A., & Saputra, I. (2022). Penerapan regulasi SNI 2847:2019 pada proyek perumahan di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Sipil Indonesia*, 9(2), 101–110. <https://doi.org/10.22216/jrsi.v9i2.3312>
13. Pratama, A., & Wijaya, B. (2021). Evaluasi pengaruh waktu tempuh ready mix terhadap kuat tekan beton dilapangan. *Jurnal Konstruksi Dewantara*, 6(1), 15–24. <https://doi.org/10.26486/jkd.v6i1.1120>
14. Putra, R., & Kusuma, H. (2024). Analisis komparatif mutu beton pada proyek gedung bertingkat dan perumahan horizontal. *Jurnal Sains dan Teknologi Konstruksi*, 3(1), 60–71. <https://doi.org/10.35814/jstk.v3i1.4011>
15. Sari, R., Hidayat, M., & Pratama, F. (2023). Pengaruh perlakuan curing beton terhadap variabilitas nilai kuat tekan silinder. *Jurnal Riset Teknik Sipil*, 3(2), 201–210. <https://doi.org/10.29313/jrts.v3i2.2150>
16. Setiadi, M. S., Usman, K., Sebayang, S., & Kustiani, I. (2024). Analisis pengendalian mutu beton pada proyek rumah susun PIK Pulo Gadung dengan metode Statistical Quality Control. *Journal of Sustainable Construction*, 3(2), 1–15. <https://doi.org/10.26593/josc.v3i2.7218>