

Studi Batasan Periode Getar Struktur Akibat Beban Gempa Terhadap Nilai Gaya Geser Dasar Seismik
Study on Limitation of Vibration Period of Structures Due to Earthquake Load on Seismic Base Shear Force Values

Muchammad Fattah¹⁾, Arief Alihudien²⁾, Pujo Priyono³⁾ Miftakhul Jannah⁴⁾,

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: m.fattah445@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: pujopriyono@unmuhjember.ac.id

⁴Dosen Program Studi DIII, Politeknik Negeri Malang
email: miftakhul.jannah@polinema.ac.id

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada analisis periode getar struktur (T) dalam perencanaan gedung tahan gempa, khususnya pada struktur yang langsing dengan kategori desain seismik KDS-B dan tanah sedang, sesuai dengan SNI 1726:2019. Dalam perencanaan tersebut, periode getar struktur tidak boleh melebihi nilai maksimum yang ditentukan (T_u maks), yang diturunkan dari periode getar pendekatan (T_a). Studi ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh batasan periode getar struktur terhadap gaya geser dasar seismik (V). Penelitian ini menggunakan metode deskripsi kuantitatif dengan pendekatan metode Rayleigh untuk menganalisis hubungan antara periode getar struktur dengan gaya geser dasar seismik. Hasil menunjukkan bahwa semakin besar penyimpangan nilai T terhadap T_u maks, semakin besar pula penyimpangan V yang dihasilkan. Selain itu, model struktur yang paling stabil dan layak diterapkan adalah model ke-2 berdasarkan kontrol simpangan antar lantai dan stabilitas struktur. Kesimpulan dari studi ini adalah bahwa pembatasan nilai T diperlukan untuk menghindari penurunan gaya geser dasar seismik yang berpotensi membahayakan struktur jika terkena beban gempa lateral.

Kata Kunci: Periode getar struktur; Metode Rayleigh; SAP2000; Gaya geser dasar seismik.

Abstract

This research focuses on the analysis of the structural period of vibration (T) in earthquake-resistant building planning, especially in slender structures with seismic design category KDS-B and medium soil, in accordance with SNI 1726:2019. In such planning, the structural vibration period should not exceed the specified maximum value (T_u max), which is derived from the approach vibration period (T_a). This study aims to examine the effect of the limitation of the structural vibration period on the seismic base shear force (V). This study uses a quantitative description method with the Rayleigh method approach to analyze the relationship between the structural vibration period and the seismic base shear force. The results show that the greater the deviation of T value from T_u max, the greater the deviation of V produced. In addition, the most stable and feasible structural model is the 2nd model based on the control of inter-storey deviation and structural stability. The conclusion of this study is that limiting the value of T is necessary to avoid a seismic base shear force drop that could potentially jeopardize the structure when subjected to lateral earthquake loads.

Keywords: *Vibration period of structure; Rayleigh method; SAP2000; Seismic base shear force.*

1. PENDAHULUAN

Menurut Darmawan *et al.* (2023) bahwa Indoensia kerap kali dilanda gempa bumi, baik tektonik maupun vulkanik. Penyebabnya karena Negara Indonesia berada di antara empat lempeng aktif (Kompas.com, 2023). Pada tahun 2021 sampai dengan tahun 2023 tercatat 98 kali terjadi gempa bumi di Indonesia dan menelan 183 korban jiwa (Data Informasi Bencana Indonesia, 2024). Oleh karena itu, untuk meminimalisir jumlah korban jiwa akibat gempa bumi di Indonesia, perencanaan struktur bangunan tahan gempa sangat penting untuk diterapkan. Meskipun bangunan tahan gempa tidak sepenuhnya dapat menahan gaya gempa dengan kekuatan yang relatif besar, tetapi bangunan tersebut dapat menahan gaya gempa lebih lama, sehingga penghuni bangunan mempunyai waktu untuk bisa menyelamatkan diri dari keruntuhan bangunan.

Dipindahkannya ibu kota Negara dari Jakarta ke Kalimantan Timur, pemerintah mulai lebih memfokuskan pembangunan infrastruktur ke ibu kota baru tersebut (ikn.go.id, 2019). Meskipun pulau Kalimantan berpotensi rendah terjadinya gempa bumi, bukan berarti akan aman atau terbebas dari gempa bumi. Setidaknya ada 8 kasus bencana gempa bumi yang terjadi di pulau kalimantan dengan kategori sedang sampai besar (Krida, 2023).

Berdasarkan SNI 1726:2019 bahwa dalam perencanaan gedung tahan gempa, tidak dapat terlepas dari perhitungan periode getar struktur (T). Periode getar struktur (T) tidak diijinkan melebihi nilai T_u maks, yang merupakan hasil perkalian antara koefisien (C_u) dengan periode getar pendekatan (T_a). Dengan cara alternatif, periode getar pendekatan (T_a) dapat digunakan secara langsung untuk menentukan periode getar struktur (T). Penelitian sebelumnya (Tarigan dkk, 2023) menyatakan bahwa semakin tinggi suatu struktur, maka semakin tinggi juga nilai periode getar struktur, namun pada penelitian tersebut tidak dibahas pengaruh nilai periode getar struktur (T) terhadap nilai gaya geser dasar seismik (V) apabila nilai periode getar struktur (T) melebihi nilai T_u max.

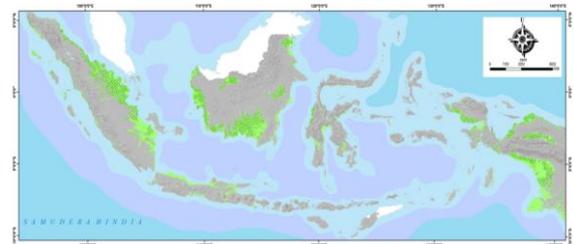
Berdasarkan paparan di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian ini dengan tujuan menganalisis pengaruh periode getar

struktur (T) terhadap nilai gaya geser dasar seismik (V) dalam perencanaan gedung tahan gempa, khususnya pada struktur yang langsing dengan kategori desain seismik KDS-B dan tanah sedang, sesuai dengan SNI 1726:2019 yang berlokasi di Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Klasifikasi Situs Tanah

Menurut SNI 1726:2019 pasal 5.1 bahwa untuk merancang desain seismik bangunan yang berada di atas tanah atau menghitung percepatan gempa maksimum dari batuan dasar ke atas tanah, sebelum itu dibutuhkan mengidentifikasi klasifikasi situs tanah.



Gambar 1. Peta Sebaran Tanah Lunak Indonesia

Sumber: Kementerian ESDM RI, 2019.

Berdasarkan gambar 1 bahwa sebagian besar tanah di kabupaten Penajam Paser Utara bukan termasuk tanah lunak. Maka dalam studi tersebut penulis mengasumsikan tanah di Kabupaten Penajam Paser Utara termasuk ke dalam tanah sedang (SD).

B. Beban Struktur

Beban merupakan gaya atau aksi lainnya yang dikenakan pada bangunan gedung. Ada dua jenis beban, yakni beban nominal dan beban *notional* (SNI 1727:2013).

Rencana pembebanan yang dijelaskan dalam peraturan pembebanan pada struktur bangunan dikenal dengan beban nominal. Seperti beban mati, beban hidup, beban angin, beban hujan, beban gempa. Sedangkan beban virtual yang diterapkan/diaplikasikan pada suatu struktur bangunan untuk memperhitungkan efek destabilisasi yang tidak diperhitungkan atau dipertimbangkan dalam ketentuan-ketentuan desain dikenal dengan beban *notinal*.

C. Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko merupakan klasifikasi bangunan yang berbeda sesuai dengan tipe dan fungsi bangunannya. Supaya struktur dapat memikul beban gempa dengan tingkat kerusakan yang lebih kecil, maka dibutuhkan faktor keutamaan gempa yang dapat memperbesar atau menyesuaikan gempa rencana (SNI 1726:2019).

Kategori risiko I terdiri dari Fasilitas pertanian, peternakan, gudang penyimpanan, dll. Kategori risiko II terdiri dari perumahan, ruko dan rukan, pasar, perkantoran, dll. Kategori risiko III terdiri dari gedung bioskop, stadion, gedung pertemuan, dll. Kategori risiko IV terdiri dari sekolah, tempat ibadah, rumah sakit yang memiliki layanan bedah dan unit gawat darurat, dll (SNI 1726:2019).

Faktor keutamaan gempa (I_e), kategori risiko I atau II memiliki nilai I_e sebesar 1,00, kategori risiko III memiliki nilai I_e sebesar 1,25, dan kategori risiko IV memiliki nilai I_e sebesar 1,50 (SNI 1726:2019).

D. Kategori Desain Seismik

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa juga harus memperhatikan kategori desain seismik. Dalam menentukan kategori desain seismik perlu menggunakan dua parameter, yaitu S_{DS} dan S_{D1} (SNI 1726:2019).

Tabel 1. Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

| Nilai S_{DS} | Kategori risiko | |
|----------------------------|-----------------|----|
| | I, II, atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B | C |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,5$ | C | D |
| $0,50 \leq S_{DS}$ | D | D |

Sumber: SNI 1726:2019.

Berdasarkan tabel 1, bahwa kategori desain seismik ditentukan berdasarkan kategori risiko dan nilai S_{DS} yang berada di lokasi yang digunakan dalam studi. jika suatu lokasi mempunyai nilai S_{DS} kurang dari 0,167, maka kategori desain seismiknya A, begitupun seterusnya disesuaikan berdasarkan ketentuan yang terdapat pada tabel 1. Untuk kategori

desain seismik berdasarkan S_{D1} dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}

| Nilai S_{D1} | Kategori risiko | |
|-----------------------------|-----------------|----|
| | I, II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0,067$ | A | A |
| $0,067 \leq S_{D1} < 0,133$ | B | C |
| $0,133 \leq S_{D1} < 0,20$ | C | D |
| $0,20 \leq S_{D1}$ | D | D |

Sumber: SNI 1726:2019.

E. Kombinasi Sistem Struktur

Nilai R , C_d , dan Ω_0 yang sesuai harus digunakan untuk setiap sistem, dengan mempertimbangkan batasan sistem struktur. Nilai R , C_d , dan Ω_0 didapatkan berdasarkan sistem pemikul gaya seismiknya (SNI 1726:2019).

F. Periode Fundamental Struktur

Waktu yang dibutuhkan oleh getaran pada bangunan untuk melakukan satu rotasi penuh dari sumber awal hingga mencapai posisi keseimbangan statis dan kembali lagi dikenal sebagai periode fundamental struktur (T). Dalam mencari nilai periode fundamental pendekatan (T_a), didapatkan persamaan $T_a = C_t h_n^x$. Dimana h_n adalah tinggi struktur. T_u max tidak boleh lebih kecil daripada periode fundamental struktur (T). T_u max merupakan hasil perkalian T_a dan C_u . Dimana C_u adalah faktor pengali untuk batas atas diperiode yang dihitung.

$$T_U max = T_a C_U \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

T_a = periode getar struktur pendekatan

C_U = factor pengali untuk batas atas diperiode yang dihitung

G. Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya tersebut ialah suatu beban seismik yang menggantikan dan menyederhanakan beban gempa saat dikenakan pada bagian dasar bangunan berfungsi sebagai gaya gempa perencanaan yang harus dipertimbangkan dalam merancang dan mengevaluasi struktur bangunan (Ivan dan Leo, 2019). Rumus untuk mencari gaya geser dasar seismik yakni:

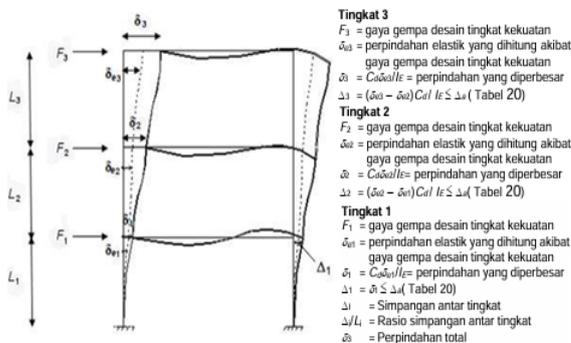
$$V = C_s W \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

C_s = faktor pengali respons seismik
 W = berat seismik efektif

H. Simpangan Antar Tingkat dan Stabilitas

Menurut SNI 1726:2019 pasal 3.45 bahwa simpangan antar tingkat adalah perpindahan horizontal secara relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan. Simpangan antar tingkat dihitung untuk mengetahui perbedaan simpangan pada pusat massa antar kedua lantai yang berdekatan. Dalam menentukan simpangan antar tingkat desain (Δ) dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2. Simpangan Antar Tingkat
 Sumber: SNI 1726:2019.

I. Metode Rayleigh

Menurut Indarto (2005) bahwa rumus Rayleigh dapat digunakan untuk menghitung waktu getar alami pada arah masing-masing sumbu utama terhadap struktur 2D, dengan bentuk yang beraturan, struktur akan berfungsi sebagai struktur 2D pada masing-masing sumbu utamanya (arah-X dan arah-Y). Pada saat struktur dikenai getaran, maka dapat terjadi kelendutan pada struktur tersebut. Hukum kekekalan energi pada struktur 2D yang melendut dapat diturunkan ke rumus Rayleigh. Untuk mencari nilai gaya getar struktur yang sebenarnya (T_c) dapat merujuk pada rumus berikut:

$$T_c = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \delta_i^2}{g \sum F_i \delta_i}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

g = percepatan gravitasi
 W_i = berat lantai tingkat ke-i
 δ_i = simpangan horisontal lantai tingkat ke-i
 F_i = beban gempa statik ekuivalen pada lantai tingkat ke-i

3. METODE PENELITIAN

Studi tersebut berlokasi di ibu kota baru Indonesia yang bernama Nusantara, tepatnya di kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Kabupaten Penajam Paser Utara berlokasi di $00^\circ 48' 29'' - 01^\circ 36' 37''$ Lintang Selatan dan $116^\circ 19' 30'' - 116^\circ 56' 35''$ Bujur Timur. Luas kabupaten tersebut yaitu 3.333,06 km^2 (Yususf dan Karim, 2022).



Gambar 3. Peta Administrasi Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur
 Sumber: Peta Tematik Indonesia, 2014.

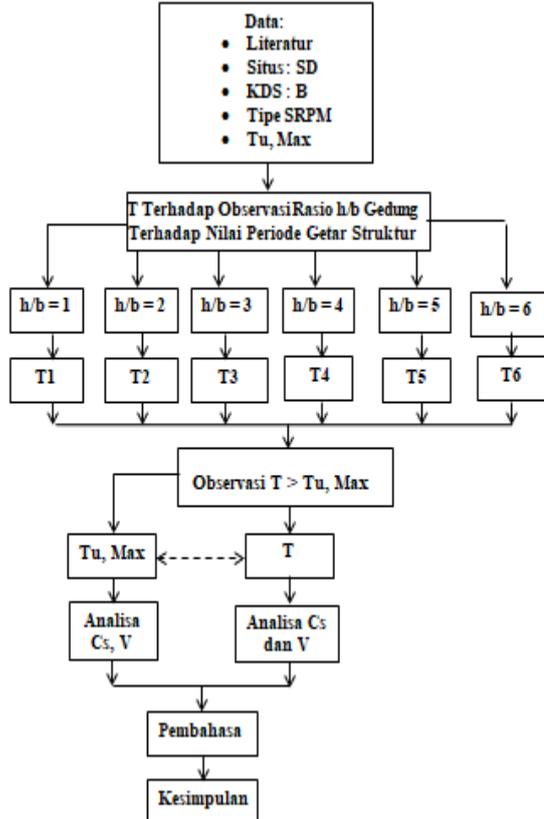
A. Pengumpulan Data

Menurut Ardiansyah, Risnita, dan Jailani (2023) bahwa pengumpulan data merupakan hal yang penting untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam penelitian ataupun. Untuk menghasilkan data yang akurat diperlukan metode pengumpulan data yang akurat dan alat penelitian yang sah. Berdasarkan paparan di atas, maka penulis menggunakan metode penelitian kuantitatif, adapun data yang diperlukan yaitu:

1. Lokasi/letak bangunan
2. Data bangunan
3. Gambar rencana
4. Mutu bahan
5. Data pembebanan
6. Analisis
7. Peraturan dan referensi yang digunakan untuk studi tersebut

Setelah menentukan data yang diperlukan untuk melakukan analisa, langkah selanjutnya yaitu menentukan teknik pengumpulan data.

Studi tersebut menggunakan teknik dokumentasi sebagai teknik pengumpulan data. Berikut merupakan diagram alur penelitian:



Gambar 4. Bagan Alir
 Sumber : Data Penelitian, 2024.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Bangunan

Data bangunan berdasarkan pada buku berjudul “Buku Ajar Struktur Beton Tahan Gempa Edisi 2” yang ditulis oleh Pujo Priyono pada tahun 2019 dengan beberapa penyesuaian. Data bangunannya sebagai berikut:

- Lokasi bangunan : Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur
- Jenis tanah : Tanah sedang
- Mutu beton, f'_c : 30 MPa
- Tebal plat lt. 1 - 4 : 12 cm
- Tebal plat atap : 10 cm
- Dimensi bangunan :
 - Model 1: = 10 m, L = 7 m, H = 18 m, rasio H/B = 1,8 m
 - Model 2: P = 10 m, L = 7 m, H = 22 m, rasio H/B = 2,2 m

- Model 3: P = 10 m, L = 7 m, H = 24 m, rasio H/B = 2,4 m
 - Model 4: P = 28 m, L = 12 m, H = 18 m rasio H/B = 0,64 m
 - Model 5: P = 29 m, L = 12 m, H = 18 m, rasio H/B = 0,62 m
 - Model 6: P = 30 m, L = 12 m, H = 18 m rasio H/B = 0,60 m
- g. Pada as A dan C, serta pada as 1 dan as 3 ada tembok ½ bata setinggi 1,5 meter + jendela kaca dengan tinggi:
- Model 1 : 1,50 meter
 - Model 2 : 2,00 meter
 - Model 3 : 2,25 meter
 - Model 4-6 : 1,50 meter
- h. Bangunan tersebut untuk perkantoran.

B. Klasifikasi Situs Tanah

Berdasarkan gambar 2.14, bahwa sebagian besar tanah di kabupaten Penajam Paser Utara bukan termasuk tanah lunak. Maka dalam studi tersebut penulis mengasumsikan tanah di Kabupaten Penajam Paser Utara termasuk ke dalam tanah sedang (SD).

C. Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Bangunan tersebut diperuntukkan untuk perkantoran, maka bangunan tersebut berada pada kategori resiko kedua (II). karena bangunan tersebut berada pada kategori resiko kedua (II), maka memiliki nilai faktor keutamaan gempa sebesar 1,00.

D. MCE_R

Berdasarkan pada SNI 1726:2019 penulis mengasumsikan nilai S_s dan S_1 untuk daerah kabupaten Penajam Paser Utara sebagai berikut:

- $S_s = 0,22 g$
- $S_1 = 0,075 g$

Nilai faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) sebagai berikut:

- $F_a = 1,6$
- $F_v = 2,4$

Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R dan faktor amplifikasi yang telah diketahui, maka dapat dilanjutkan untuk menentukan parameter respons spektral

percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}). Berdasarkan SNI 1726:2019, nilai S_{MS} dan S_{M1} sebagai berikut:

- a. $S_{MS} = 0,352$
- b. $S_{M1} = 0,18$

E. Parameter Percepatan Spektral Desain

Menurut SNI 1726:2019 pasal 6.3 bahwa parameter percepatan spektral desain terbagi menjadi 2, yaitu parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) dan parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik (S_{D1}). Berikut nilai S_{DS} dan S_{D1} :

- a. $S_{DS} = 0,235$ g
- b. $S_{D1} = 0,12$ g

F. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan tabel 1 dan 2, karena nilai S_{DS} dan S_{D1} masing-masing sebesar 0,235 g dan 0,12 g, serta kategori risiko kedua (II). Sehingga bangunan tersebut termasuk kedalam kategori desain seismik B.

G. Koefisien Modifikasi Respons, R

Berdasarkan SNI 1726:2019, bangunan yang memiliki kategori desain seismik B diijinkan (TB) untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dengan nilai koefisien modifikasi respons (R^a) sebesar 3. Maka penulis mengasumsikan untuk menggunakan SRPMB dengan nilai $R^a = 3$.

H. Periode Getar Struktur Pendekatan (T_a)

Penulis menganalisa tinggi bangunan yang berbeda-beda, masing-masing sebesar 16 m, 18 m, 22 m dan 24 m. Maka juga terdapat beberapa nilai T_a yang bervariasi. Nilai T_a pada masing-masing tinggi bangunan yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat melihat rincian di bawah ini:

- a. Model ke-1, 4, 5 dan 6 ($h_n = 18$ m), dengan nilai $T_a = 0,628$ detik
- b. Model ke-2 ($h_n = 22$ m), dengan nilai $T_a = 0,753$ detik
- c. Model ke-3 ($h_n = 24$ m), dengan nilai $T_a = 0,814$ detik

I. Pembagian Gaya Geser pada Masing-Masing Lantai

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa, didapatkan gaya geser pada masing-masing

lantai/tingkat pada masing-masing model.

Berikut nilai gaya geser yang didapatkan:

- a. Model ke-1: $V = 275,45$ kN
- b. Model ke-2: $V = 252,59$ kN
- c. Model ke-3: $V = 244,04$ kN
- d. Model ke-4: $V = 803,11$ kN
- e. Model ke-5: $V = 827,32$ kN
- f. Model ke-6: $V = 851,52$ kN

J. Kekakuan Kolom

Berdasarkan dari hasil perhitungan, nilai kekakuan kolom pada masing-masing model sebagai berikut:

- a. Model ke-1:
 - Lantai 2, 3, 4, dan 5 : $K_C = 1,27$
 - Lantai 1 : $K_C = 1,53$
- b. Model ke-2:
 - Lantai 2, 3, 4, dan 5 : $K_C = 1,98$
 - Lantai 1 : $K_C = 1,53$
- c. Model ke-3:
 - Lantai 2, 3, 4, dan 5 : $K_C = 1,78$
 - Lantai 1 : $K_C = 1,53$
- d. Model ke-4:
 - Lantai 2, 3, 4, dan 5 : $K_C = 1,27$
 - Lantai 1 : $K_C = 1,53$
- e. Model ke-5:
 - Lantai 2, 3, 4, dan 5 : $K_C = 1,27$
 - Lantai 1 : $K_C = 1,53$
- f. Model ke-6:
 - Lantai 2, 3, 4, dan 5 : $K_C = 1,27$
 - Lantai 1 : $K_C = 1,53$

K. Kekakuan Balok

Berdasarkan dari hasil perhitungan didapatkan, nilai kekakuan balok untuk abalok atap dan balok anak pada masing-masing model. Masing-masing model yang digunakan dalam penelitian ini terfokus pada panjang bentangnya yang ditunjukkan pada data berikut ini:

- a. Model ke-1:
 - Bentang 4 m
 - Balok atap : $K_b = 3,14$
 - Balok anak: $K_b = 3,12$
 - Bentang 6 m
 - Balok atap : $K_b = 2,09$
 - Balok anak: $K_b = 2,08$
 - Bentang 3,5 m

- Balok atap : $K_b = 0,39$
- Balok anak: $K_b = 0,40$
- b. Model ke-2:
 - Bentang 4 m
 - Balok atap : $K_b = 3,14$
 - Balok anak: $K_b = 3,12$
 - Bentang 6 m
 - Balok atap : $K_b = 2,09$
 - Balok anak: $K_b = 2,08$
 - Bentang 3,5 m
 - Balok atap : $K_b = 0,39$
 - Balok anak: $K_b = 0,40$
- c. Model ke-3:
 - Bentang 4 m
 - Balok atap : $K_b = 3,14$
 - Balok anak: $K_b = 3,12$
 - Bentang 6 m
 - Balok atap : $K_b = 2,09$
 - Balok anak: $K_b = 2,08$
 - Bentang 3,5 m
 - Balok atap : $K_b = 0,39$
 - Balok anak: $K_b = 0,40$
- d. Model ke-4:
 - Bentang 14 m
 - Balok atap : $K_b = 0,896$
 - Balok anak: $K_b = 0,891$
 - Bentang 6 m
 - Balok atap : $K_b = 0,230$
 - Balok anak: $K_b = 0,232$
- e. Model ke-5:
 - Bentang 14,5 m
 - Balok atap : $K_b = 0,865$
 - Balok anak: $K_b = 0,860$
 - Bentang 6 m
 - Balok atap : $K_b = 0,230$
 - Balok anak: $K_b = 0,232$
- f. Model ke-6:
 - Bentang 15 m
 - Balok atap : $K_b = 0,836$
 - Balok anak: $K_b = 0,832$
 - Bentang 6 m
 - Balok atap : $K_b = 0,230$
 - Balok anak: $K_b = 0,232$

L. Periode getar Struktur

Nilai periode getar struktur (T_c) dengan metode Rayleigh dapat menggunakan

persamaan ke-1, Nilai yang didapat pada masing-masing model yaitu:

- a. Model ke-1: $T_c = 0,494$ detik
- b. Model ke-2: $T_c = 0,483$ detik
- c. Model ke-3: $T_c = 0,500$ detik
- d. Model ke-4: $T_c = 1,093$ detik
- e. Model ke-5: $T_c = 1,120$ detik
- f. Model ke-6: $T_c = 1,148$ detik

Periode getar struktur tersebut dibatasi oleh T_u max, sehingga juga perlu memperhatikan T_u max dari sebuah struktur. Dalam mencari T_u max dapat menggunakan persamaan ke-1. Sehingga nilai T_u max sebagai berikut:

- g. Model ke-1: T_u max = 1,068 detik
- h. Model ke-2: T_u max = 1,279 detik
- i. Model ke-3: T_u max = 1,384 detik
- j. Model ke-4: T_u max = 1,068 detik
- k. Model ke-5: T_u max = 1,068 detik
- l. Model ke-6: T_u max = 1,068 detik

M. Pengaruh Periode Getar Struktur Terhadap Gaya Geser Dasar Seismik

Dalam menganalisa pengaruh periode getar struktur terhadap gaya geser dasar seismik, penulis perlu melakukan serangkaian uji coba dengan cara mencari dimensi bangunan sampai nilai T_c lebih besar dari T_u max. Dari analisa yang telah dilakukan telah didapat dimensi bangunan yang memiliki nilai T_c yang lebih besar daripada T_u max, yaitu model 4 sampai 6. Dari model tersebut dilakukan perubahan terhadap nilai T_a dengan cara mengganti nilai T_a ke T_c dan T_u max, berikut rincian beserta keterangan dimensi bangunannya:

- a. Model 4.1: $P = 28$ m, $L = 12$ m, $H = 18$ m ($T_a = T_c$)
- b. Model 4.2: $P = 28$ m, $L = 12$ m, $H = 18$ m ($T_a = T_u$ max)
- c. Model 5.1: $P = 29$ m, $L = 12$ m, $H = 18$ m ($T_a = T_c$)
- d. Model 5.2: $P = 29$ m, $L = 12$ m, $H = 18$ m ($T_a = T_u$ max)
- e. Model 6.1: $P = 30$ m, $L = 12$ m, $H = 18$ m ($T_a = T_c$)
- f. Model 6.2: $P = 30$ m, $L = 12$ m, $H = 18$ m ($T_a = T_u$ max)

Tabel 3. Nilai Gaya Geser Dasar Seismik Saat Sebelum dan Setelah Perubahan T_a

| Model |
|-------|
|-------|

| | Nilai T (detik) | Gaya Geser Dasar Seismik (V) (ton) |
|---------------------------------|--------------------|---|
| 4. (Tanpa perubahan T_a) | 0,628 | 80,311 |
| 4.1 ($T_a = T_c$) | 1,093 | 46,173 |
| 4.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | 47,242 |
| 5. (Tanpa perubahan T_a) | 0,628 | 82,732 |
| 5.1 ($T_a = T_c$) | 1,120 | 46,388 |
| 5.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | 48,666 |
| 6. (Tanpa perubahan T_a) | 0,628 | 85,152 |
| 6.1 ($T_a = T_c$) | 1,148 | 46,596 |
| 6.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | 50,089 |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 3, bahwa semakin besar nilai T, maka nilai V semakin kecil. Sehingga periode getar struktur (T) berbanding terbalik dengan gaya geser dasar seismik (V). Adanya perbedaan antara nilai gaya geser seismik saat $T_a = T_c$ dan $T_a = T_u \text{ max}$, maka terdapat penyimpangan nilai gaya geser seismik berdasarkan nilai T nya.

Tabel 4. Penyimpangan Nilai V Berdasarkan Nilai T

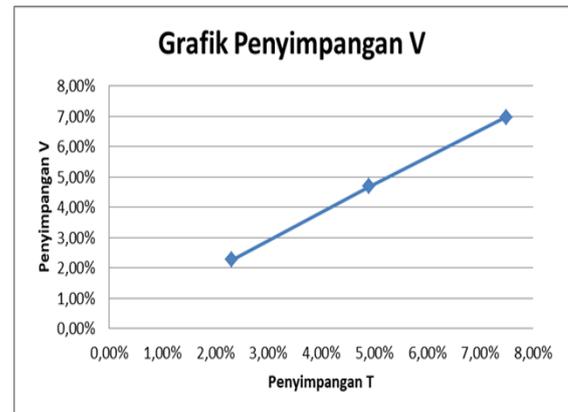
| Model | T (detik) | Penyimpangan V |
|---------------------------------|--------------|-------------------|
| 4.1 ($T_a = T_c$) | 1,093 | 2,26% |
| 4.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | 4,68% |
| 5.1 ($T_a = T_c$) | 1,120 | 6,97% |
| 5.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | |
| 6.1 ($T_a = T_c$) | 1,148 | |
| 6.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan pada tabel 4, pada model ke-4 sampai ke-6 terjadi penyimpangan gaya geser dasar seismik sebesar 2,26% - 6,97%. Hal ini dikarenakan nilai T yang dirubah dari model ke-4 sampai ke-6. Untuk grafik penyimpangan gaya geser dasar seismik berdasarkan nilai T nya dapat dilihat pada gambar 5.

Berdasarkan gambar 5, bahwa semakin besar penyimpangan T, maka penyimpangan V juga semakin besar. Sehingga penyimpangan T berbanding lurus dengan penyimpangan V. Struktur dengan nilai gaya geser dasar seismik

(V) yang kecil biasanya cenderung lebih berbahaya jika terkena gaya gempa dibandingkan dengan struktur yang mempunyai nilai gaya geser dasar seismik yang lebih besar. Akan tetapi, nilai gaya geser dasar seismik yang terlalu besar juga dapat menimbulkan keborosan biaya.



Gambar 5. Grafik Penyimpangan V
 Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

N. Penyimpangan T

Berdasarkan tabel 3, bahwa terdapat perubahan nilai T_a terhadap model struktur ke-4 sampai ke-6. Pada masing-masing model struktur tersebut, nilai T_a dirubah ke nilai T_c dan $T_u \text{ max}$. Untuk perubahan nilai T_a dan penyimpangannya dapat dilihat di tabel 4.

Tabel 4. Penyimpangan T pada Saat $T_a = T_c$ dan $T_a = T_u \text{ max}$

| Model | T (detik) | Penyimpangan T_c |
|---------------------------------|--------------|-----------------------|
| 4.1 ($T_a = T_c$) | 1,093 | 2,31% |
| 4.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | 4,91% |
| 5.1 ($T_a = T_c$) | 1,120 | 7,50% |
| 5.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | |
| 6.1 ($T_a = T_c$) | 1,148 | |
| 6.2 ($T_a = T_u \text{ max}$) | 1,068 | |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 4, bahwa semakin tinggi perbedaan nilai T, maka semakin tinggi juga penyimpangan T yang terjadi. Model ke-6 mempunyai penyimpangan T yang paling besar.

O. Momen Kolom dan Balok

Periode getar struktur juga mempengaruhi nilai gaya lateral pada struktur, maka juga

mempengaruhi nilai momen kolom dan balok pada struktur. Sehingga perlu dilakukan peninjauan terhadap momen kolom dan balok yang bekerja pada struktur. Peninjauan momen kolom dan balok menggunakan aplikasi SAP2000, dengan hasilnya dapat dilihat pada tabel tabel 5.

Tabel 5. Momen Kolom dan Balok

| Model | Momen Tumpuan Kolom (Kn-m) | Momen Tumpuan Balok (Kn-m) |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| 4. (Ta) | 954,65 | 693,42 |
| 4.1 (Ta = Tc) | 614,03 | 454,80 |
| 4.2 (Ta = Tu max) | 624,70 | 462,31 |
| 5. (Ta) | 986,83 | 708,69 |
| 5.1 (Ta = Tc) | 621,75 | 455,65 |
| 5.2 (Ta = Tu max) | 644,64 | 471,58 |
| 6. (Ta) | 1014,93 | 716,05 |
| 6.1 (Ta = Tc) | 628,63 | 451,96 |
| 6.2 (Ta = Tu max) | 663,58 | 475,81 |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 5, bahwa jika nilai periode getar strukturnya kecil, maka nilai momen kolom dan baloknya cenderung besar, begitupun sebaliknya. Pada saat menggunakan nilai periode getar struktur pendekatan (T_a), nilai momen kolom dan balok cenderung lebih besar dibandingkan saat menggunakan nilai T_a yang dirubah ke T_C dan T_{Umax} . Hal ini karena nilai T_a jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai T_C dan T_U max.

Perubahan nilai T_a ke T_C dan T_U max menyebabkan adanya nilai momen kolom dan balok yang bervariasi. Sehingga dapat ditinjau penyimpangan momen kolom dan balok yang terjadi terhadap model struktur ke-4 sampai ke-6. Penyimpangan momen kolom dan balok dapat dilihat pada tabel 6.

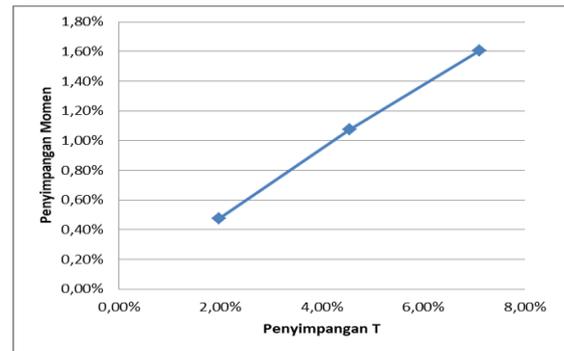
Berdasarkan tabel 6, bahwa simpangan momen balok dan kolom yang paling tinggi terjadi pada model struktur ke-6. Hal ini karena model struktur ke-6.1 dan 6.2 memiliki perbedaan nilai momen dan balok yang besar.

Tabel 6. Penyimpangan Momen Kolom dan Balok

| Model | Simpangan Momen Balok | Simpangan Momen Kolom |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| 4.1 (Ta = Tc) | 1,62% | 1,71% |
| 4.2 (Ta = Tu max) | | |
| 5.1 (Ta = Tc) | 3,38% | 3,55% |
| 5.2 (Ta = Tu max) | | |
| 6.1 (Ta = Tc) | 5,01% | 5,27% |
| 6.2 (Ta = Tu max) | | |

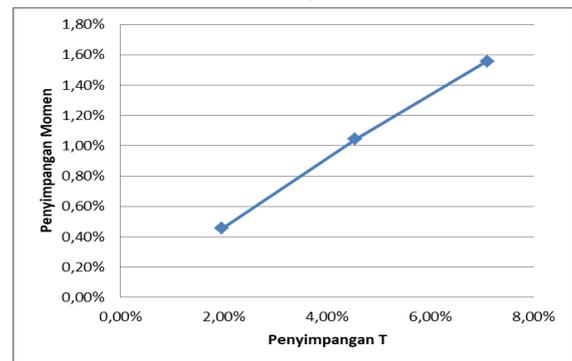
Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan gambar 7 dan 8, bahwa nilai T mempengaruhi momen balok dan kolom yang terjadi. Nilai periode getar struktur yang lebih kecil cenderung menyebabkan momen kolom dan balok yang lebih besar pada struktur. Akan tetapi berdasarkan grafik pada gambar 8, penyimpangan periode getar struktur berbanding lurus dengan penyimpangan momen kolom dan balok.



Gambar 7. Grafik Penyimpangan Momen Kolom

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.



Gambar 8. Grafik Penyimpangan Momen Balok

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

P. Kontrol Simpangan Antar Lantai dan Stabilitas

Simpangan antar lantai dihitung untuk mengetahui perbedaan simpangan pada pusat massa antar kedua lantai yang berdekatan. Penyimpangan antar lantai pada suatu struktur perlu dicari dari masing-masing model, yakni model pertama sampai keenam, supaya dapat mengetahui struktur mana yang paling stabil diantara model pertama sampai keenam. Untuk dapat menghitung penyimpangan antar lantai dan kestabilan struktur diperlukan nilai C_d , Δ_{ijin} , dan θ_{maks} . Karena jenis struktur tersebut SRPMB dan KDS: B, maka nilai $C_d = 2,5$. Untuk nilai simpangan antar lantai dan stabilitas pada masing-masing model struktur dapat dilihat pada tabel 7 sampai 11.

Tabel 7. Kontrol Simpangan Antar Lantai dan Kontrol Kestabilan Model ke-1

| Lantai | Δ (mm) | Δ Ijin (mm) | θ | Kontrol Kestabilan |
|--------|------------------|--------------------------|----------|-----------------------|
| 5 | 0,5 | 70,0 | 0,00005 | stabil |
| 4 | 0,9 | 70,0 | 0,00008 | stabil |
| 3 | 1,0 | 70,0 | 0,00006 | stabil |
| 2 | 0,8 | 70,0 | 0,00004 | stabil |
| 1 | 0,3 | 80,0 | 0,00001 | stabil |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 7, bahwa model struktur ke-1 dapat dikatakan stabil. Untuk simpangan antar lantai pada model tersebut tidak ada yang melebihi simpangan izin. Oleh karena itu, model struktur tersebut memenuhi dari kontrol simpangan antar lantai dan kestabilan. Untuk model struktur ke-2 dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Kontrol Simpangan Antar Lantai dan Kontrol Kestabilan Model ke -2.

| Lantai | Δ (mm) | Δ Ijin (mm) | θ | Kontrol Kestabilan |
|--------|------------------|--------------------------|----------|-----------------------|
| 5 | 0,3 | 90,0 | 0,00003 | stabil |
| 4 | 0,6 | 90,0 | 0,00004 | stabil |
| 3 | 0,6 | 90,0 | 0,00003 | stabil |
| 2 | 0,5 | 90,0 | 0,00002 | stabil |
| 1 | 0,2 | 80,0 | 0,00001 | stabil |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 8, bahwa model struktur ke-2 dapat dikatakan stabil. Untuk simpangan antar lantai pada model tersebut tidak ada yang melebihi simpangan izin. Oleh karena itu, model struktur tersebut memenuhi dari kontrol

simpangan antar lantai dan kestabilan. Untuk model struktur ke-3 dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Kontrol Simpangan Antar Lantai dan Kontrol Kestabilan Model ke -3

| Lantai | Δ (mm) | Δ Ijin (mm) | θ | Kontrol Kestabilan |
|--------|------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| 5 | 0,3 | 100,0 | 0,00002 | stabil |
| 4 | 0,6 | 100,0 | 0,00003 | stabil |
| 3 | 0,6 | 100,0 | 0,00003 | stabil |
| 2 | 0,5 | 100,0 | 0,00002 | stabil |
| 1 | 0,2 | 80,0 | 0,00001 | stabil |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 9, bahwa model struktur ke-3 dapat dikatakan stabil. Untuk simpangan antar lantai pada model tersebut tidak ada yang melebihi simpangan izin. Oleh karena itu, model struktur tersebut memenuhi dari kontrol simpangan antar lantai dan kestabilan. Untuk model struktur ke-4 dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Kontrol Simpangan Antar Lantai dan Kontrol Kestabilan Model ke -4

| Lantai | Δ (mm) | Δ Ijin (mm) | θ | Kontrol Kestabilan |
|--------|------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| 5 | 12,9 | 70,0 | 0,00148 | stabil |
| 4 | 24,1 | 70,0 | 0,00195 | stabil |
| 3 | 25,3 | 70,0 | 0,00153 | stabil |
| 2 | 17,5 | 70,0 | 0,00084 | stabil |
| 1 | 4,1 | 80,0 | 0,00014 | stabil |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 10, bahwa model struktur ke-4 pada penelitian ini dapat dikatakan secara keseluruhan stabil. Untuk simpangan antar lantai pada model tersebut tidak ada yang melebihi simpangan izin. Oleh karena itu, model struktur tersebut memenuhi dari kontrol simpangan antar lantai dan kestabilan. Untuk model struktur ke-5 dapat dilihat pada tabel 11. Dapat dilihat bahwa nilai simpangan antar lantai yang terjadi jauh lebih kecil dibandingkan dengan simpangan antar lantai izin.

Tabel 11. Kontrol Simpangan Antar Lantai dan Kontrol Kestabilan Model ke -5

| Lantai | Δ (mm) | Δ Ijin (mm) | θ | Kontrol Kestabilan |
|--------|---------------|-----------------------|----------|-----------------------|
|--------|---------------|-----------------------|----------|-----------------------|

| | | | | |
|---|------|------|--------|--------|
| 5 | 14,3 | 70,0 | 0,0016 | stabil |
| 4 | 26,7 | 70,0 | 0,0022 | stabil |
| 3 | 28,1 | 70,0 | 0,0017 | stabil |
| 2 | 19,3 | 70,0 | 0,0009 | stabil |
| 1 | 4,5 | 80,0 | 0,0002 | stabil |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 11, bahwa model struktur ke-5 dapat dikatakan stabil. Untuk simpangan antar lantai pada model tersebut tidak ada yang melebihi simpangan izin. Oleh karena itu, model struktur tersebut memenuhi dari kontrol simpangan antar lantai dan kestabilan. Untuk model struktur ke-2 dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Kontrol Simpangan Antar Lantai dan Kontrol Kestabilan Model ke -6

| Lantai | Δ (mm) | Δ Ijin (mm) | θ | Kontrol Kestabilan |
|--------|------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| 5 | 15,9 | 70,0 | 0,00182 | stabil |
| 4 | 29,6 | 70,0 | 0,00239 | stabil |
| 3 | 31,0 | 70,0 | 0,00188 | stabil |
| 2 | 21,3 | 70,0 | 0,00102 | stabil |
| 1 | 4,9 | 80,0 | 0,00017 | stabil |

Sumber: Hasil Penelitian, 2024.

Berdasarkan tabel 4.19 – 4.24 bahwa dari keenam model yang telah dilakukan kontrol simpangan antar lantai dan kestabilan, semua model struktur, yakni model struktur ke-1 sampai ke-6 memiliki nilai simpangan antar lantai dan kestabilan yang memenuhi ijin atau standar. Akan tetapi, jika dilihat dari nilai simpangan antar lantai dan kestabilannya, model struktur ke-3 merupakan model yang paling memenuhi simpangan antar lantai dan kestabilannya. Berdasarkan tabel tersebut, dari model struktur ke-1 sampai ke-6 memiliki nilai simpangan antar lantai yang semakin besar. Oleh karena itu, semakin besar dimensi bangunan, maka simpangan antar lantai juga semakin besar. Selain itu, dengan dimensi bangunan yang semakin besar juga akan menyebabkan kestabilan struktur yang semakin menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur yang paling stabil adalah struktur pada model ke-3.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai periode getar yang didapatkan dalam studi tersebut dibagi menjadi dua, yakni T_a dan T_c . Nilai T_a pada model ke-1, 4, 5, dan 6 sebesar 0,628 detik, pada model ke-2 sebesar 0,753 detik, dan pada model ke-3 sebesar 0,814 detik. Sedangkan untuk nilai T_c pada model pertama sampai keenam berturut-turut sebesar 0,494 detik, 0,483 detik, 0,500 detik, 1,093 detik, 1,120 detik, 1,148 detik.
- Semakin besar penyimpangan T terhadap T_u max, maka semakin besar pula penyimpangan V yang dihasilkan.
- Semakin besar penyimpangan T terhadap T_u max, apabila harus mengikuti kaidah SNI yang $T = T_u$ max, maka akan mengakibatkan gaya dalam kolom yang membesar.
- Dari hasil perhitungan kontrol simpangan antar lantai dan stabilitas struktur, bahwa jika dilihat dari besarnya simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur, maka struktur yang paling stabil berada pada model ke-2. Sehingga model tersebut merupakan model struktur yang baik dan layak untuk diterapkan.
- Berdasarkan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai T maka semakin kecil nilai F atau V . Sehingga jika nilai T tidak dibatasi dengan T_u max, maka dapat menyebabkan nilai F atau V terlalu kecil, sehingga dengan nilai F atau V yang terlalu kecil dapat membahayakan struktur apabila terkena beban gempa lateral.

B. Saran

- Studi tersebut hanya berfokus pada perilaku struktur terhadap beban gempa, maka dalam analisa SAP2000 hanya menginput beban gempa saja. Sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat memperhatikan atau menginput beban selain beban gempa yang bekerja pada struktur.

- b. Untuk diteliti lebih lanjut mengenai tingkat keborosan struktur disaat T_c melampaui T_u max.
- c. Untuk penelitian selanjutnya dapat merencanakan tulangan kolom dan balok.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, Risnita, & Jailani, M. S. 2023. Teknik Pengumpulan Data Dan Instrumen Penelitian Ilmiah Pendidikan Pada Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif. *Jurnal IHSAN : Jurnal Pendidikan Islam*, 1(2), 1–9.
- Badan Standardisasi Nasional., 2013. *SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. BSN: Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional., 2019. *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. BSN: Jakarta.
- Darmawan, A. P., & Firdaus, F., 2023. *Terjadi 1.054 Kali Selama Maret 2023, Kenapa Indonesia Sering Dilanda Gempa?* Kompas.com. Diakses pada 22 Februari 2024 dari <https://www.kompas.com/tren/read/2023/04/15/210000265/terjadi-1.054-kali-selama-maret-2023-kenapa-indonesia-sering-dilanda-gempa-?page=all#:~:text=Daryono%20menjelaskan%2C%20penyebab%20Indonesia%20sering,Lempeng%20Laut%20Filipina%2C%20ujarnya>.
- Dibi.bnpp.go.id., 2022. *Data Informasi Bencana Indonesia*. dibi.bnpp.go.id. Diakses pada 22 Februari 2024 dari <https://dibi.bnpp.go.id/>
- Ikn.go.id., 2022. *Pengembangan IKN Baru, Pemerintah Prioritaskan Infrastruktur Dasar*. ikn.go.id. Diakses pada 22 Februari 2024 dari <https://www.ikn.go.id/pengembangan-ikn-baru-pemerintah-prioritaskan-infrastruktur-dasar>
- Indarto, H., 2005. Perhitungan Beban Gempa Pada Bangunan Gedung Berdasarkan Standar Gempa Indonesia Yang Baru. *Pilar: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, 14(1), 42–57. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/pilar/article/view/4728>
- Ivan, L., & Leo, E., 2019. Analisis Dinamik Perilaku Gedung Dengan Ketidakberaturan Massa Pada Masing-Masing Tingkat Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 245–254.
- Krida, W., 2023. *Gempa Bumi Beberapa Kali Terjadi di Pulau Kalimantan Sejak Zaman Hindia Belanda*. borneonews.co.id. Diakses pada 22 Februari 2024 dari <https://www.borneonews.co.id/berita/318999-gempa-bumi-beberapa-kali-terjadi-di-pulau-kalimantan-sejak-zaman-hindia-belanda>
- Priyono, P., 2019. *Buku Ajar Struktur Beton Bertulang 1*. CV. Pustaka Abadi : Jember.
- Priyono, P., 2019. *Buku Ajar Struktur Beton Tahan Gempa (Edisi 2)*. CV. Pustaka Abadi: Jember.
- Priyono, P., & Alihudien, A., 2017. Peninjauan Pengaruh Beban Gempa Terhadap Struktur Atas Yang Berinteraksi Dengan Tanah Dengan Jenispondasi Setempat. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 2(2). <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/HEXAGON/article/view/1430>
- Priyono, P., 2016. *Metode penelitian kuantitatif*. Zifatma Publishing: Sidoarjo.
- Priyono, P., 2018. *Struktur Beton Jilid 2*. Universitas Muhammadiyah Jember: Jember.
- Tarigan, F., Kurniawandy, A., & Djauhari, D., 2023. Aspek Rasio Vertikal terhadap Kestabilan Struktur. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil*, 2(1).
- Yususf, M., & Karim, S. A., 2022. *Kabupaten Penajam Paser Utara Dalam Angka Tahun 2022*. Penajam Paser Utara: BPS Kabupaten Penajam Paser Utara.