

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

Structural Performance Analysis of The BPJN Bengkulu Office Building Using The Response Spectrum Method Based on SNI 1726:2019

Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Gedung Kantor BPJN Bengkulu Menggunakan Metode Respons Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019

Fideriko Felny¹¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hazairin, S.HEmail korespondensi: fideriko.jurnal@gmail.com**INFO ARTIKEL****Kata kunci :**

Evaluasi Struktur,
 Analisis Respon
 Spektrum, Beban
 Vertikal, Beban
 Horizontal,
 Kestabilan Struktur

ABSTRAK

Gedung Kantor Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Bengkulu adalah bangunan yang direncanakan memiliki dua lantai dengan total ketinggian mencapai 11,563 meter. Salah satu ciri khas bangunan ini terletak pada bentuk denahnya yang oval, yang menjadikannya berbeda dari struktur bangunan konvensional dan menghasilkan sistem struktur yang tidak umum. Pekerjaan struktur meliputi perancangan elemen-elemen utama seperti pelat lantai, balok, kolom, dinding geser, serta sistem fondasi. Untuk struktur atas, dipilih Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) karena dinilai sesuai dengan kebutuhan bangunan di wilayah dengan risiko gempa tinggi (kategori KDS D, E, dan F). Tujuan dari studi ini adalah untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan menggunakan pendekatan analisis respons spektrum berdasarkan ketentuan dalam SNI 1726:2019. Proses penelitian dilakukan secara sistematis, dimulai dari pengumpulan data lapangan dan dokumen pendukung, dilanjutkan dengan pemodelan struktur menggunakan aplikasi SAP 2000, penentuan beban, analisis struktur, hingga evaluasi terhadap kinerja strukturnya. Pemodelan bangunan didasarkan pada dokumen gambar perencanaan resmi. Hasil analisis menunjukkan bahwa massa partisipatif telah mencapai 96%, dan parameter lain seperti periode struktur dengan nilai T_c arah X 0,422 dan T_c arah Y 0,435 serta gaya geser dasar telah memenuhi standar yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019. Evaluasi terhadap simpangan antar lantai memperlihatkan bahwa nilainya berada di bawah batas maksimum yang diizinkan yaitu dengan nilai terkecil 75 mm. Berdasarkan FEMA 365 dan ATC - 40, dapat disimpulkan bahwa bangunan ini dikategorikan memiliki tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini dikarenakan *drift ratio* struktur yang terjadi pada arah X dan Y lebih kecil dari 1%.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Keywords:</p> <p>Structural Performance, Response Spectrum Analysis, Gravity Load, Lateral Load, Building Stability.</p>	<p><i>The Office Building of the Bengkulu National Road Implementation Agency (BPJN) is designed to function as a central facility for the planning, procurement, construction, and maintenance of road and bridge infrastructure. This two-story building is planned to reach a total height of 11.563 meters. Unlike conventional buildings, it features a distinctive architectural design with an oval floor plan, resulting in an unconventional structural configuration. The structural works encompass the design of key components including floor slabs, beams, columns, shear walls, and the foundation system. For the superstructure, a Special Moment Resisting Frame System (SMRFS) was selected, as it is suitable for regions with high seismic risk (seismic design categories D, E, and F). This study aims to assess the structural performance of the building using the response spectrum analysis method in accordance with SNI 1726:2019. The research methodology was carried out in several stages, including data collection from both field observations and supporting documents, structural modeling, load analysis, structural analysis, and evaluation of structural performance. The structural model was developed based on official design drawings. The loads considered in the analysis include both gravity and lateral loads. The results showed that mass participation exceeded 90%, and both the structural period and base shear values complied with the criteria set by SNI 1726:2019. The inter-story drift results were within the allowable limits, indicating that the building is structurally stable. Based on the calculated drift ratio, the building's performance level falls under the Immediate Occupancy (IO) category.</i></p>

1. Pendahuluan

Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Bengkulu merupakan institusi yang bertanggung jawab atas perencanaan, pengadaan, pembangunan, serta pemeliharaan jalan dan jembatan di wilayah Provinsi Bengkulu. Gedung Kantor Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Bengkulu adalah bangunan yang direncanakan memiliki dua lantai dengan total ketinggian mencapai 11,563 meter. Salah satu ciri khas bangunan ini terletak pada bentuk denahnya yang oval, yang menjadikannya berbeda dari struktur bangunan konvensional dan menghasilkan sistem struktur yang tidak umum.

Dalam konteks perencanaan struktur bangunan di Indonesia, sejumlah peraturan dan standar telah diterbitkan sebagai acuan teknis. Dalam perencanaan struktur bangunan, acuan yang digunakan mencakup sejumlah standar nasional, antara lain SNI 1726:2019 yang memuat pedoman teknis perancangan struktur bangunan tahan gempa baik untuk gedung maupun non-gedung, SNI 1727:2020 yang menjelaskan tentang beban minimum desain serta kriteria yang menyertainya, dan SNI 2847:2019 yang mengatur persyaratan teknis material beton untuk struktur gedung bertulang. Penerbitan regulasi terbaru tersebut mencerminkan adanya perkembangan dan penyesuaian terhadap standar keselamatan dan ketahanan bangunan, terutama dalam menghadapi risiko gempa bumi.

Gedung kantor BPJN Bengkulu dirancang sebagai bangunan bertingkat, sehingga analisis perencanaan strukturnya harus mengacu pada regulasi terbaru tersebut. Sehubungan dengan hal itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja struktur gedung Kantor BPJN Bengkulu yang berbentuk oval dengan menggunakan metode respons spektrum berdasarkan ketentuan dalam SNI 1726:2019, guna memastikan bahwa struktur bangunan yang dirancang memenuhi persyaratan ketahanan terhadap beban gempa dan layak untuk dibangun secara teknis.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Gempa Bumi

Secara geologis, Bengkulu berada pada wilayah yang rentan terhadap gempa bumi akibat aktivitas tektonik yang intens. Hal ini dikarenakan Provinsi Bengkulu berada pada jalur tektonik. Bagian barat Pulau Sumatera terletak di area zona subduksi yang merupakan batas antar lempeng Indo-Australia yang menunjam ke lempeng Euro-Asia (Madlazim,2013). Akibat aktivitas gempa bumi mengakibatkan banyak kerusakan struktur. Oleh sebab itu, pada penyusunan struktur bangunan gedung di Indonesia khususnya Provinsi Bengkulu perlu memperhatikan aspek desain struktur bangunan gedung tahan gempa.

2.2 Desain Respon Spektra

Perancangan respons spektrum gempa rencana mengacu pada ketentuan dalam SNI 1726:2019. Nilai respons spektrum tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis klasifikasi tanah, periode osilasi struktur, tingkat redaman, serta kapasitas daktilitas bangunan. Penentuan klasifikasi tanah bertujuan untuk memperoleh nilai percepatan maksimum yang memiliki peluang terlampaui sebesar 2% dalam kurun waktu 50 tahun (Pasal 6.12. SNI 1726:2019). Sementara itu, faktor amplifikasi dihitung berdasarkan periode pendek (0,2 detik) dan periode satu detik, sebagaimana dijelaskan dalam Pasal 6.2 SNI 1726:2019. Parameter-parameter yang digunakan dalam pembentukan kurva desain respons spektrum dihitung menggunakan formula matematis sebagaimana dijelaskan pada persamaan (1) hingga (6).

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \dots\dots\dots (3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \dots\dots\dots (4)$$

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (5)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- S_s = Besaran akselerasi batuan dasar pada frekuensi tinggi atau periode pendek
- S_1 = Parameter percepatan tanah dasar pada interval periode satu detik
- F_a = Nilai amplifikasi getaran tanah untuk frekuensi tinggi atau periode singkat
- F_v = Parameter peningkatan percepatan tanah yang relevan untuk struktur dengan periode fundamental 1 detik
- S_{MS} = Parameter akselerasi gempa tertinggi pada frekuensi tinggi sesuai kondisi batas MCER
- S_{M1} = Parameter gempa terbesar pada durasi 1 detik sesuai dengan batas desain MCER
- S_{DS} = Parameter respons spektrum desain yang mewakili perilaku struktur dengan periode singkat
- S_{D1} = Parameter respons seismik desain untuk bangunan dengan periode fundamental 1 detik
- T = Waktu osilasi dasar struktur yang mencerminkan respons dinamis utamanya
- T_0 = Interval waktu awal yang mencerminkan momen respons struktur terhadap eksitasi gempa

T_s = Waktu osilasi untuk respon gempa berperiode pendek

2.3 Partisipasi Massa

Partisipasi massa menggambarkan proporsi kontribusi elemen-elemen struktur terhadap respons dinamis bangunan ketika mengalami beban gempa (Harahap & Fauzan, 2019). SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1 mengharuskan bahwa jumlah mode vibrasi yang dimasukkan dalam analisis harus cukup untuk memastikan bahwa total partisipasi massa gabungan mencapai sekurang-kurangnya 90% dari massa struktur yang dianalisis.

2.4 Periode Getar

Setiap struktur memiliki karakteristik alami berupa periode getar, yaitu rentang waktu yang mencerminkan kecenderungan struktur untuk berosilasi ketika mengalami gangguan seperti beban angin atau gempa. Dalam analisis dinamik, periode getar ini biasanya direpresentasikan melalui bentuk mode (mode shape). Periode getar perlu dikontrol untuk menghindari penggunaan struktur yang terlalu fleksibel (Mustika et al., 2022). Nilai periode minimum dan maksimum dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7) dan persamaan (8).

$$T_a = C_t(h_n)x \dots\dots\dots (7)$$

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

Keterangan:

- T_a = Nilai ambang bawah dari periode getar struktur yang diperhitungkan (dalam detik)
- T_{max} = Nilai ambang atas dari periode getar struktur yang diperkenankan dalam analisis (dalam detik)
- C_t = Nilai konstanta empiris sebesar 0,0466 yang berlaku untuk sistem rangka beton bertulang pemikul momen
- h_n = Ukuran vertikal struktur dari titik dasar hingga bagian tertinggi bangunan (dalam meter)
- x = Faktor koreksi sebesar 0,9 yang digunakan pada sistem rangka momen beton bertulang dalam penyesuaian hasil analisis
- C_u = Koefisien maksimum 1,4 yang digunakan untuk mengendalikan nilai periode hasil perhitungan, khususnya bila $SD1 \geq 0,4$

2.5 Gaya Geser

Gaya geser dasar didefinisikan sebagai total gaya lateral yang bekerja pada dasar struktur akibat pengaruh aktivitas gempa bumi. Gaya ini kemudian didistribusikan secara vertikal ke seluruh tingkat bangunan dalam bentuk gaya gempa lateral di setiap lantai (Cornelis et al., 2014). Dalam pendekatan statik ekuivalen, besarnya gaya tersebut dipengaruhi oleh nilai berat seismik efektif (W) dan ketinggian relatif tiap lantai terhadap dasar struktur. Berat seismik efektif sendiri ditentukan dengan menjumlahkan seluruh komponen beban mati serta 25% dari beban hidup yang bekerja pada tiap lantai bangunan. (Rifandi, 2020). Gaya geser dasar akibat beban gempa (V) dapat dihitung menggunakan formula yang ditunjukkan dalam Persamaan (9).

$$V_{statik} = C_S \times W \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

- C_S = Parameter pengali seismik yang digunakan dalam menghitung besarnya gaya lateral akibat gempa, mengacu pada Pasal 7.8.1.1 dari SNI 1726:2019.
- W = esaran gaya efektif yang memperhitungkan massa bangunan dalam analisis seismik, dinyatakan dalam satuan kilonewton (kN).

Gaya geser dasar yang dihitung menggunakan pendekatan statik (Vstatik) digunakan sebagai parameter pembandingan untuk memastikan kesesuaian hasil gaya geser dasar yang diperoleh dari analisis respons spektrum. Dalam konteks ini, nilai gaya geser dinamis yang dihitung harus memenuhi batas minimum, yaitu tidak boleh lebih kecil dari 100% nilai gaya geser dasar berdasarkan pendekatan statik. Apabila hasil gaya geser dinamis lebih rendah dari batas tersebut, maka perlu diterapkan suatu faktor pengali atau skala desain, sebagaimana tercantum dalam persamaan (10).

$$\text{Faktor skala} = \frac{100\% V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \dots\dots\dots (10)$$

2.6 Penentuan dan Batasan Simpangan Antar Lantai (Drift)

Drift atau simpangan antar lantai merujuk pada selisih pergerakan horizontal antara dua lantai yang saling berdekatan dalam suatu struktur. Nilai ini dihitung berdasarkan perbedaan perpindahan pusat massa lantai atas terhadap lantai di bawahnya.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan :

- C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral.
- δ_x = Simpangan di tingkat-x yang disyaratkan pada Pasal ini, yang ditentukan analisis elastik.
- I_e = Faktor keutamaan gempa.

Sesuai SNI 1726:2019, simpangan antar lantai (Δ) harus \leq batas izin (Δ_a) ditentukan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_a)

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur bangunan non-dinding geser dari batu bata dengan maksimal empat lantai, yang elemen interiornya seperti partisi, plafon, serta sistem dinding luar telah dirancang untuk mampu menyesuaikan diri terhadap simpangan antar lantai.	0,025 h_{sx}^c	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Jenis struktur menggunakan dinding geser dari material batu bata ^d yang berperilaku seperti kantilever.	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Variasi struktur lainnya yang memanfaatkan dinding batu bata sebagai komponen pemikul gaya lateral.	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya Beragam bentuk struktur yang tidak termasuk dalam kategori sebelumnya.	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Sumber : SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1

Rujukan batas deformasi berdasarkan kinerja struktur menurut FEMA 365 dan ATC-40 tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Batasan Deformasi Berdasarkan Level Kinerja Struktur

Batasan rasio simpangan	Level Kinerja Struktur			
	IO	DC	LS	SS
Rasio simpangan total maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Rasio simpangan inelastic maksimum	0,358	0,005-0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Sumber : FEMA 2000 dan ATC 1996

Evaluasi kinerja struktur dilakukan dengan mengacu pada rasio simpangan antar lantai (drift ratio) yang dihitung saat struktur mencapai batas kondisi tertentu. Berdasarkan Tabel 2, terdapat empat klasifikasi tingkat kinerja, yakni Immediate Occupancy (IO), Damage Control (DC), Life Safety (LS), dan Collapse Prevention (CP).

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu Oktober hingga Desember 2022 dengan objek studi berupa perencanaan struktur gedung kantor Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Bengkulu yang direncanakan berlokasi di Jl. Ir. Rustandi Sugianto Km 12+225, Pulau Baai, Kota Bengkulu. Perangkat keras yang digunakan dalam proses analisis adalah komputer jinjing yang dilengkapi dengan perangkat lunak SAP2000, AutoCAD 2021, serta Microsoft Office 2019. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder, antara lain gambar perencanaan gedung kantor BPJN Bengkulu, hasil investigasi tanah, serta informasi kondisi iklim di sekitar area pembangunan. Metodologi yang diterapkan mencakup beberapa tahapan, dimulai dari pengumpulan data, pemodelan struktur, hingga proses analisis beban pada struktur tersebut.

3.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dari pihak konsultan perencana mencakup dokumen gambar teknis dan hasil investigasi tanah guna mengidentifikasi karakteristik tanah di lokasi pembangunan. Di samping itu, studi ini juga mengacu pada sejumlah standar teknis sebagai dasar perencanaan, seperti SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019.

3.2 Permodelan Struktur

Dalam penelitian ini, perangkat lunak SAP2000 dimanfaatkan untuk melakukan pemodelan struktur bangunan secara tiga dimensi.

3.3 Perhitungan Pembebanan

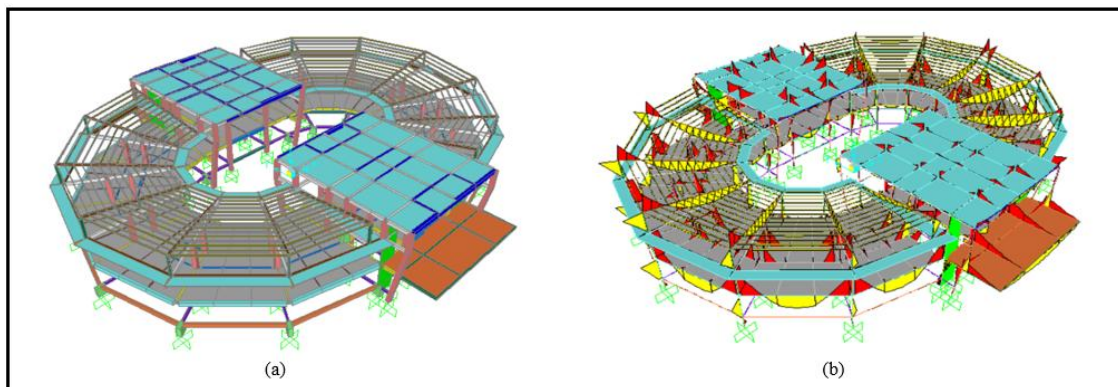
Tinjauan pustaka digunakan sebagai dasar referensi dalam pelaksanaan penelitian ini. Adapun jenis-jenis beban yang diperhitungkan meliputi:

- a. Beban Mati (*Dead Load*)
Merupakan beban tetap dari struktur itu sendiri, yaitu berat seluruh elemen bangunan yang bersifat permanen.
- b. Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)
Mengacu pada berat elemen non-struktural atau material tambahan yang terpasang pada bangunan, seperti pelapis lantai dan plafon.
- c. Beban Hidup (*Live Load*)
Beban sementara yang timbul akibat aktivitas penggunaan bangunan oleh penghuni, furnitur, dan peralatan yang dapat berpindah.
- d. Beban Gempa (*Earthquake Load*)
Merupakan gaya yang bekerja pada struktur akibat getaran tanah selama peristiwa gempa. Dalam studi ini, analisis beban gempa dilakukan menggunakan metode respons spektrum untuk model Gedung Kantor BPJN Bengkulu.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Permodelan Struktur Gedung

Gedung Kantor Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) dirancang terdiri dari dua lantai, dengan menggunakan material beton mutu $F_c' 25$ MPa serta baja tulangan tipe BjTS 420 B untuk elemen-elemen struktural seperti kolom, balok, pelat lantai, dan dinding geser. Untuk menganalisis kemungkinan gaya-gaya yang bekerja pada struktur, pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Sistem struktur yang diterapkan dalam desain gedung ini adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Struktur gedung atau pondasi dimodelkan dengan tumpuan jepit. Penggunaan beton mutu $F_c' 25$ MPa dan baja tulangan BjTS 420 B dipilih karena sesuai dengan ketentuan minimum dalam SNI 2847:2019 untuk bangunan dengan kategori risiko II. Kombinasi mutu tersebut diharapkan memberikan ketahanan struktur terhadap beban lateral gempa, khususnya pada sistem SRPMK.



Gambar.1 (a) Pemodelan Struktur 3D BPJN, (b) Hasil Analisis Pemodelan SAP 2000

4.2 Pembebanan Struktur Gedung

Struktur dibebani oleh gaya gravitasi (beban mati dan hidup sesuai SNI 1727:2020) serta beban lateral berupa gempa. Kombinasi pembebanan dihitung berdasarkan metode batas ultimit menurut SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2. Analisis menunjukkan bahwa beban gempa, terutama pada arah X, paling dominan memengaruhi gaya dalam struktur. Oleh karena itu, desain harus menitikberatkan pada kekuatan lateral dan kapasitas deformasi yang memadai.

Beban Mati

Beban mati berasal dari berat sendiri struktur seperti kolom, balok, dan pelat, yang ditentukan oleh dimensi dan berat jenis material. Adapun beban mati tambahan setiap pelat lantai sebesar $1,51 \text{ kN/m}^2$.

Beban Hidup

Beban hidup pada struktur berasal dari aktivitas pengguna dan penghuni bangunan. Untuk gedung kantor ini, nilai beban hidup mengacu pada SNI 1727:2020 dan dirinci dalam Tabel 3.

Tabel 3. Periode Fundamental Struktur

Jenis Ruangan	Beban (kN/m^2)
Ruang Kantor	$2,4 \text{ kN/m}^2$
Lobi dan Selasar	$4,79 \text{ kN/m}^2$
Koridor diatas Lantai Pertama	$3,83 \text{ kN/m}^2$
Atap	$0,96 \text{ kN/m}^2$

Sumber : SNI 1727:2020

Beban Gempa

Guncangan seismik menyebabkan struktur mengalami beban lateral yang signifikan, menjadikannya faktor krusial dalam stabilitas bangunan. Karena sifat dinamis dari beban ini, perhitungannya memerlukan pendekatan khusus yang lebih kompleks dibanding beban lainnya. Oleh karena itu, analisis struktur dilakukan secara menyeluruh untuk menjamin elemen-elemen utama mampu merespons dan menahan pengaruh gempa secara optimal. Penentuan prosedur analisis beban gempa sudah diatur pada Pasal 6.1 SNI 1726 : 2019. Hasil analisis menggunakan aplikasi Spektrum Respon Desain Indonesia 2021, diperoleh nilai percepatan batuan dasar sebesar 1,50 g untuk periode pendek 0,2 detik (SS), dan 0,60 g untuk periode 1 detik (S1). Setelah itu dilakukan Perhitungan Kategori Desain Seismik (KDS) dan Perhitungan gaya Geser Dasar Cs. Nilai Cs digunakan untuk mencari gaya geser dasar yang bekerja pada dasar struktur akibat pengaruh aktivitas gempa bumi.

4.3 Penentuan Kelas Situs Tanah

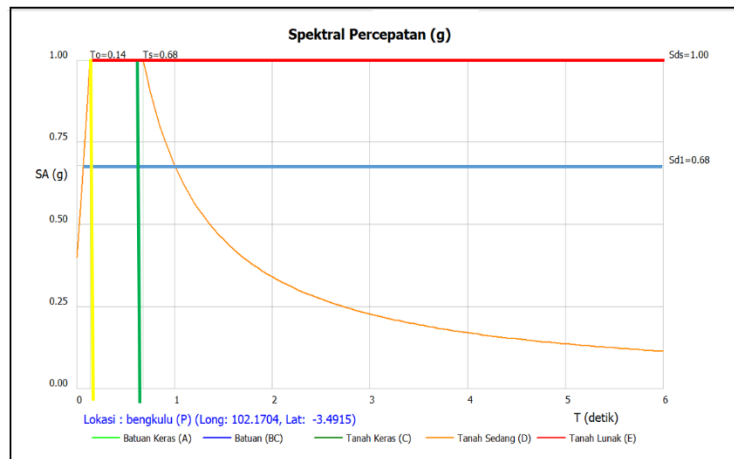
Klasifikasi kelas situs ditentukan dari parameter geoteknik seperti kecepatan gelombang geser, N-SPT, atau kuat geser tak terdrainasi hingga kedalaman 30 meter. Menurut Tabel 5 Klasifikasi Situs SNI 1726:2019 Berdasarkan nilai N-SPT sebesar 25,36 lokasi pembangunan Gedung Kantor BPJN tergolong Tanah Sedang (SD) dikarenakan menurut Tabel 5 Klasifikasi Situs SNI 1726:2019 berada pada Nilai rentang N15 sampai 50 . Kategori ini menghasilkan amplifikasi spektra yang cukup besar, sehingga struktur perlu dirancang untuk menghadapi percepatan gempa yang lebih tinggi, terutama pada periode pendek.

4.4 Desain Spektrum Gempa

Respons spektrum merupakan kurva yang menggambarkan hubungan antara percepatan maksimum struktur terhadap periode alami getarannya akibat pengaruh gempa. Penyusunan grafik spektrum ini mengacu pada ketentuan dalam SNI 1726:2019 dan menggunakan data peta sumber bahaya gempa Indonesia tahun 2021 sebagai dasar perhitungannya.

Dari hasil analisis menggunakan aplikasi Spektrum Respon Desain Indonesia 2021, diperoleh nilai percepatan batuan dasar sebesar 1,50 g untuk periode pendek 0,2 detik (SS), dan 0,60 g untuk periode 1 detik (S1). Kedua nilai ini, bersama dengan informasi klasifikasi tanah di lokasi tapak, digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan faktor amplifikasi spektrum percepatan. Secara umum, tanah yang lebih kaku memiliki faktor amplifikasi yang lebih kecil dibandingkan dengan tanah lunak (Partono et al., 2013).

Dari data yang tersedia, diperoleh nilai percepatan spektra sebesar 1,00 g untuk periode pendek (SDS) dan 0,68 g untuk periode 1 detik (SD1). Grafik pada Gambar 2 menggambarkan variasi percepatan spektra seismik terhadap waktu, yang dibagi menjadi tiga interval utama: sebelum T_0 , antara T_0 dan T_s , serta setelah T_s . Hasil perhitungan menunjukkan nilai T_0 sebesar 0,14 detik dan T_s sebesar 0,68 detik.



Gambar.2 Grafik Spektrum Respon Desain

4.5 Analisis Struktur

Partipasi Massa

Sesuai ketentuan Pasal 7.9.1 SNI 1726:2019, analisis struktur perlu mencakup jumlah mode getar yang memadai agar total kontribusi massa getar gabungan mendekati 100% dari massa keseluruhan struktur. Bila akumulasi partisipasi massa belum mencapai ambang 90%, maka jumlah mode harus ditambah hingga batas minimum tersebut tercapai. Berdasarkan hasil analisis menggunakan SAP2000 yang ditampilkan pada Tabel 4, nilai partisipasi massa gabungan mencapai 96%, sehingga dapat disimpulkan bahwa analisis modal telah mencerminkan respons dinamik struktur secara layak dan memenuhi persyaratan standar.

Tabel 4. Nilai Partisipasi Massa Arah X dan Y

Mode	Frekuensi (Hz)	Periode (detik)	Ux (%)	Uy (%)	Kumulatif UX (%)	Kumulatif UY (%)
1	2,300	0,435	0%	38%	0%	44%
2	2,588	0,376	50%	0%	53%	50%
3	2,657	0,358	2%	0%	55%	50%
-	-	-	-	-	-	-
815	57,483	0,017	0%	0%	96%	96%
817	57,547	0,017	0%	0%	96%	96%
818	57,623	0,017	0%	0%	96%	96%
819	57,650	0,017	0%	0%	96%	96%
820	57,751	0,017	0%	0%	96%	96%
821	57,826	0,017	0%	0%	96%	96%
822	57,858	0,017	0%	0%	96%	96%
823	57,918	0,017	0%	0%	96%	96%
824	57,926	0,017	0%	0%	96%	96%
825	57,967	0,017	0%	0%	96%	96%

Periode Fundamental Struktur

Periode getar hasil pemodelan ($T_x = 0,435$ dtk; $T_y = 0,376$ dtk) sedikit lebih tinggi dari nilai empiris ($T_a = 0,422$ dtk), menunjukkan struktur cukup fleksibel dan responsif terhadap gempa, terutama untuk bangunan rendah (lihat Tabel 5).

Tabel 5. Periode Fundamental Struktur

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
T_{cx}	0,376	T_{cy}	0,435
T_a	0,422	T_a	0,422
T_{max}	0,591	T_{max}	0,591
T_x	0,422	T_y	0,435

Selain itu, pengaruh periode getar terhadap beban gempa yang cukup fleksibel untuk mencegah simpangan antar-tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa yang menyebabkan pelelehan pertama, yaitu untuk menjamin kenyamanan penghunian dan membatasi kemungkinan terjadinya kerusakan struktur akibat pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, maupun kerusakan non-struktur.

Gaya Geser Dasar

Nilai berat seismik efektif (W) sebesar 38.416,65 kN diperoleh melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak SAP 2000. Berdasarkan Tabel 6, koefisien respons seismik desain (CS) yang dipakai adalah nilai maksimum 0,125, karena hasil perhitungan CS melampaui batas yang diperbolehkan. Dengan persamaan (9), gaya geser dasar dihitung sebesar 4802,08 kN, menandakan bahwa struktur harus mampu menyalurkan gaya lateral besar ke fondasi. Hal ini menjadi faktor penting dalam perancangan kolom dan dinding geser agar terhindar dari kegagalan geser, sebagaimana dijelaskan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Koefisien Seismik (C_s)

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
C_{sx} Hitung	0,1250	C_{sy} Hitung	0,1250
C_{sx} Maks	0,2015	C_{sy} Maks	0,1955
C_{sx} Min	0,0440	C_{sy} Min	0,0440
C_s Desain	0,1250	C_{sy} Desain	0,1250

Nilai CS berada diantara nilai CS min dan CS Max maka itu berarti struktur tersebut memenuhi persyaratan geser dasar seismik yang disyaratkan SNI 1726 : 2019 Pasal 7.8.1.1 dan nilai C_s yang digunakan untuk desain lebih lanjut adalah C_s hitungan itu sendiri.

Simpangan Antar Lantai

Beban lateral seperti angin dan gempa perlu diperhitungkan dalam perencanaan struktur, karena dapat menyebabkan terjadinya simpangan antar tingkat (story drift). Umumnya, simpangan ini akan

meningkat seiring bertambahnya tinggi bangunan, dengan nilai maksimum biasanya terjadi pada lantai paling atas.

Gedung Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) dirancang sebagai bangunan perkantoran dengan klasifikasi risiko II, di mana batas maksimum simpangan antar tingkat yang diperbolehkan adalah sebesar 0,025 kali tinggi tingkat di bawahnya (0,025 h_{sx}), dengan h_{sx} merupakan tinggi lantai bawah tingkat terkait. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 ditampilkan pada Tabel 7, di mana simpangan antar tingkat diambil dari nilai maksimum yang paling signifikan terhadap perilaku struktur, yaitu gaya lateral Q_x untuk arah X dan Q_y untuk arah Y.

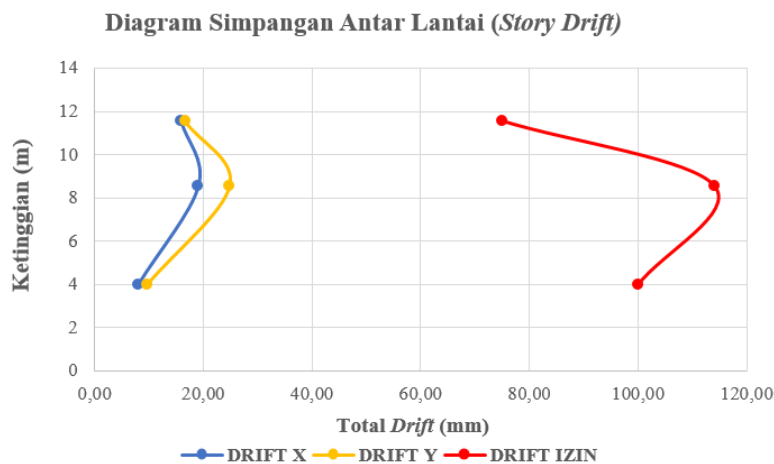
Artikel ditulis dalam paragraph *justified*, Cambria Math, 11 pt, spasi 1.15 ditulis dalam bahasa Indonesia yang baik dan benar. Dari hasil Analisis dengan menggunakan *spreadsheet* di dapatkan persamaan Garis Selubung Kuat Geser Coulomb adalah $\tau = c + \sigma \tan \phi$. (Siang, 2011).

Dan didapatkan $y = 0,025 + 0,1057x$ apabila kita rubah y menjadi τ dan x menjadi σ , maka kita dapatkan nilai kohesi (c) sama dengan 0,025 kg/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) adalah arc tan 0,1057 sama dengan 6,033°. Tabel 3 adalah hasil dari seluruh pengujian parameter fisik dan mekanik sample tanah yang siap digunakan sebagai inputan ke perangkat Geostudio. (Hohenwater & Lavicza, 2011)

Tabel 7. Perhitungan *Story Drift* Arah X dan Y

Lantai	Hsx (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δa (ijin) (mm)	Keterangan Arah X	Keterangan Arah Y
Top- Atap	3000	2,89	3,02	15,88	16,62	75,00	Oke	Oke
Atap - L.2	4563	3,46	4,52	19,05	24,88	114,08	Oke	Oke
L.2-L.1	4000	1,47	1,77	8,10	9,75	100,00	Oke	Oke
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Oke	Oke

Dalam Tabel 7, simpangan antar lantai maksimum pada kondisi batas ultimit tercatat sebesar 19,05 mm pada arah X dan 24,88 mm pada arah Y, keduanya terjadi di lantai dua. Seluruh nilai simpangan dari lantai dasar hingga atap masih berada di bawah batas maksimum yang diizinkan, sehingga struktur dinyatakan aman. Dengan demikian, Gedung Kantor Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) memenuhi standar kinerja batas ultimit sesuai SNI 1726:2019. Nilai simpangan tertinggi, 24,88 mm, jauh lebih kecil dibanding batas izin 114,08 mm, menandakan struktur memiliki tingkat kekakuan yang tinggi seperti terlihat pada Gambar 3. Kekakuan ini bermanfaat dalam mengurangi potensi kerusakan pada elemen non-struktural, namun perlu diperhatikan juga dampak getaran lokal yang mungkin mempengaruhi kenyamanan penghuni.



Gambar.3 Diagram Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Gambar 3 menampilkan grafik perbandingan rasio simpangan pada arah X dan Y terhadap batas izin. Berdasarkan nilai drift ratio yang diperoleh dan merujuk pada kriteria deformasi sesuai FEMA 365 dan ATC-40, struktur ini diklasifikasikan pada level kinerja Immediate Occupancy (IO). Penetapan ini didasarkan pada fakta bahwa nilai drift ratio kedua arah masih di bawah batas maksimum 1% yang ditetapkan untuk level IO.

5. Kesimpulan dan Saran

Pemodelan 3D struktur Gedung Kantor Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) dibuat berdasarkan dokumen perencanaan dari konsultan serta data pendukung lain. Beban yang diperhitungkan mencakup beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup sesuai dengan SNI 1727:2020. Sedangkan beban gempa dan kombinasi beban mengikuti ketentuan yang diatur dalam SNI 1726:2019. Partisipasi massa kumulatif pada arah X dan Y telah mencapai 96% hingga mode ke-825, melampaui batas minimal 90% yang dipersyaratkan. Periode getar struktur yang digunakan dalam desain adalah 0,422 detik, karena nilai periode dominan (T_c) lebih kecil daripada periode minimum (T_a) yang diharuskan.

Evaluasi simpangan antar lantai dari lantai dasar hingga atap menunjukkan bahwa nilai drift pada arah X maupun Y masih berada di bawah batas izin, sehingga dianggap aman. Berdasarkan rasio simpangan tersebut, tingkat kinerja struktur dinyatakan berada pada kategori Immediate Occupancy (IO), karena seluruh nilai drift ratio tidak melebihi ambang batas 1%.

Daftar Rujukan

- [1] Ahmad Hakim Bintang Kuncoro, Talitha Zhafira, EVALUASI SARANA PRASARANA PENUNJANG KESIAPSIAGAAN GEDUNG A UNIVERSITAS SEMARANG TERHADAP RESIKO BENCANA KEBAKARAN , *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*: Vol. 1 No. 2 (2020)
- [2] Arifin Z, Suyadi, Sebayang S. 2015. Analisis struktur gedung POP hotel terhadap beban gempa dengan metode pushover analysis. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*. 3(3):427-440.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2020. SNI 1727: 2020 *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 1726: 2019 *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [5] Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 2847: 2019 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI 2052: 2017 *Persyaratan Baja Tulangan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [7] Cornelis R, Bunganaen W, Tay BHU. 2014. Analisis perbandingan gaya geser tingkat, gaya geser dasar, perpindahan tingkat dan simpangan antar tingkat akibat beban gempa berdasarkan peraturan gempa SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. *Jurnal Teknik Sipil*. 3(2):205-216.
- [8] Federal Emergency Management Agency. 2000. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. FEMA 365. Virginia (US): American Society of Civil Engineers
- [9] Harahap MF, Fauzan M. 2019. Perilaku dinamik pada struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap beban gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 4(3):195-206.
- [10] Maulana Arif, Meilani Adriyati, Permodelan 2D Tanah Likuefaksi menggunakan Quake/W , *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*: Vol. 2 No. 2 (2021)
- [11] [PUSEN] Tim Pusat Studi Gempa Nasional. 2021. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun Jakarta (ID)*: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.