Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)
Volume 6, Number 10, Oktober 2026, pp. 3100-3110
e-ISSN 2774-5155
https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v6i10.32996

Optimasi Dimensi Kolom dan Balok pada Struktur Atas Kantor Kecamatan Mapanget

Fabio Arvando Tangkouw, Don Radius Gerald Kabo*, Reiner Willsen Tampi
Politeknik Negeri Manado, Indonesia
Email: donkabo74@gmail.com

Keywords:
concrete beam, optimum dimensions, material efficiency, ETABS, concrete column.

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

Copyright © 2026 by Author. Published by Publikasiku Publisher

Abstract

Elemen struktur beton bertulang yang berdimensi berlebihan pada bangunan tahan gempa seringkali menyebabkan inefisiensi material, peningkatan biaya konstruksi, dan peningkatan massa seismik efektif yang merugikan. Studi ini bertujuan untuk menentukan dimensi penampang balok dan kolom yang optimal pada struktur atas Gedung Kantor Distrik Mapanget dua lantai dan memancarkan respons seismik dan efisiensi volume beton yang dihasilkan. Optimasi dilakukan melalui metode desain ulang secara simultan secara bertahap, menggunakan pemodelan elemen hingga tiga dimensi penuh di ETABS v20 di bawah kriteria Rangka Tahan Momen Khusus (SMRF). Kriteria kecerahan dan validasi diatur oleh batas pergeseran antar lantai per SNI 1726:2019, kapasitas interaksi aksial-lentur kolom (Rasio PMM <= 1,00), rasio permintaan-ke-Kapasitas lentur balok (Rasio D/C <= 1,00), pencegahan kegagalan geser beton (O/S #45), dan batasan jarak tulangan per SNI 2847:2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penampang melintang optimal akhir terdiri dari Kolom K1 (45 x 65 cm), K2 (45 x 45 cm), K3 (30 x 30 cm), Balok B1 (40 x 70 cm), B2 (40 x 55 cm), dan B3 (30 x 40 cm). Pergeseran maksimum lantai 1 mencapai 81,18 mm (arah X) dan 52,57 mm (arah Y), memenuhi batas yang sebesar 89,00 mm. Optimasi tersebut menghasilkan pengurangan volume beton bersih sebesar 10,86 m3 atau efisiensi material keseluruhan sebesar 16,56% (dengan efisiensi kolom mencapai 34,08%), mengurangi berat seismik bangunan sekitar 26,06 ton dan mengurangi gaya inersia lateral tanpa memperhitungkan keamanan struktural.

Kata Kunci:
balok beton, dimensi optimum, efisiensi material, ETABS, kolom beton.

Abstrak

Elemen struktur beton bertulang yang berdimensi berlebihan pada bangunan tahan gempa seringkali menyebabkan inefisiensi material, peningkatan biaya konstruksi, dan peningkatan massa seismik efektif yang merugikan. Studi ini bertujuan untuk menentukan dimensi penampang balok dan kolom yang optimal pada struktur atas Gedung Kantor Distrik Mapanget dua lantai dan mengevaluasi respons seismik dan efisiensi volume beton yang dihasilkan. Optimasi dilakukan melalui metode desain ulang simultan bertahap, menggunakan pemodelan elemen hingga tiga dimensi penuh di ETABS v20 di bawah kriteria Rangka Tahan Momen Khusus (SMRF). Kriteria penghentian dan validasi diatur oleh batas pergeseran antar lantai per SNI 1726:2019, kapasitas interaksi aksial-lentur kolom (Rasio PMM <= 1,00), rasio Permintaan-ke-Kapasitas lentur balok (Rasio D/C <= 1,00), pencegahan kegagalan geser beton (O/S #45), dan batasan jarak tulangan per SNI 2847:2019. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa penampang melintang optimal akhir terdiri dari Kolom K1 (45 x 65 cm), K2 (45 x 45 cm), K3 (30 x 30 cm), Balok B1 (40 x 70 cm), B2 (40 x 55 cm), dan B3 (30 x 40 cm). Pergeseran maksimum lantai 1 mencapai 81,18 mm (arah X) dan 52,57 mm (arah Y), memenuhi batas yang diizinkan sebesar 89,00 mm. Optimasi tersebut menghasilkan pengurangan volume beton bersih sebesar 10,86 m3 atau efisiensi material keseluruhan sebesar 16,56% (dengan efisiensi kolom mencapai 34,08%), mengurangi berat seismik bangunan sekitar 26,06 ton dan mengurangi gaya inersia lateral tanpa mengorbankan keamanan struktural.

PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan infrastruktur gedung bertingkat, khususnya pada wilayah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi, menuntut adanya desain struktur yang tidak hanya aman terhadap beban gempa, tetapi juga efisien dalam penggunaan material (Budiman, 2025; Parabi et al., 2026; Santoso & Tanne, 2026; Siregar, 2025). Struktur beton bertulang masih menjadi salah satu sistem konstruksi yang banyak digunakan karena memiliki kemampuan menahan beban gravitasi maupun lateral. Namun, dalam praktik perencanaan, pendekatan desain yang terlalu konservatif sering menghasilkan dimensi elemen struktur seperti balok dan kolom yang lebih besar dari kebutuhan sebenarnya (*over-dimensioned*). Kondisi tersebut dapat meningkatkan volume penggunaan beton, memperbesar berat struktur, serta menyebabkan peningkatan gaya inersia akibat gempa. Berdasarkan prinsip dinamika struktur gempa, besarnya gaya geser dasar seismik berbanding lurus dengan massa bangunan, sehingga peningkatan berat struktur akibat dimensi elemen yang berlebihan dapat memberikan pengaruh terhadap respons gempa bangunan (Manga & Tanijaya, 2024; Rabbani et al., 2026; Rangan, 2023; Sila et al., 2023; Siregar, 2025). Oleh karena itu, diperlukan strategi optimasi dimensi elemen struktur untuk memperoleh desain yang tetap memenuhi aspek keselamatan sekaligus meningkatkan efisiensi material.

Dalam beberapa tahun terakhir, optimasi struktur beton bertulang menjadi perhatian penting dalam penelitian rekayasa sipil karena berkaitan dengan upaya pengurangan penggunaan material, efisiensi biaya konstruksi, dan peningkatan keberlanjutan pembangunan. Pemanfaatan teknologi pemodelan berbasis elemen hingga seperti ETABS telah banyak digunakan untuk mengevaluasi perilaku struktur secara lebih akurat melalui analisis respons gempa, simpangan antar lantai, kapasitas elemen, dan tingkat keamanan struktur. Penelitian Aulia et al. (2025) menunjukkan bahwa pemodelan berbasis ETABS mampu membantu evaluasi perilaku struktur gedung terhadap beban gempa melalui pendekatan analisis respons spektrum. Selain itu, penelitian Zain dan Triwiyono (2025) membuktikan bahwa optimasi ukuran penampang kolom dan balok dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi volume material dengan tetap mempertahankan kriteria desain seismik. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pendekatan komputasi memiliki peran penting dalam menghasilkan desain struktur yang lebih optimal dan ekonomis.

Penelitian mengenai pengaruh perubahan dimensi elemen struktur terhadap kinerja bangunan tahan gempa juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Walujodjati et al. (2024) serta Maulidan dan Walujodjati (2025) menunjukkan bahwa perubahan dimensi kolom memiliki hubungan terhadap kapasitas struktur dan respons gempa bangunan beton

bertulang. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa peningkatan dimensi kolom dapat meningkatkan kekakuan struktur, tetapi juga menyebabkan peningkatan massa bangunan yang berdampak terhadap gaya gempa yang bekerja. Selain itu, penelitian mengenai desain kapasitas beton bertulang oleh Dewi et al. (2018) dan Wight & MacGregor (2016) menekankan pentingnya keseimbangan antara kekuatan, daktilitas, dan efisiensi dimensi elemen dalam sistem struktur tahan gempa. Berbagai penelitian tersebut memberikan dasar bahwa optimasi dimensi tidak hanya bertujuan mengurangi ukuran elemen, tetapi harus tetap mempertahankan mekanisme keruntuhan yang aman sesuai prinsip *strong column–weak beam*.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas optimasi struktur beton bertulang, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut (Arsenta, 2024; Nurhadi, 2025; Wibowo et al., 2025). Sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung melakukan optimasi pada elemen tertentu secara terpisah, misalnya hanya pada kolom atau hanya pada balok. Pendekatan tersebut berpotensi mengabaikan interaksi antara elemen struktur dalam mendistribusikan gaya dan mempertahankan hierarki daktilitas pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) (Manga & Tanijaya, 2024; Mubarak et al., 2026; Tanijaya & Jumawan, 2024). Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan reduksi dimensi balok dan kolom secara bersamaan melalui proses redesain bertahap (*stepwise simultaneous redesign*) masih relatif terbatas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan optimasi yang mempertimbangkan hubungan simultan antara balok dan kolom agar efisiensi material dapat dicapai tanpa mengurangi tingkat keamanan struktur.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini memiliki urgensi untuk mengembangkan metode optimasi dimensi elemen struktur beton bertulang yang mampu menghasilkan desain efisien namun tetap memenuhi persyaratan keselamatan gempa. Gedung Kantor Kecamatan Mapanget dipilih sebagai objek penelitian karena merupakan bangunan beton bertulang dua lantai yang dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sehingga membutuhkan evaluasi terhadap kapasitas elemen, simpangan antar lantai, dan efisiensi material. Penelitian ini melakukan evaluasi terhadap kondisi eksisting yang memiliki indikasi penggunaan dimensi elemen berlebih, kemudian melakukan proses redesain secara bertahap menggunakan pemodelan tiga dimensi pada ETABS v20. Pendekatan tersebut diharapkan dapat menghasilkan konfigurasi dimensi struktur yang lebih optimal dengan tetap memenuhi batasan teknis berdasarkan standar nasional.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan metode *stepwise simultaneous redesign* yang melakukan reduksi dimensi balok dan kolom secara bersamaan melalui evaluasi bertahap hingga mencapai kondisi optimum. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya mengevaluasi elemen struktur secara parsial, penelitian ini mempertimbangkan keterkaitan antara perubahan dimensi balok dan kolom terhadap respons keseluruhan struktur, termasuk simpangan antar tingkat, kapasitas aksial-lentur kolom (*PMM Ratio*), kapasitas lentur balok (*D/C Ratio*), serta persyaratan detailing SRPMK. Melalui pendekatan tersebut, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan metode optimasi struktur yang tidak hanya berorientasi pada pengurangan material, tetapi juga mempertahankan aspek keamanan dan keandalan struktur terhadap beban gempa.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menentukan dimensi optimum elemen balok dan kolom pada struktur atas Gedung Kantor Kecamatan Mapanget, mengevaluasi

respons seismik setelah proses optimasi, serta mengukur tingkat efisiensi penggunaan volume beton yang diperoleh. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi teoritis dalam pengembangan kajian optimasi struktur beton bertulang berbasis simulasi numerik dan analisis gempa. Secara praktis, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi perencana struktur, kontraktor, dan pemangku kepentingan dalam merancang bangunan beton bertulang yang lebih efisien dari sisi material tanpa mengurangi tingkat keselamatan. Selain itu, penerapan metode optimasi ini dapat mendukung pembangunan berkelanjutan melalui pengurangan konsumsi material dan peningkatan efektivitas desain struktur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan riset rekayasa terapan berbasis simulasi komputasional elemen hingga. Objek riset adalah struktur atas Gedung Kantor Camat Mapanget, Manado, berupa gedung perkantoran beton bertulang dua lantai (denah 20,0 m x 13,0 m; tinggi 8,45 m) dengan sistem penahan lateral SRPMK (R = 8, Cd = 5,5, Ie = 1,0). Material yang digunakan meliputi beton struktural fc = 25 MPa (Ec = 23.500 MPa), baja tulangan longitudinal BJTS fy = 420 MPa, dan tulangan geser BJTP fys = 280 MPa. Portal dimodelkan sebagai 3D frame dengan faktor rigid end-zone 50%, pelat lantai t = 120 mm sebagai thin-shell diafragma kaku, dan tumpuan jepit pada dasar elevasi 0,00 m. Beban rencana mengacu pada SNI 1727:2020 (beban mati sendiri, beban mati tambahan 1,30 kN/m2, beban hidup kantor 2,40 kN/m2, beban hidup atap 0,96 kN/m2) dan respons spektrum gempa SNI 1726:2019 wilayah Manado pada tanah sedang SD (SDS = 0,7538 g; SD1 = 0,5142 g) dengan 18 kombinasi pembebanan ultimit.

Prosedur optimasi menerapkan metode perancangan ulang simultan bertahap (trial to failure) pada balok dan kolom dengan batasan matematis perancangan dari skripsi:

Kontrol Simpangan Antar Tingkat (Story Drift):

$\Delta x = (Cd * \delta xe) / Ie \leq \Delta a = 0{,}020 * hsx$

Keterangan:

Δx = simpangan antar tingkat desain

Cd = faktor pembesaran defleksi (5,5)

δxe = simpangan elastis hasil analisis ETABS

Ie = faktor keutamaan gempa (1,0)

Δa = simpangan antar tingkat izin (0,020 hsx)

hsx = tinggi tingkat lantai yang ditinjau

Penjelasan:

Persamaan ini memastikan deformasi lateral gedung tetap berada di bawah batas izin layan untuk menghindari kerusakan struktural sekunder.

2. Kontrol Kapasitas Balok Terhadap Lentur (D/C Ratio):

$D/C\ Ratio = Mu / (\Phi * Mn) \leq 1{,}00$

$\Phi * Mn = \Phi * As * fy * (d - a / 2)$

$a = (As * fy) / (0{,}85 * f'c * b)$

Keterangan:

Mu = momen lentur terfaktor hasil kombinasi pembebanan kritis

Φ = faktor reduksi kekuatan lentur (0,90)

Mn = kuat lentur nominal balok

As = luas tulangan tarik terpasang
fy = tegangan leleh baja tulangan
d = tinggi efektif penampang balok
b = lebar penampang balok
f'c = kuat tekan karakteristik beton
a = tinggi blok tegangan ekuivalen beton tekan

Penjelasan: Balok dinyatakan aman bila rasio beban terhadap kapasitas lenturnya tidak melampaui 1,00.

Kontrol Batas Keruntuhan Tekan Geser Maksimum Balok:

$Vu \leq \Phi * (Vc + 0{,}66 * \sqrt{f'c} * bw * d)$

Keterangan:

Vu = gaya geser terfaktor desain
Φ = faktor reduksi kekuatan geser (0,75)
Vc = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
bw = lebar badan balok

Penjelasan:

Persamaan ini mencegah keruntuhan tekan getas pada beton akibat geser berlebih (Overstressed Shear O/S #45). Jika terlampaui, penampang beton harus diperbesar karena penambahan sengkang sudah tidak efektif.

Batasan Detailing Fisik SRPMK dan Efisiensi Volume:

Dimensi penampang kolom terkecil dibatasi $bw \leq 250$ mm (SNI 2847:2019 Pasal 18.7.2.1), dan jarak bersih antartulangan memanjang $s \leq \max(1{,}5\ db;\ 40\ mm)$ sesuai Pasal 25.2.1. Efisiensi volume material beton dihitung dengan persamaan:

$$V = W / \gamma$$

$$\text{Efisiensi (\%)} = [(V_eksisting - V_optimum) / V_eksisting] * 100\%$$

Keterangan:

V = volume total beton (m3)
W = berat total struktur dari tabel material takeoff ETABS (N)
γ = berat jenis satuan beton bertulang (24.000 N/m3)

Penjelasan: Persamaan ini mengukur volume beton riil serta persentase penghematan kubikasi yang diperoleh dari hasil optimasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Struktur Eksisting dan Landasan Optimasi

Analisis pemodelan struktur awal (eksisting) Gedung Kantor Camat Mapanget dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat keandalan mekanis dan parameter dinamis portal. Konfigurasi penampang terpasang pada perencanaan awal terdiri dari Kolom Utama Lantai 1 K1 (50 x 70 cm), Kolom K2 (50 x 50 cm), Kolom Praktis K3 (30 x 30 cm), Balok Induk B1 (40 x 80 cm), Balok Induk B2 (40 x 60 cm), dan Balok Penumpu B3 (30 x 45 cm).

Tabel 1. Rekapitulasi Simpangan Antar Tingkat Struktur Eksisting

Arah Gempa	Tingkat Lantai	Tinggi Tingkat hsx (mm)	Story Drift Ratio	Δ Desain (mm)	Δa (mm)	Utilisasi	Keterangan
EDx	Lantai 1	4.450	0,002507	61,36	89,00	68,94%	Memenuhi
	Atap	4.000	0,001865	41,03	80,00	51,29%	Memenuhi
Edy	Lantai 1	4.450	0,001809	44,28	89,00	49,75%	Memenuhi
	Atap	4.000	0,001508	33,18	80,00	41,48%	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis ETABS

Data Tabel 1 dan Tabel 2 membuktikan penampang eksisting over-stiff. Utilisasi simpangan Lantai 1 arah X hanya 68,94% (margin cadangan kekakuan 31,06%). Rasio PMM kolom berada di bawah 0,35 dan rasio D/C balok di bawah 0,50. Kelebihan kapasitas inersia ini menjadi dasar kuat untuk mereduksi dimensi penampang secara simultan.

Tabel 2. Evaluasi Kapasitas Elemen Kritis Struktur Eksisting

Tipe Elemen	Dimensi (cm)	Gaya Rencana Terfaktor	Kapasitas Nominal	Rasio Utilisasi	Batas Regulasi	Status
Kolom K1	50 x 70	Pu = 315,61 kN; M3 =186,32 kNm	A_{st} mm^2 = 5.670 mm^2	PMM = 0,342	PMM ≤ 1,00	Aman
Kolom K2	50 x 50	Pu = 137,87 kN; M3 =27,54 kNm	A_{st} mm^2 = 3.225 mm^2	PMM = 0,193	PMM ≤ 1,00	Aman
Kolom K3	30 x 30	Pu=6,13 kN; M3=-2,07 kNm	A_{st} mm^2 = 1.206 mm^2	PMM = 0,141	PMM ≤ 1,00	Aman
Balok B1	40 x 80	Mu3=-106,72 kNm; Vu=155,16 kN	ϕM_n=277,20 kNm	D/C = 0,385	D/C ≤ 1,00	Aman
Balok B2	40 x 60	Mu3=28,38 kNm; Vu=126,41 kN	ϕM_n= 154,67 kNm	D/C = 0,183	D/C ≤ 1,00	Aman
Balok B3	30 x 45	Mu3=-33,70 kNm; Vu = 62,30 kN	ϕM_n= 67,90 kNm	D/C = 0,496	D/C ≤ 1,00	Aman

Sumber: Hasil Analisis ETABS

Berdasarkan data Tabel 2, utilisasi rasio kapasitas PMM kolom eksisting berada di bawah angka 35% dan rasio kapasitas lentur balok D/C berada di bawah 50%. Fenomena ini menunjukkan bahwa elemen-elemen penampang struktur eksisting bekerja pada tingkat tegangan yang sangat rendah dan menyimpan kapasitas cadangan inersia yang tidak termanfaatkan.

Analisis Perilaku Struktur pada Tahapan Redesain Simultan

Siklus redesain dilakukan melalui Redesain Tahap 1, Tahap 2, dan Redesain Tunggal

(Tabel 3). Pada Tahap 1, perampingan dimensi meningkatkan simpangan arah X Lantai 1 menjadi 81,18 mm (utilisasi 91,21%), namun seluruh kriteria kekuatan tetap aman. Pada Tahap 2, penurunan balok B2 menjadi 35 x 55 cm menyebabkan kekakuan portal runtuh, ditandai lonjakan simpangan Lantai 1 arah X hingga 101,25 mm (utilisasi 113,76%, melampaui izin 89,00 mm). Di samping itu, pengecilan kolom K2 menjadi 40 x 40 cm menghasilkan jarak bersih antartulangan s < 40 mm (melanggar SNI 2847:2019 Pasal 25.2.1), dan kolom K3 di bawah 30 x 30 cm melanggar syarat penahan gempa SRPMK. Pada uji reduksi tunggal kolom K1 menjadi 40 x 55 cm, terjadi keruntuhan kekakuan lateral atap dengan simpangan mencapai 270,42 mm (utilisasi 338,03%).

Tabel 3. Matriks Evaluasi Respons Struktur Antartahap Redesain

Elemen Struktur	Eksisting	Redesain Tahap 1	Redesain Tahap 2
Kolom K1 (cm)	50 x 70 (PMM 0,342)	50 x 65 (PMM 0,384)	45 x 65 (PMM 0,450)
Kolom K2 (cm)	50 x 50 (PMM 0,193)	45 x 45 (PMM 0,219)	40 x 40 (Spasi gagal)
Kolom K3 (cm)	30 x 30 (PMM 0,141)	25 x 25 (Batas SRPMK)	30 x 30 (PMM 0,141)
Balok B1 (cm)	40 x 80 (D/C 0,385)	40 x 75 (D/C 0,956)	40 x 70 (D/C 0,991)
Balok B2 (cm)	40 x 60 (D/C 0,183)	40 x 55 (D/C 0,205)	35 x 55 (Drift gagal)
Balok B3 (cm)	30 x 45 (D/C 0,496)	30 x 40 (D/C 0,917)	25 x 40 (D/C 0,913)
Simpangan Lt. 1 X	61,36 mm (Aman)	81,18 mm (Aman)	101,25 mm (Gagal)
Simpangan Atap X	41,03 mm (Aman)	55,62 mm (Aman)	53,81 mm (Aman)

Sumber: Hasil Analisis ETABS

Berdasarkan pengujian trial to failure tersebut, konfigurasi dimensi optimum akhir yang memenuhi seluruh kriteria daktilitas dan batasan fisik konstruksi ditetapkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Konfigurasi Dimensi Optimum dan Parameter Kontrol Teknis

Tipe Komponen	Dimensi Awal (cm)	Dimensi Optimum (cm)	Parameter Kontrol Teknis Akhir	Status Kelaikan
Kolom K1	50 x 70	45 x 65	PMM = 0,450; Kontrol kekakuan story drift lateral	Memenuhi
Kolom K2	50 x 50	45 x 45	PMM = 0,219; Batas jarak bersih tulangan lentur	Memenuhi
Kolom K3	30 x 30	30 x 30	PMM = 0,141; Dimensi geometrik minimum SRPMK	Memenuhi
Balok B1	40 x 80	40 x 70	D/C = 0,991; ρ = 0,38%	Memenuhi
Balok B2	40 x 60	40 x 55	D/C = 0,205; ρ = 0,34	Memenuhi

Tipe Komponen	Dimensi Awal (cm)	Dimensi Optimum (cm)	Parameter Kontrol Teknis Akhir	Status Kelaikan
Balok B3	30 x 45	30 x 40	D/C = 0,917; ρ = 0,35%	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis ETABS

Evaluasi Efisiensi Volume Beton dan Reduksi Massa Seismik

Tabel 5. Perbandingan Efisiensi Volume Beton dan Reduksi Bobot Seismik

No	Tipe Komponen	Volume Beton Eksisting (m^3)	Volume Beton Optimasi (m^3)	Selisih Penghematan Bersih (m^3)	Persentase Efisiensi Elemen (%)
1	Kolom	33,25	21,92	11,33	34,08%
2	Balok	32,31	32,78	-0,47	-1,45%
Total Kubikasi Beton		65,56	54,70	10,86	16,56%
Reduksi Massa Bangunan		157,34 ton	131,28 ton	26,06 ton	16,56%

Sumber: Hasil Analisis ETABS

Hasil optimasi menunjukkan penghematan volume beton sebesar 10,86 m^3 atau sebesar 16,56% dari volume awal. Efisiensi terbesar terjadi pada elemen kolom dengan pengurangan volume sebesar 11,33 m^3 atau 34,08%. Pengurangan material tersebut juga menurunkan massa seismik bangunan sebesar 26,06 ton.

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Zain dan Triwiyono (2025) yang menyatakan bahwa optimasi ukuran penampang elemen beton bertulang dapat meningkatkan efisiensi material melalui pendekatan berbasis kriteria seismik. Hasil penelitian ini juga memperkuat temuan Walujodjati et al. (2024) serta Maulidan dan Walujodjati (2025) bahwa perubahan dimensi kolom memiliki pengaruh terhadap respons struktur akibat perubahan massa dan kekakuan bangunan.

Namun, penelitian ini memberikan kontribusi berbeda karena tidak hanya mengoptimasi satu jenis elemen struktur, tetapi melakukan reduksi dimensi balok dan kolom secara simultan. Pendekatan tersebut mampu menjaga keseimbangan distribusi gaya dan mempertahankan prinsip *strong column–weak beam* yang menjadi dasar desain struktur tahan gempa.

Diskusi, Solusi, dan Implikasi Praktis

Berdasarkan hasil penelitian, solusi yang dapat diterapkan dalam perencanaan struktur beton bertulang adalah melakukan evaluasi ulang dimensi elemen setelah proses desain awal. Penggunaan dimensi yang terlalu besar memang memberikan cadangan keamanan, tetapi dapat meningkatkan konsumsi material dan biaya konstruksi. Oleh karena itu, proses optimasi berbasis simulasi komputer menjadi alternatif untuk memperoleh desain yang lebih ekonomis tanpa mengurangi tingkat keselamatan.

Secara teoritis, hasil penelitian mendukung konsep efisiensi struktur dalam rekayasa sipil bahwa desain optimal merupakan keseimbangan antara kapasitas struktur dan kebutuhan

material. Struktur yang terlalu besar tidak selalu menghasilkan performa terbaik karena peningkatan massa dapat memperbesar gaya gempa yang bekerja. Hal tersebut sesuai dengan prinsip dinamika struktur yang menyatakan bahwa gaya inersia gempa dipengaruhi oleh massa struktur.

Secara praktis, penelitian ini memberikan implikasi bagi konsultan perencana, pemerintah daerah, dan pelaksana konstruksi bahwa optimasi dimensi struktur dapat menjadi strategi untuk mengurangi penggunaan beton dan meningkatkan efisiensi pembangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengurangan dimensi dapat dilakukan secara aman apabila dikontrol melalui analisis ETABS, batas simpangan, kapasitas elemen, dan standar perencanaan nasional.

Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa metode *stepwise simultaneous redesign* berbasis ETABS v20 mampu menghasilkan konfigurasi struktur yang lebih efisien dengan tetap memenuhi persyaratan keselamatan gempa. Pendekatan ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan desain bangunan beton bertulang yang ekonomis, aman, dan berkelanjutan.

Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan memasukkan variasi diameter tulangan longitudinal, analisis biaya konstruksi secara menyeluruh, serta evaluasi terhadap aspek keberlanjutan seperti emisi karbon material beton. Pengembangan tersebut akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara efisiensi material, biaya, dan kinerja struktur dalam pembangunan gedung tahan gempa.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan metode *stepwise simultaneous redesign* berbasis pemodelan tiga dimensi menggunakan ETABS v20 terbukti mampu mengoptimalkan dimensi elemen balok dan kolom pada struktur atas Gedung Kantor Kecamatan Mapanget tanpa mengurangi tingkat keamanan struktur. Hasil optimasi menghasilkan konfigurasi dimensi optimum berupa Kolom K1 sebesar 45 × 65 cm, Kolom K2 sebesar 45 × 45 cm, Kolom K3 sebesar 30 × 30 cm, Balok B1 sebesar 40 × 70 cm, Balok B2 sebesar 40 × 55 cm, dan Balok B3 sebesar 30 × 40 cm. Seluruh elemen hasil optimasi memenuhi persyaratan kontrol teknis, meliputi rasio kapasitas interaksi aksial-lentur kolom (PMM Ratio ≤ 1,00), rasio kapasitas lentur balok (D/C Ratio ≤ 1,00), ketahanan terhadap kegagalan geser, serta ketentuan detailing berdasarkan SRPMK. Simpangan antar tingkat maksimum pada lantai 1 arah X mencapai 81,18 mm yang masih berada di bawah batas izin 89,00 mm. Selain itu, optimasi berhasil mengurangi volume beton sebesar 10,86 m^3 atau mencapai efisiensi material sebesar 16,56%, dengan efisiensi terbesar pada elemen kolom sebesar 34,08%, serta menurunkan massa seismik bangunan sebesar 26,06 ton.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan kajian optimasi struktur dengan mempertimbangkan variabel tambahan, seperti variasi diameter dan konfigurasi tulangan longitudinal, analisis biaya konstruksi secara menyeluruh melalui pendekatan Rencana Anggaran Biaya (RAB), serta evaluasi aspek keberlanjutan seperti dampak lingkungan dan emisi karbon dari penggunaan material beton. Selain itu, penelitian mendatang dapat menerapkan metode optimasi pada berbagai tipe bangunan, jumlah lantai, kondisi tanah,

dan sistem struktur yang berbeda untuk memperoleh hasil yang lebih luas dan dapat digeneralisasikan. Pengembangan penelitian tersebut diharapkan mampu menghasilkan desain struktur beton bertulang yang tidak hanya memenuhi aspek keamanan terhadap beban gempa, tetapi juga lebih efisien dari sisi material, biaya, dan keberlanjutan pembangunan.

PENDANAAN

Penulis menyatakan bahwa tidak ada dukungan finansial yang diterima untuk pelaksanaan penelitian ini dan/atau penerbitan artikel ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa penelitian ini dilakukan tanpa adanya hubungan komersial atau finansial yang dapat ditafsirkan sebagai potensi konflik kepentingan.

KONTRIBUSI PENULIS

Fabio Arvando Tangkouw: konseptualisasi penelitian, perancangan metodologi, pelaksanaan eksperimen, pengumpulan data, analisis data, penyusunan manuskrip, dan revisi manuskrip, supervisi penelitian, validasi hasil penelitian, pemberian masukan ilmiah, serta peninjauan dan revisi manuskrip. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir manuskrip.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL GENERATIF

Penulis menyatakan bahwa kecerdasan artifisial (AI) generatif digunakan dalam penyusunan manuskrip ini untuk membantu meningkatkan kejelasan bahasa, memperbaiki tata bahasa, dan menyempurnakan struktur penulisan. AI generatif tidak digunakan untuk menghasilkan, memanipulasi, atau menganalisis data penelitian. Seluruh isi manuskrip telah ditinjau dan diverifikasi oleh penulis. Penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas keakuratan, integritas, dan isi akhir manuskrip.

REFERENSI

Arsenta, K. (2024). Perbandingan Pemodelan Struktur Menggunakan Metode Elemen Hingga: Studi Literatur Dari Berbagai Aplikasi Struktur Sipil Dan Mekanik. *Journal of Infrastructure and Construction Technology*, *2*(2), 66–72.

Aulia, F. F., Iskandar, & Irham. (2025). Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Terpadu IAIN Langsa Berbasis Analisis Respons Spektrum dengan Software ETABS. Jurnal Bisnis, Sosial, Dan Teknologi, 15(2), 90–99.

Budiman, R. (2025). Dampak Beban Gempa terhadap Biaya Struktur Kolom Rumah Tinggal Bertingkat. *Bearing: Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*, *10*(1), 12–22.

Dewi, S. M., Wijaya, M. N., & Wisnumurti. (2018). Desain Kapasitas Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012. Malang: UB Press.

Manga, J., & Tanijaya, J. (2024). *Struktur Gedung Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)*. Al Arsy Media.

Maulidan, R., & Walujodjati, E. (2025). Pengaruh Perubahan Dimensi Kolom pada Perhitungan Struktur Tahan Gempa Gedung Beton Bertulang. Jurnal Konstruksi, 23(2), 607–618.

Mubarak, H., Indriyati, C., Putri, M. D., Yusri, A., Hamka, H., Suhaimi, S., Balamba, S., Bulu, C., Fadhil, A., & Muliani, F. (2026). *Pengantar Teknik Sipil*. CV. Edu Akademi.

Nurhadi, A. (2025). Analisis Kekuatan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Material Tambahan Abu Terbang (Fly Ash). *Journal of Engineering and Technological Science*, *1*(1), 24–32.

Parabi, A. D., Pratama, C. A., Adibah, F., & Parabi, A. S. L. (2026). Desain Struktur Bangunan Bertingkat Tahan Gempa di Wilayah Pontianak. *Jurnal Sosial Teknologi*, *6*(1), 184–194.

Rabbani, N., Ija, L. I., & Prayogo, G. (2026). Pengaruh Tingkat Daktilitas terhadap Respons Seismik Rangka Pemikul Momen di Tanah Lunak. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, *24*(3), 243–250.

Rangan, P. R. (2023). *Kapasitas Elemen Struktur Terhadap Beban Gempa*. Tohar Media.

Santoso, A., & Tanne, Y. A. (2026). Rancangan Sistem Pemantauan Struktur Terintegrasi Berbasis Sensor Pada Tahap Konstruksi Gedung Bertingkat. *JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC)*, *7*(1), 266–286.

Sila, A. A., Isdyanto, A., La Ola, M. N., Hamdi, F., Masgode, M. B., Aryadi, A., Dzakir, L. O., Astari, M. D., & Buarlele, L. (2023). *Dinamika Dan Struktur Tahan Gempa*. Tohar Media.

Siregar, A. P. (2025). Analisis dan Optimalisasi Desain Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa di Kawasan Rawan Gempa (Studi Kasus: Kota Medan). *Momentum Jurnal Inovasi Dan Rekayasa Teknik Sipil (MJIRTS)*, *1*(2), 66–73.

Tanijaya, J., & Jumawan, F. (2024). *Struktur Gedung Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)*.

Walujodjati, E., Maulidan, R., & Kristalia, R. (2024). Pengaruh Perubahan Dimensi Kolom pada Kapasitas Struktur Tahan Gempa Gedung Beton Bertulang. INTER TECH, 2(1), 30–40.

Wibowo, N. A., Nst, A. J., & Nurikhsan, A. F. (2025). Momen Inersia dalam Desain Struktur: Ketebalan Pelat Beton Bertulang yang Terabaikan pada Gedung Talenta USU. *Impression: Jurnal Teknologi Dan Informasi*, *4*(3), 429–436.

Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2016). Reinforced Concrete: Mechanics and Design (7th ed.). Boston: Pearson.

Zain, R. R., & Triwiyono, A. (2025). Optimasi Ukuran Penampang Kolom dan Balok Gedung Beton Bertulang Tipikal Berbasis Volume Menggunakan Genetic Algorithm Berdasarkan Kriteria Seismik. Jurnal Teoretis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 32(1), 55–68.

.