

PENGARUH KRITERIA DESAIN SEISMIK TERHADAP RENCANA ANGGARAN BIAYA UNTUK PEKERJAAN STRUKTUR PADA GEDUNG TAHAN GEMPA MENGGUNAKAN TEKLA STRUCTURAL DESIGNER

Iklil Dzunur Karom¹, Bobby Asukmajaya R.², Nawir Rasidi³

Mahasiswa Program Studi D-IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: iklildegea@gmail.com¹, bobbyasukma@polinema.ac.id², nawir.rasidi@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa yang efisien sangat krusial di Indonesia mengingat tingginya tingkat kerentanan wilayah terhadap aktivitas seismik. Pemenuhan standar ketahanan gempa berimplikasi langsung pada peningkatan kebutuhan material, yang pada akhirnya memengaruhi kelayakan finansial suatu proyek konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara kuantitatif pengaruh variasi Kriteria Desain Seismik (KDS) kategori B, C, dan D terhadap Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur pada gedung tahan gempa. Metode yang digunakan meliputi pemodelan dan analisis struktur tiga dimensi (3D) menggunakan *software* Tekla Structural Designer (TSD), dengan simulasi pembebanan dinamis berbasis respons spektrum yang mengacu pada pedoman SNI 1726:2019 serta persyaratan beton struktural SNI 2847:2019. Ekstraksi volume material secara otomatis (*quantity take-off*) dilakukan untuk menghitung kebutuhan beton dan baja tulangan pada elemen utama balok dan kolom, yang kemudian dikonversi menjadi estimasi biaya struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kelas KDS memberikan dampak yang rasional dan proporsional terhadap kenaikan volume material. Total RAB pekerjaan struktur tercatat sebesar Rp11.281.159.000,00 untuk kondisi KDS B, mengalami eskalasi menjadi Rp11.922.358.000,00 pada KDS C, dan memuncak secara signifikan hingga Rp14.492.356.000,00 pada pemodelan KDS D. Secara keseluruhan, penerapan parameter seismik yang lebih ketat menuntut mekanisme pengekangan elemen yang jauh lebih masif pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sehingga memicu persentase kenaikan biaya konstruksi struktur dari KDS terendah menuju KDS tertinggi. Integrasi antara analisis struktural berbasis BIM dan manajemen biaya ini diharapkan dapat menjadi pedoman teknis dalam merencanakan alokasi anggaran proyek yang seimbang antara integritas keamanan struktur dan efisiensi ekonomi.

Kata Kunci: kriteria desain seismik; rencana anggaran biaya; Tekla Structural Designer; struktur tahan gempa.

ABSTRACT

The efficient structural design of earthquake-resistant buildings is crucial in Indonesia, given the region's high vulnerability to seismic activity. Compliance with earthquake-resistance standards directly implies an increase in material requirements, which ultimately affects the financial feasibility of a construction project. This research aims to quantitatively evaluate the impact of variations in Seismic Design Categories (SDC) B, C, and D on the structural cost estimate of an earthquake-resistant building. The methodology involves three-dimensional (3D) structural modeling and analysis using Tekla Structural Designer (TSD) software, incorporating dynamic loading simulations based on the response spectrum in accordance with SNI 1726:2019 guidelines and SNI 2847:2019 structural concrete requirements. Automated material volume extraction (quantity take-off) was conducted to calculate the concrete and reinforcing steel requirements for the primary beam and column elements, which were subsequently converted into structural cost estimates. The results indicate that an upgrade in the SDC class yields a rational and proportional impact on the increase in material volume. The total structural cost estimate was recorded at IDR 11,281,159,000.00 for the SDC B condition, escalating to IDR 11,922,358,000.00 for SDC C, and peaking significantly at IDR 14,492,356,000.00 in the SDC D model. Overall, the application of stricter seismic parameters demands a substantially more massive element confinement mechanism within the Special Moment Resisting Frame (SMRF) system, thereby triggering a percentage increase in structural construction costs from the lowest to the highest SDC. The integration of BIM-based structural analysis and cost management is expected to serve as a technical guideline in planning project budget allocations that balance structural safety integrity with economic efficiency.

Keywords: seismic design category; cost estimate; Tekla Structural Designer; earthquake-resistant structure.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena posisinya yang terletak di area pertemuan empat lempeng tektonik utama. Kondisi geografis ini membuat wilayah Indonesia sangat rentan terhadap gempa bumi dengan intensitas sedang hingga tinggi [1]. Kejadian gempa bumi terbukti secara konsisten menimbulkan kerusakan infrastruktur yang masif, seperti keruntuhan banyak bangunan beton bertulang akibat gempa Majene-Mamuju bermagnitudo 6,2 pada tahun 2021 [2]. Intensitas kerusakan serupa juga terlihat jelas pada peristiwa gempa Cianjur bermagnitudo 5,6 di tahun 2022, di mana lebih dari 53.000-unit rumah terdampak dan 12.000 di antaranya mengalami rusak berat akibat kegagalan struktur [3]. Tingginya tingkat kerentanan bangunan ini menegaskan urgensi kepatuhan perencanaan konstruksi terhadap pedoman desain seismik, khususnya Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung [4]. Di samping itu, penerapan pembebanan gempa harus dikombinasikan dengan SNI 2847:2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural, guna memastikan setiap elemen bangunan mampu bekerja secara integral, mempertahankan kestabilan lateral, dan menghasilkan deformasi yang terkendali [5].

Berbagai kajian terdahulu telah membuktikan bahwa pembaruan dan penyesuaian kriteria desain seismik memberikan implikasi yang signifikan terhadap proporsi material struktural dan anggaran konstruksi. Penelitian yang dilakukan oleh Kadir et al. (2024) menemukan bahwa perubahan kode desain seismik berdampak pada peningkatan percepatan spektral desain, yang memicu kenaikan kebutuhan tulangan sebesar 25% hingga 40% pada kategori bangunan bertingkat menengah [6]. Dari sudut pandang finansial, studi Budiman (2025) melaporkan bahwa lonjakan nilai percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*) mampu meningkatkan kebutuhan baja tulangan hingga 91,8%, yang pada gilirannya menyebabkan pembengkakan total biaya pekerjaan struktur hingga 1,94 kali lipat [7]. Di sisi lain, perancang struktur kerap kali dihadapkan pada dilema desain antara mengoptimalkan kekakuan bangunan dan menjaga efisiensi material. Studi Güler & Güler (2024) menunjukkan bahwa tindakan memperbesar dimensi elemen kolom sebesar 15% memang terbukti efektif dalam mereduksi deformasi antar lantai (*story drift*) hingga 20%, namun langkah ini menuntut kompensasi berupa peningkatan kebutuhan tulangan lentur sebesar 10% hingga 12% [8].

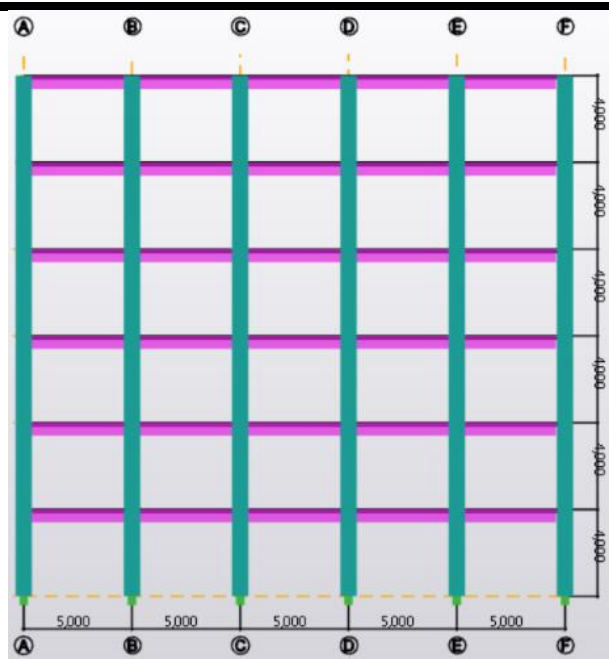
Meskipun dampak teknis maupun ekonomi dari regulasi gempa telah banyak diteliti, masih terdapat kesenjangan (*research gap*) dalam aspek metodologi komputasinya.

Mayoritas penelitian terdahulu masih sangat mengandalkan *software* analisis konvensional berbasis numerik semi-manual yang belum sepenuhnya mampu mengevaluasi interaksi dinamis elemen struktur secara terpadu [9]. Lebih jauh, eksplorasi terhadap korelasi simultan antara simpangan antar lantai, kekakuan struktur, kebutuhan tulangan, dan estimasi biaya yang melintasi berbagai klasifikasi Kriteria Desain Seismik (KDS) dalam satu model utuh masih sangat terbatas. Untuk mengatasi permasalahan komputasi tersebut, diperlukan adopsi teknologi canggih seperti Tekla Structural Designer yang tidak hanya mendemonstrasikan simulasi respons tiga dimensi secara presisi, tetapi juga mengotomatisasi ekstraksi volume material (*quantity takeoff*) demi mendongkrak efisiensi desain [10].

Dalam rangka menjembatani kesenjangan riset tersebut, penelitian ini berfokus untuk mengkaji pengaruh kriteria desain seismik terhadap rencana anggaran biaya struktur gedung menggunakan *software* Tekla Structural Designer. Penelitian ini secara khusus ditujukan untuk menganalisis secara komprehensif dampak variasi KDS kelas B, C, dan D terhadap nilai *story drift* dan tingkat kekakuan antar lantai (*story stiffness*), serta mengidentifikasi perbedaan besaran total kebutuhan baja tulangan pada elemen utama balok dan kolom. Melalui ekstraksi data material tersebut, luaran penelitian ini akan digunakan untuk merumuskan perhitungan estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang presisi pada masing-masing kondisi KDS. Integrasi antara analisis rekayasa ketahanan gempa dan manajemen pembiayaan ini diharapkan dapat memberikan acuan praktis bagi pelaksana konstruksi dalam mencapai keseimbangan antara integritas keamanan struktur dan efektivitas alokasi dana proyek.

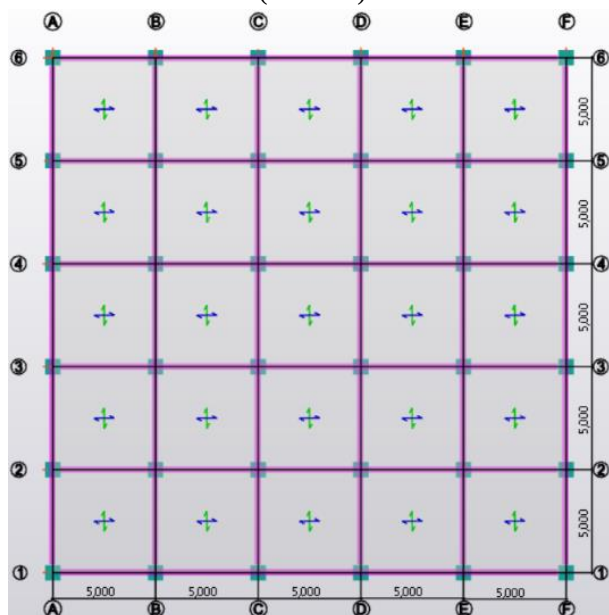
2. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik untuk mengevaluasi pengaruh Kriteria Desain Seismik (KDS) terhadap kebutuhan material dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) struktur gedung. Proses penelitian diawali dengan perumusan kriteria desain awal (*preliminary design*) yang dilanjutkan dengan pembebanan komprehensif, pemodelan struktur tiga dimensi, analisis respons dinamis, dan ekstraksi kuantitas material menggunakan *software* Tekla Structural Designer (TSD).



Gambar 1 Potongan A-A

Objek studi pada penelitian ini adalah struktur gedung fiktif yang difungsikan sebagai apartemen (Kategori Risiko II). Bangunan didesain memiliki total 6 lantai tegak dengan tinggi total mencapai 24 meter. Denah bangunan berbentuk bujur sangkar simetris dengan ukuran bentang panjang 25 meter dan lebar 25 meter, yang ditopang oleh Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).



Gambar 2 Denah Rencana

Berdasarkan *preliminary design*, elemen struktural utama dirancang dengan dimensi seragam untuk seluruh skenario KDS guna mengontrol variabel, di mana kolom memiliki dimensi penampang 75×75 cm dan balok berdimensi 30×60 cm. Pemilihan material ditetapkan menggunakan beton

bertulang dengan kuat tekan (f_c') sebesar 30 MPa dan baja tulangan ulir (BJTS 420B) dengan kuat leleh (f_y) sebesar 420 MPa.

Simulasi pembebanan struktur merujuk pada standar pembebanan nasional SNI 1727:2020. Beban gravitasi yang diaplikasikan mencakup beban mati (termasuk berat sendiri struktur yang dihitung otomatis oleh TSD dan beban mati tambahan) serta beban hidup yang dikonfigurasi merata sesuai peruntukan ruang apartemen. Untuk analisis beban dinamis, beban gempa disimulasikan menggunakan metode analisis respons spektrum. Guna mengevaluasi pengaruh zonasi seismik, model struktur diuji ke dalam tiga skenario lokasi yang merepresentasikan KDS berbeda pada kondisi kelas situs tanah yang sama, yakni Tanah Sedang (SD):

1. Skenario 1 (KDS B - Risiko Rendah): Menggunakan data percepatan spektrum dari Kota Pontianak, Kalimantan Barat.
2. Skenario 2 (KDS C - Risiko Menengah): Menggunakan data percepatan spektrum dari Kota Makassar, Sulawesi Selatan.
3. Skenario 3 (KDS D - Risiko Tinggi): Menggunakan data percepatan spektrum dari Kota Bandung, Jawa Barat.

Proses pemodelan pada *software* Tekla Structural Designer (TSD) dimulai dengan mendefinisikan *grid* bangunan, material, dan konfigurasi elemen kolom serta balok dalam kondisi *uncracked* untuk mendapatkan nilai kekakuan awal. Setelah parameter beban gravitasi dan parameter spektrum gempa (melalui fitur *Seismic Wizard*) diinput, analisis struktural dijalankan. Output analisis pertama yang dievaluasi adalah *story drift*, di mana perpindahan lateral elastis yang dihasilkan dari TSD diperbesar menggunakan faktor pembesaran defleksi (C_d) dan divalidasi terhadap batas izin simpangan sesuai SNI 1726:2019. Setelah kriteria simpangan dan kekakuan lateral dinyatakan aman, model diubah ke dalam kondisi *cracked* untuk merepresentasikan perilaku aktual beton saat gempa.

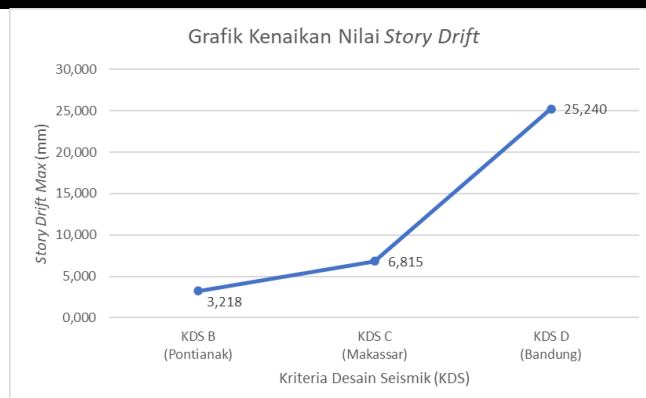
Tahap selanjutnya adalah melakukan desain penulangan otomatis (*auto-design*) yang terintegrasi dengan persyaratan SNI 2847:2019, dan pengecekan rasio kapasitas elemen ($R \leq 1,0$). Apabila rasio kapasitas melebihi 1,0, dilakukan iterasi penyesuaian tulangan. Setelah seluruh elemen dipastikan memenuhi tingkat keamanan struktural, tahap terakhir adalah proses *quantity take-off* untuk mengekstraksi data volume material, meliputi volume beton (m^3), berat total pembesian (kg), dan luas area bekisting (m^2) secara spesifik untuk kolom dan balok. Seluruh data kuantitatif yang diperoleh dari masing-masing skenario KDS tersebut kemudian direkapitulasi dan dikalikan dengan Analisa Harga Satuan

Pekerjaan (AHSP) untuk mendapatkan nilai akhir Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

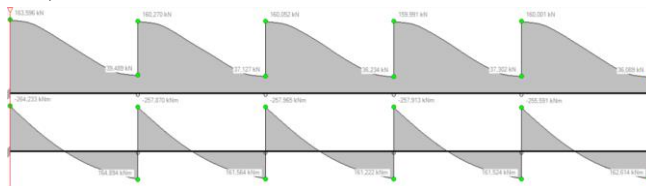
Analisis struktur dilakukan secara komprehensif pada gedung apartemen enam lantai menggunakan *software* Tekla Structural Designer. Evaluasi ini mencakup pengecekan kinerja struktur melalui parameter simpangan antar lantai (*story drift*), analisis berat total kebutuhan tulangan, hingga perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur. Pendekatan komparatif diterapkan pada tiga model dengan Kriteria Desain Seismik (KDS) yang berbeda, yakni KDS B, KDS C, dan KDS D, guna mengkuantifikasi dampak zonasi gempa terhadap efisiensi material dan biaya konstruksi. Seluruh tahapan evaluasi ini mengacu pada standar pembebanan dan beton bertulang yang berlaku (SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019).

Sebelum mengekstraksi kebutuhan material, kinerja model divalidasi terhadap batas aman simpangan antar lantai. Berdasarkan hasil simulasi dinamik respons spektrum, nilai simpangan lateral maksimum pada pemodelan KDS B tercatat sebesar 3,218 mm, KDS C sebesar 6,815 mm, dan KDS D sebesar 25,240 mm. Seluruh nilai simpangan desain tersebut dipastikan masih berada di bawah ambang batas izin simpangan antar lantai yang ditetapkan sebesar 80 mm untuk KDS B dan KDS C, dan sebesar 61,538 mm untuk KDS D, sehingga struktur pada ketiga skenario KDS dinyatakan aman dan memenuhi syarat kekakuan lateral untuk dilanjutkan ke tahap desain penulangan otomatis.



Gambar 3 Grafik Kenaikan Nilai *Story Drift*

Peningkatan kategori risiko gempa dari satu wilayah ke wilayah lain berimplikasi langsung terhadap lonjakan gaya dalam pada elemen struktur utama. Pada kondisi KDS B, momen lentur maksimum balok tercatat sebesar 67,920 kNm dengan gaya geser ultimit sebesar 155,302 kN. Gaya dalam ini mengalami eskalasi pada pemodelan KDS C menjadi 91,625 kNm untuk momen dan 197,934 kN untuk beban geser. Puncak gaya dalam terjadi pada KDS D, di mana momen lentur mencapai 264,233 kNm dan gaya geser 223,479 kN.



Gambar 4 Gaya Dalam Balok Pada KDS D

Fluktuasi gaya dalam tersebut secara otomatis mengubah kebutuhan proporsi tulangan longitudinal dan transversal pada elemen balok maupun kolom. Ekstraksi data *quantity take-off* menunjukkan bahwa total berat pembesian untuk struktur KDS B adalah 34.181,496 kg. Ketika parameter kegempaan ditingkatkan ke KDS C, total kebutuhan baja tulangan melonjak menjadi 43.108,632 kg, atau mengalami kenaikan sebesar 26,117%. Puncak kebutuhan material terjadi pada pemodelan KDS D, di mana total berat baja tulangan mencapai 57.461,220 kg, yang mencerminkan eskalasi sebesar 68,106% dibandingkan dengan KDS B.

Tabel 1 Berat Total Kebutuhan Tulangan Setiap KDS

Kriteria Desain Seismik	Elemen Struktur	Dimensi Penampang (mm)			Rasio Desain Maksimum	Kebutuhan Tulangan (Kg)
		b	x	h		
KDS B	Kolom	750	x	750	0,071	78604,416
	Balok	300	x	600	0,397	34181,496
KDS C	Kolom	750	x	750	0,146	78604,416
	Balok	300	x	600	0,413	43108,632
KDS D	Kolom	750	x	750	0,632	100032,750
	Balok	300	x	600	0,943	57461,220

Berdasarkan hasil analisis pada tabel di atas, elemen balok berdimensi 30x60 cm memiliki rasio kapasitas sebesar 0,943. Nilai ini mengindikasikan bahwa elemen struktural tersebut bekerja nyaris mencapai batas kapasitas maksimumnya. Pada perancangan bangunan dengan tingkat risiko gempa tinggi yang termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D, kondisi ini memerlukan perhatian khusus. Secara praktis, perencana sangat disarankan untuk memperbesar dimensi penampang balok tersebut. Penyesuaian dimensi ini merupakan langkah krusial untuk mencegah terjadinya penulangan yang terlalu padat (*over-reinforced*), yang tidak hanya berisiko menurunkan tingkat daktilitas struktur, tetapi juga akan sangat menyulitkan proses pelaksanaan pengecoran di lapangan.

Tabel 2 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) Setiap KDS

No	Uraian Pekerjaan	Total Harga		
A	Biaya Pekerjaan Struktur Balok dan Kolom	KDS B	KDS C	KDS D
1	Pekerjaan Struktur Balok dan Kolom Lantai 1	Rp 1.678.743.793,28	Rp 1.774.160.406,79	Rp 2.156.600.464,34
2	Pekerjaan Struktur Balok dan Kolom Lantai 2	Rp 1.678.743.793,28	Rp 1.774.160.406,79	Rp 2.156.600.464,34
3	Pekerjaan Struktur Balok dan Kolom Lantai 3	Rp 1.678.743.793,28	Rp 1.774.160.406,79	Rp 2.156.600.464,34
4	Pekerjaan Struktur Balok dan Kolom Lantai 4	Rp 1.678.743.793,28	Rp 1.774.160.406,79	Rp 2.156.600.464,34
5	Pekerjaan Struktur Balok dan Kolom Lantai 5	Rp 1.678.743.793,28	Rp 1.774.160.406,79	Rp 2.156.600.464,34
6	Pekerjaan Struktur Balok dan Kolom Lantai 6	Rp 1.678.743.793,28	Rp 1.774.160.406,79	Rp 2.156.600.464,34
B	Jumlah	Rp 10.072.462.759,66	Rp 10.644.962.440,74	Rp 12.939.602.786,02
C	Pajak PPN 12%	Rp 1.208.695.531,16	Rp 1.277.395.492,89	Rp 1.552.752.334,32
D	Total Biaya	Rp 11.281.158.290,82	Rp 11.922.357.933,62	Rp 14.492.355.120,34
E	Dibulatkan	Rp 11.281.159.000,00	Rp 11.922.358.000,00	Rp 14.492.356.000,00

Hasil analisis ini membuktikan secara kuantitatif bahwa pemenuhan kriteria desain seismik yang lebih ketat dapat memicu lonjakan biaya struktur hingga 28,465% dari KDS terendah ke tertinggi, menjadikannya variabel esensial yang harus diantisipasi dalam studi kelayakan proyek konstruksi.



Gambar 5 Grafik Kenaikan Biaya Pekerjaan Struktur

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis komputasi dan ekstraksi data material menggunakan Tekla Structural Designer mengenai pengaruh Kriteria Desain Seismik (KDS) terhadap Rencana Anggaran Biaya (RAB) dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi Kriteria Desain Seismik (KDS) berpengaruh secara langsung terhadap respons dinamik bangunan,

Kuantitas volume material beton dan berat total baja tulangan tersebut kemudian dikonversi menjadi estimasi finansial menggunakan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Kota Bandung tahun 2025. Hasil komputasi menunjukkan bahwa total Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur untuk gedung pada zonasi KDS B adalah sebesar Rp11.281.159.000,00. Peningkatan parameter seismik ke KDS C mendorong biaya struktur naik menjadi Rp11.922.358.000,00. Pada kondisi ancaman gempa tinggi (KDS D), lonjakan tajam pada berat total kebutuhan tulangan menyebabkan total estimasi RAB struktur membengkak secara signifikan menjadi Rp14.492.356.000,00.

khususnya pada nilai simpangan antar lantai (*story drift*). Peningkatan kategori risiko dari KDS B menuju KDS C dan D secara konsisten menghasilkan deformasi lateral yang lebih besar, namun keseluruhan model tetap terdistribusi dalam batas aman yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019.

2. Kebutuhan kuantitas baja tulangan pada elemen kolom dan balok mengalami peningkatan seiring dengan naiknya tingkat risiko seismik. Tuntutan daktilitas penuh pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) mewajibkan pemasangan sengkang yang sangat rapat di daerah kritis, sehingga berat total material baja memuncak secara drastis pada desain KDS D dengan berat total sebesar 57.461,220 kg yang mencatatkan kenaikan kebutuhan tulangan sebesar 68,106% dari KDS B.
3. Perbedaan penetapan KDS memberikan hasil yang sangat rasional dan proporsional terhadap estimasi biaya pekerjaan struktur. Total Rencana Anggaran Biaya (RAB) struktur pada KDS B tercatat sebesar Rp11.281.159.000,00, yang kemudian meningkat menjadi Rp11.922.358.000,00 pada skenario KDS C, dan menyentuh angka tertinggi sebesar Rp14.492.356.000,00 pada KDS D.
4. Secara kumulatif, peningkatan beban gempa tersebut memicu persentase kenaikan biaya pekerjaan struktur sebesar 5,684% dari KDS B ke KDS C, dan kembali melonjak sebesar 28,465% dari KDS B ke KDS D. Tren kenaikan persentase ini membuktikan secara kuantitatif

bahwa penyesuaian kriteria desain seismik merupakan variabel esensial yang berbanding lurus dengan nilai investasi proyek konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. K. dan (BMKG) Geofisika, "Laporan Tahunan Aktivitas Seismik Nasional 2020–2023," *Jakarta BMKG*, 2023.
- [2] A. Arsyad, M. Asyhari, and M. A. Kaharuddin, "Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings in the 2021 Mamuju-Majene Earthquake Mw. 6.2, Sulawesi Indonesia," 2024.
- [3] K. H. Supendi, P. Winder, T. Rawlinson, N. Bacon, C. A. Palgunadi, A. D. Simanjuntak, A. V. H. Kurniawan, A. Widiyantoro, S. Nugraha, and A. Shiddiqi, "A conjugate fault revealed by the destructive Mw 5.6 (November 21, 2022) Cianjur earthquake, West Java, Indonesia.," *J. Asian Earth Sci.*, 2023.
- [4] B. S. Nasional, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2019)," *Jakarta BSN*, 2019.
- [5] B. S. Nasional, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)," *Jakarta BSN*, 2019.
- [6] N. Kadir, A., Sukri, A. S., Aswad, N. H., & Nasrul, "Evolution and Implications of Changes in Seismic Load Codes for Earthquake Resistant Structures Design," 2024.
- [7] R. Budiman, "Dampak Beban Gempa terhadap Biaya Struktur Kolom Rumah Tinggal Bertingkat," 2025.
- [8] K. Güler, M., & Güler, "The Effect of Story drifts in Determining the Earthquake Performance of High-Rise Buildings," *Buildings*, 2024.
- [9] R. Liu, "Seismic design methods for concrete buildings," *Appl. Comput. Eng.*, 2023.
- [10] I. Syah, M. A., Ardhyani, M. Z., Fajri, H., Purwandito, M., & Irwansyah, "Perbandingan Analisis Struktur Gedung Laboratorium PGSD Universitas Samudra Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Menggunakan ETABS dan BIM Tekla Struktural Designer," *J. Ilm. Rekayasa Sipil*, 2023.