

Analisis perilaku kinerja struktur bangunan pada variasi tipe podium zona gempa 5 menggunakan metode respon spektrum

Paskalis Halawa*, Sudarno P Tampubolon, Lolom Evalita Hutabarat

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta Timur, Jakarta, Indonesia

*Corresponding authors: 2053050029@ms.uki.ac.id

Submitted: 30 January 2025, Revised: 1 June 2025, Accepted: 25 June 2025

ABSTRACT: Buildings or structures in Indonesia are highly vulnerable to earthquakes, especially in seismic zone 5. Podium-type buildings consist of two main parts: the podium and the tower. This type of building is used due to its advantages of better stability, resulting from a wider base, efficient land use, and good seismic performance. Therefore, this study aims to analyze the structural behavior of three types of buildings: non-podium structures, centrally supported podium towers, and eccentrically supported podium towers. The analysis is conducted using the response spectrum analysis method to examine various structural behaviors, including comparisons of base shear forces, inter-story drift, and the P-Delta effect. The analysis results show that the base shear force of the non-podium structure is 18,463.26 kN, which is higher than that of the centrally supported podium tower at 10,661 kN and the eccentrically supported podium tower at 10,661 kN. In terms of inter-story drift in the x-direction, the eccentrically supported podium tower (model 3) has a displacement of 64.405 mm, exceeding the permissible limit of 61.538 mm. Meanwhile, the non-podium structure (model 1) has a displacement of 60.658 mm, and the centrally supported podium tower (model 2) has 56.408 mm, both meeting the permissible drift limits. For the maximum P-Delta values, Model 1 is 0.0964, Model 2 is 0.05844, and Model 3 is 0.0722, all of which comply with the P-Delta effect limits. The findings of this study are expected to provide a deeper understanding of the differences in structural performance between non-podium structures, centrally supported podium towers, and eccentrically supported podium towers, which can be used as a reference for designers in selecting a structurally safe system by increasing stability against lateral loads.

KEYWORDS: earthquake zone 5; podium type building; response spectrum method; structural behavior.

ABSTRAK: Bangunan atau gedung yang berada di Indonesia sangatlah rawan terhadap gempa terutama pada wilayah gempa zona 5. Bangunan tipe podium merupakan bangunan yang terdiri dari 2 bagian utama yaitu podium dan tower. Bangunan tipe ini digunakan karena mempunyai kelebihan dalam stabilitas yang lebih baik dikarenakan bagian dasar yang melebar, penggunaan lahan yang sedikit dan performa seismik yang baik. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktur bangunan yang terdiri dari bangunan struktur non podium, podium tower sentris, dan podium tower eksentris dengan menggunakan metode analisis respon spektrum untuk melihat setiap perilaku yang terjadi pada struktur diantaranya perbandingan gaya geser dasar, simpangan antar tingkat dan pengaruh P-Delta. Dari hasil analisis yang telah dilakukan maka diperoleh struktur bangunan non podium memiliki gaya geser dasar sebesar 18,463.26 kN lebih besar dibandingkan dengan gaya geser bangunan sentris sebesar 10,661 kN dan eksentris 10,661 kN. Sedangkan simpangan antar tingkat arah x pada bangunan struktur tipe podium eksentris (model 3) memiliki nilai 64.405 mm melewati batas simpangan antar tingkat izin 61.538 mm, untuk non podium (model 1) sebesar 60.658 mm, sentris (model 2) sebesar 56.408 mm memenuhi syarat batas simpangan izin. Untuk nilai P-Delta maksimum pada model 1 sebesar 0.0964, model 2 sebesar 0.05844 dan model 3 sebesar 0.0722 memenuhi syarat dan tidak melewati batas pengaruh P-Delta. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman mendalam untuk setiap perbedaan perilaku kinerja struktur pada bangunan non podium, podium tower sentris, dan podium tower eksentris yang dapat digunakan menjadi referensi bagi perancang dalam memilih sistem struktur yang aman dengan meningkatkan stabilitas terhadap beban lateral.

KATA KUNCI: zona gempa 5; bangunan tipe podium; metode respon spektrum; perilaku struktur.

© The Author(s) 2025. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1. PENDAHULUAN

Desain bentuk struktur bangunan mengalami transformasi yang signifikan. Perkembangan ini disebabkan dan didorong oleh berbagai faktor, salah satunya yaitu kebutuhan ruang yang semakin kompleks. Jika dulu bangunan cenderung memiliki bentuk yang simetris dan sederhana, kini mengusung bentuk dan

konsep yang lebih berbeda dan asimetris salah satunya adalah bangunan yang bertipe podium.

Menurut (Manalip et al., 2014) bangunan tipe podium baik dalam satu arah maupun dua arah merupakan termasuk dalam bangunan ireguler, karena pusat massa tidak berimpit secara vertikal. Massa dan kekakuan baik arah horizontal maupun arah vertikal

tidak terdistribusi secara merata. Masalah dapat terjadi pada daerah peralihan kekakuan, yaitu dari kekakuan besar di bagian bawah menuju kekakuan yang relatif lebih kecil di bagian atas.

Menurut (Sutrisno & Wijaya, 2024) bangunan bertingkat dengan ketidakberaturan vertikal menunjukkan variasi signifikan dalam respons dinamis, terutama pada *base shear*, *displacement*, dan *drift*. Berdasarkan SNI 1726:2012, bangunan yang memiliki struktur podium didefinisikan ketidakberaturan geometri vertikal. Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.

Di Indonesia bangunan tinggi selalu menghadapi masalah mengenai gempa bumi, hal ini karena Indonesia berada di daerah pertemuan empat lempeng tektonik utama yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina, yang sering disebut juga *Ring of Fire*. Menurut (Hutabarat et al., 2023) secara geografis, Indonesia terletak di antara dua benua dan dua samudra. Seperti diketahui bersama bahwa Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik semuanya me-lewati Indonesia. Potensi pergeseran kerak bumi inilah yang memicu terjadinya gempa saat terjadinya patahan atau patahan bergerak.

Semua bentuk bangunan rentan terhadap gempa terlebih pada bangunan yang bertipe podium dikarenakan menurut (Pramudya & Harsoyo, 2019) bangunan tipe struktur podium mempunyai masalah pada transisi dari kekakuan yang relatif besar ke kekakuan yang relatif rendah. Adapun menurut (Rumimper et al., 2013) menyatakan bahwa pada bangunan tipe podium terjadi perbedaan simpangan yang cukup signifikan antar lantai yang memiliki massa dan kekakuan yang berbeda pada bangunan tipe podium. Dalam penelitian (Rifaldi, 2019) menganalisis mengenai bangunan tipe podium pada 3 wilayah yaitu Lombok, Mentawai, dan Palu dan menghasilkan nilai yang bervariasi terhadap perilaku struktur yang terdiri dari gaya geser dasar, simpangan antar lantai.

Dari beberapa kajian penelitian dan referensi sebelumnya maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku struktur bangunan (gaya geser dasar, simpangan antar tingkat, dan pengaruh *P-Delta*) pada wilayah zona gempa 5 dengan menggunakan 3 pemodelan struktur bangunan diantaranya *non podium*, *podium tower* sentris, dan *podium towers* eksentris.

Hasil dari penelitian ini diharapkan nantinya mampu memberikan pemahaman mendalam tentang perbedaan perilaku struktur untuk setiap tipe bangunan podium dan tanpa podium, yang dapat digunakan sebagai acuan/ bahan referensi dalam merancang dan memilih sistem struktur yang aman, serta mengurangi eksentrisitas dan meningkatkan stabilitas terhadap beban lateral.

2. METODE

Analisis statik ekuivalen merupakan metode analisis yang digunakan untuk menghitung gaya gempa yang bekerja pada struktur dengan mengasumsikan bahwa struktur berperilaku linier elastik dan bergetar dalam mode pertama, dimana beban gempa dihitung sebagai gaya geser dasar, lalu didistribusikan secara vertikal ke tiap lantai berdasarkan massa relatif dan tinggi lantai. Analisis respons spektrum merupakan metode dinamis linier yang menggunakan spektrum respons gempa (nilai percepatan terhadap periode getar) untuk menghitung respons maksimum struktur pada berbagai mode getar (Badan Standardisasi Nasional, 2019; CSI, 2016; Hudson, 1995).

2.1 Dalam Umum Gedung

Data umum gedung yang digunakan dalam pemodelan terdiri dari:

1. Fungsi gedung: perkantoran.
2. Tipe struktur yang digunakan: beton bertulang.
3. Zona gempa: zona 5 (peta zona gempa indonesia).
4. Klasifikasi situs: tanah lunak (SE).

Zona gempa wilayah 5 dipilih dikarenakan merupakan daerah dengan risiko gempa sangat tinggi dengan percepatan gempa 1.2g-1.5g. Umumnya kekuatan gempa bisa mencapai dari 6-7 skala *Richter* dengan potensi lebih tinggi. Contoh Lokasi seperti daerah Sumatera dan sekitarnya.

2.2 Data Teknik Gedung

Adapun data teknis bangunan tipe struktur podium yang digunakan terdiri dari:

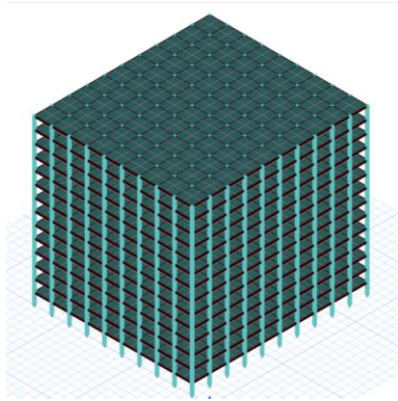
1. Luas bangunan perencanaan : 3,600 m²
2. Jumlah lantai : 15
3. Tinggi antar lantai : 4 m
(tinggi antar lantai berdasarkan PP No 21 Tahun 2022)
4. Tinggi total bangunan : 56 m

Dalam penelitian ini akan dimodelkan 3 bangunan yang akan dibandingkan yaitu tipe *non podium*, sentris dan eksentris. Model *non podium* di pilih sebagai model untuk kontrol terhadap bangunan podium model 1 (sentris) dan model 2 (eksentris). Bangunan *non podium* adalah gedung bertingkat dengan geometri vertikal yang seragam tanpa perbedaan dimensi horizontal yang signifikan antara lantai dasar dan lantai di atasnya, sehingga memiliki distribusi beban yang lebih merata dan stabil terhadap gaya lateral. Sementara itu, bangunan podium terbagi menjadi dua tipe, yaitu podium sentris dan eksentris. Bangunan podium sentris memiliki pusat massa dan pusat kekakuan yang berimpit atau sangat dekat, mengurangi efek torsi akibat beban lateral dan meningkatkan stabilitas struktur, terutama di daerah rawan gempa. Sebaliknya, bangunan podium eksentris memiliki pusat massa dan pusat kekakuan yang tidak berimpit, menyebabkan eksentrisitas yang dapat menimbulkan

torsi signifikan saat terkena beban lateral, sehingga meningkatkan risiko kerusakan struktural dan deformasi berlebihan pada elemen bangunan. Oleh karena itu, desain dan analisis bangunan eksentris memerlukan perhatian khusus untuk mengurangi efek torsi dan menjaga stabilitas struktur.

2.2.1 Model 1 (*Non Podium*)

Model 1 (*non podium*) merupakan pemodelan bangunan tanpa podium yang dimana pemodelan 3D dapat dilihat pada Gambar 1.

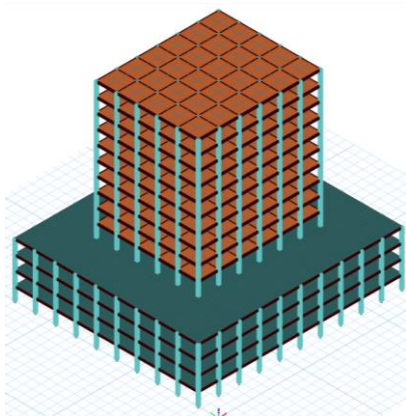


Gambar 1. Model 1 (*non podium*)

Berdasarkan Gambar 1 Kuadran A adalah nilai tinggi pada indeks kecelakaan serta pertumbuhan diatas nilai rata-rata indeks kecelakaan, Kuadran B adalah indeks kecelakaan tinggi dan pertumbuhan dibawah nilai rata-rata indeks kecelakaan, Kuadran C adalah indeks kecelakaan rendah dan pertumbuhan di bawah nilai rata-rata indeks kecelakaan, dan Kuadran D adalah nilai rendah dan nilai rata-rata indeks kecelakaannya dibawah pertumbuhan.

2.2.2 Model 2 (*Sentris*)

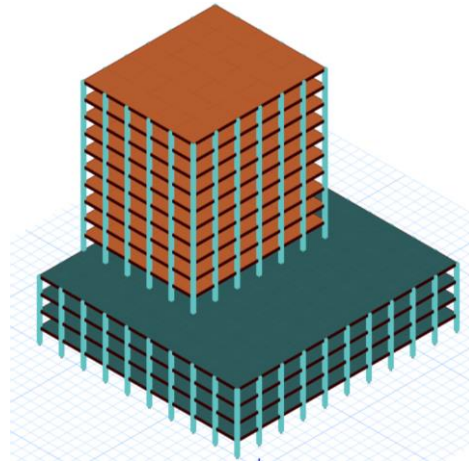
Model 2 (*sentris*) merupakan pemodelan bangunan tipe struktur podium dengan tower sentris atau tepat ditengah tengah bangunan seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model 2 (*sentris*)

2.2.3 Model 3 (*Eksentris*)

Model 3 (*eksentris*) merupakan pemodelan bangunan tipe struktur podium dengan tower tidak ditengah tengah bangunan seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model 3 (*eksentris*)

2.3 Preliminary Struktur

Perancangan struktur gedung harus penuh dengan ketelitian menurut (Pattiwael et al., 2024). Perencanaan struktur gedung merupakan proses penting dalam memastikan kekuatan dan stabilitas bangunan, yang melibatkan analisis beban, pemilihan material, dan desain elemen struktural seperti kolom, balok, dan pondasi.

Perhitungan dimensi awal komponen struktur didasarkan dari SNI 2847: 2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Menurut (Sarasantika et al., 2023) desain struktur awal (*preliminary design*) adalah tahap awal dalam perencanaan struktur yang bertujuan untuk menentukan dimensi dan konfigurasi elemen-elemen struktur secara kasar. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan beban yang diharapkan dan memenuhi persyaratan fungsional serta estetika, sebelum dilakukan analisis dan perencanaan detail lebih lanjut elemen struktur yang akan di desain terdiri dari balok, kolom, dan pelat.

Menurut (Tampubolon, 2022) dalam bukunya berjudul Struktur Beton 1 mengatakan bahwa balok adalah elemen struktur yang berfungsi untuk menahan gaya-gaya yang bekerja, baik itu gaya tekan maupun tarik. Balok biasanya digunakan dalam konstruksi bangunan. Untuk mendistribusikan beban dari elemen lain dan dalam buku tersebut disebutkan juga tentang plat lantai elemen struktur horizontal yang menerima beban dari lantai dan menyalurkannya ke balok atau kolom. Pelat dapat dirancang sebagai pelat satu arah atau dua arah, tergantung pada distribusi beban dan geometri struktur. Teori ini juga dikemukakan oleh (Pratomo & Hudori, 2021) Pelat adalah elemen horizontal dalam struktur bangunan

yang menerima beban mati dan beban hidup pada lantai, kemudian menyalurkannya ke balok dan kolom. Pelat dapat dirancang sebagai pelat satu arah atau dua arah, tergantung pada distribusi beban dan geometri struktur. Dalam jurnalnya juga (Tampubolon, 2021) mengemukakan tentang kolom yang merupakan elemen vertikal dalam struktur yang berfungsi untuk mentransmisikan beban dari bagian atas ke fondasi. Kekuatan dan kestabilan kolom sangat dipengaruhi oleh desain, material, dan kondisi beban yang diterimanya. Berdasarkan teori diatas perhitungan dimensi awal struktur yang direncanakan sangatlah penting sehingga diperoleh dimensi kolom, balok dan pelat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Preliminary desain

Komponen Struktur	Dimensi (mm)
Kolom (K1)	800 mm x 800 mm
Balok Induk (B1)	600 mm x 350 mm
Balok Anak (B2)	400 mm x 250 mm
Pelat Lantai	120 mm

2.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur mencakup beban mati, beban hidup dan beban gempa. Menurut (Strisno, 2015) pembebanan struktur semuanya harus diperhitungkan untuk memastikan stabilitas dan keamanan bangunan. Teori ini juga didukung dikemukakan oleh (Tampubolon, 2024) dalam buku Struktur Beton 2 yang mengatakan bahwa pembebanan struktur harus mempertimbangkan kombinasi beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan standar yang berlaku untuk memastikan keamanan dan stabilitas struktur.

2.4.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Pembebanan struktur pada gedung harus beracuan pada SNI 1727: 2020 tentang desain pembebanan pada struktur gedung sebagai acuan pada perhitungan beban mati struktur. Beban mati struktur terdiri dari kolom, balok, pelat, lantai, dan dinding yang dimodelkan. Menurut (Muhazir & Sumarman, 2019a) beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu bangunan yang bersifat tetap, beban mati pada struktur bangunan ditentukan oleh berat jenis bahan bangunan. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan material beton dengan berat jenis 24 kN/m^3 dan mutu baja 75.8 kN/m^3 .

2.4.2 Beban Tambahan (*SIDL*)

Pembebanan tambahan struktur pada gedung harus beracuan pada SNI 1727: 2020. Menurut (Wijaya & Raharjo, 2020) beban tambahan pada struktur, seperti perubahan fungsi bangunan, renovasi, atau pemasangan elemen tambahan, dapat menyebabkan

redistribusi gaya internal yang memengaruhi stabilitas struktur secara keseluruhan. Beban mati tambahan merupakan beban yang bukan struktural yang ditambahkan pada model struktur. Pada penelitian ini beban tambahan yang ditambahkan pada struktur terdiri dari:

1. Lantai 1

Instalasi ME: 0.19 kN/m^2	$= 0.19 \text{ kN/m}^2$
Cement Plaster: 0.72 kN/m^2	$= 0.72 \text{ kN/m}^2$
Ceramic: 0.77 kN/m^2	$= 0.77 \text{ kN/m}^2$
<hr/>	
Total	$= 1.68 \text{ kN/m}^2$

2. Lantai 2

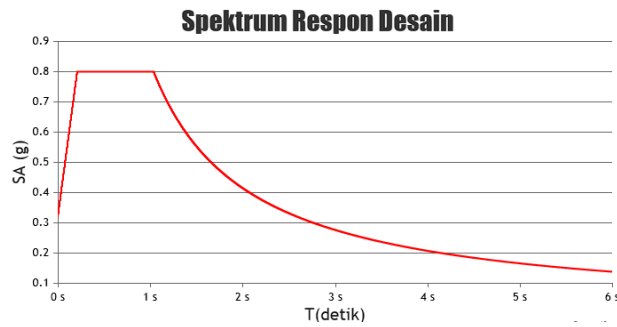
Instalasi ME: 0.19 kN/m^2	$= 0.19 \text{ kN/m}^2$
Gypsum: 0.008 kN/m^2	$= 0.008 \text{ kN/m}^2$
Ceramic: 0.77 kN/m^2	$= 0.77 \text{ kN/m}^2$
<hr/>	
Total	$= 0.968 \text{ kN/m}^2$

2.4.3 Beban Hidup (*Live Load*)

Pembebanan untuk beban hidup struktur merupakan salah satu beban tambahan yang wajib ditambahkan pada struktur. Nilai besar beban hidup pada struktur berbeda beda dan tidak konstan dikarenakan aktivitas manusia yang tidak selalu sama. Menurut (Muhazir & Sumarman, 2019b) beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan/atau beban akibat air hujan pada atap. Menurut (Simanjuntak & Tampubolon, 2023) beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain, seperti angin, hujan, dan lain-lain. Pada penelitian ini pada semua model digunakan beban hidup kantor yaitu sebesar 4.79 kN/m^2 .

2.4.4 Beban Gempa

Beban gempa pada struktur dihitung berdasarkan respons dinamis struktur terhadap gaya inersia yang ditimbulkan oleh percepatan tanah selama gempa, dimana analisis ini sering menggunakan metode respon spektrum untuk memperkirakan gaya internal dan deformasi struktur (Prawirodirdjo & Widodo, 2020). Dalam penelitian ini respon spektrum desain bersumber dari situs desain spektra Indonesia yang sesuai dengan lokasi gedung. Sehingga diperoleh data seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum respon desain

- Kelas Situs : Tanah Lunak
- T_0 : 0.21 s
- T_s : 1.04 s
- S_s : 1.5 g
- S_1 : 0.6157 g

Berdasarkan data diatas dilakukan perencanaan beban gempa untuk ke 3 pemodelan ini berdasarkan SNI 2847 2019 sehingga diperoleh pembebanan gempa yaitu:

- $F_a = 0.8$ g
- $F_v = 2$
- $S_{MS} = F_a \times S_s = 1.2$
- $S_{M1} = F_v \times S_1 = 1.2768$
- $SDS = \frac{2}{3} \times S_{MS} = 0.8$ g
- $SD1 = \frac{2}{3} \times S_{M1} = 0.8512$ g

- Sistem Pemikul Gaya Seismik:

Koefisien modifikasi respon (R) = 8

Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3

Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5.5

Faktor reduksi untuk perhitungan beban gempa :

$$\frac{I}{R} \times 9.81 = \frac{I}{R} \times 9.81 = 1.22625$$

2.5 Analisis Respon dengan Software ETABS V18

Analisis respon spektrum adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan respons struktur terhadap beban gempa, dengan memanfaatkan respon spektrum yang menggambarkan hubungan antara periode getaran dan amplitudo respons maksimum suatu struktur. Metode analisis respon spektrum telah menjadi pendekatan yang banyak digunakan dalam perencanaan struktur terhadap beban gempa, karena kemampuannya dalam memberikan estimasi respon struktur berdasarkan respon spektrum yang ditentukan dari karakteristik gempa dan properti dinamis struktur. Menurut (Khosravi et al., 2021) metode analisis respon spektrum merupakan pendekatan yang efisien untuk menganalisis respons struktur terhadap gempa, dengan menggunakan kurva spektrum yang menggambarkan respons maksimum pada berbagai periode getarannya,

yang dapat menghemat waktu dan biaya dalam perencanaan struktur seismik.

Untuk mempermudah dalam analisis respon spektrum digunakan *software* ETABS V18. Penggunaan *software* ETABS V18 dalam metode respon spektrum sangat dianjurkan karena kemampuannya dalam melakukan analisis dinamis struktur dengan tingkat akurasi yang tinggi serta efisiensi dalam pemodelan dan perhitungan. Pada penelitian ini *Software* ETABS V18 digunakan untuk menganalisis perilaku struktur untuk mendapatkan nilai gaya geser dasar, simpangan antar tingkat dan pengaruh *P-Delta*.

2.6 Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar (*base shear*) adalah gaya horizontal yang bekerja pada struktur akibat beban gempa, yang dihitung berdasarkan massa total struktur dan percepatan gempa yang ditentukan oleh karakteristik seismik lokasi (Ekatama et al., 2023). Perhitungan dan penentuan gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan ditentukan berdasarkan Persamaan 1.

$$V = C_s \times W \quad (1)$$

dimana C_s adalah koefisien respons seismik dan W adalah berat seismik efektif.

Menurut Gaya geser dasar (*base shear*) adalah gaya horizontal yang bekerja pada struktur akibat beban gempa dan harus dikontrol. Menurut (Pratama et al., 2021) kontrol terhadap gaya geser dasar penting untuk memastikan bahwa nilai gaya geser dinamik tidak melebihi 85% dari gaya geser statik ekuivalen yang ditentukan guna menjaga stabilitas dan keamanan struktur. Kontrol terhadap gaya geser juga dikemukakan oleh (Tampubolon, 2023) yang mengatakan gaya geser dasar dinamis dari spektrum respons harus sama dengan 100% dari gaya geser dasar statis ekuivalen. Jika respons gabungan untuk gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisis varians (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung menggunakan metode statis ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , di mana V adalah gaya geser dasar statis ekuivalen, dan V_t adalah gaya geser dasar yang diperoleh dari hasil analisis kombinasi varian. Oleh karena itu Gaya geser dasar harus memenuhi syarat $V_{dinamik} \geq 100\% V_{statik} (V_s)$.

2.7 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai merupakan perbandingan perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan dibawah tingkat yang di tinjau. Menurut (Silaban et al., 2023) simpangan antar lantai akibat beban gempa dapat dianalisis menggunakan metode analisis respon spektrum dan

analisis riwayat waktu. Hasil analisis ini penting untuk mengevaluasi kinerja struktur terhadap pergeseran antar lantai dan memastikan bahwa simpangan tersebut memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar perencanaan Simpangan ditentukan berdasarkan Persamaan 2.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2)$$

dimana C_d adalah faktor pembesaran simpangan lateral, δ_{xe} adalah simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada pasal ini, yang ditentukan dengan analisis elastik dan I_e adalah faktor keutamaan gempa yang ditentukan.

Simpangan antar tingkat harus dikontrol agar Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak melebihi simpangan antar tingkat izi (Δ_a). Menurut (Shany et al., 2020) simpangan antar tingkat (*drift*) pada struktur gedung harus dikontrol agar tidak melebihi nilai yang diizinkan, guna memastikan kinerja struktural yang optimal dan mencegah kerusakan pada elemen-elemen *non-struktural*. Simpangan antar tingkat izin dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Simpangan antar tingkat izin

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit – langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0.002 h_{sx}	0.020 h_{sx}	0.015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata.	0.010 h_{sx}	0.010 h_{sx}	0.010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya.	0.007 h_{sx}	0.007 h_{sx}	0.007 h_{sx}
Semua struktur lainnya.	0.020 h_{sx}	0.015 h_{sx}	0.010 h_{sx}

2.8 Pengaruh *P-Delta*

Dalam SNI 1726-2019, koefisien stabilitas (Θ) tidak perlu mempertimbangkan pengaruh *P-Delta* pada geser momen dan tingkat, momen elemen struktur, serta gaya yang dihasilkan dan simpangan antar tingkat

jika koefisien stabilitas sama dengan atau kurang dari 0.10. Menurut (Husen & Hardiasyah, 2021) efek *P-Delta* adalah fenomena non-linear orde kedua yang terjadi pada struktur bangunan yang mengalami goyangan dan beban aksial secara bersamaan. Efek ini terjadi akibat interaksi antara beban aksial yang diterima oleh kolom (P) dan perpindahan lateral (Δ) yang disebabkan oleh goyangan struktur, sehingga menambah momen pada kolom dan mempengaruhi kestabilan serta kapasitas kolom tersebut. Pengaruh *P-Delta* pada struktur menurut memengaruhi kestabilan dan kapasitas kolom, terutama pada struktur dengan sistem flat *slab-drop panel*. Penebalan pada ujung kolom (*drop panel*) dapat meningkatkan gaya aksial dan gaya lateral yang bekerja pada kolom, sehingga perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur gedung bertingkat Persamaan untuk menentukan hal tersebut dapat dihitung menggunakan rumus Persamaan 3.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3)$$

dimana P_x adalah beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat-x (kN), Δ adalah simpangan antar tingkat desain seperti didefinisikan dalam 0, terjadi secara serentak dengan V_x (mm), I_e adalah Faktor keutamaan gempa yang ditentukan, V_x adalah gaya geser seismik yang bekerja anatar tingkat x dan x-1 (kN), h_{sx} adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x, (mm) dan C_d adalah faktor pembesaran defleksi.

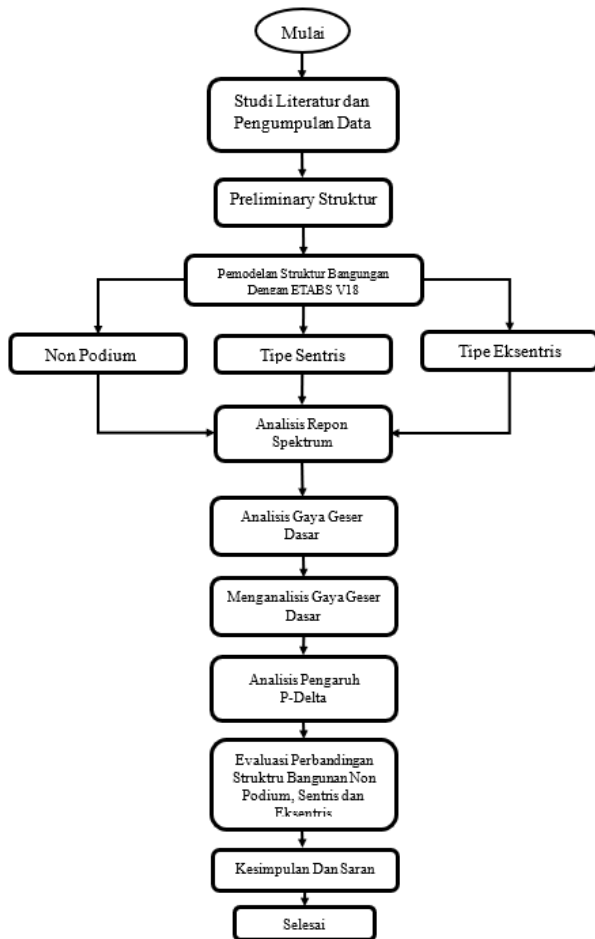
Menurut (Hilmi et al., 2020) efek *P-Delta* pada struktur dapat dikontrol dengan memastikan nilai koefisien stabilitas (θ) tidak melebihi batas maksimum yang ditentukan, yaitu 0,09. Jika nilai θ melebihi batas tersebut, pengaruh *P-Delta* harus diperhitungkan dalam analisis struktur untuk memastikan kestabilan dan keamanan bangunan. Oleh karena itu. Pengaruh *P-Delta* harus dikontrol dengan koefisien stabilitas (θ) sehingga pengaruh *P-Delta* tidak boleh melewati θ_{max} yang ditentukan berdasarkan Persamaan 4.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta * C_d} \quad (4)$$

dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat dan x-1.

2.9 Diagram Alir Penelitian

Diagram alur penelitian adalah representasi visual yang menggambarkan langkah-langkah yang akan diikuti dalam suatu penelitian, mulai dari identifikasi masalah hingga analisis data. Diagram ini membantu peneliti dan pembaca memahami proses penelitian secara sistematis dan terstruktur (Dewi, 2019). Menurut (Muhajirin et al., 2024) tahapan penelitian mencakup serangkaian langkah yang sistematis, mulai dari studi pendahuluan, perumusan masalah, pengumpulan data, analisis data, hingga kesimpulan dan saran Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan seperti terlihat pada Gambar 5.



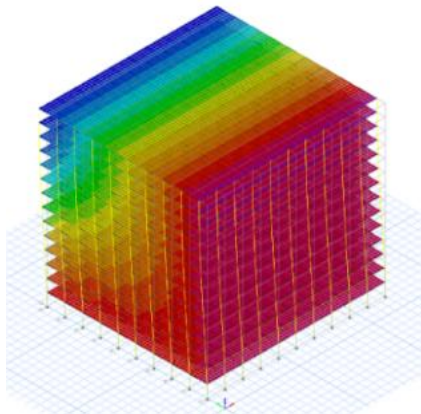
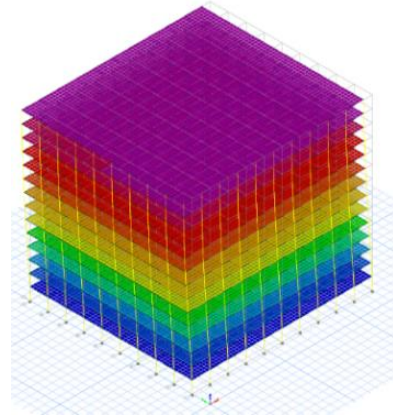
Gambar 1. Diagram alur penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Periode Getar Struktur

3.1.1 Hasil Periode Getar Struktur

Berdasarkan analisis periode getar struktur pada mode 1 *non podium* terjadi translasi pada arah x dengan periode sebesar 5.827 s yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Periode getar struktur model 1 *non podium*Gambar 7. Periode getar struktur mode 2 *non podium*

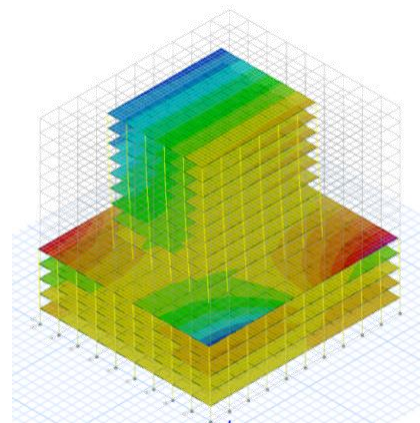
Berdasarkan analisis periode getar struktur pada mode 2 *non podium* terjadi translasi pada arah y dengan periode sebesar 5.371 s yang dapat dilihat pada Gambar 7. Sehingga berdasarkan tahapan analisis periode Getar Struktur pada model 1 (*non podium*) diperoleh hasil yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis periode getar struktur model 1

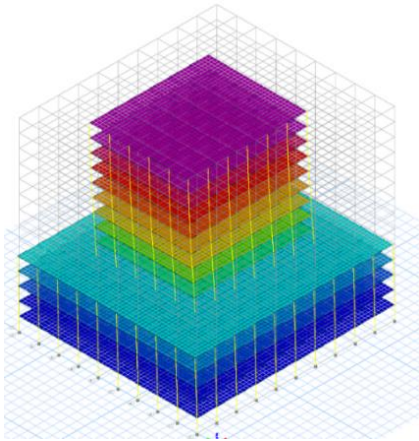
Periode Struktur	T (s)
$T_a (C_t h_n^x)$	2.4053
$T_{max} (C_u \times T_a)$	3.367
$T_{Komputer} \text{ Mode 1}$	5.827
$T_{Komputer} \text{ Mode 2}$	5.371
T Periode Pakai X	2.4053
T Periode Pakai Y	2.4053

3.1.2 Hasil Periode Getar Struktur Model 2 (Sentris)

Berdasarkan analisis periode getar struktur pada mode 1 pada sentris terjadi translasi pada arah y dengan periode sebesar 2.523 s yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Periode getar struktur mode 2 sentris



Gambar 9. Periode getar struktur mode 2 sentris

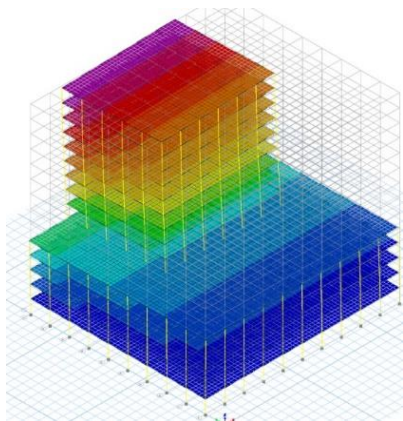
Berdasarkan analisis periode getar struktur pada mode 2 pada sentris terjadi translasi pada arah x dengan periode sebesar 2.500 s yang dapat dilihat pada Gambar 9. Sehingga berdasarkan tahapan analisis periode Getar struktur pada model 2 (sentris) diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis periode getar struktur model 2

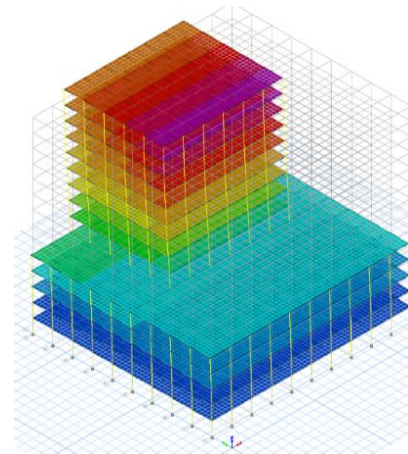
Periode Struktur	T (s)
$T_a (C_t h_n^x)$	2.443
$T_{max} (C_u \times T_a)$	3.367
$T_{Komputer} \text{ Mode 1}$	2.523
$T_{Komputer} \text{ Mode 2}$	2.500
T Periode Pakai X	2.433
T Periode Pakai Y	2.433

3.1.3 Hasil Periode Getar Struktur Model 3 (Eksentris)

Berdasarkan analisis periode getar struktur pada mode 1 pada model eksentris terjadi translasi pada arah y dengan periode sebesar 2.671 s yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Periode getar struktur mode 3 eksentris



Gambar 11. Periode getar struktur mode 2 eksentris

Berdasarkan analisis periode getar struktur pada mode 2 pada eksentris terjadi translasi pada arah x dengan periode sebesar 2.591 s yang dapat dilihat pada Gambar 11. Sehingga berdasarkan tahapan analisis periode Getar Struktur pada model 3 (eksentris) diperoleh hasil yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Periode Getar Struktur Model 3

Periode Struktur	T (s)
$T_a (C_t h_n^x)$	2.443
$T_{max} (C_u \times T_a)$	3.367
$T_{Komputer} \text{ Mode 1}$	2.671
$T_{Komputer} \text{ Mode 2}$	2.591
T Periode Pakai X	2.433
T Periode Pakai Y	2.433

3.2 Gaya Geser Dasar

3.2.1 Hasil Analisis Gaya Geser Dasar Model 1 (Non Podium)

Berikut merupakan gaya geser dasar seismik yang terjadi pada bangunan dengan menggunakan pemodelan struktur ETABS V18 yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil analisis gaya geser dasar model 1

V	Arah X (kN)	Arah Y (kN)	Cek
Statik Ekuivalen	18,463,26	18,463.26	Tidak sama
Respon Spektrum	12,216.775	12,178.431	Tidak sama

Berdasarkan Tabel 6. diperoleh nilai gaya gempa rencana (V_t) lebih kecil atau tidak sama dengan gaya geser seismik (V) sehingga nilai gaya geser dasar seismik respon spektrum dapat dikalikan dengan skala

faktor menggunakan perhitungan V/V_t , sampai hasil akhir dari gaya geser yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil analisis gaya geser dasar model 1

V	Arah X (kN)	Arah Y (kN)	Cek
Statik Ekuivalen	18,463.26	18,463.26	OK
Respon Spektrum	18,463.26	18,463.26	OK

3.2.2 Hasil Analisis Gaya Geser Dasar Model 2 (Sentris)

Berikut merupakan gaya geser dasar seismik yang terjadi pada bangunan yang didapat dengan pemodelan struktur menggunakan ETABS V18 yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil analisis gaya geser dasar model 2

V	Arah X (kN)	Arah Y (kN)	Cek
Statik Ekuivalen	10,661.57	10,661.57	Tidak sama
Respon Spektrum	9,103.738	9,103.738	Tidak sama

Berdasarkan Tabel 8. diperoleh nilai gaya gempa rencana (V_t) lebih kecil atau tidak sama dengan gaya geser seismik (V) sehingga nilai gaya geser dasar seismik respon spektrum dapat dikalikan dengan skala faktor menggunakan perhitungan V/V_t , sampai hasil akhir dari gaya geser yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil analisis gaya geser dasar model 2

V	Arah X (kN)	Arah Y (kN)	Cek
Statik Ekuivalen	10,661.57	10,661.57	OK
Respon Spektrum	10,661.57	10,661.57	OK

3.2.3 Hasil Analisis Gaya Geser Dasar Model 3 (Eksentris)

Berikut merupakan gaya geser dasar seismik yang terjadi pada bangunan yang didapat dengan pemodelan struktur menggunakan ETABS V18 yang disajikan pada Tabel 10.

Berdasarkan Tabel 10 diperoleh nilai gaya gempa rencana (V_t) lebih kecil atau tidak sama dengan gaya geser seismik (V) sehingga nilai gaya

geser dasar seismik respon spektrum dapat dikalikan dengan skala faktor menggunakan perhitungan V/V_t , sampai hasil akhir dari gaya geser yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 10. Hasil analisis gaya geser dasar model 3

V	Arah X (kN)	Arah Y (kN)	Cek
Statik Ekuivalen	10,661.57	10,661.57	Tidak sama
Respon Spektrum	8,737.288	8,737.288	Tidak sama

Tabel 11. Hasil analisis gaya geser dasar model 3

V	Arah X (kN)	Arah Y (kN)	Cek
Statik Ekuivalen	10,661.57	10,661.57	OK
Respon Spektrum	10,661.57	10,661.57	OK

3.2.4 Perbandingan Hasil Analisis Gaya Geser Dasar Ketiga Model

Bangunan *non podium* memiliki distribusi massa dan kekakuan yang seragam dari lantai ke lantai, menghasilkan gaya geser dasar terbesar, yaitu 18,463.26 kN. Kekakuan yang merata membuat pola deformasi lebih teratur dan minim efek torsi, sehingga struktur ini cenderung lebih stabil dalam menahan gaya lateral tanpa perubahan geometri yang drastis.

Pada bangunan podium sentris, terdapat perubahan distribusi massa akibat perbedaan geometri di lantai dasar (podium). Namun, karena pusat massa dan kekakuan berimpit atau sangat dekat, torsi yang terjadi relatif kecil. Gaya geser dasarnya lebih rendah, yaitu 10,661.57 kN, menunjukkan fleksibilitas yang lebih baik dalam merespons gaya lateral, sementara stabilitasnya tetap terjaga.

Sementara itu, bangunan podium eksentris memiliki eksentrisitas yang menyebabkan torsi tambahan saat terkena beban lateral, membuat distribusi gaya geser tidak merata. Gaya geser dasarnya paling rendah, yaitu 9,793.80 kN, menandakan fleksibilitas yang lebih tinggi. Namun, struktur ini lebih rentan terhadap efek torsi, yang dapat meningkatkan risiko deformasi berlebihan dan kerusakan struktural.

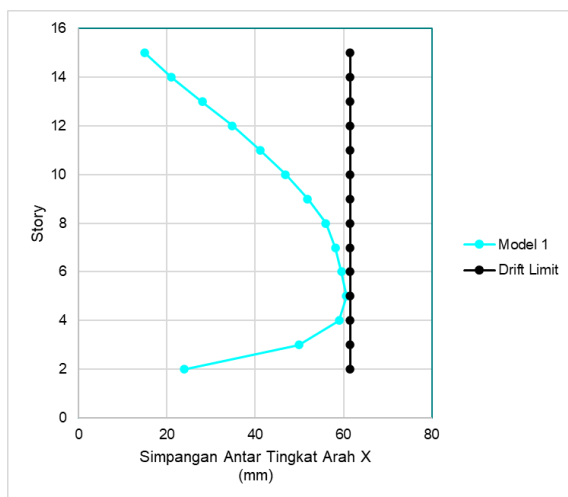
Dari analisis ini, disimpulkan bahwa bangunan *non podium* memiliki gaya geser dasar terbesar karena distribusi kekakuan yang merata. Bangunan podium sentris dan eksentris memiliki gaya geser dasar lebih kecil akibat perbedaan distribusi massa dan kekakuan, tetapi bangunan eksentris lebih berisiko mengalami efek torsi yang dapat memperburuk respons terhadap beban lateral.

3.3 Simpangan Antar Tingkat

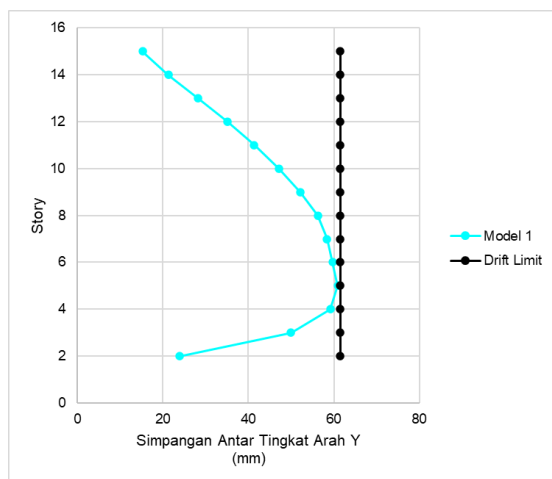
Berdasarkan SNI 03-1726-2019 menetapkan simpangan antar lantai izin (Δ_a) sebesar 0.002 h untuk semua pada kategori risiko I dan II. Namun untuk kategori desain seismik D simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan maksimum yaitu Δ_a/ρ untuk semua tingkat, dengan ρ didefinisikan sebagai faktor *redundansi*. Selain itu simpangan arah x dan simpangan arah y dikatakan aman ketika lebih kecil dari simpangan batas (*drift limit*) yang ditetapkan.

3.3.1 Hasil Analisis Simpangan Antar Lantai Model 1 (Non Podium)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan simpangan antar lantai pada model 1 ditunjukkan pada Gambar 12. untuk arah x dan Gambar 13 untuk arah y. Didapatkan bahwa simpangan antar tingkat pada model 1 pada arah x dan arah y mempunyai besar simpangan sebesar 60.658 mm tidak melewati batas simpangan izin sehingga dapat dikategorikan aman.



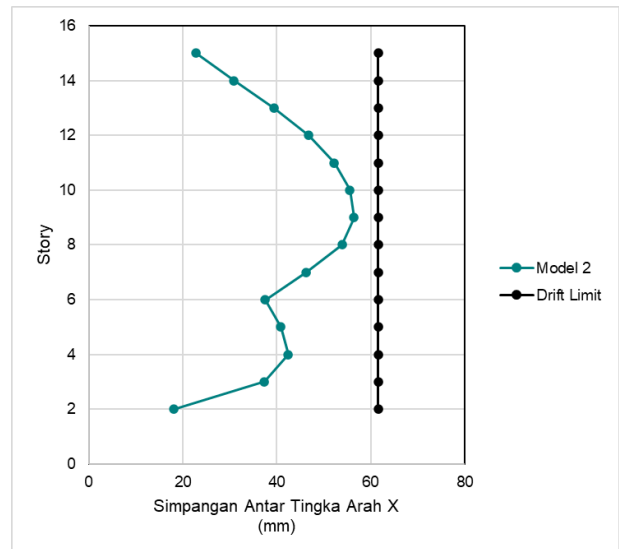
Gambar 12. Grafik simpangan antar lantai arah x model 1



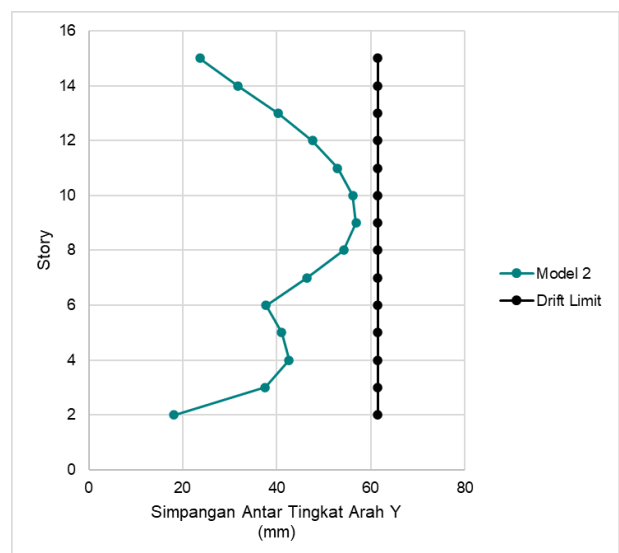
Gambar 13. Grafik simpangan antar lantai arah y model 1

3.3.2 Hasil Analisis Simpangan Antar Lantai Model 2 (Sentris)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan simpangan antar lantai pada model 2 ditunjukkan pada Gambar 14 untuk arah x dan Gambar 15 untuk arah y dan didapatkan bahwa simpangan antar tingkat pada model 1 pada arah x dan arah y mempunyai besar simpangan sebesar 56.408 mm, tidak melewati batas simpangan izin sehingga dapat dikategorikan aman.



Gambar 14. Grafik simpangan antar lantai arah x model 2

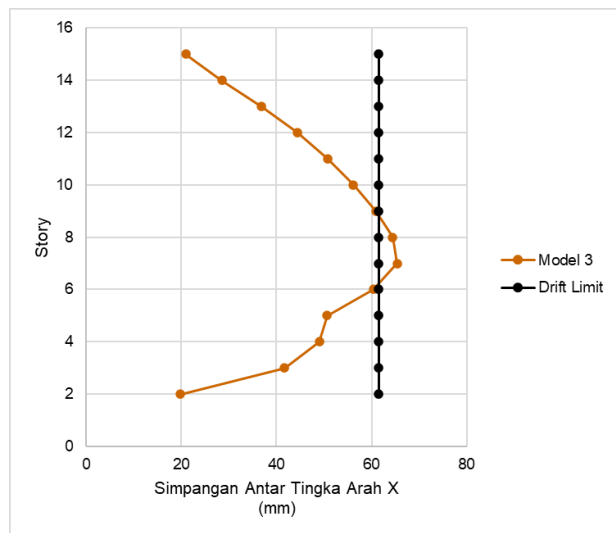


Gambar 15. Grafik simpangan antar lantai arah y model 2

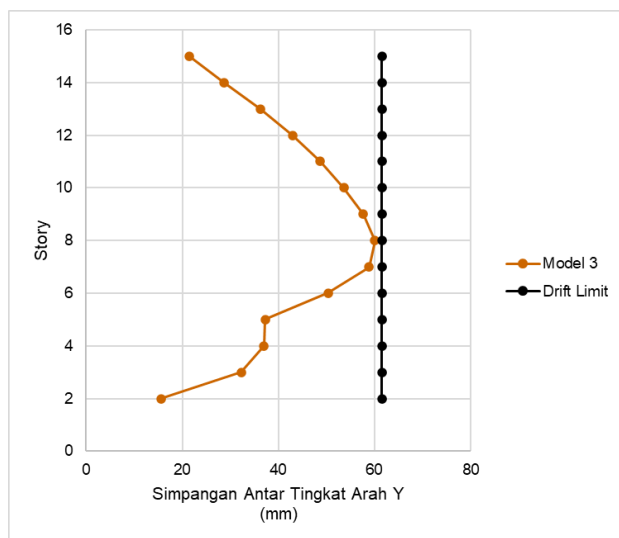
3.3.3 Hasil Analisis Simpangan Antar Lantai Model 3 (Eksentris)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan simpangan antar lantai pada model 3 ditunjukkan pada grafik Gambar 16 untuk arah x. Pada model 3 eksentris didapatkan bahwa simpangan arah x melewati batas simpangan izin dikarenakan terdapat simpangan

sebesar 64.405 mm sehingga dapat dinyatakan tidak aman.



Gambar 16. Grafik simpangan antar lantai arah x model 3



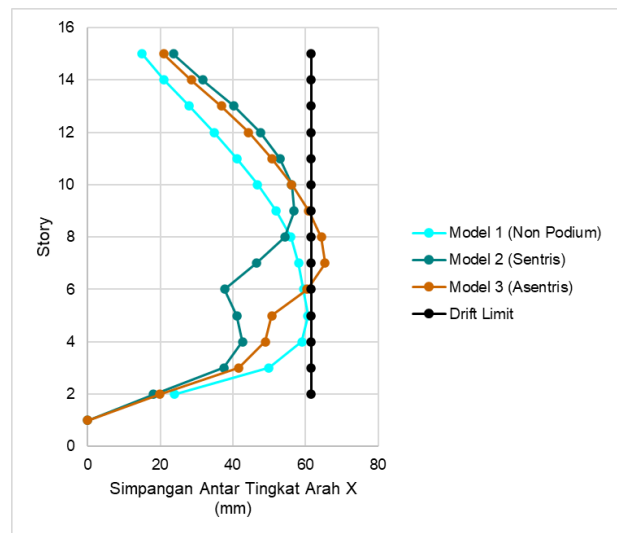
Gambar 17. Grafik simpangan antar lantai arah y model 3

Berdasarkan hasil analisis perhitungan simpangan antar lantai pada model 3 ditunjukkan pada grafik Gambar 17 untuk arah y. Pada model 3 eksentris didapatkan bahwa simpangan arah y paling besar yaitu sebesar 60.088 dan masih memenuhi dan tidak melewati batas simpangan ijin antar tingkat.

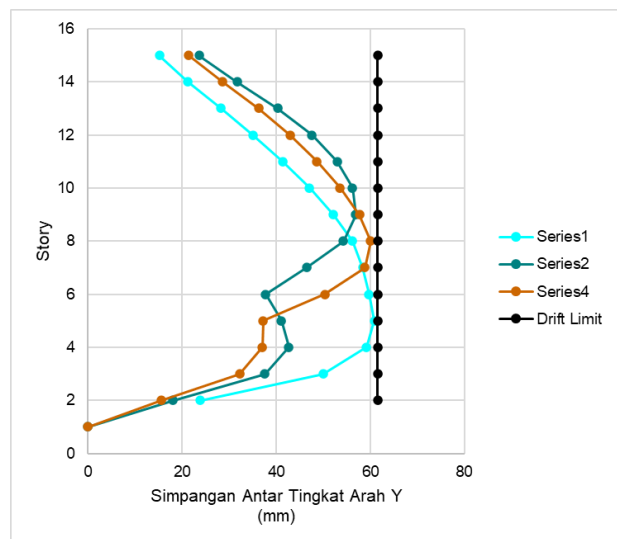
3.3.4 Perbandingan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan grafik perbandingan simpangan antar tingkat dapat disimpulkan untuk simpangan arah y Gambar 19 pada ketiga model masih dalam batas aman dikarenakan tidak melewati batas simpangan antar tingkat izin. Berdasarkan Gambar 18 untuk arah x pada model ke 1 (*non podium*) dan model 2 (*sentris*) memenuhi dan tidak melewati batas izin sedangkan

untuk model ke 3 (*eksetnris*) simpangan antar tingkat melewati batas simpangan izin sebesar 61.538 mm.



Gambar 18. Grafik perbandingan simpangan antar lantai ke 3 model arah x



Gambar 19. Grafik perbandingan simpangan antar lantai ke 3 model arah y

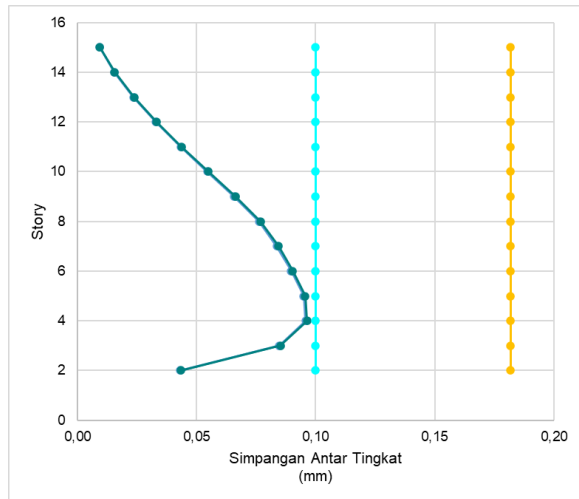
3.4 Pengaruh *P-Delta*

Sesuai petunjuk pada pasal 7.8.7 SNI 1726: 2019, apabila faktor stabilitas (θ) kurang dari atau sama dengan 0,1 maka tidak perlu memperhitungkan efek *P-Delta*, gaya geser dan momen proyektil. Faktor stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ_{max} . θ_{max} ditentukan dengan persamaan $0.5/(\beta.C_d)$ yang nilainya kurang dari 0.25. Nilai β merupakan perbandingan tingkat permintaan pemotongan dan kapasitas pemotongan antara tingkat x dan x-1. Rasio ini dapat diasumsikan secara konservatif sebesar 1.0. Jika faktor stabilitas lebih besar dari 0.1 dan kurang dari atau sama dengan θ_{max} , faktor

perbaikan yang berkaitan dengan pengaruh *P-Delta* terhadap perpindahan dan gaya elemen struktur harus ditentukan melalui analisis yang tepat.

3.4.1 Hasil Pengaruh *P-Delta* Model 1

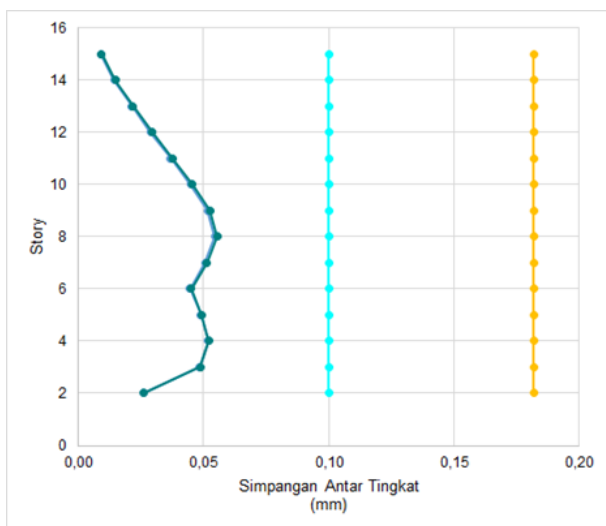
Berdasarkan hasil analisis pengaruh *P-Delta* pada model 1 dapat dilihat pada grafik Gambar 20. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model 1 (*non podium*) mempunyai pengaruh *P-Delta* sebesar 0.0964 memenuhi ketentuan dengan tidak melewati batas atau limit pengaruh *P-Delta* diarah x dan arah y.



Gambar 20. Grafik pengaruh *P-Delta* model 1

3.4.2 Hasil Pengaruh *P-Delta* Model 2

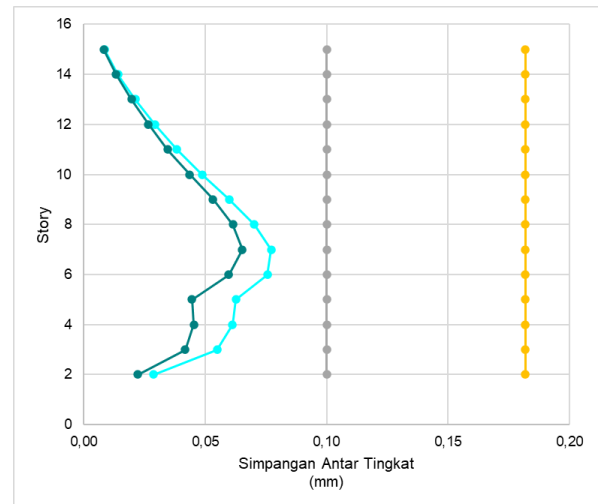
Berdasarkan hasil analisis pengaruh *P-Delta* pada model 2 dapat dilihat pada grafik Gambar 21 dan dapat disimpulkan bahwa model 2 (*sentris*) mempunyai pengaruh *P-Delta* maksimum sebesar 0.05844 memenuhi ketentuan dengan tidak melewati batas atau limit pengaruh *P-Delta* arah x dan arah y.



Gambar 21. Grafik pengaruh *P-Delta* model 2

3.4.3 Hasil Pengaruh *P-Delta* Model 3

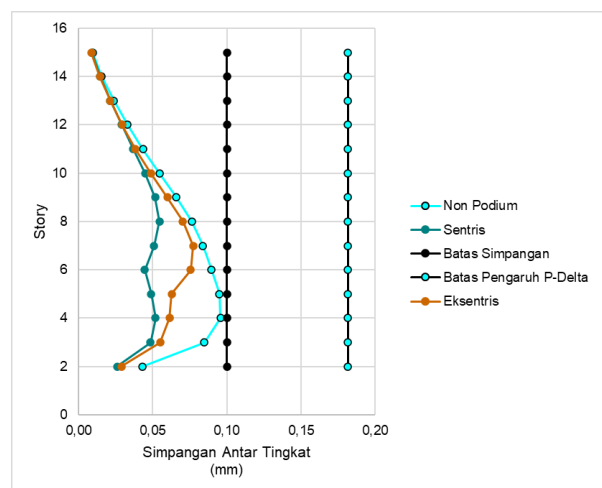
Berdasarkan hasil analisis pengaruh *P-Delta* pada model 3 dapat dilihat pada grafik Gambar 22 dan dapat disimpulkan bahwa model 3 (*non podium*) mempunyai pengaruh *P-Delta* maksimum sebesar 0.072 memenuhi ketentuan dengan tidak melewati batas atau limit pengaruh *P-Delta*. Namun ada perbedaan nilai pada arah x dan arah y. Nilai pengaruh *P-Delta* pada arah x lebih besar dibandingkan arah y.



Gambar 22. Grafik pengaruh *P-Delta* model 3

3.4.4 Perbandingan Pengaruh *P-Delta*

Berdasarkan grafik pada Gambar 23 dapat dinyatakan bahwa untuk semua model memenuhi ketentuan *P-Delta* dikarenakan tidak melewati batas pengaruh sebesar 0.1 sehingga dapat dikategorikan aman untuk setiap model. Namun ada perbedaan besar pengaruh *P-Delta* dimana yang model 1 (*non podium*) mempunyai nilai lebih besar dan hampir melewati batas *P-Delta* dibandingkan dengan model 2 (*sentris*) dan model 3 (*eksentris*).



Gambar 23. Grafik perbandingan pengaruh *P-Delta* ketiga model

4. KESIMPULAN

Hasil analisis nilai gaya geser terbesar pada ketiga model struktur terdapat pada model 1 (*non podium*) yang mempunyai gaya geser sebesar 18,463.26 kN sehingga menunjukan bahwa bangunan podium model 1 yang mempunyai gaya geser dasar 10,661.57 kN dan model 2 sebesar 10,661.57 lebih stabil dikarenakan mempunyai gaya geser yang lebih kecil dibandingkan model 1 *non podium*. 2. Nilai simpangan antar tingkat paling besar pada model 1 *non podium* sebesar 60.658 mm dan pada model 2 sentris sebesar 56.408 mm dinyatakan memenuhi ketentuan dengan tidak melewati batas simpangan izin sehingga dikategorikan aman. Nilai simpangan antar tingkat pada model 3 eksentris pada arah y mempunyai simpangan sebesar 60.088 memenuhi dan tidak melewati batas simpangan izin. Namun pada arah x melewati batas simpangan izin dikarenakan mempunyai simpangan sebesar 64.406 sehingga kurang disarankan menggunakan model 3 untuk perencanaan pada zona gempa 5. Pengaruh *P-Delta* untuk ke 3 model memenuhi ketentuan dengan tidak melewati batas pengaruh *P-Delta* dikarenakan pada model 1 *non podium* sebesar 0.0964, model 2 sentris sebesar 0.05844 dan model 3 eksentris 0.072. Namun dapat terlihat bahwa nilai pengaruh *P-Delta* terbesar terdapat pada bangunan *non podium*.

Adapun saran dari penelitian ini, berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan diantaranya melakukan pemodelan dengan menggunakan dinding geser untuk melihat perilaku setiap struktur terhadap tipe podium yang digunakan. Analisis perhitungan tulangan untuk setiap jenis podium, kemudian melihat perilaku struktur yang terjadi dengan pengaruh tulangan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*.
- CSI. (2016). *SAP2000. Analysis Reference Manual*. CSI: Berkeley (CA, USA): Computers and Structures INC, July.
- Dewi, S. K. (2019). Diagram Alur Penelitian. *Metodologi Penelitian*, 45–50.
- Ekatama, Y., Nur, K. S., & Gani, M. (2023). Analisis Gaya Geser Dasar dan Simpangan Struktur Gedung Utama Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo Berdasarkan SNI. *Jurnal Sains Dan Teknologi Tadulako*, 45–58.
- Hilmi, M. A., Suryanto, A., & Suryadi, D. (2020). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum. *Jurnal Sains Dan Teknologi Tadulako*, 145–156.
- Hudson, D. E. (1995). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering, by Anil K. Chopra, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995. No. of pages: xxviii + 761, ISBN 0-13-855214-2. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 24(8), 1173–1173. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290240809>
- Husen, A., & Hardiasyah, H. (2021). Pengaruh *P-Delta* Terhadap Kolom Persegi dan Kolom Persegi Panjang Dari Segi Biaya Akibat Gaya Geser. *Conference: SemNas Technopex ITIAT: Institut Teknologi Indonesia, Tangerang Selatan*.
- Hutabarat, L. E., Simanjuntak, P., Tambunan, E. T., & Christianti, C. (2023). Assesmen kerusakan rumah tinggal Pasca Gempa Cianjur November 2022 mengacu kepada Standar PUPERA. *Abdimas Dewantara*, 6(2), 160–169. <https://doi.org/https://doi.org/10.30738/ad.v6i2.14777>
- Khosravi, R., Sadeghi, M., & Kermani, M. (2021). Application of Spectrum Analysis Method in Seismic Response Evaluation of High-Rise Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 123–142.
- Manalip, H., Windah, R. S., & Dapas, S. O. (2014). Analisis Pushover Pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 201–213.
- Muhajirin, R., Risnita, A., & Asrulla, A. (2024). Pendekatan Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif serta Tahapan Penelitian. *Journal Genta Mulia* 15(1), 82–92.
- Muhazir, A., & Sumarman. (2019a). Analisis Struktur Hotel Neo Aston Cirebon. *Jurnal Konstruksi*, 8(1), 480–489. <https://doi.org/https://doi.org/10.33603/jki.v8i1.3760>
- Muhazir, A., & Sumarman. (2019b). Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Konstruksi*, 8, 482–486.
- Pattiwael, K., Frans, P. L., & Hutubessy, V. R. R. (2024). Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Menggunakan Metode Static Non-Linear (Studi Kasus: Gedung DPRD Kabupaten Maluku Tengah). *Journal Agregat*, 3(2), 65–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.31959/ja.v3i2.2115>
- Pramudya, A. C., & Harsoyo. (2019). *Analisa Respons Struktur Bangunan Setback dengan Dua Penempatan Bresing Konsentrik Tipe V dan Inverted V (X-2 Lantai [Skripsi]*. Universitas Islam Indonesia.
- Pratama, M. M. A., Putri, S. D. S., & Santoso, E. (2021). Analisis Kinerja Bangunan Gedung Tinggi dengan Sistem Ganda Menggunakan Dinding Geser Beton Bertulang. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 26–37.
- Pratomo, R. B., & Hudori, M. (2021). Analisis Perhitungan Struktur Pelat Lantai pada Proyek Pembangunan Gedung Solnet Kota Batam. *Jurnal Sains Dan Teknologi Tadulako*, 145–156.
- Prawirodirdjo, L., & Widodo, H. (2020). Analisis Beban Gempa pada Bangunan Tinggi Berdasarkan Metode Spektrum Respons. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 45–55.
- Rifaldi, R. (2019). *Analisis Respon Seismik Gedung Bertingkat Tipe Podium Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2012 Dengan RSNi 03-1726-2018 [Skripsi]*. Universitas Kristen Indonesia.
- Rumimper, B. A. E. R., Wallah, E. E., Windah, R. S., & Dapas, S. O. (2013). Perhitungan Inter Story Drift pada Bangunan tanpa Set-Back dan dengan Setback. *Jurnal Sipil Statik*, 1(6), 408–414.
- Sarasantika, I. P. E., Putra, I. B. G. P., Tampubolon, S. P., & Sanjaya, I. G. D. P. (2023). Analisa Performa Seismic Meru (Struktur Bertingkat Pagoda Khas Bali): Preliminary Study. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Dan Lingkungan-CENTECH*, 4(1), 25–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.33541/cen.v4i1.4817>
- Shany, S. A., Erfan, M., & Santosa, A. A. (2020). Analisa Perbandingan Simpangan Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Dan Sistem Ganda. *Prosiding Semsina 2020*.
- Silaban, G. T. N., Tampubolon, S. P., Mulyani, A. S., & Felestin, F. (2023). Performance Evaluation of High-rise Buildings with Respons Spectrum Analysis and Time History Analysis. *SCIENCE TECH: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknolog*, 9(1), 84–95.
- Simanjuntak, P., & Tampubolon, S. P. (2023). Evaluasi Respon Seismik Struktur Bangunan Universitas Terbuka Palu

- Terhadap Gempa Sulteng 28 September 2018. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Dan Lingkungan-CENTECH*, 3(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.33541/cen.v3i2.4561>
- Strisno, B. (2015). *Teknik Struktur Bangunan: Panduan Pembebanan dan Desain Struktur*. Gramedia Pustaka Utama.
- Sutrisno, B., & Wijaya, R. (2024). Pengaruh Variasi Model Ketidakberaturan Vertikal pada Gedung Bertingkat. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Tampubolon, S. P. (2021). Analisis Kekuatan Geser Pada Hubungan Balok-Kolom Interior Beton Bertulang= Analysis of Shear Strength in Relationships Reinforced Concrete Interior Columns. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 5(1), 56–63.
- Tampubolon, S. P. (2022). *Struktur Beton I*. Uki Press.
- Tampubolon, S. P. (2023). Comparison of High-Rise Building Structural Performance Using Response Spectrum Method SNI 03-1726-2019 and FEMA-154 Rapid Visual Screening (RVS). *MIJR: Multidisciplinary International Journal of Research*.
- Tampubolon, S. P. (2024). *Buku Ajar Struktur Beton 2*. Eureka Media Aksara.
- Wijaya, A., & Raharjo, P. (2020). Analisis Beban Tambahan pada Struktur Bangunan dan Pengaruhnya terhadap Stabilitas. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, 120–130.