

Analisa Pengaruh Efek P – Δ Terhadap Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Pada Daerah Rawan Gempa

Rahmadi Valdis¹⁾; Sapt²⁾; Amelia Rajela³⁾
^{1,2,3)}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas IBA

Email: ¹⁾ rahmadivaldis0@gmail.com ; ²⁾ sapta@iba.ac.id ; ³⁾ amelia.rajela@gmail.com

ARTICLE HISTORY

Received [11 September 2025]
Revised [27 Januari 2026]
Accepted [25 Januari 2026]

KEYWORDS

Analysis, Influence,
Performance.

This is an open access
article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)
license



ABSTRAK

Bangunan tinggi merupakan struktur yang sangat rentan terhadap pengaruh beban lateral, salah satunya beban gempa. Salah satu fenomena penting yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan struktur adalah efek P- Δ (P-delta). Efek ini muncul akibat interaksi antara gaya aksial pada elemen struktur dengan simpangan lateral bangunan, yang pada akhirnya menghasilkan momen tambahan. Momen tambahan tersebut dapat memperbesar deformasi struktur serta menurunkan stabilitas global bangunan. Pada bangunan bertingkat, khususnya dengan jumlah lantai lebih dari 10, pengaruh P- Δ menjadi semakin signifikan karena gaya aksial yang besar pada kolom bersamaan dengan perpindahan lateral yang relatif tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh efek P- Δ terhadap perilaku struktur bangunan tinggi dengan pendekatan analisis numerik sesuai standar perencanaan gempa yang berlaku di Indonesia. Ruang lingkup penelitian difokuskan pada pemodelan struktur bangunan bertingkat menggunakan perangkat lunak analisis struktur dengan variasi jumlah lantai untuk mengetahui besarnya pengaruh efek P- Δ terhadap simpangan lateral, momen internal, serta faktor keamanan struktur. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai peran signifikan efek P- Δ pada perencanaan bangunan tahan gempa. Temuan ini juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi para perencana dan praktisi teknik sipil dalam memastikan desain bangunan tinggi tetap aman, stabil, dan sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku.

ABSTRACT

High-rise buildings are highly vulnerable to the effects of lateral loads, particularly seismic loads. One important phenomenon that must be considered in structural design is the P- Δ (P-delta) effect. This effect occurs due to the interaction between axial forces in structural elements and the lateral displacement of the building, which generates additional moments. These additional moments can increase structural deformation and reduce overall stability. In multi-story buildings, especially those with more than 10 floors, the influence of the P- Δ effect becomes more significant because of the large axial forces in the columns combined with relatively high lateral displacements. This study aims to analyze the influence of the P- Δ effect on the behavior of high-rise building structures using numerical analysis based on the seismic design standards applied in Indonesia. The scope of the study focuses on modeling multi-story building structures with the aid of structural analysis software, with variations in the number of floors, to determine the extent of the P- Δ effect on lateral displacement, internal moments, and structural safety factors. The results of the analysis are expected to provide a deeper understanding of the significant role of the P- Δ effect in seismic-resistant building design. These findings are also intended to serve as a reference for designers and civil engineering practitioners in ensuring that high-rise building designs remain safe, stable, and compliant with applicable regulations.

PENDAHULUAN

Efek P- Δ (P-Delta) merupakan salah satu fenomena penting dalam perilaku struktur bangunan yang menggambarkan interaksi antara gaya aksial dengan simpangan lateral pada elemen struktur. Konsep ini pertama kali diperkenalkan dalam kajian stabilitas elastis oleh Leonhard Euler pada tahun 1757 melalui teori Euler's Buckling Load, yang menjelaskan bahwa gaya aksial pada elemen ramping dapat menimbulkan instabilitas ketika terjadi simpangan lateral. Pemahaman ini kemudian berkembang dan menjadi dasar dalam analisis struktur bangunan tinggi, khususnya dalam kaitannya dengan fenomena instabilitas global. Beberapa penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Pradana et al. (2020), menunjukkan bahwa penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dapat membantu mengurangi pengaruh gaya lateral, sementara Yuliani dan Setiawan (2021) menegaskan bahwa penerapan standar SNI 1726:2019 mampu meningkatkan stabilitas serta kinerja struktur saat terjadi gempa. Efek P- Δ muncul akibat momen sekunder yang ditimbulkan oleh gaya aksial (P) pada elemen struktur ketika mengalami perpindahan lateral (Δ).

Pada bangunan tinggi dengan jumlah lantai lebih dari 10, pengaruh fenomena ini menjadi semakin signifikan karena adanya kombinasi gaya aksial kolom yang besar dan simpangan lateral yang relatif tinggi. Jika tidak diperhitungkan dalam perencanaan, kondisi tersebut dapat menurunkan kekakuan efektif struktur, memperbesar deformasi, meningkatkan gaya geser antar lantai, bahkan berpotensi menyebabkan kegagalan struktur secara global. Oleh karena itu, analisis terhadap efek P- Δ menjadi krusial dalam perencanaan bangunan bertingkat di daerah rawan gempa agar tercapai stabilitas dan

keamanan yang sesuai dengan standar peraturan. Perkembangan teknologi analisis struktur, seperti perangkat lunak ETABS, memungkinkan perhitungan fenomena P-Δ dilakukan secara lebih akurat dan komprehensif. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis struktur beton bertulang pada rumah susun 12 lantai dengan acuan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural. Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh efek P-Δ terhadap perilaku struktur bangunan tinggi ketika menerima beban lateral seperti gempa. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah bangunan tinggi yang dianalisis masih memenuhi persyaratan batas simpangan antar lantai serta stabilitas global sesuai ketentuan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 setelah mempertimbangkan efek P-Δ.

LANDASAN TEORI

Efek P-Δ dipahami sebagai *secondary moment* yang timbul akibat kombinasi beban aksial (P) dengan simpangan lateral (Δ). Mereka menegaskan bahwa pada gempa dekat sumber (near-fault), efek ini dapat meningkatkan simpangan antar lantai hingga 45%, sehingga memperbesar potensi keruntuhan bangunan tinggi (Cheng et al : 2022).

Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban tidak permanen yang berubah-ubah tergantung aktivitas manusia, perabot, atau benda bergerak di atas struktur.

- Semua ruangan = 1,92 kN/m²
- Ruang publik = 4,79 kN/m²
- Balkon dek = 1,6 kN/m²
- Atap untuk penghuni = 4,79 kN/m²
- Koridor = 4,79 kN/m² Sumber : SNI 1727_2020

Beban Mati

Beban mati merupakan komponen beban gravitasi yang berasal dari berat seluruh elemen bangunan yang bersifat permanen dan tidak mengalami perubahan selama umur bangunan. Beban ini terdiri dari struktural utama seperti plat, balok, kolom, dan dinding serta elemen non-struktural seperti plafon, atap, tangga, partisi permanen dan berbagai komponen lainnya. Beban mati juga mencakup material pelapis dan finishing baik interior maupun exterior, termasuk pelapis kantai, pelapis dinding serta caldding pada bagian luar bangunan.

- a. SIDL Lantai

Finishing lantai (5cm)	= 1,05 kN/m ²
Keranik	= 0,6 kN/m ²
Dinding partisi	= 0,72 kN/m ²
Plafond + mechanical	= 0,5 kN/m ²
- b. SIDL atap

Finishing lantai (5cm)	= 1,05 kN/m ²
Dinding partisi	= 0,72 kN/m ²
Plafond + mechanical	= 0,5 kN/m ²
- c. SIDL dinding

Dinding ½ bata lantai 1s/d11	
q	= (250 x 9,8065) x (3,5 m – 0,65)
	= 6,99 kN/m
Dinding ½ bata lantai atap	
q	= (250 x 9,8065) x 1m
	= 2,85 kN/m

Kombinasi Beban

- Beban Gravitasi
 - 1,4D
 - 1,2D + L
 - 1,2D + 1,6L
- Beban Gempa
 - (1,2+0,2.Sds).D+1,0L±□(Ex±0,3Ey)
 - 0,9-0,2.Sds).D±□(Ex±0,3Ey)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah struktur bangunan berbentuk rangka ruang dimana balok, kolom dan sambungan-sambungan antar elemen di rancang untuk menahan beban yang terjadi terutama akibat gempa. Sistem ini di bagi ke dalam 3 jenis yaitu:

SRPM biasa (SRPMB)

SRPMB Merupakan sistem rangka momen dengan kemampuan deformasi (duktilitas) yang rendah, sehingga hanya cocok untuk bangunan bertingkat rendah di wilayah dengan risiko gempa yang kecil.

SRPM Menengah (SRPMM)

SRPMM Jenis ini memiliki kemampuan deformasi sedang, dan digunakan di daerah yang memiliki potensi gempa menengah.

SRPM Khusus (SRPMK)

SRPMK Sistem ini dirancang dengan ketahanan deformasi tinggi dan digunakan di wilayah dengan risiko gempa besar. SRPMK mensyaratkan detail-detail struktur yang ketat dan lengkap, sesuai dengan peraturan seperti SNI 2847.

Pengaruh P – Delta

Pengaruh efek P – delta terhadap gaya geser tingkat, momen, serta gaya dan momen pada elemen struktur, termasuk simpangan antar tingkat yang ditimbulkannya, dapat diabaikan apabila nilai koefisien stabilitas (θ) yang dihitung berdasarkan ketentuan yang berlaku berada pada atau di bawah ambang batas yang telah ditetapkan.

$$\theta = \frac{P_x \Delta e}{V_x h_{sx} C_d} \dots\dots\dots$$

dimana θ rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x – 1. Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. Jika koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{max} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P – delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0 / (1 - \theta)$.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah sistematis yang digunakan untuk melakukan penelitian guna mencapai tujuan tertentu. Dalam konteks skripsi, peneliti sering kali menggunakan data yang diambil dari jurnal dan aplikasi untuk analisis. Metodologi penelitian dapat dibagi menjadi beberapa pendekatan yaitu kuantitatif dan kualitatif (Sugiyono, 2019). Efek P–Delta merupakan fenomena non-linear yang terjadi pada semua struktur dengan beban aksial, yang terbagi menjadi P– δ (deformasi lokal elemen) dan P– Δ (simpangan global antar simpul/lantai) (Afrika Selatan, 2024). Lebih lanjut, efek P–Delta dijelaskan sebagai *geometric nonlinearity effect* atau ketidaklinieran geometrik yang muncul akibat perpindahan struktur di bawah pengaruh beban aksial. Dengan bertambahnya jumlah lantai, efek ini semakin dominan sehingga tidak bisa diabaikan (Irijmets, 2021). Definisi lain menyebutkan bahwa efek P–Delta merupakan pengaruh orde kedua pada bangunan akibat interaksi beban aksial dengan simpangan. Penelitian menunjukkan adanya peningkatan simpangan hingga 35–43% pada struktur bertingkat ketika analisis P–Delta diperhitungkan dibandingkan analisis linier statik biasa (Irjet, 2021). Selain itu, analisis P–Delta sangat penting pada struktur bertingkat yang menerima beban lateral, karena efek ini memperbesar gaya dalam dan simpangan, terutama pada kondisi *soft story* atau sambungan semi-rigid (Etasr, 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Material Dan Dimensi Elemen Struktur

- a. Beton
- f_c = 25 Mpa
 - E_c = 23500 Mpa
 - B_j = 23,536 kN/m²
 - ϕ_1 = 0,85

- b. Baja tulangan
- $F_y = 420 \text{ Mpa}$ (Tulangan memanjang)
 - $F_y = 420 \text{ Mpa}$ (Tulangan geser)
 - $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$
 - $B_j \text{ Baja} = 78,5 \text{ kN/m}^2$

Section properties

- a. Kolom
- Kolom 1 = 90 cm x 90 cm
 - Kolom 2 = 85 cm x 85 cm
 - Kolom 3 = 80 cm x 80 cm
 - Kolom 4 = 75 cm x 75 cm

- b. Balok
- Balok 1 = 65 cm x 45 cm
 - Balok 2 = 55 cm x 35 cm
 - Balok kantilever = 30 cm x 20 cm
 - Balok anak = 35 cm x 20 cm
 - Beban mati tambahan SIDL

- SIDL Lantai
- Finishing Lantai (5cm) Penutup = 1,05 kN/m²
- Lantai (Keramik) = 0,60 kN/m²
- Dinding/ Partisi = 0,72 kN/m²

Plafond + mechanical = 0,50 kN/m² +

SIDL TOTAL = 2,87 kN/m²

- SIDL Atap
- Finishing Lantai (5cm) = 1,05 kN/m²
- Dinding/ Partisi = 0,72 kN/m²
- Plafond + mechanical = 0,50 kN/m² +

SIDL TOTAL = 2,27 kN/m²

- Dinding Permeter ½ bt
- Dinding Lantai 1 – 11 = 6,99 kN/m²
- Dinding Lantai Atap = 2,452 kN/m²

Beban Gempa

$S_s = 1,8182 \cdot g$ $C_v = 0,8203$

$S_1 = 0,7238 \cdot g$ $C_d = 0,4849$
Ts = 0,6768 second. Kategori Risiko II

$F_a = 1,0000$

$F_v = S_{ds} = 1,7005 \cdot 1,2121 \cdot g$ KDS D

$S_{d1} = 0,8203 \cdot g$ KDS D

$S_{ms} = C_d = 5,5 \cdot 1,8182 \cdot g$

$S_{m1} = R = 1,2305 \cdot g$

$T_o = \frac{3}{\Omega_o} = 0,1354 \text{ second.}$

Pemeriksaan P – Delta Arah Sumbu y

Tabel 1 Pemeriksaan P – Delta Arah Sumbu y

Lantai	Tinggi Tingkat (m)	Beban DL+LL (kN)	Beban Tingkat Pi (kN)	Story Drift $\delta x/Cd$ (m)	Shear story Vi (kN)	θ	Kontrol $\theta \leq \theta_{min}$	Kontrol $\theta \leq \theta_{max}$
Lt 12	3,5	14.717,1	14.717,1	0,0032	670,28	0,020	Ok	Ok
Lt 11	3,5	20.186,4	34.903,5	0,0042	1.583,03	0,026	Ok	Ok
Lt 10	3,5	20.186,4	55.089,8	0,0054	2.412,81	0,035	Ok	Ok
Lt 9	3,5	20.373,8	75.463,6	0,0064	3.167,01	0,044	Ok	Ok
Lt 8	3,5	20.603,9	96.067,5	0,0072	3.845,48	0,051	Ok	Ok
Lt 7	3,5	20.777,8	116.845,3	0,0079	4.444,47	0,059	Ok	Ok
Lt 6	3,5	20.977,2	137.822,5	0,0084	4.963,14	0,067	Ok	Ok
Lt 5	3,5	21.222,2	159.044,7	0,0090	5.400,74	0,076	Ok	Ok
Lt 4	3,5	21.222,2	180.266,8	0,0093	5.750,81	0,083	Ok	Ok
Lt 3	3,5	21.436,5	201.703,3	0,0089	6.016,19	0,086	Ok	Ok
Lt 2	3,5	21.696,2	223.399,5	0,0075	6.195,38	0,078	Ok	Ok
Lt 1	3,5	21.696,2	245.095,8	0,0037	6.284,98	0,041	Ok	Ok
Base	0	2.404,85	247.500,6	0	0	0	0	

Hasil pemeriksaan efek P-Delta menunjukkan bahwa nilai rasio perpindahan lateral masih dalam batas aman sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Dengan demikian, pengaruh P-Delta dinyatakan tidak signifikan dan struktur dinyatakan aman terhadap kemungkinan ketidakstabilan akibat efek tersebut

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengaruh efek P–Delta pada struktur bangunan yang ditinjau masih berada dalam kondisi aman. Hal ini terlihat dari nilai rasio perpindahan lateral yang diperoleh masih memenuhi persyaratan batas simpangan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019. Dengan kata lain, meskipun terdapat tambahan momen sekunder akibat interaksi gaya aksial dengan simpangan lateral, struktur tetap mampu mempertahankan stabilitas globalnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa perencanaan struktur beton bertulang dengan memperhitungkan efek P–Delta sudah sesuai dengan standar peraturan yang berlaku, sehingga kinerja struktur masih dapat diandalkan untuk menahan beban lateral, khususnya beban gempa. Temuan ini juga menegaskan pentingnya memasukkan analisis P–Delta dalam perencanaan bangunan bertingkat, terutama untuk memastikan keamanan dan kenyamanan penghuni pada saat struktur menerima beban gempa.

Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengaruh efek P–Delta pada struktur bangunan yang ditinjau masih berada dalam kondisi aman. Hal ini terlihat dari nilai rasio perpindahan lateral yang diperoleh masih memenuhi persyaratan batas simpangan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019. Dengan kata lain, meskipun terdapat tambahan momen sekunder akibat interaksi gaya aksial dengan simpangan lateral, struktur tetap mampu mempertahankan stabilitas globalnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa perencanaan struktur beton bertulang dengan memperhitungkan efek P–Delta sudah sesuai dengan standar peraturan yang berlaku, sehingga kinerja struktur masih dapat diandalkan untuk menahan beban lateral, khususnya beban gempa. Temuan ini juga menegaskan pentingnya memasukkan analisis P–Delta dalam perencanaan bangunan bertingkat, terutama untuk memastikan keamanan dan kenyamanan penghuni pada saat struktur menerima beban gempa.

DAFTAR PUSTAKA

Belo, Jose Manuel Freitas (2016). Studi perencanaan struktur tahan gempa dengan sistem rangka pemikul momen pada bangunan gedung b teknologi informasi dan ilmu komputer universitas browijaya malang tahap i. Dis. Itu malang.

- Cheng, H., Zhang, R., Zhang, T., Wang, H., Qu, C., & Zhang, P. (2022). Studi Banding Pengaruh P-Delta terhadap Perilaku Seismik Nonlinier Rangka Momen Baja pada Gerakan Tanah Sesar Dekat dan Sesar Jauh. *Gedung*, 12(2), 205.
- ETASR. (2025). Investigasi numerik pengaruh efek P-Delta pada struktur rangka baja dengan sambungan semi-kaku dan soft story. *Penelitian Teknik, Teknologi & Sains Terapan (ETASR)*.
- F, A. (2024). Analisis P-Delta pada struktur rangka beton bertulang. *Pracetak Gerbang Penelitian*.
- Hardatama, bintang friz; priana, surya eka; herista, febrimen. Perencanaan struktur atas gedung kantor cv. Graha sungkai tengah jua bukittinggi.
- Irawan, H. (2015). Analisis Struktur Gedung 10 Lantai Hotel Batiqa Palembang Terhadap Beban Gempa Berdasarkan Sni 03-1726-2019.
- Indarto, Himawan (2005). "Perhitungan Beban Gempa pada Bangunan Gedung Berdasarkan Standar Gempa Indonesia yang Baru." *Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Sipil* 14.1.
- Indah, NC (2024). Analisis Struktur Atas Gedung 4 Lantai Wisma Mulya Syariah Kota Bukittinggi Terhadap Beban Gempa dengan Penerapan Metode Analisis Pushover (Disertasi Doktoral, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat).
- IRJET. (2021). Studi efek P-Delta dan pemendekan aksial pada rangka bangunan bertingkat banyak. *Jurnal Penelitian Internasional Teknik dan Teknologi (IRJET)*, 8(10), 187–192.
- IRJMET. (2021). Analisis P-Delta pada gedung bertingkat menggunakan ETABS. *Jurnal Penelitian Internasional Modernisasi dalam Teknologi dan Sains Rekayasa (IRJMETS)*, 3(5), 11277–11283.
- Pradana, R., Santosa, B., & Wijayanti, A. (2020). Analisis Perilaku Struktur Bangunan Bertingkat dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 12(2), 115–124.
- SAPTA (2012). Tesis Perancangan kinerja berdasarkan struktur bangunan gedung beton bertulang akibat beban gempa. Universitas Sriwijaya Palembang.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabet. SNI 1726_2019 Tata cara perencanaan ketahan gempa untuk struktur bangunan Gedung dan non Gedung
- SNI 1727_2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan Gedung dan struktur lain
- SNI 2847_2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan Gedung dan penjelasan
- SNI 03-1727-1989 Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan Gedung. Yuliani, D., & Setiawan, H. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Menggunakan Analisis Pushover. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 9(1), 45–52