



Analisis Numerik Perilaku Kolom Pipih dan Kolom Persegi pada Bangunan Bertingkat

Aryandhika Putra Samudra¹, Firdian Muhtar Yusuf², Muhamad Rusli Ahyar³

¹²³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

Email: aryandhika.sam@gmail.com, firdianmuhtaryusuf@gmail.com, muhamad.rusli.a@unissula.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membandingkan perilaku kolom persegi dan kolom pipih dengan luas penampang setara pada gedung 4 lantai berdenah 16×16 m melalui analisis numerik. Evaluasi mencakup simpangan antarlantai (story drift), gaya dalam aksial-lentur, efek P-Delta, serta potensi ketidakberaturan struktur mengacu pada ketentuan SNI. Pemodelan global rangka ruang 3D dan verifikasi kapasitas penampang beton bertulang dilaksanakan secara numerik, sedangkan respons gempa dinilai menggunakan spektrum respons rencana untuk kelas situs SC di wilayah BSD. Dua alternatif penampang diuji, yaitu kolom persegi 400×400 mm dan kolom pipih 300×533 mm. Hasil menunjukkan keduanya memenuhi persyaratan kode: tidak teridentifikasi ketidakberaturan vertikal, simpangan antar lantai berada dalam batas aman, dan efek P-Delta kecil. Secara struktural, kolom persegi memberikan respons lateral yang lebih simetris sehingga distribusi momen-geser lebih merata dan kebutuhan detailing relatif sederhana. Sebaliknya, kolom pipih memperlihatkan sifat kekakuan anisotropik dengan arah pengendali yang jelas sehingga menuntut jumlah tulangan lebih besar dan kekangan lebih rapat. Pada studi kasus ini, perbandingan kebutuhan detailing menunjukkan kolom persegi memadai dengan 12D19 dan sengkang 3D10-100 (tumpuan) serta 2D10-100 (lapangan), sedangkan kolom pipih memerlukan 16D19 dengan sengkang 2D10-75 (sumbu lemah) dan 3D10-75 (sumbu kuat) di tumpuan serta 2D10-100 di lapangan. Kesimpulannya, kolom pipih layak dipilih bila pertimbangan arsitektural menuntut profil ramping, sementara kolom persegi menawarkan perilaku yang lebih seimbang dengan detailing lebih sederhana.

Kata Kunci : Fek P-Delta; Ketidakberaturan Struktur; Kolom Persegi; Kolom Pipih; Story Drift.

PENDAHULUAN

Dalam pembangunan rumah tinggal bertingkat, pemanfaatan ruang yang efisien menjadi hal penting untuk menunjang kenyamanan penghuni serta fleksibilitas interior. Salah satu solusi yang banyak digunakan arsitek adalah penggunaan kolom pipih, karena bentuknya yang ramping memungkinkan penempatan di sepanjang dinding tanpa mengganggu fungsi ruang (Putra & Yusuf, 2021). Dari sisi struktural, kolom pipih tetap dapat memenuhi kebutuhan kekuatan aksial dan momen lentur apabila dirancang dengan mempertimbangkan rasio tinggi terhadap lebar (slenderness ratio) serta kapasitas penampangnya sesuai ketentuan dalam SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Namun, kolom pipih memiliki kelemahan berupa kerentanan terhadap tekuk lokal maupun lateral pada sumbu lemah akibat dimensi penampang yang tidak seimbang (Nursani et al., 2022). Kondisi ini menjadi perhatian penting di wilayah rawan gempa seperti Indonesia, karena bentuk kolom berpengaruh langsung terhadap performa struktur terhadap beban lateral dan gaya inersia gempa (Irsyam et al., 2020; Suharwanto & Nugroho, 2022). Oleh karena itu, pemilihan bentuk kolom harus mempertimbangkan keseimbangan antara aspek arsitektural, efisiensi ruang, dan keamanan struktural.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan untuk membandingkan perilaku kolom persegi dan kolom pipih pada bangunan bertingkat. Pendekatan analisis numerik digunakan untuk mengevaluasi perbedaan gaya dalam, stabilitas struktur terhadap simpangan antarlantai (*story drift*), efek P-Delta, serta potensi ketidakberaturan vertikal sesuai kriteria SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Perbandingan ini penting karena karakteristik kekakuan lateral dan kemampuan disipasi energi kedua jenis kolom berbeda signifikan, sehingga dapat memengaruhi respons dinamis struktur dan distribusi gaya internal (Lestari & Suwandi, 2023). Analisis ini juga memberikan dasar bagi perencanaan struktur atas yang aman dan efisien dalam menghadapi kombinasi beban vertikal dan lateral sesuai ketentuan SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk memperoleh perbandingan kuantitatif mengenai gaya dalam pada kolom persegi dan kolom pipih, serta menganalisis stabilitas struktur berupa simpangan, efek P-Delta, dan ketidakberaturan struktur pada bangunan 4 lantai. Penelitian ini juga berupaya menyusun rekomendasi perencanaan struktur atas yang memenuhi persyaratan teknis SNI dan mempertimbangkan efisiensi dimensi serta kinerja dinamis struktur. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai kelebihan dan keterbatasan penggunaan kolom pipih, serta mendukung pengambilan keputusan desain yang seimbang antara fungsi arsitektural dan keamanan struktural (Putra et al., 2021; Nursani et al., 2022).

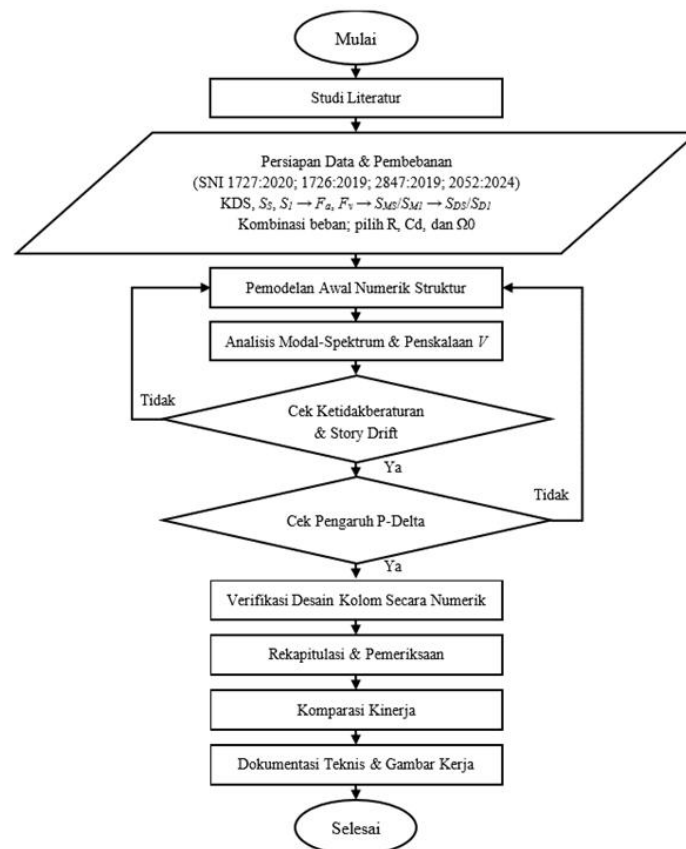
Dari sisi kebaruan dan urgensi penelitian, studi ini memiliki kontribusi penting karena kajian perbandingan perilaku kolom pipih dan persegi pada bangunan bertingkat di konteks wilayah seismik Indonesia masih sangat terbatas, terutama dengan mempertimbangkan efek P-Delta dan ketidakberaturan struktur. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) secara umum tanpa memerinci pengaruh geometri kolom terhadap performa lateral (Afrida & Trimurtiningrum, 2023). Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya memberikan nilai teoritis dalam pengembangan model numerik elemen struktur, tetapi juga nilai praktis bagi perencana struktur dan arsitek dalam menentukan konfigurasi kolom yang aman, efisien, dan sesuai standar nasional. Selain itu, hasil kajian ini dapat menjadi acuan teknis dalam perencanaan bangunan menengah di zona rawan gempa, khususnya di wilayah seperti Yogyakarta yang memiliki tingkat aktivitas seismik tinggi (Irsyam et al., 2020).

METODE

Penelitian ini Data penelitian diperoleh dari hasil pemodelan numerik struktur rangka ruang 3D dan analisis kapasitas penampang beton bertulang. Perencanaan dan evaluasi mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI):

1. SNI 1726:2019 (tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung).
2. SNI 2847:2019 (persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung).
3. SNI 2052:2024 (baja tulangan beton).
4. SNI 1727:2020 (beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain).

a. Tahapan Penelitian



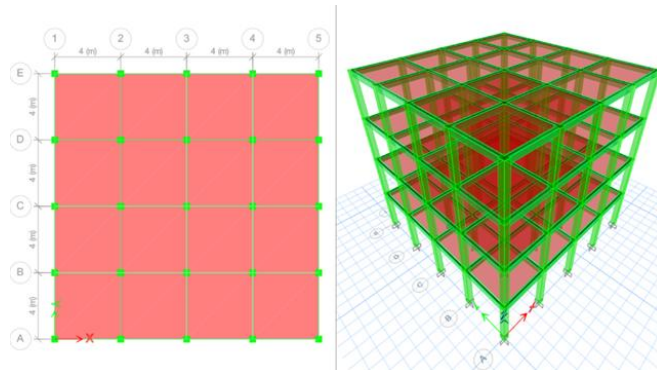
Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

b. Metode Analisis

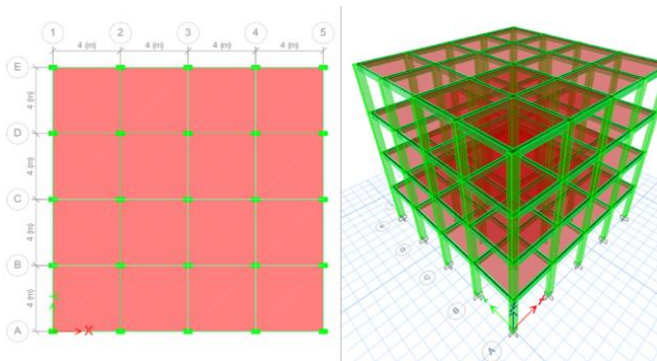
Bagan alir yang telah digambarkan diatas dapat dijelaskan bahwa langkah pada proses penelitian ini antara lain yaitu:

1. Persiapan data & pembebanan (SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 2052:2024).

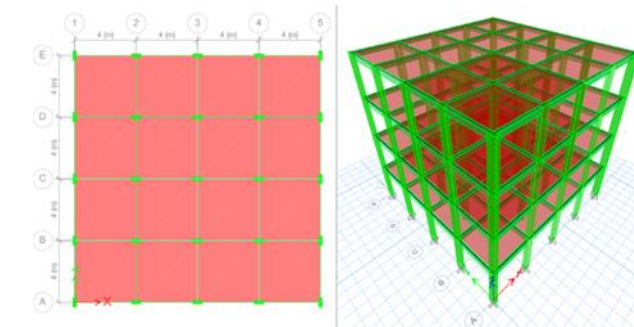
- a. Tetapkan fungsi bangunan, kategori risiko → KDS; tentukan SS, S1 → Fa, Fv → SMS/SM1 → SDS/SD1.
 - b. Susun kombinasi beban gravitasi dan gempa; tetapkan R, Cd, dan Ω_0 per arah bila sistem struktur berbeda pada sumbu X–Y.
2. Pemodelan numerik struktur
- a. Definisikan material, mutu, dan memodelkan variasi penampang kolom 400 mm × 400 mm, 300 mm × 533 mm, 250 mm × 640 mm, 200 mm × 800 mm, 150 mm × 1066 mm.



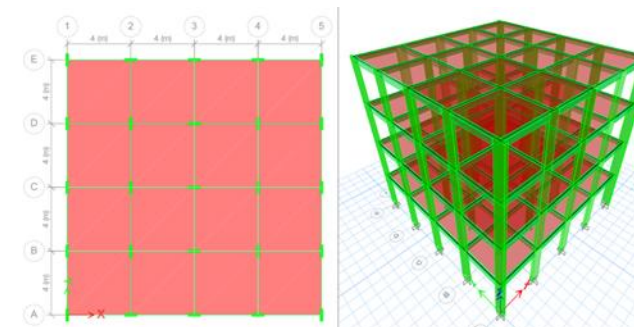
Gambar 2. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 400 mm x 400 mm



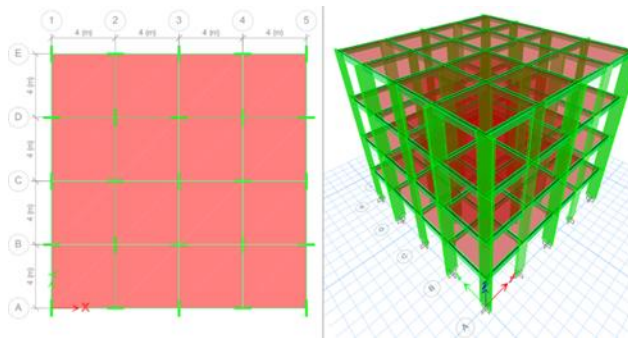
Gambar 3. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 300 mm x 533 mm



Gambar 4. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 250 mm x 640 mm



Gambar 5. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 200 mm x 800 mm



Gambar 6. Pemodelan Kolom Persegi Ukuran 150 mm x 1066,6 mm

- b. Terapkan diafragma semi-rigid, rigid zone factor = 0,5 pada end length offset, auto-mesh untuk elemen rangka $\pm 0,5$ m dan pelat dibagi panel kecil.
- c. Definisikan load pattern, mass source (dengan pengali yang tepat), respons spectrum, load case, dan kombinasi.
3. Analisis Modal–Spektrum dan Penskalaan Geser Dasar
 - a. Sertakan jumlah ragam hingga akumulasi partisipasi massa $\approx 100\%$ per arah; tinjau bentuk ragam (deformed shape).
 - b. Jalankan analisis respons spektrum; terapkan torsi tak terduga 5% per arah (tidak simultan) bila disyaratkan.
 - c. Lakukan penskalaan sehingga geser dasar spektral (VRS) tidak kurang dari batas minimum (V_{min}) sesuai Pasal 7.8.1 SNI 1726:2019.
4. Desain elemen beton bertulang (secara numerik)
 - a. Jalankan desain beton; pastikan pemilihan kombinasi desain telah benar dan evaluasi kebutuhan tulangan.
 - b. Ekstrak Pu, Mux, Muy serta gaya geser tiap kolom sebagai dasar verifikasi penampang.
5. Pemeriksaan awal kinerja struktur
 - a. Evaluasi ketidakberaturan horizontal/vertikal serta torsi; untuk tipe 1a/1b periksa kebutuhan faktor pembesaran torsi (A_x).
 - b. Periksa simpangan antar tingkat: konversi Δ elastik $\rightarrow \Delta$ desain (Pasal 7.8.6) dan bandingkan dengan Δ_a (Pasal 7.12.1).
 - c. Bila tidak memenuhi, lakukan penyesuaian sistem/penampang/penempatan elemen dan ulangi Langkah 3–4.
6. Evaluasi Stabilitas P-Delta (Pasal 7.8.7 SNI 1726:2019)
 - a. Hitung koefisien stabilitas θ per tingkat.
 - 1) $\theta \leq 0,10 \rightarrow$ efek orde-dua (P-Delta) dapat diabaikan.
 - 2) $\theta > 0,10 \rightarrow$ aktifkan analisis P-Delta (nonlinear static; beban gravitasi + lateral representatif) dan lakukan perhitungan ulang.
 - b. Ulangi verifikasi drift dan ketidakberaturan dengan hasil pasca P-Delta hingga seluruh kriteria terpenuhi.
7. Verifikasi kapasitas penampang kolom (secara numerik)
 - a. Masukkan geometri, material, detail tulangan, dan kombinasi beban; hasilkan diagram interaksi P–M.
 - b. Pastikan $\phi M_n \geq M_u$ dan rasio utilisasi aman; lakukan penyesuaian tulangan bila diperlukan.
8. Rekapitulasi dan Pemeriksaan
 - a. Lakukan cek tulangan longitudinal dan transversal, susun rekap Δ , θ , V, serta status ketidakberaturan/torsi (A_x) secara sistematis.
9. Perbandingan Kinerja Sistem Kolom
 - a. Bandingkan kolom pipih dan kolom persegi pada setiap lantai: simpangan, stabilitas (θ), gaya dalam, kebutuhan tulangan, dan implikasi detailing.
10. Dokumentasi Teknis dan Gambar Kerja.
 - a. Sajikan tabel ringkasan, grafik drift, cuplikan bentuk ragam, keluaran desain, serta gambar penulangan final sebagai bagian dari pelaporan ilmiah

HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Deformed Shape dan Partisipasi Massa

Analisis modal menunjukkan bahwa seluruh varian kolom mencapai akumulasi partisipasi massa ΣU_X dan ΣU_Y = (100%), sehingga jumlah mode yang dipilih memadai. Pada kolom persegi 400×400 mm, mode pertama sudah menyerap $\approx 83,24\%$ massa untuk translasi X dan Y serta $\approx 83,52\%$ untuk rotasi terhadap sumbu Z, menandakan respons global yang simetris. Pada kolom pipih, orientasi sumbu kuat lemah tercermin pada distribusi partisipasi mode awal: (i) 150×1066 mm: X 77,71%, Y 77,31%, RZ 77,41%; (ii) 200×800 mm: X 81,13%, Y 80,06%, RZ 80,04%; (iii) 250×640

mm: Y 82,11%, X 81,77%, RZ 81,51%; (iv) 300×533 mm: Y 84,70%, X 81,65%, RZ 82,92%. Temuan ini menguatkan bahwa arah sumbu kuat masing-masing penampang mendominasi respons awal, tetapi akumulasi multi-mode tetap memenuhi kriteria desain.

b) Pemeriksaan Desain Beton (Concrete Design)

Pemeriksaan distribusi penulangan menunjukkan: (i) kolom persegi 400×400 mm dan kolom pipih 200×800 mm, 250×640 mm, serta 300×533 mm berada pada kondisi aman (tidak terindikasi O/S); (ii) kolom pipih 150×1066 mm mengalami overstress sehingga dieliminasi dari alternatif. Seluruh model memiliki tata letak grid A–E dan 1–5 dari BASE hingga lantai 4 dengan jarak 4,00 m, sehingga perbandingan tiap varian setara dalam kondisi pembebanan dan geometri global.

c) Ketidakberaturan Struktur Vertikal

Tidak teridentifikasi soft story maupun weak story pada seluruh varian yang lolos tahap desain. Rasio kekakuan dan kekuatan lateral antarlantai (L3–L1) memenuhi kriteria di kedua arah. Pada kolom pipih, perbedaan kekakuan arah terlihat konsisten dengan sumbu kuat penampang (mis. 200×800 mm lebih kaku di Y; 250×640 mm dan 300×533 mm lebih kaku di X). Distribusi massa antarlantai seragam dan dimensi vertikal kolom konstan untuk masing-masing varian, sehingga seluruh uji ketidakberaturan vertikal dinyatakan lulus. Implikasi praktisnya, detailing dan kontrol drift perlu diprioritaskan pada arah lemah dari setiap penampang pipih.

d) Simpangan Antarlantai (Story Drift)

Seluruh inelastic drift berada jauh di bawah batas 76,923 mm. Varian persegi 400×400 mm menampilkan puncak $\Delta X = \Delta Y \approx 48,048$ mm di L2 ($\approx 62,5\%$ dari batas), dengan respons lateral yang simetris. Pada kolom pipih, arah lemah menjadi pengendali namun masih menyisakan margin aman: (i) 200×800 mm: puncak L2–X 47,119 mm ($\approx 61,3\%$); Y lebih kaku (39,991 mm); (ii) 250×640 mm: puncak L2–Y 48,384 mm ($\approx 62,9\%$); X lebih kaku (43,076 mm); (iii) 300×533 mm: puncak L2–Y 54,247 mm ($\approx 70,5\%$); X lebih kaku (42,427 mm). Dengan demikian, tidak diperlukan intervensi global terhadap sistem pemikul gaya lateral; namun pengeangan nonstruktural dan komponen arsitektural sebaiknya diarahkan ke arah pengendali tiap varian.

e) Pengaruh P-Delta

Koefisien stabilitas θ untuk seluruh model jauh di bawah dua ambang, yakni batas P-Delta 0,10 dan $\theta_{\max} = 0,0909$. Nilai pengendali pada 400×400 mm terjadi di L2 ($X = Y \approx 0,0368$), setara $\approx 40,5\%$ dari $\theta_{\max}$. Pada varian pipih, arah lemah kembali menjadi pengendali namun dengan margin stabilitas yang masih lebar: (i) 200×800 mm: L2–X $\approx 0,0363$ ($\approx 39,9\%$ dari $\theta_{\max}$); (ii) 250×640 mm: L2–Y $\approx 0,0378$ ($\approx 41,6\%$); (iii) 300×533 mm: L2–Y $\approx 0,0470$ ($\approx 51,7\%$), yang merupakan nilai tertinggi di antara varian namun tetap aman. Secara keseluruhan, sensitivitas P-Delta tergolong rendah sedang dan tidak memicu kebutuhan modifikasi sistemik.

f) Kapasitas Momen Nominal

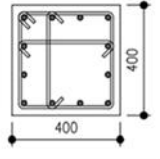
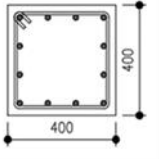
Rasio kapasitas momen $\phi M_n / M_u > 1$ untuk seluruh kombinasi pada varian 400×400 mm dan 300×533 mm, sehingga keduanya aman. Kombinasi pengendali memberikan $\phi M_n / M_u = 2,60$ pada 400×400 mm (utilisasi $\approx 38,5\%$) dan 2,35 pada 300×533 mm (utilisasi $\approx 42,6\%$). Nilai rasio yang sangat besar pada kasus momen kecil (mis. $\approx 300,64$ dan $\approx 235,26$) tidak menjadi penentu desain. Hasil ini menunjukkan margin kapasitas lentur memadai pada kedua alternatif terkuat.

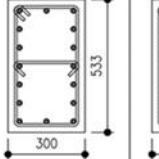
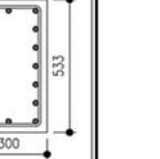
g) Desain Tulangan Longitudinal

13% (dalam 1–6%) dan uji strong-column weak-beam (SCWB) lulus dengan utilisasi 88,39% (sisanya margin 11,61%). Kolom 300×533 mm juga memenuhi syarat ($\rho = 2,84\%$) dan lulus SCWB dengan utilisasi 92,88% (margin 7,12%). Adapun kolom pipih 200×800 mm dan 250×640 mm tidak memenuhi syarat geometri minimum ($b/h \geq 0,4$ dan $b \geq 300$ mm), sehingga tersaring pada tahap ini. Secara komparatif, 400×400 mm memiliki cadangan hierarki kolom-lebih-kuat yang lebih nyaman dibanding 300×533 mm.

h) Desain Tulangan Transversal

Seluruh verifikasi SNI 2847:2019 pada 400×400 mm dan 300×533 mm terpenuhi untuk aspek kekangan, spasi, dan geser. Pada 400×400 mm, kekangan terpasang $Ash/s = 2,356$ mm²/mm melampaui kebutuhan di kedua sumbu (min. 1,875–1,913 mm²/mm). Zona sendi plastis memakai $s = 100$ mm (sesuai $s_{\max}$) dan di luar sendi plastis $s = 100$ mm ≤ 114 mm. Pada 300×533 mm, Ash/s di sumbu lemah 2,094 mm²/mm $> 1,447$ mm²/mm dan di sumbu kuat 3,142 mm²/mm $> 2,858$ mm²/mm; $s = 75$ mm di sendi plastis tepat pada $s_{\max}$. Kebutuhan geser ditentukan oleh nilai minimum (V_s perlu = 0) pada kedua varian, sehingga detail transversal dapat dinyatakan memadai. Sumbu pengendali kekangan adalah sumbu lemah untuk 400×400 mm dan sumbu kuat untuk 300×533 mm, tetapi keduanya memiliki margin positif.

TIPE	KOLOM K1	
DIMENSI	400 X 400	
LOKASI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
TUL. UTAMA	12 D19	12 D19
TUL. SENGKANG	D10-100	D10-100
TUL. SILANG	D10-100	D10-100
SEL. BETON	25	

TIPE	KOLOM K2	
DIMENSI	300 X 533	
LOKASI	TUMPUAN	LAPANGAN
GAMBAR		
TUL. UTAMA	16 D19	16 D19
TUL. SENGKANG	D10-75	D10-100
TUL. SILANG	D10-75	D10-100
SEL. BETON	25	

Gambar 7. Desain Tulangan Kolom Persegi & Kolom Pipih

Tabel 1. Hasil Pengecekan

Cek Kontrol	Dimensi Kolom				
	400×400	150×1066	200×800	250×640	300×533
Cek Deformed Shape	✓	✓	✓	✓	✓
Cek Concrete Design	✓	✗	✓	✓	✓
Ketidakteraturan Struktur	✓		✓	✓	✓
Simpangan Antar Lantai	✓		✓	✓	✓
Pengaruh P-Delta	✓		✓	✓	✓
Cek Syarat SRPMK	✓		✗	✗	✓
$M_n \geq M_u$	✓				✓
Desain Longitudinal	✓				✓
Desain Transversal	✓				✓

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis struktur bangunan empat lantai dengan variasi penampang kolom persegi dan pipih, bagian ini merangkum kesimpulan sesuai tujuan penelitian antara lain:

- 1) Secara aksial seluruh varian setara ($P_{min} \approx -700$ s.d. -743 kN; $P_{max} \approx -1$ s.d. -8 kN), sehingga bentuk penampang tidak signifikan memengaruhi gaya tekan global. Perbedaan muncul pada momen dan geser akibat anisotropi kolom pipih: kolom persegi 400×400 paling isotropik ($V_2=V_3=30,23$ kN; $M_{2,max}=75,02$ kN·m; $M_{3,max}=23,30$ kN·m); kolom pipih 200×800 paling tidak seimbang ($M_{3,max}=198,32$ vs $M_{2,max}=33,96$ kN·m; $V_2=59,05$ vs $V_3=27,12$ kN); 250×640 masih anisotropik ($M_{3,max}=148,34$ vs $M_{2,max}=41,29$ kN·m; $V_2=48,93$ vs $V_3=21,32$ kN); sedangkan 300×533 paling seimbang di antara pipih ($M_{3,max}=92,80$ vs $M_{2,max}=60,81$ kN·m; $V_2=32,76$ vs $V_3=27,12$ kN). Arah lemah tiap penampang pipih menjadi pengendali detailing.
- 2) Tidak teridentifikasi soft/weak story; rasio kekakuan dan kekuatan antarlantai memenuhi kriteria dengan massa seragam dan geometri kolom konstan. Semua inelastic drift $< 76,923$ mm: 400×400 (48,048 mm, L2; $X \approx Y$), 200×800 (47,119 mm, L2-X), 250×640 (48,384 mm, L2-Y), 300×533 (54,247 mm, L2-Y). Koefisien stabilitas maksimum juga aman: $\theta_{max} \approx 0,0368$ (400×400), $0,0363$ (200×800), $0,0378$ (250×640), $0,0470$ (300×533) $\ll 0,10$ dan $0,0909$. Dengan demikian, seluruh varian stabil; namun arah lemah kolom pipih (200×800 : X; 250×640 : Y; 300×533 : Y) perlu diakomodasi dalam kontrol drift dan detailing non-struktural.
- 3) Dua alternatif layak dipakai sebagai elemen gravitasi dan lateral: 400×400 mm dan 300×533 mm—keduanya memenuhi syarat geometri, kapasitas lentur/geser ($\phi M_n/M_u > 1$) dan hierarki SCWB. Secara representative, 400×400 : 12D19; sengkang tumpuan 3D10-100 dan lapangan 2D10-100 (detail seragam). Kolom 300×533 : 16D19; sengkang tumpuan 2D10-75 (sumbu lemah) & 3D10-75 (sumbu kuat) serta lapangan 2D10-100 (perlu konfinemen lebih rapat di tumpuan). Varian 200×800 dan 250×640 tidak memenuhi syarat geometri minimum ($b/h \geq 0,4$ dan/atau $b \geq 300$ mm), sehingga tidak direkomendasikan untuk desain akhir. Pemilihan akhir: 400×400 untuk respons lateral

yang lebih seimbang dan margin kapasitas lebih besar; 300×533 untuk efisiensi ruang dengan komitmen detailing ketat pada arah pengendali.

Merujuk pada capaian dan keterbatasan studi ini, beberapa rekomendasi dirumuskan untuk memaksimalkan ketelitian hasil pada riset mendatang :

1. Kolom pipih sebaiknya dipertimbangkan terutama bila ada kebutuhan arsitektural yang kuat; dalam konteks beban lateral, temuan studi ini menunjukkan performanya umumnya lebih rendah dibanding kolom persegi sehingga perlu strategi detailing yang memadai.
2. Disarankan kolaborasi sejak tahap konseptual antara arsitek dan insinyur struktur agar pemilihan kolom pipih tidak hanya memenuhi aspek estetika, tetapi juga tercapai kriteria kekuatan, kekakuan, dan kestabilan.
3. Untuk penguatan generalisasi, penelitian lanjutan dapat memperluas cakupan misalnya dengan memvariasikan rasio penampang pipih, jumlah lantai, sistem struktur, serta kondisi tanah dan melengkapinya dengan studi kasus lapangan agar hasil lebih aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrida, S. N., & Trimurtiningrum, R. (2023). Perbandingan perilaku struktur baja sistem rangka bresing eksentris tipe Two Story-X dan Inverted-V. *Jurnal Infomanpro*, 12(1), 66–74.
- Aplus.co.id. (2023). *Struktur bangunan: Pengertian, jenis, dan komponen*. <https://www.aplus.co.id/news/struktur-bangunan-pengertian-jenis-dan-komponen/>
- Armalisa, A., & Aslinda. (2021). Metode crashing terhadap penambahan jam kerja optimum pada proyek konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Serang Raya*, 1(1), 41–58.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: BSN.
- HIMTES BINUS. (2022, Juli 30). 2 jenis struktur bangunan yang perlu kamu ketahui! <https://student-activity.binus.ac.id/himtes/2022/07/30/2-jenis-struktur-bangunan-yang-perlu-kamu-ketahui/>
- Ilhamid, T., & Anufia, B. (2019). *Resume: Instrumen pengumpulan data* (pp. 1–20). Sorong: Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri (STAIN).
- Irsyam, M., Hendriyawan, H., & Widodo, D. (2020). Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2019. *Jurnal Geoteknik Indonesia*, 7(2), 45–58.
- Lestari, D. P., & Suwandi, A. H. (2023). Evaluasi kinerja sistem rangka pemikul momen khusus pada struktur beton bertulang terhadap beban gempa kuat. *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, 9(1), 12–21.
- Nursani, R., Huseinny, M. S. A., & Suwandy, A. H. (2022). Analisis perbandingan perilaku struktur gedung dengan kolom komposit dan kolom non komposit. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 77–86.
- Putra, A. G., Ramadhan, F., & Yusuf, M. (2021). Analisis kapasitas disipasi energi sistem SRPMK pada bangunan tinggi menggunakan ETABS. *Jurnal Rekayasa Konstruksi*, 10(3), 90–98.
- Rama. (2022). *Review struktur kolom (kolom pipih) pada bangunan lantai 2 proyek pembangunan Villa Z House* [Tugas Akhir, Politeknik Negeri Bali]. Repository PNB. <https://repository.pnb.ac.id/id/eprint/10206>
- Saragi, T. E., & Situmorang, R. U. A. (2022). Optimasi waktu dan biaya percepatan proyek menggunakan metode time cost trade off dengan alternatif penambahan tenaga kerja dan jam kerja (lembur) (Studi kasus: Pembangunan Gedung Convention Hall Kab. Deli Serdang). *Jurnal Construct*, 1(2), 53–69.
- Suharwanto, E., & Nugroho, A. (2022). Mitigasi risiko kegempaan pada bangunan pendidikan di wilayah Yogyakarta. *Jurnal Infrastruktur dan Bangunan*, 8(2), 55–65.
- Universitas Gadjah Mada. (2020). *Analisis efisiensi kolom pipih terhadap gaya lateral pada bangunan bertingkat* [Tesis]. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/197769>
- Universitas Nusa Cendana. (2023). *Analisa perilaku struktur bangunan dengan variasi bentuk kolom pipih* [Skripsi]. http://skripsi.undana.ac.id/index.php?p=show_detail&id=5629