

EVALUASI PENGARUH KONFIGURASI GEOMETRI STRUKTUR TERHADAP RESPON BEBAN GEMPA

Gita Zakiah Putri¹, M Thariq Resmaindra², Ridho Aidil Fitrah³

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Astra, Jl. Gaya Motor Raya No 8, Sunter II, Jakarta Utara

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang

gita.zakiahputri@polman.astra.ac.id¹, mthariq.resmaindra@polman.astra.ac.id², ridho@eng.unand.ac.id³

Abstrak

Aspek fungsi dan aspek estetika selalu memiliki peran penting dalam perencanaan suatu bangunan. Sebagai hasil, sering ditemukan layout bangunan yang acak sebagai manifestasi dari estetika, namun kurang mendukung pada aspek struktural. Daerah rawan gempa, ketidakseragaman geometri memberikan amplifikasi terhadap nilai kekakuan yang seterusnya berdampak pada besarnya beban gempa diterima oleh struktur. Lokasi elemen vertikal sebagai aspek pengaku bangunan menjadi salah satu penentu perilaku dan respons struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi geometri struktur terhadap besarnya beban gempa serta dampaknya terhadap tingkat kenyamanan. Penelitian ini menggunakan tiga model struktur, diantaranya persegi, persegi panjang, dan L, yang masing-masing dibedakan dari aspek kekakuan namun sama terhadap beban gravitasi dan komponen massa. Bangunan terdiri dari 10 lantai, dirancang menggunakan respons spektra dengan wilayah kategori desain seismik (KDS) D di Jakarta dengan kondisi tanah sedang. Desain menggunakan sistem struktur Rangka Beton Penahan Momen Khusus (SRPMK) mengacu kepada SNI 1726:2019. Dari hasil perhitungan, diperoleh bahwa besarnya nilai gempa dari Model A, B, dan C berturut-turut adalah 3303.45 kN, 3733.76 kN, dan 3424.62 kN, dengan drift masing-masing bangunan sebesar 44.8mm, 55.2mm, dan 52.4mm.

Kata Kunci: Gempa, base shear, geometri

Abstract

Functional aspects and aesthetic aspects always have an important role in planning a building. As a result, it is often found that random building layouts are a manifestation of aesthetics but are not so supportive of structural aspects. In earthquake areas, the non-uniformity of geometry provides amplification of the stiffness value which in turn has an impact on the magnitude of the earthquake load received by the structure. The location of vertical elements is one of the determinants of the behavior of the structure against earthquake loads because it will affect the value of building stiffness. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the geometry of the structure on the magnitude of the earthquake load and the impact on the serviceability level. This study uses three structural models, including square, rectangular, and L, each of which is distinguished from the aspect of stiffness but is the same for gravity loads and mass components. The building consists of 10 floors, designed using response spectra with seismic design category (KDS) D in Jakarta with moderate soil conditions. The design uses a Special Moment Retaining Concrete Frame (SRPMK) structure system referring to SNI 1726:2019. From the calculation results, it is found that the magnitude of the earthquake values from Models A, B, and C are 3303.45 kN, 3733.76 kN, and 3424.62 kN, with a drift of each building of 44.8mm, 55.2mm, and 52.4mm.

Keywords: Earthquake, base shear, geometry

1. PENDAHULUAN

Bangunan komersial selalu didesain agar memiliki daya tarik dengan memainkan model arsitektural ataupun susunan strukturalnya. Ketika bangunan harus didesain sedemikian rupa menarik, dengan memainkan susunan komponen struktural, maka tidak bisa dipungkiri bahwa hal tersebut bisa berdampak kurang baik kepada kemampuan bangunan dalam menerima respon, terutama respon akibat beban lateral [1].

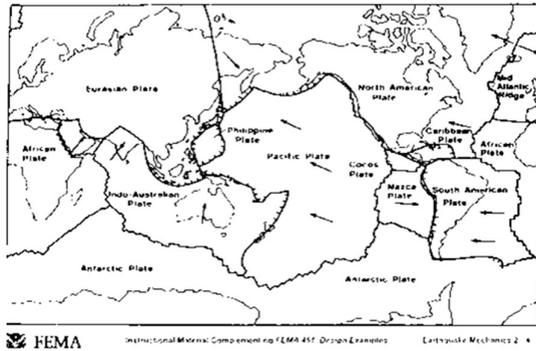
Kolom merupakan komponen struktur yang bertugas mendistribusikan beban menuju pondasi, sehingga kolom perlu kokoh agar dapat menahan beban lateral yang diperoleh dari beban angin dan gempa. Konfigurasi

lokasi elemen vertikal menjadi salah satu penentu perilaku struktur karena akan menimbulkan efek inersia yang berbeda, serta memberikan dampak kekakuan yang juga berbeda.

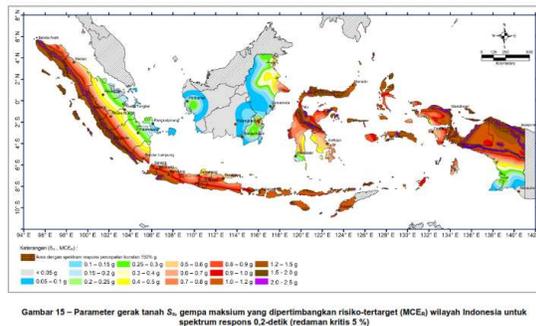
Jika mengacu kepada Peta Gempa Indonesia, hampir seluruh wilayah di Indonesia mewajibkan beban gempa diperhitungkan dalam desain, hal ini disebabkan karena pulau-pulau di Indonesia berada pada jalur gempa aktif, yakni dikelilingi oleh 3 Cincin Api Pasifik.

Dari sebaran wilayah Peta Gempa diatas, hampir seluruh wilayah Indonesia memiliki potensi gempa yang bervariasi dari gempa lunak hingga kuat. Bila ditinjau dari peta gempa Tahun 2019, secara visual terlihat

kondisi tanah rata-rata di berbagai wilayah Indonesia memiliki percepatan diatas 0.5g. Dengan kata lain, sejumlah kombinasi pembebanan yang direncanakan saat desain sering kali dominan bukan diakibatkan oleh beban gravitasi, melainkan oleh beban lateral (gempa) yang merupakan amplifikasi dari massa struktur, kekakuan dan percepatan pergerakan tanah [2].



Gambar 1 Plate Boundaries



Gambar 2 Peta Gempa 2019

Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang harus aman serta memiliki tingkat layan yang tepat memenuhi persyaratan SNI kegempaan. SNI 1726:2019 memberikan serangkaian persyaratan demi tercapainya persyaratan layak huni. Salah satunya adalah batasan nilai perioda yang merupakan fungsi kekakuan dan massa [3].

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

Dari persamaan di atas dapat diterima bahwa kekakuan bangunan mempengaruhi

frekuensi natural, yang kemudian frekuensi akan menentukan besar atau kecilnya beban gempa yang diterima struktur.

Dari uraian di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi pengaruh konfigurasi geometri struktur terhadap besarnya nilai beban gempa yang diterima bangunan.

2. TUJUAN PENELITIAN

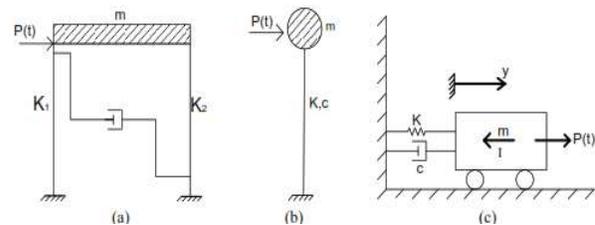
- Mengetahui besarnya beban gempa yang diterima oleh tiga tipe struktur yang memiliki perbedaan kekakuan
- Mengetahui tingkat layan dari nilai drift rasio

3. KAJIAN PUSTAKA

A. Model Matematis

Model matematis dalam analisa dinamika struktur mempunyai beberapa elemen sebagai berikut:

- Massa m menyatakan massa dan sifat inersia dari struktur
- Pegas k menyatakan gaya balik elastic dan kapasitas energy potensial dari struktur
- Redaman c menyatakan sifat geseran dan kehilangan energy dari struktur
- Gaya pengaruh $F(t)$ menyatakan gaya luar yang bekerja pada sistem struktur sebagai fungsi dari waktu.



Gambar 3 Model struktur dan model matematis

Dengan menggunakan Hukum II Newton:

$$\begin{aligned} \Sigma H &= 0 \Rightarrow I + f_d + f_s = P(t) \\ I &= m\ddot{y} \\ f_d &= c\dot{y} \\ f_s &= ky \\ m\ddot{y} + c\dot{y} + ky &= P(t) \end{aligned} \quad (2)$$

B. Periode Struktur

Periode dasar komponen struktural oleh SNI 1726:2019 pasal 10.3.4 ditentukan:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K \cdot g}} \quad (3)$$

Dimana

- T = Komponen periode fundamental
- W = Berat Struktur
- K = Kombinasi kekakuan
- g = Percepatan gravitasi

C. Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar dari ragam getar struktur pada arah tinjauan ditentukan sesuai persamaan

$$V_m = C_{sm} \cdot W_m \quad (4)$$

$$W_m = \frac{\left(\sum_{i=1}^n W_i \Phi_{im} \right)^2}{\sum_{i=1}^n W_i \Phi_{im}^2} \quad (5)$$

Keterangan:

- V_m = Gaya geser dasar/ gaya gempa dasar
- C_{sm} = Koefisien respons seismic
- W_m = Berat efektif struktur dari ragam getar
- Φ_{im} = Amplitudo perpindahan dari ragam getar

D. Simpangan Antar Tingkat

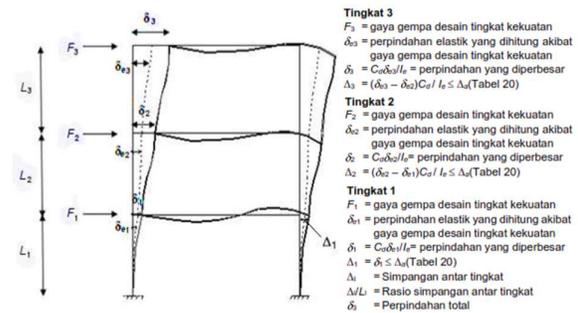
Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6, Simpangan pusat massa di tingkat-x, harus ditentukan sesuai persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (6)$$

Keterangan:

- C_d = Faktor pembesaran simpangan

- δ_{xe} = Simpangan pada tingkat-x
- I_e = Faktor keutamaan gempa



Gambar 4 Penentuan simpangan antar tingkat

4. DESAIN DAN MODEL STRUKTUR

Pada penelitian ini, bangunan didesain menggunakan beberapa parameter yang mengacu pada:

- a. SNI 1726:2019 tentang persyaratan gempa,
- b. SNI 1727:2020 tentang beban minimum [4],
- c. SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton bertulang [5].

A. Lingkup dan Batasan

- a. Mutu Beton 25 Mpa dan mutu tulangan BJTD40
- b. Bangunan didesain dengan Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus kategori desain seismic D, menggunakan Respons Spektrum.

Tabel 1 Sistem Pemikul Gaya Seismik

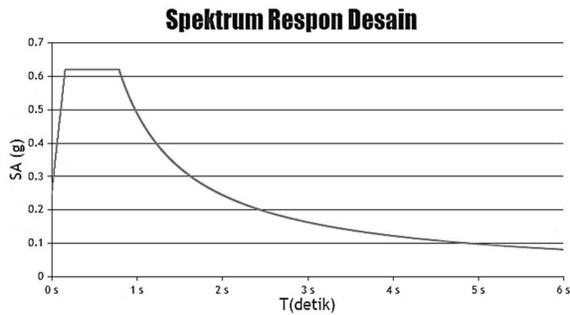
Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	Ω_0	Cd
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus	8	3	5.5

- c. Jenis pemanfaatan bangunan diambil sebagai gedung perkantoran dengan Kategori Risiko II, dan Faktor Keutamaan Gempa 1.0
- d. Kelas situs tanah menggunakan tanah sedang dengan lokasi wilayah Jakarta.
- e. Bangunan masuk dalam kategori desain seismic D

- f. Berdasarkan Peta Gempa tahun 2019, dengan mengambil lokasi gedung di Jakarta dan tanah sedang, diperoleh data percepatan Gerakan tanah sebagai berikut,

Tabel 2 Respon Spektrum Desain
<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>

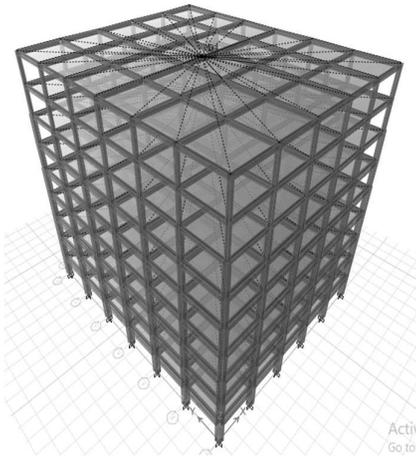
Kelas	T_0	T_s	S_s	S_1	S_{Ds}	S_{D1}
Situs	(s)	(s)	(g)	(g)	(g)	(g)
SD	0.16	0.79	0.7806	0.3823	0.62	0.49



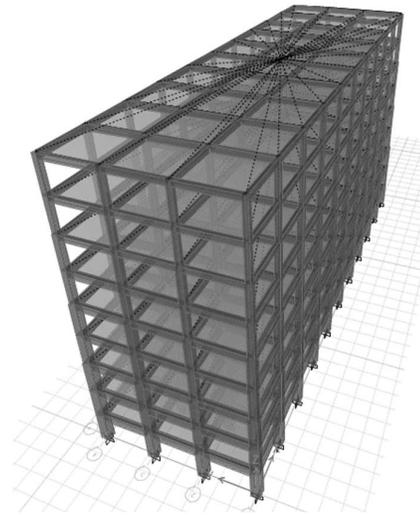
Gambar 5 Respons Spektral 2019, Jakarta, Tanah Sedang (<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>)

B. Layout Bangunan

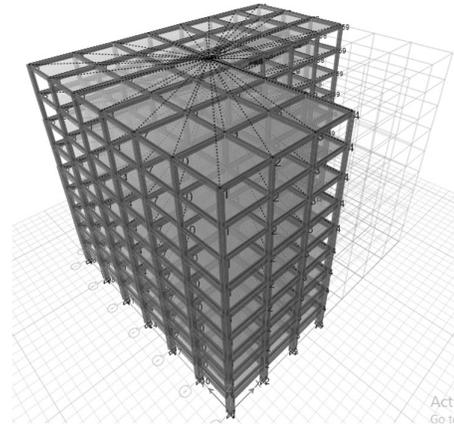
Layout bangunan gedung yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 6, 7, dan 8.



Gambar 6 Layout Geometri A



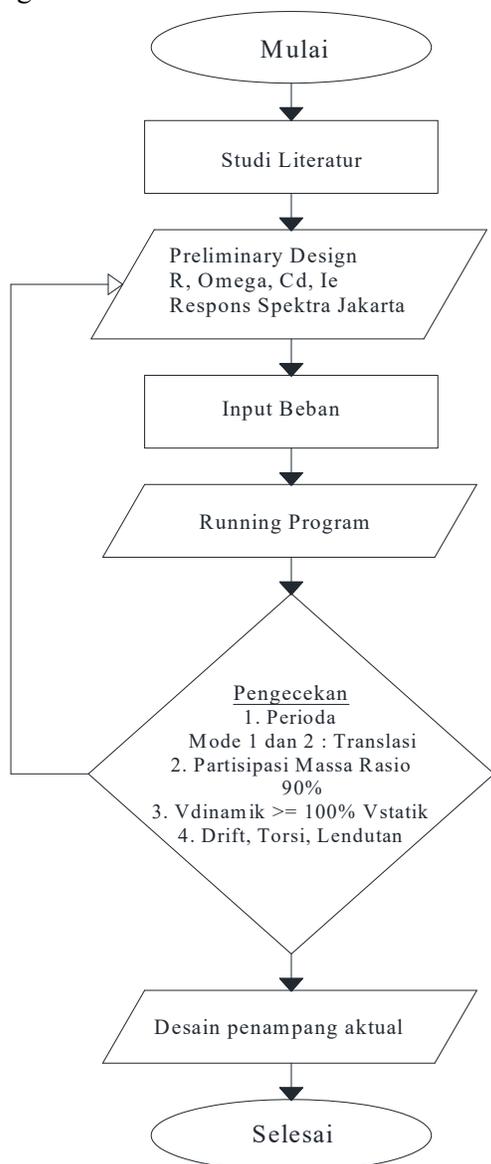
Gambar 7 Layout Geometri B



Gambar 8 Layout Geometri C

C. Alur Desain Struktur

Struktur bangunan didesain mengacu kepada SNI 1726:2019 dengan tahapan sebagai berikut:



Gambar 9 Bagan alur desain struktur

5. HASIL ANALISIS

A. Periode Struktur pada Mode Pertama

Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, sesuai SNI 1726:2019:

$$T_a = C_t h^n \quad (7)$$

Periode struktur (T) tidak boleh melebihi batas maksimum dari persamaan

$$T_{\max} = C_u T_a \quad (8)$$

Tabel 3 Nilai Koefisien C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Dari hasil running program, dihasilkan nilai periode struktur sesuai tabel di bawah:

Tabel 4 Periode Natural Struktur

Geometri	Periode Struktur
A	1.154 s
B	1.159 s
C	1.146 s

B. List Penampang Balok dan Kolom

Tabel 5 Section Properties - Kolom

Kolom	Dimensi (mm ²)
Kolom lt 1 - 3	600 x 600
Kolom lt 4 - 5	550 x 550
Kolom lt 6 - 7	450 x 450
Kolom lt 8 - 9	350 x 350

Tabel 6 Section Properties - Balok

Kolom	Dimensi (mm ²)
Balok lt 2 - 4	500 x 700
Balok lt 5 - 7	400 x 600
Kolom lt 8 - 10	250 x 400

C. Base Shear Design

Berdasarkan koefisien SNI 1726-2019, perhitungan koefisien respons seismic (C_s) harus ditentukan dengan persamaan:

$$C_{sdesain} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (9)$$

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

Dimana nilai C_s dibatasi harus berada antara *upper bound* dan *lower bound*

$$C_{sup\ perbound} = C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (10)$$

$$C_{slowerbound} = 0.004 \times S_{DS} \times I_e \quad (11)$$

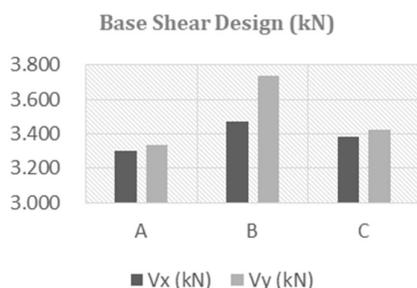
Berdasarkan nilai C_s dan W yang sudah didapatkan, selanjutnya menentukan besarnya gaya lateral ekuivalen dengan persamaan:

$$V = C_s \times W \quad (12)$$

Dari hasil *running* program diperoleh nilai *Base Shear Design* $V_{din} \geq 100\% V_{statik}$

Tabel 7 Base Shear Design

Geometri	Vx (kN)	Vy (kN)
A	3303.45	3334.06
B	3467.90	3733.76
C	3382.38	3424.62



Gambar 8 Grafik Base Shear Design

D. Drift Rasio

Dari hasil *running* program, setelah melakukan analisis respons spektra dengan masing-masing nilai base shar, diperoleh hasil drift ratio seperti pada tabel di bawah:

Tabel 8 Nilai drift ratio berdasarkan jenis struktur dan kategori risiko

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding	0,025h _{sx} ^c	0,02h _{sx}	0,015h _{sx}

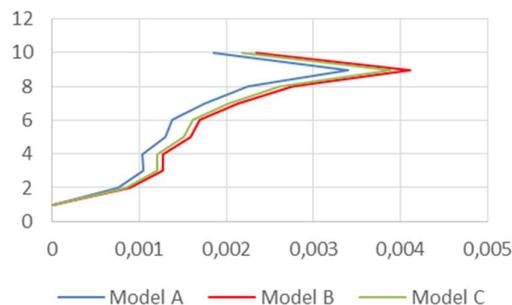
interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.			
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}
Semua struktur lainnya	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}	0,010h _{sx}

Drift Ratio Izin = 0.020 h_n = 0.020 x 29.25 = 0.58

Tabel 9 Perbandingan Drift Ratio

Tingkat	Model A	Model B	Model C
10	0.010159	0.012848	0.012018
9	0.018667	0.022594	0.021401
8	0.012353	0.015169	0.014421
7	0.009603	0.011677	0.011127
6	0.007546	0.009328	0.008883
5	0.007128	0.008729	0.008311
4	0.005649	0.006952	0.006611
3	0.005759	0.006985	0.00665
2	0.004175	0.004895	0.00467
1	0.010159	0.012848	0.012018

DRIFT RATIO ANTAR TINGKAT



Gambar 9 Grafik Drift Ratio

6. KESIMPULAN

Dari analisis evaluasi pengaruh geometri struktur akibat pengaruh beban gempa di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan menyamakan properties desain massa dan percepatan tanah pada ketiga bangunan, diperoleh bahwa geometri struktur mempengaruhi besarnya besarnya kekakuan serta inersia bangunan sehingga beban gempa yang diterimapun juga berbeda. Dari tiga konfigurasi geometri ditemukan bahwa bangunan dengan layout simetris pada sumbu-x dan sumbu-y memiliki respon yang paling baik. Hal ini disebabkan karena inersia bangunan bernilai sama untuk kedua arah serta pusat massa berada pada titik tengah bangunan yang menyebabkan kekakuan bangunan seragam. Dari hasil running program ditemukan bahwa gaya gempa dasar untuk ke-tiga struktur berturut-turut untuk gedung A, B, dan C adalah 3334.06 kN, 3733.76 kN, dan 3424.62 kN.
2. Drift ratio untuk ke-3 bangunan masih masuk dalam kategori aman setelah dikali dengan C_d/I_e . Dari ketiga model diperoleh bahwa bangunan geometri A memiliki tingkat layan paling baik

dengan drift maksimum 0.018, sementara drift terbesar terjadi pada bangunan geometri B dengan nilai drift sebesar 0.023 yang ditinjau sama sama pada lantai ke-9.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Sugeng, *Dinamika Struktur*, Malang, 2018.
- [2] K. Rizwan, K. Heri, “*Analisis Pemodelan Bentuk Gedung T dan L dengan Inersia yang Sama terhadap Respon Spektrum*”, *Jurnal Konstruksia*, Vol 8, 2018.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Jakarta, 2019.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Bangunan, Jakarta, 2020.
- [5] Badan Standarisasi Nasional, SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, Jakarta, 2019.