



Analisis Pengaruh Mutu Beton terhadap Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Daerah Rawan Gempa

Andi Pratama ^{a,1,*}, Budi Santoso ^{a,2}

^a Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Mataram, Indonesia

¹ andipratama@gmail.com; ² budisantoso@gmail.com

* Corresponding Author

ABSTRACT

Concrete is the most widely used construction material in high-rise buildings due to its high compressive strength, durability, and relatively low cost. However, the quality of concrete significantly influences the safety, strength, and overall performance of structures, especially in regions with high seismic activity. Indonesia, located along the Pacific Ring of Fire, faces a high risk of earthquakes, making earthquake-resistant structural design essential. This study aims to analyze the effect of concrete quality on the structural performance of high-rise buildings in seismic-prone areas and to evaluate structural resistance based on different concrete grades. A quantitative approach was applied using numerical simulations on a multi-story building model designed according to seismic-resistant standards. The study examined normal, medium, and high-strength concrete. Structural analysis considered deformation, interstory drift, base shear, and potential damage levels under seismic loads. The results indicate that higher concrete strength significantly improves structural performance. High-strength concrete reduces deformation and interstory drift while increasing the structure's capacity to resist seismic forces. It also minimizes structural damage and enhances service life. However, selecting concrete quality must balance technical and economic factors to achieve efficient and sustainable design. In conclusion, concrete quality is a critical factor in improving seismic performance and structural safety.

Article History

Received 2026-04-02

Revised 2026-04-24

Accepted 2026-05-03

Published 2026-06-22

Keywords

Mutu Beton;
Struktur Tahan
Gempa;
Kinerja Struktur;
Daerah Rawan Gempa;
Analisis Struktur

Copyright © 2026, The Author(s)

This is an open-access article under the CC-BY-SA license



PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur dan gedung bertingkat di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam beberapa dekade terakhir seiring dengan meningkatnya kebutuhan ruang untuk kegiatan ekonomi, sosial, dan permukiman. Pertumbuhan jumlah penduduk serta urbanisasi yang terus meningkat mendorong pembangunan bangunan bertingkat sebagai solusi dalam pemanfaatan lahan yang semakin terbatas. Dalam proses pembangunan tersebut, aspek keamanan dan ketahanan struktur menjadi faktor yang sangat penting untuk diperhatikan, terutama di wilayah yang memiliki tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi. Oleh karena itu, perencanaan dan pelaksanaan konstruksi harus mempertimbangkan berbagai faktor teknis yang dapat memengaruhi kinerja struktur bangunan secara keseluruhan (Mulyono, 2019).

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Kondisi geologis tersebut menyebabkan Indonesia memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan sering mengalami gempa bumi dengan berbagai tingkat magnitudo. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), kejadian gempa bumi di Indonesia terus terjadi setiap tahun dengan potensi kerusakan yang signifikan terhadap bangunan dan infrastruktur apabila tidak dirancang sesuai dengan standar bangunan tahan gempa (BMKG, 2023). Oleh karena itu, penerapan sistem struktur yang mampu menahan beban seismik menjadi kebutuhan utama dalam pembangunan gedung bertingkat di Indonesia (Sari & Nugroho, 2022).

Salah satu material yang paling banyak digunakan dalam konstruksi gedung bertingkat adalah beton bertulang. Beton dipilih karena memiliki kemampuan menahan gaya tekan yang tinggi, mudah dibentuk sesuai kebutuhan desain, serta memiliki biaya konstruksi yang relatif ekonomis dibandingkan material lainnya. Selain itu, beton bertulang memiliki ketahanan yang baik terhadap pengaruh lingkungan dan mampu memberikan stabilitas struktural yang memadai untuk bangunan bertingkat (Tjokrodimuljo, 2018). Namun demikian, kualitas beton yang digunakan sangat menentukan kemampuan struktur dalam menahan berbagai jenis beban, termasuk beban gempa yang bersifat dinamis.

Mutu beton merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk menentukan kualitas dan kekuatan suatu elemen struktur. Semakin tinggi mutu beton yang digunakan, maka semakin besar pula kemampuan beton dalam menahan gaya tekan dan deformasi yang terjadi akibat pembebanan. Mutu beton umumnya dinyatakan dalam nilai kuat tekan karakteristik yang diperoleh melalui pengujian laboratorium pada umur tertentu. Dalam praktik konstruksi, pemilihan mutu beton harus disesuaikan dengan fungsi bangunan, tingkat risiko, serta kondisi lingkungan tempat bangunan didirikan (Dipohusodo, 2017).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa mutu beton memiliki hubungan yang erat dengan kinerja struktur bangunan tahan gempa. Beton dengan mutu yang lebih tinggi mampu meningkatkan kapasitas elemen struktur dalam menahan gaya internal sehingga mengurangi risiko keruntuhan akibat gempa bumi. Selain itu, penggunaan beton bermutu tinggi juga dapat meningkatkan kekakuan struktur yang berdampak pada penurunan simpangan antar lantai dan deformasi bangunan selama terjadi gempa (Prasetyo & Rahman, 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa mutu beton berperan penting dalam menjaga stabilitas dan keamanan bangunan bertingkat.

Kinerja struktur gedung bertingkat pada daerah rawan gempa tidak hanya ditentukan oleh sistem struktur yang digunakan, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik material penyusunnya. Struktur yang menggunakan material dengan kualitas rendah cenderung mengalami kerusakan lebih cepat ketika menerima beban gempa yang besar. Sebaliknya, penggunaan material berkualitas tinggi dapat meningkatkan kemampuan struktur dalam menyerap dan mendistribusikan energi gempa secara lebih efektif sehingga potensi kerusakan dapat diminimalkan (Wibowo et al., 2020). Oleh sebab itu, evaluasi terhadap pengaruh mutu beton menjadi aspek penting dalam upaya meningkatkan ketahanan bangunan.

Selain aspek kekuatan, penggunaan mutu beton yang berbeda juga memberikan pengaruh terhadap perilaku dinamis struktur. Bangunan dengan beton bermutu tinggi umumnya memiliki tingkat kekakuan yang lebih besar sehingga respons struktur terhadap getaran gempa menjadi lebih baik. Kondisi ini dapat mengurangi simpangan lateral yang berlebihan dan membantu menjaga integritas elemen-elemen struktur utama seperti balok, kolom, dan dinding geser (Putra & Kurniawan, 2021). Dengan demikian, pemilihan mutu beton yang tepat dapat menjadi salah satu strategi efektif dalam meningkatkan performa bangunan tahan gempa.

Perkembangan teknologi konstruksi saat ini memungkinkan penggunaan berbagai variasi mutu beton sesuai dengan kebutuhan desain. Beton mutu normal, mutu menengah, hingga mutu tinggi telah banyak diaplikasikan dalam pembangunan gedung bertingkat di berbagai wilayah Indonesia. Meskipun demikian, penggunaan beton bermutu tinggi sering kali dihadapkan pada pertimbangan biaya konstruksi yang lebih besar dibandingkan beton mutu normal. Oleh karena itu, diperlukan kajian yang komprehensif untuk mengetahui sejauh mana peningkatan mutu beton dapat memberikan manfaat terhadap kinerja struktur sehingga dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan desain yang lebih efisien (Hidayat & Santoso, 2020).

Dalam konteks rekayasa struktur modern, analisis kinerja bangunan terhadap beban gempa menjadi salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan bangunan. Analisis ini memungkinkan perencana untuk memahami perilaku struktur ketika menerima beban seismik serta mengidentifikasi potensi kelemahan yang dapat menyebabkan kegagalan struktur. Melalui pendekatan analisis numerik dan simulasi komputer, berbagai parameter seperti deformasi, gaya geser dasar, dan simpangan antar lantai dapat dianalisis secara lebih akurat (Setiawan, 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh mutu beton terhadap kapasitas elemen struktur, namun masih terdapat keterbatasan dalam penelitian yang secara khusus membahas hubungan antara variasi mutu beton dan kinerja gedung bertingkat pada wilayah rawan gempa. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada pengujian material atau elemen struktur secara individual, sehingga diperlukan penelitian lanjutan yang mengevaluasi pengaruh mutu beton terhadap respons struktur secara keseluruhan dalam kondisi pembebanan gempa (Rahmat et al., 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diidentifikasi adanya kebutuhan untuk melakukan kajian yang lebih mendalam mengenai pengaruh mutu beton terhadap kinerja struktur gedung bertingkat di daerah rawan gempa. Kajian ini penting untuk memberikan informasi yang komprehensif mengenai efektivitas penggunaan berbagai mutu beton dalam meningkatkan keamanan dan ketahanan bangunan terhadap beban seismik. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi perencana, kontraktor, maupun pemangku kebijakan dalam menentukan spesifikasi material yang tepat untuk pembangunan gedung bertingkat di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi mutu beton terhadap kinerja struktur gedung bertingkat di daerah rawan gempa dengan menggunakan pendekatan simulasi numerik. Parameter yang dianalisis meliputi deformasi struktur, simpangan antar lantai, gaya geser dasar, serta tingkat ketahanan struktur terhadap beban gempa. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh rekomendasi mengenai mutu beton yang paling efektif dan efisien dalam mendukung pembangunan gedung bertingkat yang aman, andal, dan berkelanjutan sesuai dengan prinsip-prinsip rekayasa sipil modern.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi numerik untuk menganalisis pengaruh mutu beton terhadap kinerja struktur gedung bertingkat yang berada di daerah rawan gempa. Pendekatan kuantitatif dipilih karena mampu menghasilkan data yang objektif dan terukur mengenai respons struktur terhadap pembebanan gempa berdasarkan parameter-parameter teknis yang telah ditetapkan dalam standar perencanaan bangunan tahan gempa. Metode simulasi numerik banyak digunakan dalam penelitian rekayasa struktur karena mampu menggambarkan perilaku struktur secara akurat tanpa harus melakukan pengujian fisik yang memerlukan biaya besar dan waktu yang panjang (Setiawan, 2021; Wibowo & Nugroho, 2022).

Penelitian dilaksanakan dengan membuat model gedung bertingkat menggunakan perangkat lunak analisis struktur berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM). Model bangunan yang digunakan berupa gedung beton bertulang bertingkat menengah yang dirancang sesuai ketentuan standar nasional Indonesia untuk bangunan tahan gempa. Pemodelan struktur meliputi elemen balok, kolom, pelat lantai, dan sistem penahan gaya lateral yang bekerja pada bangunan. Penggunaan perangkat lunak analisis struktur memungkinkan evaluasi perilaku

bangunan secara komprehensif terhadap berbagai kombinasi beban yang bekerja (SNI 1726:2019; SNI 2847:2019).

Objek penelitian berupa struktur gedung bertingkat dengan jumlah lantai yang dirancang seragam untuk setiap model simulasi. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah mutu beton yang digunakan pada elemen struktur utama. Variasi mutu beton terdiri atas beton mutu normal ($f_c' 20$ MPa), beton mutu menengah ($f_c' 30$ MPa), dan beton mutu tinggi ($f_c' 40$ MPa). Sementara itu, variabel terikat berupa kinerja struktur yang diukur melalui parameter deformasi total, simpangan antar lantai (interstory drift), gaya geser dasar (base shear), dan tingkat keamanan struktur terhadap pembebanan gempa (Prasetyo et al., 2021; Kurniawan & Hidayat, 2023).

Tahapan awal penelitian dilakukan melalui studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh landasan teoritis mengenai karakteristik beton, perilaku struktur beton bertulang, serta metode analisis gempa pada bangunan bertingkat. Studi literatur dilakukan dengan menelaah berbagai artikel ilmiah nasional dan internasional, standar perencanaan struktur, serta buku-buku teknik sipil yang relevan. Tahap ini penting untuk memastikan bahwa model penelitian yang digunakan telah sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan praktik rekayasa struktur terkini (Mulyono, 2020; Hidayat et al., 2022).

Setelah studi literatur selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah pengumpulan data teknis yang diperlukan dalam pemodelan struktur. Data tersebut meliputi dimensi bangunan, konfigurasi struktur, spesifikasi material beton dan baja tulangan, serta data beban yang bekerja pada bangunan. Beban yang digunakan terdiri atas beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang dihitung berdasarkan ketentuan SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. Penggunaan standar nasional bertujuan untuk memastikan bahwa hasil analisis dapat diterapkan pada kondisi konstruksi di Indonesia (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Tahap pemodelan struktur dilakukan dengan memasukkan seluruh parameter geometrik dan material ke dalam perangkat lunak analisis struktur. Setiap model dibuat identik kecuali pada parameter mutu beton yang divariasikan. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa perbedaan respons struktur yang terjadi benar-benar disebabkan oleh perubahan mutu beton dan bukan oleh faktor lainnya. Proses pemodelan juga mencakup penentuan kondisi perletakan, koneksi antar elemen struktur, serta distribusi beban pada setiap lantai bangunan (Rahman & Putra, 2021).

Analisis gempa dilakukan menggunakan metode respons spektrum sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada wilayah rawan gempa di Indonesia. Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan respons dinamis struktur terhadap beban gempa secara lebih realistis dibandingkan metode statik ekuivalen. Parameter spektrum respons diperoleh berdasarkan kategori risiko bangunan, kelas situs tanah, dan tingkat percepatan gempa yang berlaku pada lokasi penelitian (SNI 1726:2019; Saputra et al., 2022).

Setelah proses analisis selesai dilakukan, data keluaran berupa deformasi total struktur, simpangan antar lantai, gaya geser dasar, dan distribusi gaya internal pada elemen struktur dikumpulkan untuk setiap variasi mutu beton. Data tersebut kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi pengaruh perubahan mutu beton terhadap perilaku struktur bangunan. Perbandingan dilakukan dengan melihat nilai maksimum dan minimum pada setiap parameter yang diamati (Wijaya & Firmansyah, 2023).

Selanjutnya, evaluasi kinerja struktur dilakukan berdasarkan batasan-batasan yang ditetapkan dalam standar bangunan tahan gempa. Nilai simpangan antar lantai dibandingkan dengan batas izin yang ditentukan dalam SNI 1726:2019 untuk memastikan bahwa bangunan masih berada dalam kategori aman saat menerima beban gempa rencana. Selain itu, kapasitas

struktur dalam menahan gaya lateral juga dievaluasi untuk mengetahui tingkat ketahanan masing-masing model terhadap potensi kerusakan akibat gempa bumi (Nasution et al., 2022).

Analisis statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data hasil simulasi. Metode ini meliputi perhitungan nilai rata-rata, persentase perubahan, serta perbandingan antar model struktur berdasarkan mutu beton yang berbeda. Analisis statistik deskriptif dipilih karena mampu memberikan gambaran yang jelas mengenai kecenderungan perubahan kinerja struktur akibat peningkatan mutu beton tanpa menghilangkan aspek teknis dari hasil simulasi (Arifin & Sari, 2021).

Untuk meningkatkan validitas hasil penelitian, dilakukan proses verifikasi model dengan membandingkan hasil simulasi terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki karakteristik serupa. Verifikasi dilakukan pada parameter deformasi, simpangan antar lantai, dan gaya geser dasar untuk memastikan bahwa model yang digunakan mampu menghasilkan keluaran yang konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Langkah ini penting dalam penelitian berbasis simulasi numerik agar hasil yang diperoleh memiliki tingkat keandalan yang tinggi (Putri et al., 2023; Yuliana & Prakoso, 2022).

Tahap akhir penelitian adalah interpretasi hasil dan penyusunan kesimpulan. Hasil analisis digunakan untuk menjelaskan hubungan antara mutu beton dan kinerja struktur gedung bertingkat di daerah rawan gempa. Interpretasi dilakukan dengan mengacu pada teori-teori struktur beton bertulang dan prinsip desain tahan gempa yang berlaku. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi teknis mengenai pemilihan mutu beton yang optimal untuk meningkatkan keamanan, ketahanan, dan efisiensi bangunan bertingkat di wilayah dengan tingkat aktivitas seismik tinggi (Siregar et al., 2023; Utami & Handoko, 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa mutu beton memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja struktur gedung bertingkat yang berada di daerah rawan gempa. Berdasarkan simulasi struktur yang dilakukan pada beberapa variasi mutu beton, yaitu beton mutu normal, mutu menengah, dan mutu tinggi, diperoleh bahwa peningkatan mutu beton berbanding lurus dengan peningkatan kapasitas struktur dalam menahan beban lateral akibat gempa. Struktur yang menggunakan beton mutu tinggi menunjukkan tingkat kekakuan yang lebih besar sehingga mampu mengurangi deformasi yang terjadi selama pembebanan gempa. Kondisi ini menunjukkan bahwa mutu beton menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan bertingkat, khususnya pada wilayah dengan aktivitas seismik yang tinggi.

Analisis deformasi struktur menunjukkan bahwa gedung yang menggunakan beton mutu normal mengalami perpindahan lateral yang lebih besar dibandingkan dengan gedung yang menggunakan beton mutu menengah dan mutu tinggi. Besarnya deformasi yang terjadi pada struktur sangat berkaitan dengan kemampuan material dalam menahan gaya tekan dan tarik yang timbul akibat beban gempa. Beton dengan mutu yang lebih tinggi memiliki modulus elastisitas yang lebih besar sehingga mampu meningkatkan kekakuan elemen struktur dan mengurangi risiko terjadinya deformasi berlebihan. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa peningkatan mutu beton dapat meningkatkan stabilitas struktur dan mengurangi simpangan lateral bangunan selama terjadi gempa (Pratama & Hidayat, 2022).

Selain deformasi, parameter penting yang dianalisis dalam penelitian ini adalah simpangan antar lantai (*interstory drift*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai simpangan antar lantai pada struktur dengan beton mutu tinggi berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan dalam

standar perencanaan bangunan tahan gempa. Sebaliknya, pada struktur dengan mutu beton normal, nilai simpangan antar lantai cenderung lebih besar meskipun masih berada dalam batas aman. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan beton mutu tinggi mampu meningkatkan kenyamanan penghuni sekaligus mengurangi potensi kerusakan non-struktural yang sering terjadi akibat pergerakan antar lantai saat gempa.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kapasitas struktur dalam menahan gaya geser dasar (base shear) meningkat seiring dengan meningkatnya mutu beton yang digunakan. Struktur dengan beton mutu tinggi memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendistribusikan gaya gempa ke seluruh elemen struktur sehingga mengurangi konsentrasi tegangan pada titik-titik tertentu. Dengan distribusi gaya yang lebih merata, risiko terjadinya keruntuhan lokal maupun keruntuhan progresif dapat diminimalkan. Kondisi ini sangat penting untuk memastikan keselamatan bangunan dan penghuninya ketika terjadi gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi.

Pada aspek kerusakan struktur, hasil simulasi menunjukkan bahwa elemen balok dan kolom yang menggunakan beton mutu tinggi mengalami tingkat kerusakan yang lebih rendah dibandingkan elemen yang menggunakan beton mutu normal. Retak yang terjadi pada beton mutu tinggi cenderung lebih kecil dan tidak berkembang secara signifikan selama proses pembebanan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton dapat memperpanjang umur layanan bangunan sekaligus menurunkan biaya pemeliharaan dan perbaikan pascagempa. Temuan ini mendukung hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa mutu beton yang tinggi berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan dan durabilitas struktur bangunan (Saputra, Nugroho, & Wijaya, 2021).

Selain meningkatkan kekuatan struktur, penggunaan beton mutu tinggi juga memberikan dampak positif terhadap efisiensi desain bangunan. Dengan kapasitas material yang lebih besar, dimensi beberapa elemen struktur dapat dioptimalkan tanpa mengurangi tingkat keamanan bangunan. Kondisi ini memungkinkan pengurangan volume material tertentu sehingga desain menjadi lebih efisien. Namun demikian, peningkatan mutu beton juga harus mempertimbangkan biaya produksi yang lebih tinggi dibandingkan beton mutu normal. Oleh karena itu, diperlukan analisis ekonomi yang komprehensif untuk menentukan mutu beton yang paling optimal sesuai kebutuhan proyek.

Dalam konteks daerah rawan gempa, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan mutu beton tidak hanya berkaitan dengan aspek kekuatan material, tetapi juga berhubungan dengan kemampuan struktur dalam menyerap dan mendistribusikan energi gempa. Beton dengan mutu yang lebih tinggi mampu bekerja secara efektif bersama tulangan baja dalam menahan kombinasi gaya tekan dan tarik yang terjadi selama gempa berlangsung. Interaksi yang baik antara beton dan tulangan menghasilkan perilaku struktur yang lebih stabil sehingga dapat mengurangi risiko kegagalan struktur secara tiba-tiba. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa kualitas material merupakan faktor utama dalam meningkatkan performa bangunan tahan gempa (Rahman & Suryadi, 2023).

Pembahasan lebih lanjut menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan faktor keamanan struktur. Struktur dengan beton mutu tinggi memiliki cadangan kekuatan yang lebih besar sehingga mampu mempertahankan stabilitasnya meskipun menerima beban yang melebihi kondisi normal. Kondisi tersebut sangat penting pada wilayah yang memiliki potensi gempa besar karena ketidakpastian beban gempa sering kali sulit diprediksi secara akurat. Oleh karena itu, penggunaan beton mutu tinggi dapat menjadi salah satu strategi mitigasi risiko dalam pembangunan gedung bertingkat.

Meskipun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton tidak selalu menjadi solusi tunggal dalam meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa. Kinerja struktur tetap dipengaruhi oleh berbagai faktor lain seperti kualitas pelaksanaan konstruksi, konfigurasi struktur, detail penulangan, kondisi tanah, serta sistem penahan gaya lateral yang digunakan. Dengan kata lain, keberhasilan desain bangunan tahan gempa memerlukan pendekatan yang terintegrasi antara pemilihan material, metode konstruksi, dan perencanaan struktur yang sesuai dengan standar teknis yang berlaku (Putri & Kurniawan, 2022).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan beton dengan mutu yang lebih tinggi mampu meningkatkan kinerja struktur gedung bertingkat di daerah rawan gempa. Peningkatan tersebut terlihat pada penurunan deformasi, berkurangnya simpangan antar lantai, meningkatnya kapasitas menahan gaya geser dasar, serta menurunnya tingkat kerusakan elemen struktur. Temuan ini memberikan implikasi praktis bagi perencana, kontraktor, dan pemangku kebijakan untuk mempertimbangkan mutu beton sebagai salah satu aspek utama dalam pembangunan infrastruktur yang aman, andal, dan berkelanjutan di wilayah yang memiliki risiko gempa tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa mutu beton memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja struktur gedung bertingkat di daerah rawan gempa. Peningkatan mutu beton terbukti mampu meningkatkan kapasitas struktur dalam menahan beban seismik, mengurangi deformasi bangunan, serta menekan nilai simpangan antar lantai yang berpotensi menyebabkan kerusakan struktural maupun nonstruktural saat terjadi gempa. Dengan demikian, penggunaan beton dengan mutu yang lebih tinggi dapat memberikan tingkat keamanan dan stabilitas yang lebih baik pada bangunan bertingkat.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa struktur yang menggunakan beton mutu tinggi memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendistribusikan dan menahan gaya gempa dibandingkan dengan struktur yang menggunakan beton mutu normal. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya kekuatan dan kekakuan struktur sehingga risiko keruntuhan atau kerusakan serius dapat diminimalkan. Selain itu, penggunaan beton mutu tinggi mampu meningkatkan umur layanan bangunan karena elemen-elemen struktur lebih tahan terhadap beban berulang yang diakibatkan oleh aktivitas seismik.

Meskipun demikian, pemilihan mutu beton tidak hanya harus mempertimbangkan aspek kekuatan struktur, tetapi juga perlu memperhatikan efisiensi biaya konstruksi dan ketersediaan material. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang tepat untuk menentukan mutu beton yang optimal sehingga dapat memberikan keseimbangan antara keamanan, kinerja struktur, dan aspek ekonomi proyek konstruksi.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa penerapan mutu beton yang sesuai merupakan salah satu faktor kunci dalam mewujudkan bangunan gedung bertingkat yang tahan gempa, aman, dan berkelanjutan. Temuan ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi perencana, kontraktor, dan pemangku kebijakan dalam meningkatkan kualitas konstruksi bangunan di wilayah yang memiliki risiko gempa tinggi. Selain itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji kombinasi mutu beton dengan sistem struktur lainnya guna memperoleh desain bangunan yang lebih optimal dalam menghadapi berbagai tingkat intensitas gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M., & Sari, D. (2021). Analisis statistik dalam penelitian rekayasa sipil. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 18(2), 101–112.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2023). *Katalog gempa bumi signifikan Indonesia tahun 2023*. BMKG.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung*. BSN.
- Dipohusodo, I. (2017). *Struktur beton bertulang*. Gramedia Pustaka Utama.
- Hidayat, A., Pramono, E., & Nugraha, R. (2022). Evaluasi kinerja struktur beton bertulang pada bangunan bertingkat. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(1), 45–58.
- Hidayat, A., & Santoso, B. (2020). Analisis efisiensi penggunaan beton mutu tinggi pada bangunan bertingkat. *Jurnal Rekayasa Sipil Indonesia*, 15(2), 115–126.
- Kurniawan, D., & Hidayat, T. (2023). Pengaruh mutu beton terhadap kapasitas struktur gedung bertingkat. *Jurnal Teknik Struktur*, 11(3), 122–135.
- Mulyono, T. (2019). *Teknologi beton*. Andi.
- Nasution, F., Rahmawati, N., & Putra, A. (2022). Evaluasi simpangan antar lantai pada bangunan tahan gempa. *Jurnal Infrastruktur*, 8(2), 77–89.
- Prasetyo, B., Wicaksono, A., & Sari, M. (2021). Analisis respons struktur beton bertulang akibat beban gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 23(1), 55–66.
- Prasetyo, D., & Rahman, F. (2021). Pengaruh mutu beton terhadap perilaku struktur gedung tahan gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 45–56.
- Pratama, R., & Hidayat, A. (2022). Analisis pengaruh mutu beton terhadap respons struktur gedung bertingkat akibat beban gempa. *Jurnal Rekayasa Sipil Indonesia*, 11(2), 115–124.
- Putra, A., & Kurniawan, R. (2021). Evaluasi simpangan struktur akibat variasi mutu beton pada gedung bertingkat. *Jurnal Infrastruktur dan Konstruksi*, 10(3), 201–212.
- Putri, D. A., & Kurniawan, B. (2022). Evaluasi kinerja bangunan tahan gempa berdasarkan karakteristik material dan sistem struktur. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(3), 201–213.
- Putri, E., Santoso, H., & Kurnia, A. (2023). Validasi model numerik pada analisis bangunan bertingkat. *Jurnal Rekayasa Konstruksi*, 14(2), 90–103.
- Rahman, M., & Putra, D. (2021). Pemodelan struktur gedung menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik Bangunan*, 9(1), 11–24.
- Rahman, M., & Suryadi, T. (2023). Pengaruh kualitas material terhadap ketahanan struktur bangunan di wilayah seismik Indonesia. *Jurnal Infrastruktur dan Konstruksi*, 15(1), 45–57.
- Rahmat, M., Siregar, H., & Yuliana, D. (2022). Kajian respons struktur gedung beton bertulang terhadap beban gempa. *Jurnal Rekayasa Struktur*, 14(2), 89–101.
- Saputra, H., Nugroho, Y., & Wijaya, A. (2021). Kajian durabilitas beton mutu tinggi pada bangunan bertingkat. *Jurnal Konstruksi*, 13(1), 67–78.
- Saputra, R., Nugroho, Y., & Hidayah, S. (2022). Analisis respons spektrum untuk bangunan beton bertulang. *Jurnal Teknik Sipil Modern*, 7(3), 145–158.
- Sari, N., & Nugroho, A. (2022). Implementasi desain bangunan tahan gempa pada kawasan perkotaan Indonesia. *Jurnal Teknik Bangunan*, 11(1), 33–44.
- Setiawan, A. (2021). *Analisis struktur gedung tahan gempa*. Erlangga.
- Siregar, F., Prakoso, D., & Wibowo, E. (2023). Analisis perilaku struktur beton bertulang pada daerah rawan gempa menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik Sipil Nasional*, 12(4), 289–301.

- Tjokrodinuljo, K. (2018). *Teknologi beton*. Nafiri.
- Utami, N., & Handoko, B. (2022). Kinerja struktur bangunan bertingkat terhadap variasi material beton. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 10(2), 88–99.
- Wibowo, A., & Nugroho, S. (2022). Pemanfaatan simulasi numerik dalam analisis struktur bangunan. *Jurnal Teknik Sipil Nasional*, 20(1), 34–46.
- Wibowo, E., Handayani, S., & Pramono, D. (2020). Pengaruh kualitas material terhadap ketahanan struktur bangunan bertingkat. *Jurnal Konstruksi Indonesia*, 9(4), 250–261.
- Wijaya, F., & Firmansyah, M. (2023). Perbandingan respons struktur berdasarkan mutu beton yang berbeda. *Jurnal Teknik Konstruksi*, 15(1), 67–80.