



Analisis Pengaruh Kualitas Material terhadap Kuat Tekan Beton pada Pembangunan Gedung Bertingkat

Andika Candra^{1*}, Rezi Munizar²

¹⁻² Universitas Ratu Samban, Indonesia

email: andikacandra@gmail.com¹

Article Info :

Received:
03-07-2026
Revised:
09-07-2026
Accepted:
20-07-2026

Abstract

Concrete is the primary material used in the construction of high-rise buildings because it can withstand compressive loads and ensure long-term structural stability. This study aims to analyze the effect of constituent material quality on concrete compressive strength through a laboratory experimental approach. The research method utilized two variations of concrete mixes with a design strength of $f_c' = 30$ MPa: one using standard-grade materials and the other using substandard materials with high aggregate silt content and suboptimal coarse aggregate gradation. Tests were conducted on 150×300 mm cylindrical specimens at 7, 14, and 28 days using a compression testing machine. The results showed that concrete made with standard materials achieved a compressive strength of 31.2 MPa, while concrete made with substandard materials reached only 24.5 MPa—a 18.4% reduction from the design strength. These findings indicate that material quality plays a crucial role in determining concrete density, internal bond strength, and the structural reliability of multi-story buildings.

Keywords: Concrete, Compressive Strength, Material Quality, Aggregate, Multi-Story Buildings.

Abstrak

Beton merupakan material utama dalam konstruksi gedung bertingkat karena memiliki kemampuan menahan beban tekan dan mendukung stabilitas struktur jangka panjang. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kualitas material penyusun terhadap kuat tekan beton melalui pendekatan eksperimen laboratorium. Metode penelitian menggunakan dua variasi campuran beton dengan mutu rencana $f_c' = 30$ MPa, yaitu beton menggunakan material sesuai standar dan beton menggunakan material sub-standar dengan kadar lumpur agregat tinggi serta gradasi agregat kasar kurang optimal. Pengujian dilakukan terhadap benda uji silinder berukuran 150×300 mm pada umur 7, 14, dan 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan material standar mencapai kuat tekan 31,2 MPa, sedangkan beton dengan material sub-standar hanya mencapai 24,5 MPa atau mengalami penurunan sebesar 18,4% terhadap mutu rencana. Temuan ini menunjukkan bahwa kualitas material berperan penting dalam menentukan kepadatan beton, kekuatan ikatan internal, dan keandalan struktur bangunan bertingkat.

Kata kunci: Beton, Kuat Tekan, Kualitas Material, Agregat, Gedung Bertingkat.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Perkembangan urbanisasi global, peningkatan kebutuhan infrastruktur vertikal, serta keterbatasan ketersediaan lahan perkotaan telah mendorong transformasi paradigma pembangunan menuju konstruksi gedung bertingkat dengan tuntutan kinerja struktural yang semakin tinggi. Beton bertulang masih menjadi material dominan dalam konstruksi bangunan tinggi karena memiliki kombinasi karakteristik mekanis berupa kuat tekan yang tinggi, stabilitas jangka panjang, ketahanan terhadap kondisi lingkungan, serta fleksibilitas dalam pembentukan elemen struktural seperti kolom, balok, dan pelat lantai. Standar desain beton modern menempatkan kuat tekan sebagai parameter fundamental dalam menjamin keamanan struktur karena nilai tersebut berkorelasi langsung dengan kapasitas elemen beton dalam menerima beban gravitasi maupun beban dinamis selama masa layanan bangunan (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Perencanaan mutu beton tidak hanya ditentukan melalui formulasi campuran teoritis, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik aktual material penyusun yang digunakan selama proses konstruksi, meliputi kualitas semen, karakteristik agregat kasar dan halus, kandungan air, serta kondisi lingkungan selama proses pengerasan beton (Badan Standarisasi

Nasional, 2002). Kompleksitas hubungan antara faktor material dan performa mekanis beton menjadikan pengendalian kualitas bahan penyusun sebagai salah satu aspek strategis dalam memastikan reliabilitas struktur gedung bertingkat.

Kajian mengenai peningkatan performa beton dalam beberapa dekade terakhir menunjukkan bahwa perhatian penelitian tidak lagi terbatas pada pencapaian nilai kuat tekan tertentu, tetapi berkembang menuju pemahaman mengenai mekanisme interaksi antar-komponen material yang menentukan karakteristik mikrostruktur beton. Penelitian mengenai penggunaan bahan substitusi semen seperti fly ash menunjukkan bahwa modifikasi komposisi material dapat meningkatkan karakteristik beton apabila proporsi campuran dan kualitas material dikendalikan secara tepat. Mohamad et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen mampu menghasilkan beton mutu tinggi dengan kuat tekan mencapai 45 MPa melalui peningkatan reaksi pozzolanik yang memperbaiki struktur internal beton. Temuan tersebut diperkuat oleh Ariansyah dan Sumarsono (2025) yang mengidentifikasi bahwa penambahan fly ash pada beton K-250 memberikan pengaruh terhadap perkembangan kuat tekan pada elemen struktur bangunan bertingkat, meskipun efektivitasnya sangat bergantung pada komposisi campuran dan karakteristik material dasar. Penelitian lain juga memperlihatkan bahwa modifikasi material beton melalui penambahan serat baja maupun material alternatif dapat meningkatkan kapasitas mekanis beton, karena keberadaan material tambahan mampu memengaruhi distribusi tegangan dan menghambat perkembangan retakan internal (Gea et al., 2024; Permatasari, 2019). Temuan-temuan tersebut memperlihatkan bahwa kualitas material penyusun memiliki peranan fundamental dalam menentukan performa akhir beton, bukan sekadar sebagai komponen pembentuk volume campuran.

Meskipun berbagai penelitian telah memberikan kontribusi terhadap pengembangan beton berkinerja tinggi melalui rekayasa material tambahan, masih terdapat keterbatasan dalam menjelaskan pengaruh kualitas material dasar yang berasal dari agregat, semen, dan air terhadap perubahan kuat tekan beton pada kondisi konstruksi aktual. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada optimasi penggunaan material inovatif seperti fly ash, serat baja, maupun bahan substitusi lainnya, sementara aspek fundamental berupa variasi kualitas agregat, tingkat kebersihan material, gradasi butiran, serta kesesuaian material terhadap standar mutu konstruksi masih belum banyak dikaji secara komprehensif. Kondisi tersebut menjadi penting karena agregat menyusun sebagian besar volume beton dan secara langsung memengaruhi kepadatan, porositas, serta kualitas zona transisi antarmuka (interfacial transition zone) antara pasta semen dan agregat. Penelitian mengenai beton ringan berbasis foam menunjukkan bahwa perubahan karakteristik material penyusun dapat memengaruhi berat jenis, daya serap air, serta kuat tekan beton secara signifikan (Putranto et al., 2016), sementara penelitian mengenai beton pracetak dan beton cor pada proyek gedung bertingkat menunjukkan adanya perbedaan performa mekanis akibat variasi proses produksi dan karakteristik material yang digunakan (Sukirno, 2025). Celah penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemahaman mengenai hubungan langsung antara kualitas material konvensional dengan pencapaian kuat tekan beton pada struktur gedung bertingkat masih memerlukan kajian yang lebih sistematis.

Permasalahan kualitas material menjadi semakin kompleks ketika diterapkan pada proyek konstruksi berskala besar yang melibatkan volume pengecoran tinggi, variasi sumber material, serta keterbatasan pengawasan mutu di lapangan. Ketidakesesuaian karakteristik agregat terhadap standar teknis, seperti tingginya kadar lumpur pada agregat halus, gradasi agregat kasar yang tidak optimal, maupun penggunaan material dengan kualitas fisik rendah, berpotensi menyebabkan penurunan kepadatan beton dan melemahkan ikatan internal antar-komponen penyusun. Dampak tersebut tidak hanya berpengaruh terhadap nilai kuat tekan laboratorium, tetapi juga terhadap faktor keamanan struktur secara keseluruhan, khususnya pada gedung bertingkat yang menerima kombinasi beban besar secara terus-menerus. Kristianto et al. (2019) menunjukkan bahwa pengelolaan material konstruksi pada bangunan tingkat tinggi masih menghadapi berbagai permasalahan terkait efektivitas penggunaan bahan dan pengendalian kualitas selama pekerjaan struktur beton bertulang. Kondisi lingkungan selama proses konstruksi juga menjadi faktor yang dapat mempercepat degradasi material beton apabila tidak dikendalikan secara memadai, sebagaimana ditemukan oleh Fredi dan Sandjaya (2025) bahwa kondisi lingkungan memiliki keterkaitan terhadap perubahan karakteristik material dan kekuatan beton pada proyek konstruksi. Perspektif tersebut menegaskan bahwa evaluasi kualitas material bukan hanya menjadi aspek teknis dalam tahap desain campuran, tetapi merupakan kebutuhan praktis dalam menjamin keberlanjutan dan keselamatan struktur bangunan.

Berdasarkan perkembangan kajian tersebut, penelitian mengenai pengaruh kualitas material terhadap kuat tekan beton menempati posisi penting dalam memperluas pemahaman mengenai faktor determinan yang memengaruhi kinerja beton pada pembangunan gedung bertingkat. Penelitian ini mengambil posisi berbeda dari sebagian besar studi sebelumnya yang lebih menitikberatkan pada penggunaan bahan tambahan atau inovasi material beton, dengan memfokuskan analisis pada kualitas material dasar penyusun beton serta implikasinya terhadap pencapaian mutu beton rencana. Pendekatan ini menjadi relevan karena keberhasilan teknologi beton tidak hanya bergantung pada pengembangan material baru, tetapi juga pada kemampuan industri konstruksi dalam memastikan bahwa material fundamental yang digunakan telah memenuhi karakteristik teknis yang dipersyaratkan. Evaluasi terhadap kualitas agregat kasar, agregat halus, dan parameter material lainnya memberikan dasar ilmiah untuk memahami mekanisme penurunan kuat tekan akibat penggunaan material yang tidak memenuhi standar, sekaligus memberikan kontribusi terhadap penguatan sistem pengendalian mutu konstruksi berbasis bukti empiris.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kualitas material penyusun beton terhadap nilai kuat tekan pada aplikasi pembangunan gedung bertingkat melalui pendekatan eksperimental laboratorium. Kajian ini diarahkan untuk mengidentifikasi hubungan antara karakteristik fisik material, terutama kualitas agregat dan kesesuaiannya terhadap standar teknis, dengan perubahan kapasitas tekan beton yang dihasilkan. Kontribusi teoritis penelitian ini terletak pada penguatan pemahaman mengenai mekanisme hubungan antara kualitas material dan performa mekanis beton, sedangkan kontribusi metodologisnya diwujudkan melalui pendekatan pengujian komparatif terhadap variasi mutu material untuk memperoleh gambaran empiris mengenai dampaknya terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan strategi pengendalian kualitas material pada proyek konstruksi gedung bertingkat serta mendukung penerapan praktik konstruksi beton yang lebih aman, efektif, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi empiris dengan pendekatan eksperimen laboratorium yang bertujuan menganalisis pengaruh kualitas material penyusun terhadap kuat tekan beton pada aplikasi struktur gedung bertingkat. Inovasi metodologis dalam penelitian ini terletak pada pendekatan komparatif terhadap variasi mutu material penyusun beton melalui rekayasa kondisi agregat yang merepresentasikan perbedaan kualitas material di lapangan. Penelitian diawali dengan pengujian karakteristik material dasar berupa agregat kasar, agregat halus, semen, dan air untuk memastikan parameter fisiknya, meliputi analisis gradasi agregat, pemeriksaan kadar lumpur agregat halus, berat jenis material, serta evaluasi kesesuaian material terhadap standar beton normal. Selanjutnya dilakukan penyusunan desain campuran beton (*mix design*) berdasarkan mutu rencana $f'_{c}=30\text{f}_{\{c\}}=30\text{f}_{c'}=30\text{ MPa}$ dengan dua variasi perlakuan, yaitu beton menggunakan material sesuai standar mutu konstruksi dan beton menggunakan material sub-standar berupa agregat dengan kadar lumpur tinggi serta gradasi agregat kasar yang kurang optimal. Benda uji berbentuk silinder berukuran $150\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ dibuat melalui proses pencampuran, pengecoran, pemadatan, dan perawatan (*curing*) dalam kondisi terkontrol hingga mencapai umur pengujian 7, 14, dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) untuk memperoleh kapasitas maksimum beton dalam menerima beban tekan berdasarkan persamaan $f_c=P/A$, $f_{c'}=P/A$, sehingga dapat diketahui hubungan kuantitatif antara kualitas material penyusun dan perubahan performa mekanis beton.

Validasi penelitian dilakukan melalui evaluasi eksperimental terhadap hasil pengujian kuat tekan masing-masing variasi campuran serta analisis komparatif antara beton dengan material standar dan beton dengan material berkualitas rendah. Keandalan hasil penelitian dinilai berdasarkan konsistensi perkembangan kuat tekan pada setiap umur beton, persentase pencapaian terhadap mutu rencana, serta besarnya reduksi kekuatan akibat perubahan karakteristik material penyusun. Parameter evaluasi utama meliputi nilai kuat tekan rata-rata beton umur 28 hari, persentase penurunan atau peningkatan kuat tekan, hubungan antara kadar lumpur agregat dan kualitas ikatan pasta semen-agregat, serta pengaruh gradasi agregat terhadap kepadatan struktur internal beton. Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan hasil pengujian terhadap persyaratan mutu beton berdasarkan standar SNI 03-2834-2002 dan SNI 2847:2019, kemudian diperkuat melalui interpretasi mekanisme material berdasarkan perubahan porositas, kualitas zona transisi antarmuka (*interfacial transition zone*), dan efektivitas distribusi agregat dalam campuran beton. Pendekatan metodologis ini memberikan

ketahanan analisis karena tidak hanya mengukur perubahan nilai kuat tekan secara numerik, tetapi juga menjelaskan mekanisme material yang menyebabkan terjadinya perbedaan kinerja beton, sehingga menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai peran kualitas material dalam menjamin keamanan struktur gedung bertingkat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Material Penyusun Beton dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Campuran

Hasil pengujian karakteristik material menunjukkan bahwa kualitas bahan penyusun beton memiliki keterkaitan langsung terhadap kemampuan campuran dalam mencapai mutu rencana yang telah ditetapkan. Pemeriksaan awal terhadap agregat kasar, agregat halus, semen, dan air dilakukan untuk memastikan kesesuaian parameter fisik material sebelum proses pencampuran beton dilaksanakan. Variasi kualitas material dirancang untuk merepresentasikan kondisi konstruksi aktual, terutama perbedaan antara material yang memenuhi standar teknis dan material dengan karakteristik sub-standar yang berpotensi digunakan pada pekerjaan lapangan. Pendekatan pengujian material dasar menjadi aspek penting karena mutu beton tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi campuran, tetapi juga oleh kualitas intrinsik setiap komponen penyusunnya (Badan Standarisasi Nasional, 2002).

Pengujian agregat halus menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara material standar dan material dengan kadar lumpur tinggi yang digunakan dalam variasi eksperimen. Agregat pada variasi standar memiliki kadar lumpur sebesar 2,5%, sedangkan agregat sub-standar menunjukkan nilai 8%, sehingga melampaui batas persyaratan agregat halus yang diperbolehkan untuk campuran beton normal. Kandungan lumpur yang tinggi berpotensi mengurangi efektivitas ikatan antara pasta semen dan permukaan agregat karena lapisan material halus tersebut menghambat proses adhesi selama hidrasi semen. Kondisi tersebut memperkuat temuan bahwa kualitas agregat halus menjadi faktor dominan dalam menentukan stabilitas zona transisi antarmuka beton (Permatasari, 2019).

Hasil pemeriksaan agregat kasar juga memperlihatkan bahwa variasi gradasi memberikan pengaruh terhadap tingkat kepadatan campuran beton yang dihasilkan. Agregat dengan distribusi ukuran butiran yang baik mampu mengisi ruang kosong secara lebih efektif sehingga kebutuhan pasta semen dapat dikendalikan pada tingkat optimal. Sebaliknya, agregat dengan ukuran relatif seragam menghasilkan jumlah rongga internal yang lebih besar sehingga meningkatkan kebutuhan pasta semen untuk mencapai tingkat kepadatan yang sama. Fenomena tersebut sejalan dengan konsep desain campuran beton normal yang menempatkan gradasi agregat sebagai faktor utama dalam mengontrol rongga antarbutiran dan efisiensi penggunaan semen (Badan Standarisasi Nasional, 2002).

Data hasil pengujian karakteristik material pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1 yang memperlihatkan perbedaan parameter fisik antara material standar dan material sub-standar. Tabel tersebut menunjukkan bahwa perbedaan kualitas material terutama terlihat pada kadar lumpur agregat halus dan kondisi gradasi agregat kasar yang memberikan konsekuensi terhadap karakteristik campuran beton. Nilai parameter tersebut menjadi indikator awal yang menjelaskan potensi perubahan sifat mekanis beton sebelum dilakukan pengujian kuat tekan. Evaluasi karakteristik material melalui pendekatan kuantitatif diperlukan agar hubungan antara kualitas bahan baku dan performa beton dapat dianalisis secara objektif (SNI 2847:2019).

Tabel 1. Karakteristik Material Penyusun Beton pada Setiap Variasi Campuran

Parameter Material	Variasi A (Material Standar)	Variasi B (Material Sub-Standar)
Kadar lumpur agregat halus	2,5%	8,0%
Kondisi gradasi agregat kasar	Baik dan bervariasi	Seragam dan kurang optimal
Kesesuaian standar material	Memenuhi persyaratan	Tidak memenuhi persyaratan
Potensi rongga campuran	Rendah	Tinggi
Prediksi kualitas ikatan beton	Optimal	Menurun

Interpretasi terhadap Tabel 1 menunjukkan bahwa variasi material memberikan perbedaan fundamental terhadap karakteristik awal campuran beton sebelum mengalami proses pengerasan. Material dengan kadar lumpur rendah dan distribusi agregat yang baik memiliki peluang lebih besar

menghasilkan beton dengan struktur internal yang rapat karena proses pengikatan semen terhadap agregat berlangsung secara efektif. Material sub-standar menghasilkan kondisi sebaliknya karena keberadaan pengotor dan distribusi butiran yang tidak ideal dapat meningkatkan heterogenitas campuran. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pengendalian mutu material merupakan tahap awal yang menentukan keberhasilan pencapaian kuat tekan beton pada struktur bertingkat (Fajriah et al., 2025).

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa kualitas semen dan faktor air semen juga memiliki hubungan erat terhadap pembentukan kekuatan awal beton. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat utama melalui proses hidrasi yang menghasilkan produk pengikat berupa kalsium silikat hidrat (C-S-H), sedangkan jumlah air menentukan tingkat kemudahan pengerjaan sekaligus perkembangan kekuatan akhir beton. Penggunaan air yang berlebihan dapat meningkatkan porositas setelah proses penguapan berlangsung sehingga menurunkan kemampuan beton menerima beban tekan. Hubungan antara variasi faktor air semen dan kuat tekan beton telah menunjukkan bahwa perubahan rasio air terhadap semen memberikan dampak signifikan terhadap sifat mekanis beton (BP et al., 2025).

Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa kualitas material dasar memiliki hubungan dengan efektivitas penggunaan bahan tambahan dalam teknologi beton modern. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan fly ash, serat baja, maupun material alternatif lainnya mampu meningkatkan performa beton apabila material utama memiliki karakteristik yang sesuai. Beton dengan bahan substitusi tetap membutuhkan agregat berkualitas karena mekanisme peningkatan kekuatan melalui reaksi tambahan tidak dapat menggantikan fungsi dasar agregat sebagai pembentuk kerangka struktural beton. Temuan tersebut konsisten dengan penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan fly ash mampu meningkatkan kuat tekan beton mutu tinggi melalui optimasi komposisi campuran, tetapi keberhasilannya bergantung pada kualitas material dasar yang digunakan (Mohamad et al., 2020).

Perbedaan karakteristik material dalam penelitian ini juga memiliki implikasi terhadap proses konstruksi gedung bertingkat yang membutuhkan tingkat konsistensi mutu tinggi. Pada struktur dengan jumlah lantai besar, variasi kecil pada kualitas material dapat terakumulasi menjadi perubahan kapasitas struktural karena elemen beton seperti kolom dan balok menerima beban yang besar secara berkelanjutan. Penelitian mengenai perilaku struktur beton bertingkat menunjukkan bahwa kualitas elemen penyusun berpengaruh terhadap kemampuan struktur dalam mempertahankan kinerja ketika menerima berbagai kombinasi pembebanan. Faktor material menjadi salah satu variabel penting dalam memastikan keamanan struktur selain aspek desain dan metode pelaksanaan (Prayuda et al., 2023).

Pengaruh kualitas material juga berkaitan dengan aspek efisiensi konstruksi karena material yang tidak memenuhi standar dapat meningkatkan kebutuhan perbaikan maupun pekerjaan ulang. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan biaya konstruksi akibat kegagalan mutu, terutama ketika penurunan kualitas beton baru diketahui setelah elemen struktur selesai dikerjakan. Kajian mengenai risiko biaya kualitas pada pekerjaan struktur gedung bertingkat menunjukkan bahwa kegagalan pengendalian mutu dapat menghasilkan konsekuensi ekonomi yang signifikan terhadap proyek konstruksi. Evaluasi material sejak tahap awal menjadi strategi preventif untuk mengurangi potensi kegagalan struktural maupun pemborosan sumber daya (Everlyn et al., 2023).

Hasil karakterisasi material menunjukkan bahwa variasi kualitas agregat memberikan pengaruh awal terhadap potensi pencapaian kuat tekan beton. Material standar menghasilkan kondisi campuran yang lebih stabil karena memiliki parameter fisik yang mendukung pembentukan struktur beton padat dan homogen. Material sub-standar menunjukkan indikasi penurunan kualitas akibat meningkatnya kandungan pengotor dan ketidakseimbangan distribusi agregat yang dapat memperbesar porositas beton. Temuan ini menjadi dasar analisis lanjutan mengenai hubungan antara karakteristik material dengan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari.

Pengaruh Variasi Kualitas Material terhadap Perkembangan Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa variasi kualitas material penyusun memberikan pengaruh nyata terhadap perkembangan kekuatan beton pada setiap umur pengujian. Pengujian dilakukan terhadap benda uji silinder berukuran 150 mm × 300 mm pada umur 7, 14, dan 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) untuk memperoleh nilai kapasitas tekan maksimum dari setiap variasi campuran. Beton dengan material standar menunjukkan kecenderungan peningkatan kuat tekan yang lebih stabil dibandingkan beton dengan material sub-standar karena proses hidrasi semen berlangsung pada kondisi campuran yang lebih optimal. Perkembangan kuat tekan

tersebut menunjukkan bahwa kualitas material merupakan faktor fundamental yang menentukan keberhasilan pencapaian mutu beton rencana pada konstruksi gedung bertingkat (Badan Standarisasi Nasional, 2019).

Hasil eksperimen memperlihatkan bahwa beton Variasi A yang menggunakan agregat sesuai standar memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan Variasi B yang menggunakan material dengan kadar lumpur tinggi dan gradasi agregat kurang baik. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan karakteristik material mampu memengaruhi struktur mikro beton melalui perubahan tingkat kepadatan, jumlah rongga internal, serta kualitas hubungan antara pasta semen dan agregat. Material dengan kondisi fisik yang baik memungkinkan distribusi tegangan berlangsung lebih merata ketika beton menerima pembebanan tekan. Temuan tersebut memperkuat kajian sebelumnya bahwa modifikasi karakteristik material penyusun memiliki hubungan langsung terhadap perubahan sifat mekanis beton (Gea et al., 2024).

Data hasil pengujian kuat tekan pada setiap umur beton disajikan pada Tabel 2 yang memperlihatkan pola perkembangan kekuatan antara beton dengan material standar dan material sub-standar. Tabel tersebut menunjukkan bahwa perbedaan kualitas material telah menghasilkan perbedaan nilai kuat tekan sejak umur awal beton hingga mencapai umur 28 hari. Beton Variasi A mengalami peningkatan kekuatan yang lebih konsisten karena kondisi agregat mendukung proses hidrasi dan pembentukan struktur internal yang lebih rapat. Perbandingan nilai kuat tekan tersebut menjadi indikator empiris mengenai pengaruh kualitas material terhadap performa beton struktural.

Tabel 2. Perkembangan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Variasi Kualitas Material

Umur Pengujian	Variasi A (Material Standar)	Variasi B (Material Standar)	Sub-Selisih Kuat Tekan
7 Hari	21,4 MPa	17,6 MPa	3,8 MPa
14 Hari	27,8 MPa	22,1 MPa	5,7 MPa
28 Hari	31,2 MPa	24,5 MPa	6,7 MPa

Berdasarkan Tabel 2, beton Variasi A mencapai kuat tekan sebesar 31,2 MPa pada umur 28 hari, sedangkan Variasi B hanya mencapai 24,5 MPa sehingga terjadi perbedaan sebesar 6,7 MPa antara kedua perlakuan. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan material sub-standar menyebabkan beton mengalami penurunan kemampuan menerima beban tekan akibat melemahnya mekanisme pengikatan internal. Penurunan tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh rendahnya kualitas agregat, tetapi juga berkaitan dengan meningkatnya porositas beton akibat keberadaan rongga yang tidak terisi secara optimal. Fenomena tersebut sejalan dengan penelitian mengenai beton dengan berbagai variasi material yang menunjukkan bahwa perubahan komposisi penyusun dapat memengaruhi perkembangan kekuatan melalui perubahan struktur mikro beton (Putranto et al., 2016).

Analisis terhadap umur beton memperlihatkan bahwa proses peningkatan kuat tekan berlangsung lebih cepat pada beton dengan material berkualitas baik. Pada umur 7 hari, Variasi A telah menunjukkan nilai kuat tekan 21,4 MPa, sedangkan Variasi B hanya mencapai 17,6 MPa, yang menunjukkan bahwa tahap awal pembentukan ikatan semen-agregat telah dipengaruhi oleh kondisi material penyusun. Perbedaan tersebut semakin meningkat pada umur 14 dan 28 hari karena proses hidrasi berkelanjutan membutuhkan kondisi lingkungan internal beton yang mendukung perkembangan produk hidrasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa kualitas material tidak hanya memengaruhi kekuatan akhir beton, tetapi juga memengaruhi pola perkembangan kekuatan selama proses pengerasan (Mohamad et al., 2020).

Penurunan kuat tekan pada Variasi B berkaitan erat dengan keberadaan kadar lumpur agregat halus sebesar 8% yang menyebabkan berkurangnya efektivitas kontak antara permukaan agregat dan pasta semen. Lapisan lumpur yang menempel pada permukaan agregat bertindak sebagai penghalang mekanis sehingga mengurangi kemampuan pasta semen dalam membentuk ikatan adhesif yang kuat. Kondisi tersebut menyebabkan zona transisi antarmuka menjadi area yang lebih rentan terhadap pembentukan retak mikro ketika beton menerima tekanan eksternal. Mekanisme tersebut menjelaskan

bahwa kualitas agregat bukan hanya menentukan karakteristik fisik campuran, tetapi juga memengaruhi perilaku keruntuhan beton pada tingkat mikrostruktur (Permatasari, 2019).

Pengaruh gradasi agregat kasar juga terlihat dari perbedaan kepadatan beton yang dihasilkan pada masing-masing variasi campuran. Agregat dengan distribusi ukuran yang lebih baik mampu membentuk susunan butiran yang saling mengisi sehingga volume rongga dalam campuran menjadi lebih kecil. Sebaliknya, agregat dengan ukuran seragam menghasilkan ruang kosong lebih besar yang menyebabkan pasta semen tidak mampu sepenuhnya mengisi ruang antarbutiran secara efektif. Kondisi tersebut menyebabkan beton memiliki tingkat homogenitas lebih rendah dan berpotensi mengalami penurunan kapasitas mekanis sebagaimana ditemukan dalam berbagai penelitian mengenai pengembangan campuran beton mutu tinggi berbasis agregat lokal (Lendrian et al., 2022).

Perbandingan hasil penelitian ini dengan kajian sebelumnya menunjukkan bahwa pencapaian kuat tekan beton tidak hanya ditentukan oleh penggunaan material tambahan, tetapi juga bergantung pada kualitas material utama yang membentuk matriks beton. Penelitian mengenai penambahan serat baja menunjukkan bahwa peningkatan performa beton dapat dicapai melalui modifikasi material, tetapi efektivitas peningkatan tersebut tetap dipengaruhi oleh kondisi dasar beton sebelum diberikan perlakuan tambahan. Material penyusun yang memiliki kualitas rendah dapat membatasi kemampuan beton dalam menerima kontribusi peningkatan dari bahan tambahan karena struktur internal beton telah mengalami kelemahan sejak awal. Perspektif tersebut memperlihatkan bahwa pengendalian kualitas material dasar harus menjadi prioritas sebelum penerapan inovasi material lainnya (Gea et al., 2024).

Implikasi hasil penelitian terhadap pembangunan gedung bertingkat menunjukkan bahwa penurunan kuat tekan akibat kualitas material dapat memengaruhi tingkat keamanan struktur apabila tidak dikendalikan sejak tahap pelaksanaan. Elemen struktural seperti kolom dan balok memiliki ketergantungan tinggi terhadap mutu beton karena menerima beban aksial maupun kombinasi gaya yang besar selama masa pelayanan bangunan. Penelitian mengenai penggunaan beton pada proyek gedung bertingkat menunjukkan bahwa konsistensi mutu material dan metode pelaksanaan memiliki hubungan terhadap keberhasilan pencapaian kinerja struktur. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa pengujian material dan pengendalian mutu beton harus menjadi bagian integral dalam sistem manajemen konstruksi (Sukirno, 2025).

Hasil penelitian memberikan bukti empiris bahwa variasi kualitas material mampu menghasilkan perbedaan kuat tekan yang signifikan antara beton standar dan beton sub-standar. Beton dengan material sesuai persyaratan mampu melampaui mutu rencana 30 MPa, sedangkan beton dengan material berkualitas rendah mengalami penurunan hingga mencapai 24,5 MPa pada umur 28 hari. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kualitas material menjadi salah satu variabel utama yang menentukan keberhasilan desain beton struktural pada pembangunan gedung bertingkat. Temuan ini memperkuat pentingnya penerapan pengujian material, kontrol kualitas, dan evaluasi teknis secara berkelanjutan agar performa beton yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan struktur bangunan (Setiawan et al., 2025).

Implikasi Kualitas Material terhadap Keandalan Struktur Beton Gedung Bertingkat dan Pengendalian Mutu Konstruksi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh kualitas material terhadap kuat tekan beton memiliki implikasi langsung terhadap tingkat keandalan struktur beton pada pembangunan gedung bertingkat. Nilai kuat tekan yang diperoleh dari variasi material standar dan sub-standar memperlihatkan bahwa perubahan kualitas bahan penyusun dapat menyebabkan perbedaan kapasitas struktural yang signifikan. Kondisi tersebut menjadi penting karena elemen beton pada gedung bertingkat bekerja sebagai sistem yang saling terhubung, sehingga penurunan mutu pada satu elemen dapat memengaruhi distribusi beban dan kinerja struktur secara keseluruhan. Kajian mengenai persyaratan beton struktural menegaskan bahwa pencapaian mutu beton harus dikendalikan sejak tahap pemilihan material hingga proses pelaksanaan agar struktur memenuhi tingkat keamanan yang dipersyaratkan (Badan Standarisasi Nasional, 2019).

Hasil analisis menunjukkan bahwa beton dengan material sub-standar mengalami penurunan kuat tekan sebesar 18,4% dibandingkan mutu rencana $f'_c=30$ MPa, yang menunjukkan adanya risiko penurunan kapasitas struktural apabila kondisi tersebut terjadi pada pekerjaan konstruksi aktual. Penurunan tersebut dapat memengaruhi faktor keamanan elemen struktur karena desain gedung bertingkat umumnya mempertimbangkan kapasitas beton berdasarkan mutu rencana yang telah

ditentukan melalui proses perhitungan struktural. Ketidaksesuaian antara mutu beton aktual dan mutu beton desain dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan struktur dalam menerima kombinasi beban mati, beban hidup, maupun beban lateral akibat gempa. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa kualitas material bukan hanya persoalan teknis pada tingkat campuran beton, tetapi juga berkaitan dengan aspek keselamatan struktur bangunan bertingkat (Prayuda et al., 2023).

Evaluasi terhadap pengaruh kualitas material terhadap keamanan struktur dapat dilihat melalui hubungan antara mutu beton, proses pelaksanaan, dan sistem pengendalian kualitas konstruksi. Data pada Tabel 3 memperlihatkan perbandingan antara kondisi beton hasil eksperimen dengan implikasi teknis yang mungkin terjadi apabila material berkualitas rendah digunakan pada pekerjaan gedung bertingkat. Tabel tersebut menunjukkan bahwa penurunan kuat tekan akibat kualitas material menyebabkan perubahan karakteristik beton yang berpotensi meningkatkan kebutuhan evaluasi teknis pada tahap konstruksi. Analisis ini memperlihatkan bahwa pengendalian mutu material memiliki peran strategis dalam mempertahankan kesesuaian antara perencanaan struktur dan kondisi aktual di lapangan.

Tabel 3. Analisis Dampak Kualitas Material terhadap Kinerja Beton Struktural

Parameter Evaluasi	Material Standar	Material Sub-Standar	Dampak Teknis
Kuat tekan umur 28 hari	31,2 MPa	24,5 MPa	Penurunan kapasitas tekan
Kesesuaian mutu rencana	104% dari target	81,6% dari target	Tidak memenuhi target desain
Kondisi agregat	Bersih dan bergradasi baik	dan Kadar lumpur tinggi dan gradasi buruk	Ikatan pasta-agregat melemah
Risiko struktur	Rendah	Lebih tinggi	Membutuhkan pengendalian mutu lebih ketat

Interpretasi terhadap Tabel 3 menunjukkan bahwa penggunaan material dengan kualitas rendah menghasilkan konsekuensi teknis yang tidak hanya terlihat pada nilai kuat tekan, tetapi juga pada aspek keandalan struktur secara keseluruhan. Beton dengan material standar mampu mempertahankan mutu di atas nilai rencana karena memiliki kondisi internal yang lebih padat dan homogen. Sebaliknya, beton dengan material sub-standar menunjukkan penurunan performa akibat meningkatnya kemungkinan terbentuknya rongga internal dan melemahnya zona transisi antarmuka. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa pengendalian kualitas material merupakan bentuk pencegahan awal terhadap kegagalan struktural pada konstruksi gedung bertingkat (Sopacua, 2024).

Aspek pengendalian mutu menjadi semakin penting pada proyek gedung bertingkat karena volume penggunaan beton yang besar menyebabkan variasi kualitas material dapat memberikan dampak kumulatif terhadap keseluruhan struktur. Material yang tidak memenuhi standar apabila digunakan secara berulang pada proses pengecoran dapat menghasilkan perbedaan mutu antar elemen struktur yang sulit dikendalikan setelah beton mengalami pengerasan. Penelitian mengenai pengendalian mutu beton pada pekerjaan struktur menunjukkan bahwa penerapan metode pemeriksaan kualitas secara sistematis mampu mengurangi penyimpangan mutu melalui pemantauan material, proses produksi, dan hasil pengujian beton. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan konstruksi beton tidak hanya ditentukan oleh desain campuran, tetapi juga oleh konsistensi penerapan sistem kontrol kualitas selama proses pembangunan (Setiawan et al., 2025).

Hasil penelitian ini juga memiliki keterkaitan dengan konsep efisiensi konstruksi karena kualitas material yang rendah dapat meningkatkan potensi kegagalan mutu dan biaya perbaikan. Beton yang tidak mencapai kuat tekan rencana dapat memerlukan tindakan korektif seperti pengujian tambahan, perkuatan struktur, atau bahkan penggantian elemen tertentu yang mengalami penurunan kapasitas. Kondisi tersebut memberikan konsekuensi ekonomi yang signifikan karena biaya akibat kegagalan mutu umumnya lebih besar dibandingkan biaya pencegahan melalui pengujian material sejak awal. Studi mengenai risiko *cost of quality* pada pekerjaan struktur gedung bertingkat menunjukkan bahwa

pengendalian mutu yang tidak optimal dapat meningkatkan potensi *failure cost* selama pelaksanaan konstruksi (Everlyn et al., 2023).

Selain aspek mutu material, kondisi lingkungan selama pelaksanaan konstruksi juga memiliki pengaruh terhadap keberhasilan pencapaian kuat tekan beton. Material yang telah memenuhi standar tetap membutuhkan perlakuan pelaksanaan yang tepat, terutama dalam proses pencampuran, pengecoran, pemadatan, dan perawatan beton. Paparan lingkungan seperti temperatur, kelembapan, serta kondisi lokasi pekerjaan dapat memengaruhi proses hidrasi semen dan perkembangan kekuatan beton apabila tidak dikendalikan secara memadai. Penelitian mengenai pengaruh kondisi lingkungan terhadap material beton menunjukkan bahwa faktor eksternal dapat berkontribusi terhadap perubahan karakteristik beton dan menyebabkan perbedaan antara mutu teoritis dan mutu aktual di lapangan (Fredri & Sandjaya, 2025).

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa strategi peningkatan mutu beton pada gedung bertingkat perlu mengintegrasikan pendekatan pengujian material dengan inovasi teknologi beton yang berkembang. Penggunaan bahan tambahan seperti fly ash, serat alami, maupun material alternatif dapat menjadi solusi peningkatan performa beton, tetapi penerapannya tetap membutuhkan dasar material yang memiliki kualitas memadai. Penelitian mengenai penggunaan serat ijuk sebagai material campuran beton menunjukkan bahwa modifikasi komposisi beton dapat meningkatkan kemampuan beton dalam menerima beban tekan apabila proporsi campuran dirancang secara tepat. Hal tersebut menunjukkan bahwa inovasi material harus berjalan seiring dengan pengendalian kualitas bahan dasar agar menghasilkan beton dengan performa optimal (Winarto, 2017).

Implikasi lain dari hasil penelitian berkaitan dengan kebutuhan evaluasi berkelanjutan terhadap metode produksi beton pada proyek konstruksi modern. Sistem beton pracetak maupun beton cor di tempat memiliki karakteristik produksi yang berbeda, tetapi keduanya tetap bergantung pada kualitas material penyusun untuk mencapai mutu yang direncanakan. Penelitian mengenai perbandingan beton pracetak dan beton cor pada proyek gedung bertingkat menunjukkan bahwa metode produksi dapat memengaruhi kualitas akhir beton melalui perbedaan proses kontrol dan kondisi pelaksanaan. Evaluasi kualitas material harus ditempatkan sebagai bagian dari sistem manajemen mutu konstruksi yang mencakup seluruh tahapan pekerjaan beton (Sukirno, 2025).

Kualitas material penyusun beton merupakan faktor determinan dalam menjaga keandalan struktur gedung bertingkat. Perbedaan karakteristik material terbukti menghasilkan variasi kuat tekan yang memengaruhi tingkat pencapaian mutu rencana dan potensi keamanan struktur selama masa pelayanan. Temuan eksperimen ini menegaskan bahwa pengendalian material melalui pengujian fisik, seleksi sumber bahan, serta pengawasan proses konstruksi menjadi strategi utama untuk mengurangi risiko penurunan mutu beton. Pendekatan tersebut memperkuat konsep bahwa kualitas struktur beton tidak hanya dibangun melalui desain teknis, tetapi juga melalui konsistensi penerapan prinsip rekayasa material dan manajemen mutu konstruksi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas material penyusun beton memiliki pengaruh fundamental terhadap pencapaian kuat tekan dan keandalan struktur pada pembangunan gedung bertingkat. Hasil eksperimen memperlihatkan bahwa beton dengan material yang memenuhi standar menghasilkan kuat tekan sebesar 31,2 MPa pada umur 28 hari, sedangkan penggunaan material sub-standar dengan kadar lumpur agregat halus 8% dan gradasi agregat kasar yang kurang optimal menyebabkan penurunan kuat tekan menjadi 24,5 MPa atau mengalami reduksi sebesar 18,4% terhadap mutu rencana. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh perubahan karakteristik internal beton, meliputi peningkatan porositas, melemahnya ikatan antara pasta semen dan agregat, serta menurunnya kualitas zona transisi antarmuka. Kualitas material terbukti tidak hanya menentukan performa mekanis beton, tetapi juga berimplikasi terhadap aspek keamanan struktur, efisiensi konstruksi, dan pengendalian mutu pada proyek gedung bertingkat. Penerapan pengujian karakteristik material, pengawasan mutu secara berkelanjutan, serta pemilihan bahan penyusun yang sesuai standar menjadi faktor strategis dalam memastikan beton mampu mencapai kinerja struktural yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

Aditya, M. Y., Hartantyo, S. D., & Kartikasari, D. (2025, December). Analisis Pengaruh Nilai Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Bahan Tambah Limbah Bata Ringan Sebagai Campuran Agregat

- Halus. In *Seminar Nasional Teknik Sipil* (Vol. 3, No. 1, pp. 250-256). <https://doi.org/10.56071/sintesi.v3i1.1577>.
- Ariansyah, D., & Sumarsono, A. (2025). Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton K-250 Pada Elemen Struktur Bangunan Bertingkat. *Jurnal Sipil dan Perencanaan*, 3(1), 149-158.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2834-2002 - Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 - Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- BP, M. S., Febryanti, F., & Sideng, N. (2025). Pengaruh Variasi Faktor Air Semen (FAS) dengan Semen Jenis PCC Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 10(3), 288-299. <https://doi.org/10.33096/4nzj4a28>.
- Everlyn, V., Nugroho, A. S. B., & Triwiyono, A. (2023). Analisis Faktor Risiko Cost of Quality Terhadap Failure Cost Pada Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Gedung Bertingkat: Analysis of Cost of Quality Risk Factors Against Failure Costs in Building Structure Work. *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 11(2), 151-164. <https://doi.org/10.33558/bentang.v11i2.5959>.
- Fajriah, D. N., Lenggogeni, L., & Yasinta, R. B. (2025). Analisis Pengendalian Mutu Konstruksi Pada Pelaksanaan Pembangunan Apartemen Sky House Alam Sutera+ Phase 2. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 5(3), 3005-3019. <https://doi.org/10.31004/innovative.v5i3.18711>.
- Fredi, F., & Sandjaya, A. (2025). Analisis Pengaruh Kondisi Lingkungan Terhadap Material Beton Dan Kekuatan Beton Pada Proyek Konstruksi Gerjea Sebenar. *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 29-36. <https://doi.org/10.24912/jmts.v8i1.33090>.
- Gea, P. M., Dohare, G. A., Zebua, M. K., Zebua, A. K., Zebua, D., & Ndruru, R. J. (2024). Pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat tekan beton pada berbagai tingkat kepadatan. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 1(1), 66-73. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i1.246>.
- Kristianto, M. A., Ajie, E. P., Hermawan, H., & Setiyadi, B. (2019). Analisis waste material konstruksi pada pekerjaan struktur atas beton bertulang bangunan tingkat tinggi. *Jurnal teknik sipil*, 15(3), 143-149. <https://doi.org/10.24002/jts.v15i3.3727>.
- Kusumawati, D., Hadi, W., & Purnomo, A. (2026). Analisis Percepatan, Efisiensi Biaya, dan Mutu Pekerjaan Struktur Menggunakan Sistem Pracetak Hollow Core Slab (HCS) Pada Proyek Gedung Bertingkat. *Jurnal Sosial Teknologi*, 6(5), 1710-1716. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v6i5.32821>.
- Leksono, R. S., Iranata, D., & Kristijanto, H. (2012). Studi pengaruh kekuatan dan kekakuan dinding bata pada bangunan bertingkat. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), D30-D33. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v1i1.1024>.
- Lendrian, R. H., Iskandar, D., & Dewi, S. U. (2022). Desain Campuran Beton Mutu Tinggi Berbahan Agregat Lokal Menggunakan Admixture Bestmittel Tipe-E (Design Of High Quality Concrete Mixed Material Local Aggregateusing Admixture Bestmittel Type-E). *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 3(1), 219-224. <https://doi.org/10.24127/jumatisi.v3i1.3710>.
- Mohamad, R. M., Rachman, A., & Mointi, R. (2020). Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen. *Radial*, 8(1), 25-33. <https://doi.org/10.37971/radial.v8i1.199>.
- Oktavia, C., Putra, F., & Amran, Y. (2022). Analisis Peningkatan Sifat Mekanis Beton Menggunakan Sp Jenis Harvest (Studi Kasus Beton Mutu K. 300). *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 11(2), 147-156. <https://doi.org/10.24127/tp.v11i2.2026>.
- Permatasari, S. (2019). Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton FcTM 21 Menggunakan Agregat Kasar Pt. Amr Dan Agregat Halus Desa Sunggup Kota Baru. *Tapak (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 8(2), 155-161. <https://doi.org/10.24127/tp.v8i2.952>.
- Prayuda, H., Maulana, T. I., Putra, F. M. Y., Salsabila, B., & Saleh, F. (2023). Pengaruh ketidakberaturan bentuk bangunan beton bertulang bertingkat tinggi terhadap perilaku seismik. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(2), 307-320. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.2.17>.
- Putranto, S., Habsya, C., & Rahmawati, A. (2016). Pengaruh Fly Ash Sebagai Bahan Tambah Beton Ringan Foam Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan Dan Daya Serap Air, Untuk Material Dinding

- Struktur. *JIPTEK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan*, 10(1), 42-52. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v10i1.14966>.
- Setiawan, E. Y., Nanda, M. P., & Abdulgani, H. (2025). Analisis Pengendalian Mutu Beton Ready Mix Pada Pekerjaan Pile Cap Menggunakan Statistical Quality Methods Control. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 6(1), 8-18. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.942>.
- Sopacua, H. A. I. (2024). Evaluasi Kualitas Pelaksanaan Pekerjaan Kolom Beton Pada Proyek Pembangunan Gedung Baru RS Siloam Makassar. *Paulus Civil Engineering Journal*, 6(1), 145-154. <https://doi.org/10.52722/c5ngzj54>.
- Sukirno, I. A. (2025). Studi Perbandingan kekuatan Beton Pracetak dan Beton Cor Pada Proyek Gedung Bertingkat. *Jurnal Bangunan Konstruksi (BARAKKA)*, 3(1), 122-127. <https://doi.org/10.63877/jbk.v3i1.110>.
- Winarto, S. (2017). Pemanfaatan Serat Ijuk Sebagai Material Campuran Dalam Beton Untuk Meningkatkan Kemampuan Beton Menahan Beban Tekan Studi Kasus: Pembangunan Homestay Singonegaran Kediri. *UKaRsT*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.30737/ukarst.v1i1.79>.