Pemetaan Statistik Estimasi Kuat Tekan Beton Kolom Eksisting pada Tiga Lantai Menggunakan Rebound Hammer Test

Icha Maylinda Putri[1], Talitha Zhafira[2*], Hani Purwanti[3], Muhammad Ronald Ricky S[4]
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Semarang, Semarang, Indonesia
Email: ichaanp5@gmail.com[1], thalita@usm.ac.id[2], hanipurwanti@usm.ac.id[3], hanipurwanti@usm.ac.id[3]
ronaldricky17@gmail.com[4]

Abstrak

Evaluasi mutu beton eksisting pada elemen kolom penting dilakukan untuk memperoleh gambaran awal kondisi beton pada bangunan yang masih beroperasi, terutama ketika pengujian destruktif tidak memungkinkan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keseragaman respons beton eksisting pada kolom Gedung Kampus 2 Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang menggunakan *Non-Destructive Test* (NDT) berupa *Rebound Hammer Test* tipe N. Pengujian dilakukan pada Lantai Dasar, Lantai 3, dan Lantai 5, masing-masing meliputi tiga kolom dengan sembilan titik uji per kolom, sehingga diperoleh 81 titik pengujian. Penelitian menggunakan metode kuantitatif deskriptif analitis dengan mengonversi angka pantul menjadi estimasi kuat tekan beton (f'c) menggunakan persamaan regresi polinomial untuk hammer tipe N. Analisis dilakukan berdasarkan nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien variasi (CV). Hasil menunjukkan bahwa rata-rata estimasi kuat tekan per kolom berkisar antara 22,00–26,64 MPa, sedangkan nilai minimum estimasi individual mencapai 19,73 MPa pada Kolom K3 Lantai 5. Nilai tersebut berada di bawah mutu beton rencana sebesar 30 MPa. Rata-rata estimasi kuat tekan pada Lantai Dasar, Lantai 3, dan Lantai 5 masing-masing sebesar 26,31 MPa, 26,19 MPa, dan 24,20 MPa. Variasi hasil pada Lantai 5 lebih besar dibandingkan lantai lainnya, dengan CV sebesar 8,78%. Hasil ini menunjukkan bahwa *Rebound Hammer Test* dapat dimanfaatkan sebagai metode pemetaan awal keseragaman respons beton dan identifikasi lokasi yang memerlukan pemeriksaan lebih lanjut. Namun, estimasi kuat tekan yang diperoleh belum merepresentasikan kekuatan aktual beton karena belum dikalibrasi secara lokal melalui pengujian inti beton (*core drill*), sehingga tidak dapat digunakan secara langsung untuk menetapkan penerimaan mutu maupun keamanan struktur.

Kata Kunci: Beton Eksisting; Kolom Beton; *Rebound Hammer;* Estimasi Kuat Tekan Beton; *Non-destructive Test*.

ABSTRACT

Evaluating the quality of existing concrete in column elements is essential for assessing the actual structural condition of operational buildings, particularly when destructive testing is impractical. This study evaluates the quality of existing concrete columns in the Campus 2 Building of Politeknik Pekerjaan Umum, Semarang City, using a Type N Rebound Hammer Test as a non-destructive testing (NDT) method. Testing was conducted on the Ground Floor, 3rd Floor, and 5th Floor, covering three columns with nine test points per column, resulting in 81 test points. A quantitative descriptive-analytical method was employed by converting rebound numbers into estimated concrete compressive strength (f'c) using a polynomial regression equation for the Type N hammer. Statistical analyses were performed using the mean, standard deviation, and coefficient of variation (CV), referring to the ACI 228.1R-19 criteria. The results indicate that the estimated compressive strength ranges from 22.00 to 26.64 MPa, with CV values below 10% for all columns and floors, classified as very good. However, the 5th Floor exhibits greater variation (CV of 8.78%). A total of 7 out of 9 columns (77.8%) meet the preliminary evaluation criteria, while two columns on the 5th Floor require further assessment. The rebound hammer method provides preliminary information on concrete uniformity without disrupting building operations, although further verification is necessary.

Keywords: *Existing Concrete; Rebound Hammer; Concrete Compressive Strength; Coefficient of Variation; Non-destructive Testing.*

1. PENDAHULUAN

Urbanisasi dan pertumbuhan penduduk perkotaan di Indonesia mendorong peningkatan kebutuhan terhadap infrastruktur, perumahan, fasilitas pendidikan, perkantoran, dan pelayanan publik. World Bank (2023) menjelaskan bahwa peningkatan jumlah penduduk perkotaan memberikan tekanan terhadap penyediaan infrastruktur, layanan dasar, lahan, dan kebutuhan perumahan. Kondisi tersebut menjadikan keberadaan bangunan gedung sebagai salah satu komponen penting dalam mendukung aktivitas masyarakat perkotaan. Beton merupakan material struktur yang banyak digunakan pada bangunan gedung karena memiliki kuat tekan yang baik, mudah dilaksanakan, dan cukup tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan. Pada struktur gedung bertingkat, elemen vertikal seperti kolom berperan menahan beban gravitasi sekaligus beban lateral, sehingga mutu beton pada elemen ini harus memenuhi persyaratan perencanaan agar keamanan dan kinerja struktur tetap terjaga (Candra & Munizar, 2026). Seiring bertambahnya usia bangunan, kondisi beton eksisting dapat mengalami perubahan akibat pelaksanaan konstruksi yang kurang optimal, degradasi material, pengaruh lingkungan, maupun akumulasi beban selama masa layan, sehingga evaluasi mutu beton menjadi penting untuk memperoleh gambaran kondisi aktual struktur (Kocáb et al., 2019).

Evaluasi mutu beton pada bangunan eksisting dapat dilakukan melalui pendekatan destruktif dan non-destruktif. Pengujian destruktif seperti pengambilan sampel beton inti (*core drill*) sering sulit diterapkan karena dapat merusak elemen struktur, membutuhkan biaya yang tidak sedikit, serta berpotensi mengganggu fungsi bangunan yang masih beroperasi (Kumavat et al., 2021). Atas dasar itu, metode *Non-Destructive Test* (NDT) menjadi salah satu alternatif untuk evaluasi struktur eksisting. Salah satu metode NDT yang banyak digunakan adalah *Rebound Hammer Test*, yang bekerja dengan mengukur nilai pantul sebuah massa pegas terhadap permukaan beton yang selanjutnya dapat dikorelasikan dengan perkiraan kuat tekan beton. Menurut ASTM C805/C805M-25, pengujian *rebound hammer* digunakan untuk mengevaluasi keseragaman beton dan memberikan estimasi awal kuat tekan berdasarkan hubungan empiris antara angka pantul dan karakteristik beton. Namun, hasil pengujian ini dipengaruhi oleh kondisi permukaan dan karakteristik material, sehingga tidak dapat langsung dianggap sebagai pengukuran kuat tekan bagian dalam beton (ASTM International, 2025).

Pemilihan metode *rebound hammer* dalam penelitian ini didasarkan pada kondisi gedung yang menjadi objek penelitian, yaitu Gedung Kampus 2 Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang yang masih aktif digunakan untuk kegiatan perkuliahan. Dengan demikian, pengujian yang berpotensi merusak elemen struktur perlu dibatasi agar tidak mengganggu

fungsi operasional bangunan. Metode *rebound hammer* memungkinkan pengambilan data pada banyak titik secara relatif cepat dan tanpa merusak elemen yang diuji. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode ini telah digunakan dalam berbagai bentuk evaluasi beton eksisting. Pratama et al. (2022) mengombinasikan pengujian hammer test dan *core drill* untuk memperoleh hubungan korelasi antara angka pantul dan kuat tekan beton pada bangunan beton bertulang empat lantai. Enggartiasto et al. (2023) menggunakan *rebound hammer* sebagai bagian dari evaluasi material pada gedung eksisting delapan lantai yang dilanjutkan dengan analisis kinerja struktur terhadap beban gempa. Sementara itu, Fikri et al. (2023) menerapkan Schmidt Hammer Test untuk mengevaluasi mutu beton pada kolom bangunan eksisting dengan pengujian sebanyak 66 titik. Pada skala eksperimental, Tao & Chen (2023) mengkaji variasi spasial beton menggunakan pengujian *rebound hammer* dan *core test* yang dianalisis dengan pendekatan geostatistik. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa *rebound hammer* dapat digunakan untuk memperoleh informasi awal mengenai karakteristik dan variasi mutu beton, meskipun pendekatan analisis serta tujuan evaluasinya berbeda. Perbedaan fokus dan pendekatan penelitian terdahulu tersebut menjadi dasar penyusunan perbandingan *state of the art* sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. *State of the Art* Penelitian Evaluasi Mutu Beton Eksisting

Penelitian	Objek penelitian	Jumlah titik uji	Korelasi *hammer–core*	Analisis statistik	Perbandingan antar lantai	Kriteria evaluasi
Pratama et al. (2022)	Gedung beton bertulang 4 lantai	32 titik hammer dan 13 sampel *core*	Ya, 13 pasangan pengujian	Identifikasi outlier, student's t-test, dan 10th percentile	Tidak dilaporkan sebagai analisis mutu antar lantai	ACI 214.4R-10 dan ACI 228.1R-19
Enggartiasto et al. (2023)	Gedung beton bertulang eksisting 8 lantai di Semarang	Tidak dirinci	Tidak dilaporkan	Evaluasi kondisi material dan analisis kinerja struktur	Analisis respons struktur per tingkat, bukan perbandingan statistik mutu beton antar lantai	SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, ASCE 41-13, dan ATC-40
Fikri et al. (2023)	Kolom eksisting Mako Polres Toraja Utara	66 titik	Tidak dilaporkan	Rerata dan kuat tekan karakteristik	Tidak, pengujian berfokus pada area basement	Mutu rencana K-300 dan indikator 80%
Tao & Chen (2023)	Pelat beton eksperimental berukuran 2,8 × 4,8 × 0,2 m	Spasi pengujian hammer 40 mm; jumlah total titik	Ya, pengujian *hammer* dan *core*	Analisis geostatistik dan korelasi spasial	Tidak relevan karena objek berupa pelat eksperimental	Karakteristik variasi spasial dan parameter kuat tekan

Penelitian	Objek penelitian	Jumlah titik uji	Korelasi *hammer–core*	Analisis statistik	Perbandingan antar lantai	Kriteria evaluasi
Penelitian ini	Kolom beton bertulang Gedung Kampus 2 Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang	tidak dirinci dalam abstrak 81 titik pada 9 kolom	Tidak dilakukan	Rerata, simpangan baku, dan koefisien variasi (CV)	Ya, Lantai Dasar, Lantai 3, dan Lantai 5	Indikator 85% dan 75% dari mutu rencana sebagai evaluasi awal

Sumber: Penelitian-penelitian terdahulu, serta hasil rancangan penelitian.

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 1, penelitian terdahulu telah membahas evaluasi beton eksisting melalui pengujian *rebound hammer,* korelasi *hammer core*, analisis statistik, maupun kajian variasi spasial. Dengan demikian, kesenjangan penelitian ini bukan terletak pada belum digunakannya analisis statistik atau pengujian pada bangunan bertingkat, melainkan pada belum teridentifikasinya pendekatan yang secara bersamaan memetakan estimasi mutu beton pada tingkat kolom dan tingkat lantai dalam objek gedung kampus yang masih aktif digunakan, serta menghubungkan hasil pemetaan tersebut dengan identifikasi kolom yang memerlukan pemeriksaan lanjutan. Secara khusus, penelitian ini menggabungkan pengujian sembilan titik pada setiap kolom dengan rekapitulasi statistik pada tingkat kolom dan lantai, sehingga variasi mutu beton tidak hanya diketahui berdasarkan nilai rata-rata, tetapi juga berdasarkan tingkat penyebaran data dan perbedaan karakteristik antar elevasi. Pemetaan tersebut memberikan informasi tambahan berupa lokasi kolom yang memiliki variasi lebih besar atau estimasi kuat tekan yang berada di bawah indikator evaluasi awal, yang tidak dapat diperoleh hanya dengan melihat nilai rata-rata keseluruhan bangunan.

Kontribusi penelitian ini dibedakan menjadi kontribusi empiris dan kontribusi metodologis. Kontribusi empiris berupa informasi mengenai karakteristik estimasi mutu beton pada sembilan kolom di Lantai Dasar, Lantai 3, dan Lantai 5 Gedung Kampus 2 Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang, termasuk identifikasi kolom yang menjadi prioritas pemeriksaan lanjutan. Temuan tersebut bersifat spesifik terhadap objek penelitian dan tidak dapat langsung digeneralisasi sebagai gambaran kondisi gedung bertingkat lainnya. Sementara itu, kontribusi metodologis terletak pada penyusunan alur evaluasi awal yang mengintegrasikan pemetaan titik pengujian, analisis statistik berjenjang pada tingkat kolom dan lantai, serta penyaringan lokasi berdasarkan indikator evaluasi kuat tekan. Alur tersebut berpotensi diterapkan pada bangunan beton eksisting lainnya dengan penyesuaian terhadap mutu beton

rencana, kondisi permukaan, karakteristik alat, dan kebutuhan verifikasi setempat. Oleh karena itu, kontribusi penelitian tidak dimaksudkan sebagai pengembangan metode statistik baru, melainkan sebagai penerapan terstruktur untuk mendukung penentuan prioritas pemeriksaan beton eksisting.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi mutu beton eksisting pada elemen vertikal bangunan gedung bertingkat menggunakan metode *Rebound Hammer Test* pada Gedung Kampus 2 Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengujian mutu beton eksisting, menganalisis karakteristik statistik mutu beton berdasarkan nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien variasi, mengetahui tingkat homogenitas estimasi mutu beton antar lantai, serta melakukan evaluasi awal terhadap estimasi kuat tekan beton berdasarkan indikator penerimaan yang digunakan. Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada kolom beton bertulang di Lantai Dasar, Lantai 3, dan Lantai 5, masing-masing terdiri atas tiga kolom dan sembilan titik uji, sehingga diperoleh 81 titik pengujian. Penelitian hanya menggunakan metode NDT *rebound hammer,* sehingga tidak mencakup analisis struktur maupun pembebanan gedung. Perlu ditegaskan bahwa metode *rebound hammer* pada dasarnya mengukur kekerasan permukaan beton dan bukan kuat tekan bagian dalam secara langsung. Selain itu, persamaan konversi angka pantul yang digunakan merupakan model empiris dan belum dikalibrasi secara khusus terhadap beton objek penelitian. Oleh karena itu, hasil penelitian perlu dimaknai sebagai evaluasi statistik awal dan dasar penentuan lokasi pemeriksaan lanjutan (Alshaikh & Zeyad, 2022; Setiyarto & Mustopa, 2025).

2. METODE

2.1 Jenis dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif analitis. Data penelitian berupa angka hasil pengujian *Rebound Hammer Test* yang diolah dan dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik estimasi mutu beton eksisting pada elemen kolom gedung bertingkat (Sugiyono, 2020). Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan nilai pengujian dan variasi hasil antar titik pengujian, tanpa memberikan perlakuan eksperimental terhadap objek penelitian (Cresswell, 2022).

Penelitian dilaksanakan pada Gedung Kampus 2 Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang dengan objek pengamatan berupa kolom beton bertulang pada tiga lantai, yaitu Lantai Dasar, Lantai 3, dan Lantai 5. Pemilihan lantai tersebut didasarkan pada pertimbangan variasi elevasi bangunan dan aksesibilitas pelaksanaan pengujian pada gedung yang masih aktif

digunakan. Pengamatan dilakukan terhadap tiga kolom pada setiap lantai, yaitu K1, K2, dan K3, dengan sembilan posisi pengujian pada setiap kolom. Dengan demikian, jumlah posisi pengujian secara keseluruhan adalah:

$$n = 3 \times 3 \times 9 = 81 \text{ titik uji} \quad (1)$$

Pemilihan kolom dilakukan secara purposif berdasarkan ketersediaan akses pengujian pada lokasi penelitian. Oleh karena itu, sampel yang digunakan merupakan kelompok kolom terpilih dan tidak dimaksudkan sebagai representasi statistik seluruh kolom gedung. Hasil analisis pada setiap lantai dibatasi untuk menggambarkan karakteristik sembilan kolom yang diamati pada lantai bersangkutan, bukan untuk menyimpulkan kondisi seluruh elemen struktur gedung.

2.2 Variabel Penelitian dan Peralatan

Variabel pengamatan dalam penelitian ini meliputi lokasi lantai, identitas kolom, posisi pengujian, dan nilai *rebound number*. Data angka pantul digunakan untuk memperoleh estimasi kuat tekan beton berdasarkan persamaan konversi empiris. Parameter analisis meliputi nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien variasi (CV) pada kelompok data per kolom dan per lantai. Peralatan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Peralatan Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	*Rebound Hammer Test*	Mengukur nilai pantulan beton
2	Amplas	Membersihkan permukaan beton
3	Meteran	Mengukur posisi titik uji
4	Sticky note	Penandaan titik pengujian
5	Lembar form pengujian	Pencatatan data pengujian
6	Kamera	Dokumentasi saat pengujian
7	Laptop	Pengolahan data statistik

Sumber: Hasil Analisis, 2026

2.3 Teknik Pengumpulan Data dan Prosedur Pengujian

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, observasi lapangan, pengujian langsung menggunakan *rebound hammer*, dan dokumentasi kegiatan penelitian. Pengujian dilakukan pada permukaan kolom beton bertulang di tiga lantai yang telah ditentukan. Tahapan kegiatan meliputi persiapan alat dan lokasi, identifikasi kolom, penentuan posisi pengujian, persiapan permukaan beton, pelaksanaan pengujian, pencatatan angka pantul, serta dokumentasi hasil pengamatan.

Pengujian menggunakan *Rebound Hammer Test* tipe N dengan prinsip kerja berdasarkan pantulan massa pegas terhadap permukaan beton. Pengukuran dilakukan pada

posisi horizontal, yaitu alat ditempatkan tegak lurus terhadap permukaan kolom yang diuji. Sebelum pengujian, permukaan beton dibersihkan menggunakan amplas agar area kontak alat lebih siap untuk pengukuran. Selanjutnya, pengujian dilakukan pada sembilan posisi yang telah ditentukan pada masing-masing kolom dengan pola 3 × 3. Setiap hasil pembacaan angka pantul dicatat dalam lembar pengujian untuk selanjutnya dikelompokkan berdasarkan identitas kolom dan lantai.

Dalam pengolahan data, pembacaan yang menyimpang lebih dari 6 satuan terhadap nilai rata-rata sementara diperlakukan sebagai data pencilan sesuai prosedur pengolahan yang digunakan dalam penelitian. Apabila jumlah pembacaan yang dikeluarkan melebihi dua pembacaan dalam satu kelompok pengujian, kelompok data tersebut tidak digunakan dan pengujian pada posisi terkait dinyatakan perlu diulang. Prosedur ini dijelaskan sebagai perlakuan terhadap data pengujian yang tersedia.

ASTM C805/C805M-25 digunakan sebagai acuan prinsip pengujian dan interpretasi angka pantul. Standar tersebut menjelaskan bahwa nilai *rebound* dipengaruhi oleh kondisi permukaan, kelembapan, karakteristik penyelesaian permukaan, posisi vertikal pengecoran, serta kedalaman karbonasi. Selain itu, hubungan antara angka pantul dan kuat tekan harus dikembangkan untuk beton dan alat yang digunakan melalui korelasi dengan hasil pengujian inti beton dari lokasi yang bersesuaian. Oleh karena itu, hasil *rebound* hammer dalam penelitian ini diperlakukan sebagai informasi mengenai keseragaman relatif permukaan beton dan estimasi empiris.

2.4 Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil pengujian diolah secara deskriptif kuantitatif menggunakan Microsoft Excel. Tahapan pengolahan meliputi pengelompokan data berdasarkan lantai dan identitas kolom, rekapitulasi nilai *rebound number,* konversi angka pantul menjadi estimasi kuat tekan beton, perhitungan parameter statistik, serta penyajian hasil dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis dilakukan pada dua tingkat pengelompokan, yaitu tingkat kolom dengan sembilan posisi pengujian dan tingkat lantai dengan 27 posisi pengujian dari tiga kolom yang diamati.

Nilai rata-rata digunakan untuk menggambarkan kecenderungan hasil pengujian pada setiap kelompok data. Perhitungan nilai rata-rata dilakukan menggunakan persamaan (2). Dengan $\bar{x}$ adalah nilai rata-rata, xi adalah nilai setiap data pengujian, dan n adalah jumlah data yang dianalisis.

$$\bar{x} = \Sigma xi / n \qquad (2)$$

Simpangan baku digunakan untuk menggambarkan penyebaran data terhadap nilai rata-ratanya. Perhitungan simpangan baku menggunakan persamaan (3). Dengan s merupakan simpangan baku, xi adalah setiap nilai pengamatan, x̄ merupakan nilai rata-rata, dan n adalah jumlah data dalam kelompok pengujian.

$$s = \sqrt{[\Sigma(xi - \bar{x})^2 / (n - 1)]} \quad (3)$$

Selanjutnya, koefisien variasi dihitung untuk menggambarkan besarnya penyebaran data relatif terhadap nilai rata-rata. Persamaan yang digunakan adalah persamaan (4)

$$CV = (s / \bar{x}) \times 100\% \quad (4)$$

Nilai CV yang lebih kecil menunjukkan penyebaran data yang relatif lebih rendah terhadap nilai rata-ratanya, sedangkan nilai CV yang lebih besar menunjukkan penyebaran relatif yang lebih tinggi. Dalam penelitian ini, CV digunakan sebagai parameter statistik deskriptif untuk membandingkan variasi hasil pengujian antar kolom dan antar kelompok lantai. Nilai CV tidak digunakan sebagai dasar tunggal untuk menetapkan mutu beton dalam kategori kualitas tertentu karena hasil yang dianalisis berasal dari pengujian *rebound hammer*. Dengan demikian, interpretasi statistik dibatasi pada tingkat keseragaman relatif hasil pengujian dalam kelompok pengamatan.

2.5 Konversi Angka Pantul dan Batasan Interpretasi

Konversi angka pantul menjadi estimasi kuat tekan beton dilakukan menggunakan persamaan regresi polinomial untuk *rebound hammer* tipe N yang dipublikasikan oleh Partama (2025), yaitu pada persamaan (5), dengan f_c' merupakan estimasi kuat tekan beton dan R merupakan nilai rata-rata angka pantul.

$$f_c' = 0{,}0083R^2 + 0{,}877R - 19{,}679 \text{ (MPa)} \quad (5)$$

Persamaan tersebut digunakan sebagai model empiris untuk mengolah hasil pengujian karena alat yang digunakan tidak dilengkapi kurva kalibrasi pabrik yang dapat diterapkan dalam pengolahan data penelitian. Penggunaan persamaan ini tidak dimaksudkan sebagai kalibrasi khusus terhadap beton pada gedung yang diteliti. Oleh sebab itu, nilai kuat tekan yang diperoleh harus dipahami sebagai estimasi berdasarkan hubungan empiris.

ACI 228.1R-19 dan ASTM C805/C805M-25 menekankan pentingnya pengembangan hubungan antara hasil pengujian tidak langsung dan kuat tekan beton melalui korelasi yang sesuai dengan material serta kondisi struktur yang diperiksa. Karena penelitian ini tidak melakukan pengujian *core drill* untuk membentuk korelasi lokal, hasil konversi tidak digunakan untuk menetapkan penerimaan atau penolakan mutu beton maupun untuk menyimpulkan keamanan struktur. Interpretasi hasil difokuskan pada perbandingan relatif estimasi kuat tekan, variasi statistik, dan identifikasi kelompok kolom yang memerlukan perhatian untuk pemeriksaan lebih lanjut (ACI Committee 228, 2019; Badan Standardisasi Nasional, 2019).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Rebound Hammer

Pengujian *Rebound Hammer Test* tipe N dilakukan pada elemen kolom beton bertulang Gedung Kampus 2 Politeknik Pekerjaan Umum, Kota Semarang. Pengamatan mencakup tiga lantai, yaitu Lantai Dasar, Lantai 3, dan Lantai 5. Pada setiap lantai dipilih tiga kolom (K1, K2, dan K3), dengan sembilan titik uji pada setiap kolom. Dengan demikian, data yang dianalisis mencakup 27 titik uji pada setiap lantai atau 81 titik uji secara keseluruhan. Angka pantul (R) pada setiap titik dikonversi menjadi estimasi kuat tekan beton (f'c) menggunakan persamaan empiris hammer tipe N yang dirujuk dari Partama (2025).

Karena hubungan tersebut tidak dikembangkan melalui korelasi angka pantul dengan hasil pengujian *core* dari lokasi yang sama pada gedung yang ditinjau, nilai f'c dalam penelitian ini diperlakukan sebagai estimasi indikatif untuk membandingkan hasil antar lokasi pengujian, bukan sebagai hasil pengukuran kuat tekan aktual atau dasar penerimaan mutu beton. ASTM C805/C805M menegaskan bahwa estimasi kuat tekan memerlukan hubungan yang dikembangkan untuk beton dan alat yang digunakan, sedangkan angka pantul juga dipengaruhi kondisi permukaan, kadar air, dan karbonasi.

$$f'c = 0{,}0083R^2 + 0{,}877R - 19{,}679 \ (MPa) \quad (5)$$

Rekapitulasi pada Tabel 3 menyajikan rerata angka pantul, rerata estimasi kuat tekan, nilai minimum estimasi kuat tekan, simpangan baku, dan koefisien variasi pada masing-masing kolom. Nilai simpangan baku dan CV mengikuti hasil pengolahan yang tersedia dalam naskah awal. Karena data angka pantul individual untuk seluruh titik tidak disertakan dalam berkas rekapitulasi, CV pada tabel ini tidak dihitung ulang dari data R mentah.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian dan Statistik per Kolom

Lantai	Kolom	n	Rerata R	Rerata f'c (MPa)	f'c minimum (MPa)	s (MPa)	CV (%)
Lantai Dasar	K1	9	38,67	26,64	25,63	0,76	2,85
Lantai Dasar	K2	9	38,33	26,14	25,63	0,76	2,90
Lantai Dasar	K3	9	38,33	26,14	25,63	0,76	2,90
Lantai 3	K1	9	38,33	26,14	25,63	0,76	2,90
Lantai 3	K2	9	38,56	26,47	25,63	0,80	3,02
Lantai 3	K3	9	38,22	25,97	24,13	1,01	3,88
Lantai 5	K1	9	37,56	24,97	22,65	1,52	6,10
Lantai 5	K2	9	38,00	25,64	24,13	1,31	5,09
Lantai 5	K3	9	35,56	22,00	19,73	1,49	6,77

Berdasarkan Tabel 3, rerata estimasi kuat tekan pada sembilan kolom berada pada rentang 22,00–26,64 MPa. Nilai tertinggi terdapat pada kolom K1 Lantai Dasar sebesar 26,64 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada kolom K3 Lantai 5 sebesar 22,00 MPa. Simpangan baku yang tercantum berkisar antara 0,76–1,52 MPa, sementara CV berada pada rentang 2,85–6,77%. Angka-angka tersebut menggambarkan sebaran relatif hasil estimasi f'c dalam kelompok titik uji pada setiap kolom. Nilai CV tidak digunakan untuk menetapkan kategori mutu beton, melainkan hanya sebagai statistik deskriptif. Terdapat nilai ringkasan yang sama pada beberapa kolom, yaitu rerata f'c 26,14 MPa, simpangan baku 0,76 MPa, CV 2,90%, dan f'c minimum 25,63 MPa. Kesamaan tersebut dapat berasal dari nilai pengukuran yang berulang atau dari pembulatan angka pada tahap penyajian. Namun, tanpa data R per titik dan angka sebelum pembulatan, kedua kemungkinan tersebut tidak dapat dibedakan. Oleh karena itu, kesamaan ringkasan tidak ditafsirkan sebagai bukti bahwa kondisi beton pada kolom-kolom tersebut identik.

3.2 Rekapitulasi Deskriptif Berdasarkan Lantai

Untuk menggambarkan variasi hasil pada tingkat lantai, data dari tiga kolom pada setiap lantai direkapitulasi menjadi 27 titik uji. Ringkasan tersebut ditampilkan pada Tabel 4. Rekapitulasi ini digunakan untuk mendeskripsikan perbedaan nilai yang teramati pada tiga lantai yang menjadi sampel.

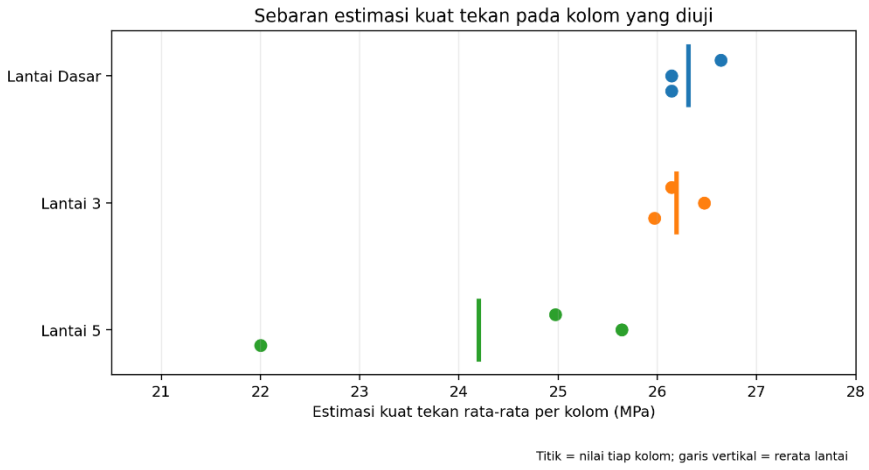
Tabel 4. Rekapitulasi Deskriptif Berdasarkan Lantai

Lantai	n	Rerata R	Rerata f'c (MPa)	f'c minimum (MPa)	s (MPa)	CV (%)
Lantai Dasar	27	38,44	26,31	25,63	0,77	2,92
Lantai 3	27	38,37	26,19	24,13	0,85	3,26
Lantai 5	27	37,04	24,20	19,73	2,12	8,78

Rerata estimasi f'c pada Lantai Dasar sebesar 26,31 MPa dan pada Lantai 3 sebesar 26,19 MPa. Selisih kedua rerata tersebut hanya 0,12 MPa. Pada Lantai 5, rerata estimasi f'c tercatat sebesar 24,20 MPa, atau 2,11 MPa lebih rendah dibandingkan Lantai Dasar dan 1,99 MPa lebih rendah dibandingkan Lantai 3. Dengan demikian, data sampel memperlihatkan rerata estimasi yang relatif berdekatan antara Lantai Dasar dan Lantai 3, serta nilai rerata yang lebih rendah pada Lantai 5. Temuan ini dinyatakan sebagai kecenderungan deskriptif karena penelitian tidak melakukan uji inferensial untuk menguji perbedaan antarlantai.

Perbedaan pada Lantai 5 juga tidak tersebar merata pada ketiga kolom. Rerata estimasi f'c kolom K1 dan K2 masing-masing sebesar 24,97 MPa dan 25,64 MPa, sedangkan kolom K3 sebesar 22,00 MPa. Nilai K3 yang lebih rendah ikut menarik rerata lantai ke bawah. Karena itu, hasil tersebut tidak cukup untuk menyatakan bahwa semakin tinggi posisi lantai maka semakin rendah kuat tekan beton. Kesimpulan yang dapat dipertahankan terbatas pada temuan bahwa rerata estimasi pada sampel Lantai 5 lebih rendah, terutama berkaitan dengan nilai pada kolom K3.

Nilai CV tingkat lantai adalah 2,92% pada Lantai Dasar, 3,26% pada Lantai 3, dan 8,78% pada Lantai 5. Secara deskriptif, sebaran estimasi f'c pada titik-titik uji Lantai 5 lebih lebar daripada dua lantai lainnya. Nilai ini juga sejalan dengan rentang nilai antar kolom pada Lantai 5 yang lebih lebar. Meskipun demikian, CV tersebut merupakan statistik dari estimasi f'c yang telah dikonversi, bukan CV angka pantul R. ASTM C805/C805M menjelaskan bahwa angka pantul dipengaruhi oleh kondisi permukaan, kelembapan, dan kedalaman karbonasi; oleh sebab itu, CV dari R dapat memberikan gambaran langsung mengenai variasi respons *rebound*, tetapi perhitungannya memerlukan data R individual yang tidak tersedia dalam rekapitulasi ini (ASTM International, 2025).



Gambar 1. Sebaran Estimasi Kuat Tekan Rata-Rata per Kolom dan Rerata per Lantai
Sumber: Hasil analisis berdasarkan data penelitian, 2026.

Berdasarkan Gambar 1, dapat diketahui bahwa sebaran estimasi kuat tekan beton pada setiap lantai menunjukkan hasil yang berbeda. Pada lantai dasar dan lantai 3, nilai estimasi kuat tekan antar kolom cenderung berada pada rentang yang berdekatan, dengan rata-rata masing-masing sekitar 26,3 MPa dan 26,2 MPa. Sementara itu, pada lantai 5 terlihat penyebaran nilai yang lebih bervariasi, yaitu berkisar antara 22,0 MPa hingga 25,7 MPa, dengan rata-rata sekitar 24,2 MPa. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa lantai 5 memiliki variasi estimasi kuat tekan yang lebih besar dibandingkan lantai lainnya. Perbedaan nilai rata-rata tersebut juga mengindikasikan adanya ketidakseragaman estimasi kuat tekan beton antar lantai, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik mutu beton pada elemen yang diuji.

3.3 Interpretasi Hasil dan Faktor yang Berkaitan

Temuan terukur dalam penelitian ini adalah adanya perbedaan rerata estimasi f'c antar kolom dan antar lantai sampel, serta sebaran estimasi yang secara deskriptif lebih besar pada Lantai 5. Variasi pelaksanaan pengecoran, pemadatan, kualitas material, perawatan beton (curing), umur beton, kondisi kelembapan, dan tingkat karbonasi merupakan faktor yang dalam literatur dapat memengaruhi respon *rebound* atau hubungan antara angka pantul dan kuat tekan. ASTM C805/C805M secara khusus menyebutkan kondisi kelembapan permukaan, jenis bekisting atau penyelesaian permukaan, posisi vertikal dalam pengecoran, dan kedalaman karbonasi sebagai faktor yang perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil (ASTM International, 2025).

Hasil *rebound* pada lokasi tersebut menghasilkan estimasi yang lebih rendah dibandingkan kolom lain yang diuji. Selain itu, *rebound hammer* merupakan metode tidak merusak yang mengukur respons pantul permukaan. ACI menjelaskan bahwa metode NDT seperti *rebound hammer* mengukur sifat lain yang kemudian dapat dikorelasikan dengan kuat tekan melalui hubungan empiris yang telah ditetapkan dan metode tersebut tidak menggantikan pengujian benda uji silinder atau *core* (ACI Committee 228, 2019).

3.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Fikri et al. (2023) meneliti kolom eksisting pada pembangunan Mako Polres Toraja Utara menggunakan Schmidt Hammer Test dengan mengacu pada SNI ASTM C805-2012. Penelitian tersebut melaporkan pengujian pada 66 titik dan pengambilan data pada pagi serta siang hari selama tiga hari berturut-turut. Hasil yang dilaporkan berupa estimasi kuat tekan rata-rata sebesar 457,57 kg/cm² pada kondisi pagi dan 479,90 kg/cm² pada kondisi siang. Jika

dikonversi menggunakan 1 kgf/cm² ≈ 0,0981 MPa, nilainya setara dengan sekitar 44,87 MPa dan 47,06 Mpa.

Rentang tersebut lebih tinggi daripada estimasi f'c pada penelitian ini, yaitu 22,00–26,64 MPa. Namun, perbedaan angka tersebut tidak dapat langsung ditafsirkan sebagai perbedaan mutu aktual kedua bangunan. Objek dan karakteristik beton berbeda, jumlah serta tata letak titik pengujian tidak sama, dan prosedur pengukuran serta pengolahan hasil juga tidak identik. Fikri et al. (2023) melaporkan pengukuran pada dua waktu dalam beberapa hari, sedangkan penelitian ini merangkum 81 titik pada tiga lantai. Selain itu, persamaan konversi yang digunakan pada penelitian ini merupakan persamaan empiris dan tidak dikalibrasi terhadap *core* dari gedung yang ditinjau.

Secara metodologis, ASTM C805/C805M menyatakan bahwa hubungan angka pantul dan kuat tekan untuk estimasi kekuatan perlu dikembangkan untuk campuran beton dan alat yang digunakan, antara lain melalui korelasi angka pantul pada struktur dengan kuat tekan *core* dari lokasi yang bersesuaian. Standar tersebut juga menyatakan bahwa hasil *rebound hammer* tidak dimaksudkan sebagai satu-satunya dasar penerimaan atau penolakan beton (ASTM International, 2025). ACI 228.1R-19 juga membahas perlunya pengembangan hubungan antara hasil pengujian tidak langsung dan kuat tekan serta keterbatasan metode estimasi di tempat (ACI Committee 228, 2019). Prinsip ini menjadi alasan mengapa hasil penelitian sekarang dibatasi pada pemetaan dan perbandingan deskriptif.

Dengan batasan tersebut, kontribusi penelitian ini terletak pada penyajian pemetaan statistik hasil *rebound* pada sembilan kolom yang tersebar di tiga lantai, serta penunjukan lokasi yang menghasilkan estimasi relatif lebih rendah untuk dipertimbangkan dalam pemeriksaan lanjutan. Kontribusi tersebut bersifat spesifik pada kolom dan lantai yang menjadi sampel.

3.5 Keterbatasan Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil dibatasi oleh beberapa hal yang terdiri dari:

a) Pengujian hanya mencakup sembilan kolom pada tiga lantai yang dipilih, sehingga hasil tidak mewakili seluruh elemen kolom gedung.
b) Rekapitulasi yang tersedia tidak memuat data angka pantul R individual pada setiap titik. Kondisi ini membatasi pemeriksaan distribusi angka pantul, penelusuran kemungkinan pembulatan atau pengulangan data, dan perhitungan ulang CV secara langsung dari R.
c) Nilai f'c diperoleh melalui persamaan empiris yang tidak dikalibrasi secara lokal menggunakan hasil *core* dari lokasi pengujian.

d) Data mengenai kelembapan permukaan, karbonasi, riwayat pengecoran, pemadatan, curing, dan umur beton per elemen tidak tersedia untuk menguji hipotesis penyebab variasi.

Kolom K3 Lantai 5 dapat diprioritaskan sebagai lokasi untuk verifikasi teknis lebih lanjut karena memiliki rerata estimasi paling rendah dalam kelompok yang diuji, tetapi penetapan kondisi aktualnya memerlukan pemeriksaan lanjutan yang sesuai, termasuk pengujian *core* apabila diperlukan dan ditetapkan oleh pihak berwenang. Rekomendasi tersebut merupakan tindak lanjut atas hasil pemetaan NDT.

4. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Hasil pengujian *Rebound Hammer Test* pada 81 titik uji di sembilan kolom Gedung Kampus 2 Politeknik Pekerjaan Umum Kota Semarang menunjukkan estimasi kuat tekan beton berkisar antara 22,00–26,64 MPa, dengan simpangan baku 0,76–2,12 MPa dan koefisien variasi (CV) 2,85–8,78%. Secara deskriptif, rerata estimasi kuat tekan pada Lantai Dasar dan Lantai 3 relatif berdekatan, masing-masing sebesar 26,31 MPa dan 26,19 MPa, sedangkan Lantai 5 menunjukkan rerata lebih rendah sebesar 24,20 MPa dan variasi hasil yang lebih besar. Estimasi terendah ditemukan pada Kolom K3 Lantai 5 sebesar 22,00 MPa. Namun, hasil tersebut belum dapat digunakan untuk menyatakan penerimaan mutu beton maupun keamanan struktur karena persamaan konversi yang digunakan belum dikalibrasi secara lokal melalui pengujian inti beton (*core drill*). Dengan demikian, hasil penelitian ini merupakan informasi awal untuk menggambarkan variasi respons beton dan mengidentifikasi lokasi yang memerlukan pemeriksaan lebih lanjut. Pemeriksaan lanjutan disarankan dilakukan secara bertahap, dimulai dengan pemeriksaan visual dan peninjauan peta hasil *Rebound Hammer Test* untuk menentukan lokasi prioritas, terutama Kolom K3 dan K1 Lantai 5. Selanjutnya, pengambilan sampel inti beton (*core drill*) dilakukan pada lokasi terpilih dengan mempertimbangkan hasil NDT, keterwakilan kondisi beton, aksesibilitas, dan keamanan elemen struktur. Hasil pengujian inti kemudian dikorelasikan dengan angka pantul dari lokasi yang bersesuaian untuk memperoleh hubungan kalibrasi lokal sehingga estimasi kuat tekan dapat diperbaiki. Hasil verifikasi tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai salah satu dasar evaluasi kondisi struktur dan analisis kapasitas elemen sesuai kebutuhan. Penelitian berikutnya disarankan mengombinasikan *Rebound Hammer Test*, UPV, pengujian inti beton, serta analisis struktural, dengan cakupan elemen dan titik pengujian yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 228. (2019). *ACI PRC-228.1-19: Report on methods for estimating in-place*

concrete strength. American Concrete Institute.

ACI Committee 562. (2025). *ACI CODE-562-25: Assessment, repair, and rehabilitation of existing concrete structures—Code requirements and commentary*. American Concrete Institute.

Alshaikh, I., & Zeyad, A. (2022). Reliability of the tests' results of Schmidt Hammer and core cutting for assessing actual compressive strength of concrete. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, *7*. https://doi.org/10.1007/s41024-022-00211-z

ASTM International. (2025). *ASTM C805/C805M-25: Standard test method for rebound number of hardened concrete*. American Society for Testing and Materials.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional.

Candra, A., & Munizar, R. (2026). Analisis pengaruh kualitas material terhadap kuat tekan beton pada pembangunan gedung bertingkat. *Journal of Science, Technology, and Innovation*, *2*(1), 107–116. https://doi.org/10.65310/j711dx92

Cresswell, J. W. (2022). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage Publication.

Enggartiasto, L., Mahmud, F., & Widiatmoko, K. W. (2023). Evaluasi tingkat kelayakan struktur gedung eksisting 8 lantai di Kota Semarang. *Teknika*, *18*(1), 12–22. https://doi.org/10.26623/teknika.v18i1.6469

Fikri, M., Nurhidayah, N., Adriansyah, M. R., & Ahmadi, A. (2023). Evaluasi kekuatan struktur kolom eksisting pada pembangunan Mako Polres Toraja Utara menggunakan Schmidt Hammer Test. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, *23*(1), 32–39. https://doi.org/10.35965/eco.v23i1.2501

Kocáb, D., Misák, P., & Cikrle, P. (2019). Characteristic curve and its use in determining the compressive strength of concrete by the rebound hammer test. *Materials*, *12*(7), 1–10. https://doi.org/10.3390/ma12172705

Kumavat, H. R., Chandak, N. R., & Patil, I. T. (2021). Factors influencing the performance of rebound hammer used for non-destructive testing of concrete members: A review. *Case Studies in Construction Materials*, *14*(2), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00491

Partama, I. G. N. E. (2025). Reformulasi grafik kuat tekan beton dengan hammer test tipe-N untuk meningkatkan akurasi hasil uji kubus dan silinder. *Jurnal Pemukiman*, *20*(1), 1–10. https://doi.org/10.31815/jp.2025.20.1-10

Pratama, E., Kadir, Y., Siregar, C. A., & Gumilang S., A. A. (2022). Pemeriksaan Mutu Beton Terpasang Menggunakan Pengujian Nondestruktif (NDT) dan Destruktif, Studi Kasus: Bangunan Beton Bertulang 4 Lantai. *Jurnal Permukiman*, *17*(1), 1. https://doi.org/10.31815/jp.2022.17.1-8

Setiyarto, Y. D., & Mustopa, M. P. (2025). Effect of Rebound Hammer Test Point Location on the Variability and Accuracy of Concrete Compressive Strength Estimation. *Journal of Civil Engineering and Planning*, *6*(2), 339–352. https://doi.org/10.37253/jcep.v6i2.11902

Sugiyono. (2020). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. Alfabeta.

Tao, J., & Chen, J. (2023). Experimental study on the spatial variability of concrete by the core test and rebound hammer test. *Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, *9*(4), 4023029. https://doi.org/10.1061/AJRUA6.RUENG-1101