

ANALISIS KINERJA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN METODE RESPON SPEKTRUM PADA PROYEK GEDUNG KONI JAKARTA PUSAT

Aliffian Hergano Ramadhan¹), Gita Puspa Artiani²), Nusa Setiani Triastuti³)

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana

Email: herganoramadhan@gmail.com¹, gita_puspa@unkris.ac.id², nusasetiani@unkris.ac.id³

Abstract

Indonesia is very susceptible to earthquakes due to its location on the Circum Pacific Earthquake Belt. Indonesia is vulnerable to earthquakes due to its position on a tectonic plate and between two big seas. There were 518 earthquakes in January 2021, according to BMKG statistics. It means there was a rise compared to the prior months. Using displacement parameters, drift ratio, and base shear, this research aimed to assess the performance of KONI building structures. We next used service limit and ultimate limit performance metrics to assess the study's findings. Dynamic analysis of spectral responses in accordance with SNI 1726-2019 is the methodology used in this investigation. On the RLMR floor, with resistance values of 0.03467 in the x-direction and 0.02286 in the y-direction, the maximum inter-floor resistance value is produced by the 3D modeling using ETABS V18 software. The acquired value falls within the permissible range and does not surpass it. According to the X and Y maximum displacement values caused by the projected earthquake, the KONI Building is safe and meets the requirements for service limit performance and ultimate limit performance.

Article History

Submitted: 29 Juli 2024

Accepted: 1 Agustus 2024

Published: 8 Agustus 2024

Key Words

spectrum response analysis, server boundary performance, ultimate boundaries performance

Abstrak

Indonesia sangat rentan terhadap gempa karena lokasinya di Sabuk Gempa Sirkum Pasifik. Indonesia rentan terhadap gempa bumi karena posisinya di atas lempeng tektonik dan di antara dua laut besar. Ada 518 gempa bumi pada Januari 2021, menurut statistik BMKG. Artinya ada kenaikan dibandingkan bulan-bulan sebelumnya. Dengan menggunakan parameter *displacement*, *drift ratio*, dan *base shear*, penelitian ini bertujuan untuk menilai kinerja struktur bangunan KONI. Penulis selanjutnya menggunakan metrik kinerja batas layanan dan batas akhir untuk menilai temuan penelitian. Analisis dinamis respon spektral sesuai dengan SNI 1726-2019 merupakan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Pada lantai RLMR, dengan nilai resistansi 0,03467 pada arah x dan 0,02286 pada arah y, nilai resistansi antar lantai maksimum dihasilkan oleh pemodelan 3D menggunakan perangkat lunak ETABS V18. Nilai yang diperoleh berada dalam kisaran yang diizinkan dan tidak melampauinya. Menurut nilai perpindahan maksimum X dan Y yang disebabkan oleh proyeksi gempa, Gedung KONI aman dan memenuhi persyaratan untuk kinerja batas layanan dan kinerja batas akhir.

Sejarah Artikel

Submitted: 29 Juli 2024

Accepted: 1 Agustus 2024

Published: 8 Agustus 2024

Kata Kunci

analisis respon spektrum, kinerja batas layan, kinerja batas ultimit

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan di beberapa bagian Indonesia. Karena posisinya di persimpangan lempeng tektonik Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia, Indonesia sangat rentan terhadap gempa bumi. Banyak orang mulai mempelajari analisis seismik bangunan karena frekuensi gempa di Indonesia. Analisis gempa statis dan dinamis adalah dua kategori utama dari studi semacam ini. Menurut konsep dasar analisis statis, setiap jenis getaran dapat terjadi secara bersamaan ketika suatu sistem struktural digetarkan. Metode ini menggunakan getaran gempa sebagai model beban horizontal statik yang bekerja pada pusat massa bangunan. Kinerja struktur dapat diukur dengan menggunakan analisis gempa dinamik untuk bangunan bertingkat banyak, tidak beraturan, dan memerlukan ketelitian tinggi. Analisis gempa dinamik termasuk analisis riwayat waktu dan analisis respon spektrum. Suatu spektrum dengan rasio redaman dan gempa maksimum yang disajikan sebagai kurva antara

periode struktur disebut respon spektrum. Bagian penting dalam membangun gedung yang tahan terhadap gempa adalah konstruksinya (Muhammad Hilmi et al., 2021).

Bencana alam gempa bumi baru-baru ini menewaskan banyak orang dan merusak banyak properti. Banyak bangunan runtuh, menyebabkan banyak korban. Menurut data BMKG, Sepanjang tahun 2020, sebanyak 8,264 gempa terjadi di Indonesia, sebagian besar merupakan gempa tektonik. Pada bulan Januari 2021, tercatat 518 gempa pada bulan yang sama dan 646 gempa pada bulan yang sama tahun sebelumnya (sumber: BMKG).

Menilai kekuatan struktural bangunan penting untuk mengurangi kerusakan akibat gempa bumi, yang merupakan kemungkinan nyata. Itulah mengapa sangat penting untuk menilai seberapa baik struktur yang sudah ada sebelumnya menahan aktivitas seismik. Ini adalah langkah yang tepat untuk melindungi bangunan dari kerusakan akibat gempa (Saputra, A. A. 2019).

Ada beberapa cara di mana struktur beton dapat dievaluasi kegempaan dan perbaikannya menurut ATC 40. Ini termasuk: stabilitas struktural, keselamatan jiwa, manajemen kerusakan, dan hunian langsung. "Perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan dan bangunan" diatur oleh SNI 1726-2019. Harus ada tidak lebih dari sejumlah penyimpangan (Δ) atau penyimpangan dalam arah X atau Y untuk dianggap sebagai masalah.

Ketika kekuatan gempa terlalu besar, bangunan bisa runtuh. Peraturan terbaru di Indonesia, SNI-03-1726-2019, klarifikasi "prosedur perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan dan struktur non-bangunan", yang menunjukkan bahwa persyaratan negara untuk konstruksi bangunan dan analisis gempa sering direvisi. Modifikasi ini dilakukan untuk meningkatkan ketahanan seismik struktur.

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis memilih bahwa studi kasus penelitian yaitu, Analisis Kinerja Struktur Gedung Koni Jakarta Pusat. Karena ada kendala yang mempengaruhi kekuatan struktur itu sendiri, seperti ketidakteraturan struktur yang sangat kompleks. Baik penggunaan perangkat lunak ETABS oleh penulis maupun teknik analisis respons spektral bukanlah pendekatan baru atau sangat akurat untuk teknik sipil. Sebagai bagian dari desain seismik berbasis kinerja, pendekatan ini mengevaluasi perilaku inelastis struktur dari berbagai intensitas gerakan tanah dengan menyediakan pola beban. Ini menggunakan alat analitik nonlinier berbasis komputer (Pangestu & Pratama, 2021).

2. METODE PENELITIAN

Pada tugas akhir studi kasus ini di Gedung Komite Olahraga Nasional Indonesia di Jakarta Pusat, metode penelitian ini menggunakan metode respon spektrum dan memfokuskan pada kolom, balok, dan plat lantai, elemen struktur atas bangunan. Penulis menggunakan metode pengumpulan data yang berasal dari data umum dan sekunder yang diperoleh dari proyek, serta studi literatur atau kepustakaan. Mereka juga menggunakan program komputer ETABS untuk mengukur kemampuan struktur untuk menahan gempa rencana.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Pembebanan

Ada empat jenis pembebanan yang akan dipertimbangkan saat struktur dimodelkan: beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban seismik. Beban gempa direncanakan menggunakan SNI 1726-2019, sedangkan desain pembebanan didasarkan pada SNI 1727-2020.

Beban Mati

Baik bobot bawaan bangunan maupun bobot mati ekstra menambah apa yang dikenal sebagai beban mati. Menggunakan SNI-1727-2020 sebagai beban desain minimum Bangunan pendukung dan fitur terkait, meliputi beban mati berikut:

Tabel 3. 1 Beban Mati

	Berat	Satuan
Beban Mati (<i>dead load</i>)		
Beton Bertulang	24	kN/m ²
Beban Mati Tambahan (<i>super dead load</i>)		
a. Beban mati pelat lantai		
- Berat keramik	0,24	kN/m ²
- Berat spesi	0,42	kN/m ²
- Berat mekanikal elektrik	0,25	kN/m ²
- Berat Sanitas <i>plumbing</i>	0,3	kN/m ²
- Berat plafond + Penggantung	0,18	kN/m ²
Total	1,39	kN/m²
b. Beban mati atap		
- Berat mekanikal elektrik	0,25	kN/m ²
- Berat Sanitas <i>plumbing</i>	0,3	kN/m ²
- Beban air hujan	0,294	kN/m ²
Total	0,844	kN/m²

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1727:2020

Berikut perhitungan beban air hujan sesuai SNI 1727-2020:

- Tinggi genangan air hujan diasumsikan sebesar 30 mm = 0,03 m
- Berat jenis air = 9,8 kN/m³

Beban air hujan (*rain load*) = 0,03 x 9,8 = 0,294 kN/m²

Selanjutnya adalah menghitung beban dinding tiap lantai pada gedung koni sebagai berikut:

- Beban dinding (bata ringan) = 1,5 kN/m²
- Tinggi bangunan (*Ground floor*) = 6 meter

Beban mati dinding = beban dinding x tinggi bangunan = 9 kN/m

Tabel 3. 2 Rekapitulasi Beban Mati Dinding Per Lantai

Lantai	Tinggi Bangunan (m)	Beban dinding (kN/m²)	Beban Mati Dinding (kN/m)
Lt <i>Ground floor</i>	6	1.5	9
Lt P1	3	1.5	4.5
Lt P2	3	1.5	4.5
Lt 3	5	1.5	7.5
Lt 4	4.2	1.5	6.3
Lt 5	4.2	1.5	6.3
Lt 6	4.2	1.5	6.3
Lt 7	4.2	1.5	6.3
Lt 8	4.2	1.5	6.3

Lantai	Tinggi Bangunan (m)	Beban dinding (kN/m ²)	Beban Mati Dinding (kN/m)
Lt 9	4.2	1.5	6.3
Lt 10	5	1.5	7.5
Plat Atap	4	1.5	6
Total	51.2		76.8

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Beban Hidup

Beban hidup sebuah ruangan adalah bebannya yang berubah ketika penggunaan ruangan berubah. Menggunakan SNI-1727-2020 sebagai penunjang Berikut beban hidup yang dianggap minimum untuk desain bangunan dan karakteristik terkait:

Tabel 3. 3 Beban Hidup

	Berat	Satuan
Beban Hidup (<i>live load</i>)		
- Ruang Olahraga	4,79	kN/m ²
- Ruang Kantor	2,40	kN/m ²
- <i>Ballroom</i>	4,79	kN/m ²
- Tangga dan bordes	4,79	kN/m ²
- Koridor	4,79	kN/m ²
- Lantai Atap	0,96	kN/m ²

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Beban Angin

Desain dan konstruksi bangunan dan struktur lainnya harus sedemikian rupa sehingga dapat menahan beban angin. Untuk tujuan penghitungan beban angin, lihat SNI 1727-2020. Beban desain minimum dan fitur terkait untuk struktur. Untuk menghitung beban angin, seseorang harus mengikuti prosedur yang diuraikan dalam Pasal 27.2 SNI 1727-2020.

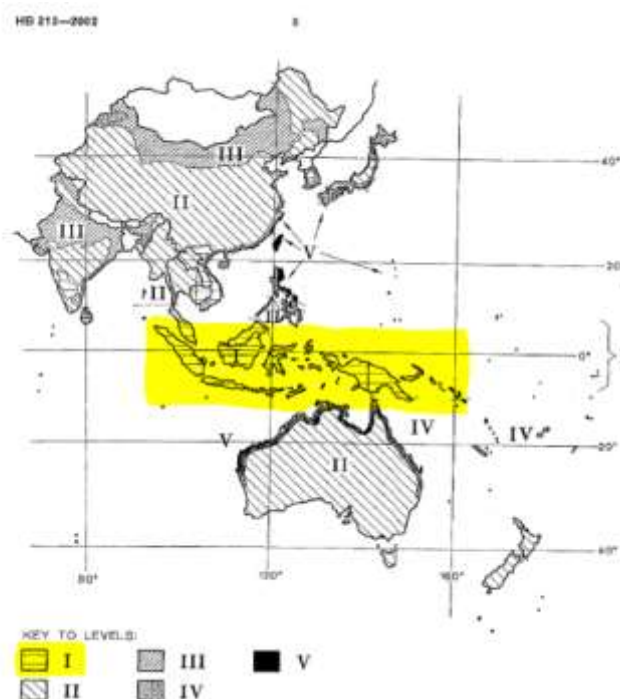
A. Menentukan Kategori Risiko Bangunan Gedung

Bahaya yang ditimbulkan oleh sebuah bangunan atau bangunan lain terhadap kehidupan, kesehatan, dan keselamatan masyarakat sebagai akibat dari hunian atau penggunaannya harus menentukan bagaimana kategorinya. Berbagai jenis kondisi beban (seperti seismik atau salju) memerlukan klasifikasi risiko yang berbeda untuk bangunan.

Bangunan dan bangunan yang tidak termasuk dalam kategori bahaya I, II, atau IV dianggap termasuk dalam kategori III. Bangunan tersebut tergolong dalam kategori bahaya III karena digunakan sebagai ruang rapat pada objek penelitian.

B. Menentukan Kecepatan Angin Dasar, V

Saat menghitung beban angin rancangan untuk bangunan di Indonesia, perlu menggunakan buku peta angin Indonesia untuk menetapkan kecepatan angin dasar, V . Asumsikan angin bertiup dari segala arah secara horizontal. V (m / s), angka kecepatan angin dasar, didasarkan pada Kecepatan Angin Rancangan standar Australia HB 212-2002 untuk Kawasan Asia-Pasifik, yang digunakan sebagai acuan normatif. Untuk data kecepatan angin di kawasan Asia Pasifik, Australian Standard menerbitkan publikasi ini. Seperti dapat dilihat di bawah ini, level 1 meliputi wilayah Indonesia sebagai wilayah yang mengelilingi garis khatulistiwa, menurut HB 212-2002:



Sumber: Standar Nasional Indonesia 1727:2020

Gambar 3. 1 Klasifikasi Kategori Risiko berdasarkan *Design Wind Speeds for the Asia-Pacific Region*

Tabel 3. 4 Nilai Kecepatan Angin Dasar, *V*

<i>Handbook Level</i>	<i>Description</i>	<i>Equation for V_R</i>	V_{50}	V_{500}
I	<i>Strong thunderstorms and monsoon winds</i>	$70 - 56R^{-0.1}$	32	40
II	<i>Moderately severe thunderstorms and extra-tropical gales</i>	$67 - 41R^{-0.1}$	39	45
III	<i>Severe thunderstorms and moderate or weakening typhoons/tropical cyclones</i>	$106 - 92R^{-0.1}$	44	57
IV	<i>Strong typhoons/tropical cyclones</i>	$122 - 104R^{-0.1}$	52	66
V	<i>Very strong typhoons/tropical cyclones</i>	$156 - 142R^{-0.1}$	60	80

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1727:2020

Sesuai tabel di atas, dapat diketahui bahwa nilai kecepatan angin dasar untuk periode 50 tahunan adalah 32 m/s dan kecepatan angin dasar untuk periode 500 tahunan adalah 40

m/s. Nilai kecepatan angin sebesar 32 m/s digunakan untuk desain beban angin pada kondisi layan (*serviceability design*) sedangkan nilai 40 m/s digunakan pada kondisi batas (*strength design*). Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan kecepatan angin dasar sebesar 40 m/s untuk periode 500 tahun.

C. Menentukan Parameter Beban Angin

1) Faktor arah angin, K_d

Faktor arah angin, K_d , termuat dalam pasal 26.6 SNI 1727-2020 yang ditentukan dari tabel sebagai berikut:

Tabel 3.5 Faktor Arah Angin, K_d

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	0,90
Persegi	0,95
Segi enam	1,0 ^a
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	1,0 ^a
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,85

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1727:2020

Tipe struktur yang digunakan adalah bangunan gedung maka sesuai dengan tabel di atas faktor arah angin yang digunakan adalah sebesar 0,85.

2) Kategori eksposur

Pasal 26.7 SNI 1727-2020 menyatakan bahwa dalam menentukan beban angin dan eksposur bangunan atau struktur, perlu dicari dua sektor yang searah dengan arah angin, terlepas dari arah angin yang dipilih. Karena paparan C dapat diterapkan dalam semua keadaan ketika paparan B atau paparan D tidak dapat diterapkan, gedung KONI termasuk dalam kelompok ini.

3) Faktor topografi, K_{zt}

Faktor topografi (K_{zt}) ditetapkan menjadi 1 karena minimnya data ketinggian tebing bangunan dan keadaan lokasi yang tidak memenuhi persyaratan yang dituangkan dalam Pasal 26.8.1 SNI 1727-2020.

4) Faktor elevasi permukaan tanah, K_e

Nilai faktor elevasi permukaan tanah untuk mengubah kerapatan udara, K_e , dianggap sebagai 1 untuk semua ketinggian, menurut Pasal 26.9 SNI 1727-2020.

5) Faktor efek hembusan angin, G atau G_f

- Suatu bangunan atau bangunan kaku lainnya memiliki faktor dampak embusan angin sebesar 0,85, sebagaimana diatur dalam Pasal 26.11.1 SNI 1727-2020.
- 6) Klasifikasi ketertutupan
 - Semua bangunan harus digolongkan terbuka, sebagian terbuka, sebagian tertutup, atau sebagian tertutup untuk menetapkan koefisien tekanan dalam, sebagaimana diatur dalam pasal 26.12.1 SNI 1727-2020. Bangunan KONI dianggap sebagai bangunan tertutup dalam analisis ini.
 - 7) Koefisien tekanan internal (GC_{pi})

Berdasarkan klasifikasi closability bangunan, koefisien tekanan internal dihitung. Tabel berikut dapat digunakan untuk memperkirakan koefisien tekanan dalam menurut kategorisasi bangunan, yaitu struktur tertutup:

Tabel 3. 6 Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi}), untuk bangunan tertutup, tertutup sebagian, terbuka sebagian, dan bangunan terbuka (dinding dan atap)

Klasifikasi ketertutupan	Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan	Tekanan internal	Koefisien tekanan internal, GC_{pi}
Bangunan tertutup	A_0 kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Sedang	-0,18 -0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_0 > 1,1A_{oi}$ dan $A_0 >$ terkecil dari $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	Tinggi	-0,55 -0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	-0,18 -0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	Diabaikan	0,00

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1727:2020

Catatan :

1. Tanda plus dan minus menandakan tekanan yang bekerja ke arah dan menjauh permukaan dalam, masing-masing.
 2. Nilai (GC_{pi}) harus digunakan dengan q_z atau q_h seperti yang disyaratkan.
 3. Dua kasus harus diperhitungkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
 - a. Nilai positif (GC_{pi}) diterapkan pada semua permukaan dalam, atau
 - b. Nilai negatif (GC_{pi}) diterapkan pada semua permukaan dalam.
- Sesuai dengan tabel di atas, maka nilai koefisien tekanan internal (GC_{pi}) untuk bangunan tertutup adalah sebesar -0,18.

D. Menentukan Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_z atau K_h **Tabel 3.7 Konstanta Eksposur Daratan**

Eksposur	α	Z_g (m)	\bar{a}	\bar{b}	\bar{a}	\bar{b}	c	ℓ (m)	τ	Z_{min} (m) ^a
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Dberdasarkan tabel di atas, untuk kategori eksposur C diperoleh nilai $\alpha = 9,5$ dan $Z_g = 274,32$ dengan ketinggian gedung yaitu sebesar 51,2 m. Berdasarkan pasal 26.10.1 SNI 1727-2020, besarnya nilai koefisien eksposur adalah sebagai berikut:

$$K_z = 2.01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{z/\alpha} \quad \text{untuk } 4,6\text{m} \leq z \leq z_g$$

$$K_z = 2.01 \left(\frac{15}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad \text{untuk } z < 4,6 \text{ m}$$

Dimana z adalah ketinggian tiap lantai.

E. Menentukan Tekanan Kecepatan q_z atau q_h

Dalam pasal 26.10.2 SNI 1727-2020 dijelaskan mengenai tekanan kecepatan, q_z , yang dievaluasi pada ketinggian z di atas tanah. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung tekanan keepatan.

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \quad (\text{N/m}^2); V \text{ dalam m/s}$$

Keterangan:

K_z = koefisien eksposur tekanan kecepatan

K_{zt} = faktor topografi

K_d = faktor arah angin

K_e = faktor elevasi permukaan tanah

V = kecepatan angin dasar

q_z = tekanan kecepatan pada ketinggian z

Sesuai persamaan di atas, maka besar tekanan kecepatan yang terjadi pada gedung ditampilkan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3.8 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Kecepatan per lantai

Lantai	Z	a	Zg	Kz	Kd	V	qz (N/m ²)	qz (kN/m ²)
lt RLMR	51.2	9.50	274.32	1.41	0.85	40.00	1176.86	1.18
lantai atap	47.2	9.50	274.32	1.39	0.85	40.00	1156.88	1.16
lt 10	42.2	9.50	274.32	1.36	0.85	40.00	1129.92	1.13
lt 9	38	9.50	274.32	1.33	0.85	40.00	1105.26	1.11
lt 8	33.8	9.50	274.32	1.29	0.85	40.00	1078.34	1.08
lt 7	29.6	9.50	274.32	1.26	0.85	40.00	1048.63	1.05
lt 6	25.4	9.50	274.32	1.22	0.85	40.00	1015.39	1.02
lt 5	21.2	9.50	274.32	1.17	0.85	40.00	977.48	0.98
lt 4	17	9.50	274.32	1.12	0.85	40.00	933.08	0.93
lt 3	12	9.50	274.32	1.04	0.85	40.00	867.11	0.87
lantai P2	9	9.50	274.32	0.98	0.85	40.00	816.15	0.82
lantai P1	6	9.50	274.32	0.90	0.85	40.00	749.38	0.75
lantai dasar	0	9.50	274.32	0	0.85	40.00	0	0
Total							12054.48	12.05

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

F. Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal, C_p atau C_N

Tabel yang menunjukkan nilai koefisien tekanan Dinding pada tiga permukaan-permukaan arah angin, sisi dinding arah angin, dan dinding tepi-ditunjukkan pada gambar 27.3 SNI 1727-2020. Tabel ini menunjukkan nilai koefisien tekanan dinding.

- Lebar gedung (b) = 2,9 m
- Panjang gedung (l) = 3,6 m

Diperoleh,

$$\frac{l}{b} = \frac{2,9}{3,6} = 0,81 \text{ m} \quad (\text{Arah } x)$$

$$\frac{l}{b} = \frac{3,6}{2,9} = 1,24 \text{ m} \quad (\text{Arah } y)$$

Tabel 3.9 Koefisien Tekanan Dinding C_p

Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0 – 1	-0,5	q_h
Dinding di sisi angin pergi	2	-0,3	q_h
	≥ 4	-0,2	q_h
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	q_h

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1727:2020

Koefisien tekanan dinding (C_p) yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. $C_p = 0,8$ untuk dinding di sisi angin datang
- b. $C_p = -0,7$ untuk dinding di sisi angin tepi
- c. Arah X

$$C_p = -0,5 \text{ untuk dinding di sisi angin pergi}$$

Arah Y

$$\frac{1 - 1,24}{1 - 2} = \frac{-0,5 - x}{-0,5 - (-0,3)}, \quad x = -0,45$$

$$C_p = -0,45 \text{ untuk dinding di sisi angin pergi}$$

G. Menghitung Tekanan Angin pada Setiap Permukaan Bangunan Gedung

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan tekanan angin rancangan untuk struktur dengan ketinggian berapapun, sesuai dengan Pasal 27.3.1 SNI 1727-2020:

$$p = q_z \times G \times C_p$$

Sesuai dengan persamaan di atas, maka perhitungan tekanan angin pada bangunan gedung seperti di bawah ini:

Untuk nilai tekanan angin datang tiap lantai pada dinding ditampilkan pada tabel berikut ini:

Tabel 3.10 Hasil Perhitungan Tekanan Angin Setiap Lantai Arah X

Lantai	q_z (kN/m^2)	P Desak (kN/m^2)	P Hisap (kN/m^2)	P Desak (kN/m)	P Hisap (kN/m)
lt RLMR	1.18	0.80	-0.50	4.80	-3.00
lantai atap	1.16	0.79	-0.49	4.72	-2.95
lt 10	1.13	0.77	-0.48	4.61	-2.88
lt 9	1.11	0.75	-0.47	4.51	-2.82
lt 8	1.08	0.73	-0.46	4.40	-2.75
lt 7	1.05	0.71	-0.45	4.28	-2.67
lt 6	1.02	0.69	-0.43	4.14	-2.59
lt 5	0.98	0.66	-0.42	3.99	-2.49
lt 4	0.93	0.63	-0.40	3.81	-2.38
lt 3	0.87	0.59	-0.37	3.54	-2.21
lantai P2	0.82	0.55	-0.35	3.33	-2.08
lantai P1	0.75	0.51	-0.32	3.06	-1.91
lantai dasar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Tabel 3.11 Hasil Perhitungan Tekanan Angin Setiap Lantai Arah Y

Lantai	q_z (kN/m^2)	P Desak (kN/m^2)	P Hisap (kN/m^2)	P Desak (kN/m)	P Hisap (kN/m)
lt RLMR	1.18	0.80	-0.45	4.80	-2.70
lantai atap	1.16	0.79	-0.44	4.72	-2.66

lt 10	1.13	0.77	-0.43	4.61	-2.59
lt 9	1.11	0.75	-0.42	4.51	-2.54
lt 8	1.08	0.73	-0.41	4.40	-2.47
lt 7	1.05	0.71	-0.40	4.28	-2.41
lt 6	1.02	0.69	-0.39	4.14	-2.33
lt 5	0.98	0.66	-0.37	3.99	-2.24
lt 4	0.93	0.63	-0.36	3.81	-2.14
lt 3	0.87	0.59	-0.33	3.54	-1.99
lantai P2	0.82	0.55	-0.31	3.33	-1.87
lantai P1	0.75	0.51	-0.29	3.06	-1.72
lantai dasar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Beban Gempa

Untuk mengetahui bagaimana gempa bumi akan mempengaruhi sebuah bangunan, para insinyur menggunakan analisis dinamis. Beban gempa adalah jumlah dari semua gaya yang bekerja pada suatu struktur dari bawah ke atas sebagai akibat dari gempa bumi. Adapun SNI 1726-2019, berikut ini adalah strategi gempa.

A. Menentukan Klasifikasi Kelas Situs

Berdasarkan jenis tanah yang ditemukan di wilayah Senayan Jakarta Selatan, diperoleh temuan klasifikasi lokasi tanah berikut dengan mengukur nilai nspt pada profil tanah 30 meter teratas:

Tabel 3.12 Perhitungan Data Tanah

Depth (m)	Layering t (m)	Depth (m)	N- SPT	t/N-SPT
0 – 5	5.0	4	7	0.714
5 – 7	2.0	6	11	0.182
7 – 9	2.0	8	16	0.125
9 – 11	2.0	10	19	0.105
11 – 13	2.0	12	25	0.08
13 – 15	2.0	14	28	0.071
15 – 17	2.0	16	60	0.033
17 – 19	2.0	18	61	0.033
19 – 21	2.0	20	61	0.033
21 – 23	2.0	22	61	0.033
23 – 25	2.0	24	61	0.033
25 – 27	2.0	26	61	0.033
27 – 29	2.0	28	61	0.033
29 – 30	1.0	30	61	0.016
$\sum t$	30.0			1,557

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Berdasarkan data di atas, maka:

$$\bar{N} = \frac{\sum di}{\frac{\sum di}{Ni}} = \frac{30}{1,557} = 19,268$$

Tabel 3.13 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/ atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa 		

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Dari perhitungan di atas, nilai \bar{N} yang diperoleh adalah 19,268, maka berdasarkan tabel 4.5 lokasi bangunan termasuk dalam kelas situs **SD (Tanah Sedang)**.

B. Menentukan Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan (I_e)

Faktor prioritas harus diterapkan pada dampak rencana gempa terhadap berbagai kategori risiko baik bangunan maupun non bangunan sesuai dengan SNI 1726-2019 I_e .

Tabel 3.14 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara 	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<ul style="list-style-type: none"> - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Jenis pemanfaatan bangunan yang dipilih yaitu gedung pertemuan (gedung olahraga) yang termasuk dalam kategori risiko III dengan nilai faktor keutamaan gempa (I_e) yaitu 1,25.

Tabel 3. 15 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1726:2019

C. Menentukan Parameter Respon Spektral

1) Menentukan S_S dan S_1

Parameter jangka pendek percepatan gempa pada batuan dasar dilambangkan dengan SS , sedangkan nilai sepanjang satu detik dilambangkan dengan S_1 . Skor untuk SS dan S_1 diperoleh dari situs web Jakarta <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021-about> kota. Ini adalah data yang diterima untuk SS dan S_1 :

Lokasi = Jakarta

Kelas situs = SD (Tanah Sedang)

S_1 MCE_R = 0,3878 g

S_S MCE_R = 0,7927 g

2) Menentukan F_a dan F_v

Faktor amplifikasi sesimik pada periode 0,2 detik (F_a) dan 1 detik (F_v) ditentukan berdasarkan tabel berikut ini:

Tabel 3.16 Pembacaan Faktor Amplifikasi F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Berdasarkan tabel di atas, sesuai dengan nilai S_s yaitu sebesar 0,7927 maka dilakukan interpolasi untuk menentukan faktor amplifikasi F_a sebagai berikut:

$$\frac{0,75 - 0,7927}{0,75 - 1,0} = \frac{1,2 - x}{1,2 - 1,1}$$

$$x = 1,1829$$

$$F_a = 1,1829$$

Tabel 3.17 Pembacaan Faktor Amplifikasi F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Berdasarkan tabel di atas, sesuai dengan nilai S_1 yaitu sebesar 0,3878 maka dilakukan interpolasi untuk menentukan faktor amplifikasi F_v sebagai berikut:

$$\frac{0,3 - 0,3878}{0,3 - 0,4} = \frac{2,0 - x}{2,0 - 1,9}$$

$$x = 1,9122$$

$$F_v = 1,9122$$

Sesuai perhitungan di atas, maka didapatkan faktor amplifikasi F_a yaitu 1,1829 dan F_v yaitu 1,9122.

3) Menghitung parameter respon spektrum

Setelah diketahui nilai faktor amplifikasi seismik dan parameter percepatan gempa di batuan dasar, selanjutnya adalah menentukan parameter respon spektrum. Dalam menentukan nilai parameter respon spektrum di permukaan tanah digunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

$$S_{MS} = 1,18292 \times 0,7927$$

$$S_{M1} = 1,9122 \times 0,3878$$

$$S_{MS} = 0,9377 \text{ g}$$

$$S_{M1} = 0,7415 \text{ g}$$

Sesuai perhitungan di atas, didapatkan nilai S_{MS} yaitu 0,9377 g dan S_{M1} yaitu 0,7415 g.

4) Menghitung parameter percepatan spektral desain

Dengan rumus ini, Anda bisa mendapatkan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDS) dan periode satu detik (SD1):

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,9377$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,7415$$

$$S_{DS} = 0,625 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 0,494 \text{ g}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan nilai S_{DS} yaitu 0,625 g dan S_{D1} yaitu 0,494 g.

D. Menentukan Kategori Desain Seismik

Tabel berikut menjelaskan berbagai jenis desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan yang diketahui dalam periode singkat (SDS) dan periode 1 detik (SD1) dari perhitungan sebelumnya:

Tabel 3.18 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Tabel 3. 19 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau 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: Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Sesuai tabel di atas, maka kateori desain seismik yang didapatkan adalah **kategori desain seismik D**.

E. Menentukan Parameter Struktur

Nilai parameter struktural berikut ditentukan untuk rangka beton bertulang dengan sistem dinding geser beton bertulang spesifik:

Tabel 3.20 Parameter Struktur Gedung

Sistem Penahan-gaya seismik	Koefisien Modifikasi Respons (R^a)	Faktor kuat lebih sistem, (Ω_0^b)	Faktor pembesaran defleksi, (C_d^c)	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber: Standar Nasional Indonesia 1726:2019

Dari data tabel di atas, maka diperoleh nilai koefisien dan faktor yang diatur dalam Pasal 7.2.2 SNI 1726-2019 sebagai berikut:

Koefisien modifikasi respons (R) = 8

Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3

Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5

F. Menentukan Respon Spektrum Desain

Nilai respon spektrum yang telah diperoleh harus dikalikan dengan *scale factor* sebesar:

$$SF = g \frac{I_e}{R} = 9,81 \frac{1,25}{8} = 1,533$$

Berdasarkan Pasal 6.4 SNI 1726-2019 dalam menentukan respon spektrum desain harus mengetahui periode fundamental struktur bangunan dengan nilai parameter percepatan respon spektrum (S_{DS} dan S_{D1}) yang telah diketahui sebelumnya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_0 = 0,2 \frac{0,494}{0,625}$$

$$T_s = \frac{0,494}{0,625}$$

$$T_0 = 0,158 \text{ detik}$$

$$T_s = 0,791 \text{ detik}$$

Sesuai perhitungan di atas, maka didapatkan nilai periode fundamental struktur bangunan T_0 yaitu 0,158 detik dan T_s yaitu 0,791 detik.

Dalam melakukan analisa perhitungan respons spektrum sendiri terdapat beberapa ketentuan sebagai berikut:

- Untuk nilai $T < T_0$, atau saat periode lebih kecil daripada T_0 , maka $T_0 = 0$ detik

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

$$S_a = 0,625 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,158} \right) = 0,25$$

Untuk nilai $T \geq T_0$ dan $T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS}$$

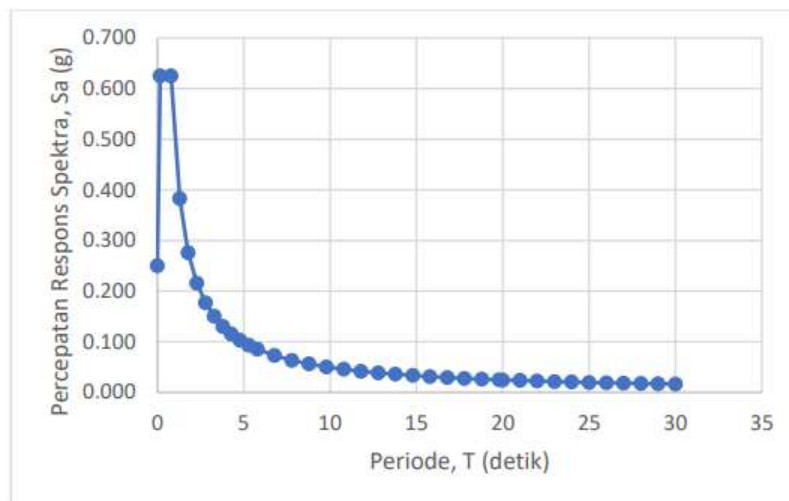
$$S_a = 0,625$$

- Untuk nilai $T > T_s$

Nilai T yang akan digunakan ialah hasil penjumlahan T_s dengan 1, maka nilai T sebesar 1,291.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,494}{1,291} = 0,383$$

Berikut di bawah ini grafik spektrum respon desain yang dihasilkan:



Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Gambar 3. 2 Grafik Respon Spektrum Kota Jakarta

G. Perhitungan Beban Gempa dengan Analisis Statik Ekuivalen

Analisis statik ekuivalen berupa perhitungan beban lateral mengacu pada SNI 1726-2019 sebagai berikut:

1. Menentukan Periode Fundamental

Sebelum menetapkan periode dasar pendekatan (T_a), nilai C_t dan x harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726-2019. Objek penelitian bangunan ini memiliki tipe struktur rangka beton penahan momen, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 18 SNI 1726-2019, dengan nilai C_t dan x masing-masing sebesar 0,0466 dan 0,9. Setelah itu, gunakan persamaan ini untuk mengetahui berapa lama batas bawah mendekati periode fundamental:

$$h_n = 51,2 \text{ m}$$

$$T_{a \text{ min}} = C_t h_n^x = 0,0466 \times 51,2^{0,9}$$

$$T_{a \text{ min}} = 1,6096 \text{ s}$$

Selanjutnya menghitung batas atas periode struktur:

$$S_{D1} = 0,494$$

$$C_u = 1,4$$

(Tabel 17 Pasal 7.8.2 SNI 1726-2019)

$$T_{a \text{ max}} = C_u T_a = 1,4 \times 1,6096$$

$$T_{a \text{ max}} = 2,253 \text{ s}$$

Dari hasil analisis program bantu ETABs maka didapat nilai $T_c = 2,56 \text{ s}$, $T_a = 1,6096 \text{ s}$, $C_u T_a = 2,253 \text{ s}$. Dikarenakan $T_c > C_u T_a$ maka periode fundamental struktur yang digunakan adalah $T_c = C_u T_a = 2,253 \text{ s}$.

2. Menghitung Koefisien Respon Seismik

Dalam menganalisis gaya geser gempa terlebih dahulu harus menentukan koefisien *respon seismic* dan berat lantainya. Respon seismik dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R}$$

$$C_s = \frac{0,625}{\frac{8}{1,25}} = 0,098$$

Nilai C_s yang telah dihitung tidak perlu lebih besar dari:

$$C_{s1} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

$$C_{s1} = \frac{0,494}{2,253 \left(\frac{8}{1,25} \right)} = 0,034$$

$$C_{s2} = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

$$C_{s2} = 0,044 \times 0,625 \times 1,25 \geq 0,01$$

$$C_{s2} = 0,0344 \geq 0,01 \rightarrow C_{s2} = 0,0344$$

Sesuai parameter di atas, didapatkan nilai C_s sebesar **0,034 s**.

Tabel 3.21 Rekapitulasi Nilai C_s

Arah	C_s Maks	C_s Hitungan	C_s Min	C_s Digunakan
X dan Y	0,034	0,098	0,0344	0,034

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

3. Berat Bangunan

Saat Anda menjumlahkan beban mati dan beban hidup bangunan, Anda mendapatkan berat bangunan. Anda dapat melihat bobot bangunan pada tabel di bawah ini, yang

diambil dari studi struktur yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETABS:

Tabel 3.22 Massa dan Berat Struktur Bangunan Model 1

Lantai	Massa		Gravitasi	Berat	
	UX (kg)	UY (kg)		UX (kN)	UY (kN)
L RLMR	218378.42	218378.42	9.81	2142.29	2142.29
L ATAP	690225.18	690225.18	9.81	6771.11	6771.11
L 10	858797.53	858797.53	9.81	8424.80	8424.80
L 9	849851.07	849851.07	9.81	8337.04	8337.04
L 8	849851.07	849851.07	9.81	8337.04	8337.04
L 7	849851.07	849851.07	9.81	8337.04	8337.04
L 6	849851.07	849851.07	9.81	8337.04	8337.04
L 5	849851.07	849851.07	9.81	8337.04	8337.04
L 4	878887.18	878887.18	9.81	8621.88	8621.88
L 3	1041467.1	1041467.1	9.81	10216.79	10216.79
L P2	929999.13	929999.13	9.81	9123.29	9123.29
L P1	949200.34	949200.34	9.81	9311.66	9311.66
Lt MEZZANINE	576009.08	576009.08	9.81	5650.65	5650.65
TOTAL	10392219.3	10392219.31		101947.67	101947.67

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

4. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik

Setelah mendapatkan akumulasi berat lantai dan koefisien respon seismik, maka gaya geser dasar seismik dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$V = C_s \cdot W$$

$$V = (0,034) (101947,67)$$

$$V = \mathbf{3466,22 \text{ kN}}$$

Evaluasi Kinerja Struktur

Di sini kita membahas kinerja batas layanan dan kinerja batas akhir yang merupakan bagian dari penilaian kinerja struktur ini selama fase analisis.

Kinerja Batas Layan

Kriteria berikut digunakan untuk mengevaluasi hasil studi respon spektrum dinamis yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETABS V18:

$$\frac{\Delta}{FS} \leq \frac{0,03}{R} \times h_i \leq 30 \text{ mm}$$

Dimana:

R = koefisien modifikasi respon yang didapat dari table 12 SNI 1726-2019, nilai $R = 8$ (karena tipe struktur merupakan rangka beton bertulang pemikul momen khusus)

Δ = Simpangan antar tingkat maksimum

FS = Faktor skala

h_i = Tinggi tingkat

Dari hasil analisis dinamik respon spektrum dengan *software* ETABS v.18, nilai *displacement* kemudian dicek dengan kinerja batas layan.

Berikut contoh perhitungan kinerja batas layan lantai 10 arah X sebagai berikut.

$$\Delta = \Delta t_{10} - \Delta t_9 = 0,02854 - 0,02518 = 0,00337 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta}{FS} \leq \frac{0,03}{R} \times h_i \leq 30 \text{ mm}$$

$$\frac{0,00337}{1,53} \leq \frac{0,03}{8} \times 4 \leq 0,03$$

$$0,0022 \leq 0,015 \leq 0,03 \text{ (OK)}$$

Nilai displacement dicek ulang dengan service limit performance berdasarkan temuan analisis respon spektrum dinamis menggunakan perangkat lunak ETABS V18. Berikut adalah rekap langkah-langkah yang digunakan untuk menentukan kinerja batas Layanan di arah X dan Y:

Tabel 3.23 Kinerja Batas Layan Arah X

Lantai	h (m)	delta s arah X	delta s antar tingkat	syarat	ket
12	4	0.03467	0.00307	0.015	OK
11	4	0.0316	0.00306	0.015	OK
10	4	0.02854	0.00337	0.01575	OK
9	4	0.02518	0.00364	0.01575	OK
8	4	0.02154	0.00387	0.01575	OK
7	4	0.01768	0.00402	0.01575	OK
6	4	0.01366	0.00407	0.01575	OK
5	4	0.00959	0.0042	0.01575	OK
4	5	0.00538	0.00188	0.01875	OK
3	3	0.0035	0.00155	0.01125	OK
2	3	0.00195	0.00118	0.01125	OK
1	6	0.00077	0.00077	0.0225	OK

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Tabel 3.24 Kinerja Batas Layan Arah Y

Lantai	h (m)	delta s arah Y	delta s antar tingkat	syarat	ket
12	4	0.02286	-0.0008	0.015	OK
11	4	0.02366	0.00165	0.015	OK
10	4	0.02201	0.00239	0.01575	OK
9	4	0.01962	0.00266	0.01575	OK
8	4	0.01696	0.0029	0.01575	OK
7	4	0.01406	0.00307	0.01575	OK
6	4	0.011	0.0032	0.01575	OK
5	4	0.0078	0.0032	0.01575	OK
4	5	0.00459	0.00173	0.01875	OK
3	3	0.00286	0.00116	0.01125	OK
2	3	0.0017	0.00089	0.01125	OK
1	6	0.00081	0.00081	0.0225	OK

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Berdasarkan rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 4.36 dan Tabel 4.37 di atas, menunjukkan nilai Δs antar tingkat arah x maupun arah y tidak melebihi dari nilai yang disyaratkan sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan gedung koni aman berdasarkan kinerja batas layan.

Kinerja Batas Ultimit

Untuk mengevaluasi hasil analisis respons spektrum dinamis berbasis perangkat lunak ETABS V, digunakan kriteria sebagai berikut, berdasarkan kinerja batas akhir sesuai dengan SNI 1726-2002:

$$\xi \times \Delta \leq 0,02 \times h_i$$

Dimana:

- ξ = Faktor pengali
- Δ = Simpangan antar tingkat
- h_i = Tinggi tingkat

Dari hasil analisis dinamik respon spektrum dengan *software* ETABS v.18, nilai displacement kemudian dicek dengan kinerja batas ultimit.

Berdasarkan denah struktur dan karakteristik bangunan merupakan bangunan beraturan sehingga digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\xi = 0,7 \times R = 0,7 \times 8 = 5,6$$

Berikut contoh perhitungan kinerja batas ultimit lantai 10 arah X sebagai berikut.

$$\Delta = \Delta_{t10} - \Delta_{t9} = 0,02854 - 0,02518 = 0,00337 \text{ m}$$

$$\xi \times \Delta \leq 0,02 \times h_i$$

$$5,6 \times 0,00337 \leq 0,02 \times 4$$

$$0,01886 \leq 0,08 \text{ (OK)}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan kinerja batas layan pada arah X dan arah Y adalah sebagai berikut:

Tabel 3.25 Kinerja Batas Ultimit Arah X

Lantai	h (m)	delta s arah X	delta s antar tingkat	syarat	ket
12	4	0.1201	0.0027	0.085	OK
11	4	0.1174	0.0042	0.085	OK
10	4	0.1132	0.0059	0.085	OK
9	4	0.1073	0.0076	0.085	OK
8	4	0.0997	0.0092	0.085	OK
7	4	0.0905	0.0106	0.085	OK
6	4	0.0800	0.0119	0.085	OK
5	4	0.0681	0.0132	0.085	OK
4	5	0.0549	0.0143	0.085	OK
3	3	0.0405	0.0151	0.085	OK
2	3	0.0254	0.0149	0.085	OK
1	6	0.0105	0.0102	0.085	OK

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Tabel 3.26 Kinerja Batas Ultimit Arah Y

Lantai	h (m)	delta s arah Y	delta s antar tingkat	syarat	ket
12	4	0.1048	0.0027	0.085	OK
11	4	0.1021	0.0039	0.085	OK
10	4	0.0982	0.0054	0.085	OK
9	4	0.0929	0.0068	0.085	OK
8	4	0.0861	0.0081	0.085	OK
7	4	0.0780	0.0093	0.085	OK
6	4	0.0688	0.0104	0.085	OK
5	4	0.0584	0.0114	0.085	OK
4	5	0.0470	0.0123	0.085	OK
3	3	0.0347	0.0129	0.085	OK
2	3	0.0217	0.0129	0.085	OK
1	6	0.0088	0.0058	0.085	OK

Sumber: Hasil Pengolahan Data Penulis, 2024

Berdasarkan rekapitulasi hasil perhitungan pada Tabel 4.38 dan Tabel 4.39 di atas, menunjukkan nilai Δm antar tingkat arah x maupun arah y tidak melebihi dari nilai yang disyaratkan sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan gedung koni aman berdasarkan kinerja batas ultimit.

Sesuai hasil analisis yang telah dilakukan yaitu analisis kontrol kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit menunjukkan bahwa struktur bangunan gedung komite nasional Indonesia (KONI) pada arah X dan arah Y aman dan memenuhi dari batas yang disyaratkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penulis dapat menyimpulkan hal berikut tentang gedung KONI setelah mempelajarinya dengan menggunakan analisis dinamis dengan menggunakan pendekatan respon spektral:

1. Hasil analisis dinamika menunjukkan bahwa nilai $V_{dinamik}$ untuk arah X yaitu 4542,05 kN lebih besar dari nilai V_{statik} yaitu 3827,05 kN pada arah Y. Berdasarkan analisis dinamika, bangunan koni telah memenuhi standar SNI 1726-2019 dengan nilai akhir dari reaksi dinamis struktur bangunan sebagai akibat dari rencana gempa.
2. Hasil analisis untuk arah x terbesar adalah 0,03467 dan arah y terbesar adalah 0,02286, menurut studi nilai divergensi antar level yang disebabkan oleh rencana gempa. Berdasarkan kinerja batas layan $(0,3 / R) \cdot H = 0,00155$, bangunan KONI dinyatakan aman dan telah memenuhi standar kinerja struktur.
3. Hasil analisis untuk arah x terbesar adalah 0,1201 dan arah y terbesar adalah 0,1048, sesuai dengan pemeriksaan nilai divergensi antar level yang disebabkan oleh rencana gempa. Berdasarkan kinerja batas ultimit, bangunan KONI dinyatakan aman dan telah memenuhi standar kinerja struktur $\xi \times \Delta \leq 0,02 \times h_i = 0,0850$ m

Saran

Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian ini yang didasarkan pada tugas akhir ini:

1. Struktur bertingkat tinggi lainnya di tempat lain dengan formasi bentuk yang bervariasi juga harus menjalani analisis respons spektrum dinamis untuk menetapkan kinerjanya.
2. Dapat memperluas studi ini dengan menyertakan alat analisis tambahan, seperti riwayat waktu dan analisis pushover.

Daftar Pustaka

- Andi, A., Mahendra, B., & Ridwan, M. (2023). *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil PERENCANAAN KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG ENAM LANTAI*. 5(1).
- Hendra, H., Zulkarnaen, L. V., Rosanti, I., & Ariyansyah, R. (2021). Analisis Struktur Gedung Tahan Gempa Dengan Metode Sistem Ganda (Dual System). *Construction and Material Journal*, 3(3), 189–196. <https://doi.org/10.32722/cmj.v3i3.4205>
- Hutahean, N. (2012). *ANALISIS DINAMIS GAYA GEMPA PADA BANGUNAN BERDASARKAN SNI 03-1726 2012 Oleh* : 91–100.
- Ivan, L., & Leo, E. (2019). Analisis Dinamik Perilaku Gedung Dengan Ketidakberaturan Massa Pada Masing-Masing Tingkat Terhadap Beban Gempa. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 245. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5836>
- Liud, A. (2016). *Perhitungan Struktur Atas Dan Metode Pelaksanaan Pada Proyek Pembangunan Gedung Perpustakaan Sma Keberbakatan* <http://repository.polimdo.ac.id/id/eprint/484>
- Malla Avila, D. E. (2022). No Title2005–2003, 8.5.2017, הארץ, הכי קשה לראות את מה שבאמת לנגד העיניים.
- Marianda, D. (2016). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta Menggunakan Analisa Pushover sesuai Pedoman ATC-40. *Tugas Akhir*.
- Mawarti, R., G, D. L. C., Shulhan, M. A., & Yasin, I. (2019). *Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Respon Spektrum (Studi Kasus : Zona 2 Apartemen Yogyakarta)*. 70–82.
- Muhammad Hilmi, Erizal, & Febrita, J. (2021). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(3), 143–158. <https://doi.org/10.29244/jsil.6.3.143-158>
- Pangestu, S. F., & Pratama, M. M. A. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desain Berbasis Kinerja. *Cantilever: Jurnal Penelitian Dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 10(2), 91–100. <https://doi.org/10.35139/cantilever.v10i2.110>
- Prima, Y., & Rumbyarso, A. (2021). Perencanaan Struktur Bangunan Atas (Upper Structure) Gedung Stie Bank Bpd Jateng Kota Semarang. *Jurnal Teknokris*, 24(1), 1–7.

- Purnamasari, E. (2020). Penggunaan Sni 1726-2019 Untuk Menentukan Beban Gempa Seismik Di Kalimantan Selatan. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 3(2), 165. <https://doi.org/10.31602/jk.v3i2.4238>
- Purnomo, E., Purwanto, E., & Supriyadi, A. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus: Bangunan Hotel di Semarang). *Matriks Teknik Sipil*, 2(4), 569–576.
- Sistem, D., & Standar, P. (2020). *Penerapan Standar Nasional Indonesia*. 8.
- Ultimit, B. (2013). Fenomena gempa merupakan gejala alam yang sangat berpengaruh terhadap bangunan , terutama pada bangunan tinggi . tahan gempa sangat penting di Indonesia , terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi . Bangunan performance based sei. 5, 8–9.
- Usman, A. P., Rosidawani, & Sri Palta Mutmainna. (2021). Analisis Respons dan Kinerja Struktur Bangunan Gedung Menggunakan Pushover Analysis. *Jurnal Sainis*, 21(02), 87–96. [https://doi.org/10.25299/saintis.2021.vol21\(02\).7585](https://doi.org/10.25299/saintis.2021.vol21(02).7585)