

EVALUASI STRUKTUR TAHAN GEMPA PADA BANGUNAN GEDUNG GOLD COAST OFFICE JAKARTA UTARA

***Maratul Laatifah¹**

1Fakultas Teknik, Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Kota Tasikmalaya, Indonesia

*)Penulis korespondensi: Maratul Laatifah (maratullaatifah9a12@gmail.com)

Received: 23 Agustus 2023 Revised: 07 September 2023 Accepted: 07 September 2023

Abstract— Indonesia is a country that is in an active tectonic zone because three large and small plates meet, namely the Indo-Australian plate, the Eurasian plate, and the Pacific plate, so Indonesia is a zone prone to earthquakes. The Gold Coast Office building, with coordinates $-6.102458^{\circ}.106.739800^{\circ}$, is located on Kapuk Island, North Jakarta. It has a building area of 129,862 m² and a building height of 125.8 m. The research on the evaluation of earthquake-resistant structures aims to determine the structural performance of the Gold Coast Office Building based on the parameters of base shear, mass participant ratio, and displacement. The results of the study were used to determine the performance evaluation of the structure based on service limit performance and ultimate limit performance. The dynamic analysis of the response spectrum method based on SNI 1726-2019 (2019) was used as the method of this research.

The displacement value due to the influence of the planned earthquake in the X direction max is 0.0085 m and in the Y direction max is 0.0086 m. It can be stated that the Gold Coast Office North Jakarta building is safe and meets the performance requirements for building structures based on service limit performance with requirements $(0.03/R)*H = 0.0176$ m. The displacement value due to the influence of the planned earthquake in the X direction max is 0.0418 m and in the Y direction max is 0.0419 m, so it can be stated that the Gold Coast Office North Jakarta building is safe and meets the performance requirements for building structures based on ultimate limit performance with requirements $(0.02*H) = 0.082$ m.

Keywords — Building Structure, Dynamic Response Spectrum, Earthquake, Office, Reinforced Concrete.

Abstrak— Indonesia merupakan negara yang berada pada zona tektonik yang aktif karena dipertemukan 3 lempeng yang besar dan kecil yakni lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik, sehingga Indonesia termasuk zona rawan gempa. Gedung Gold Coast Office dengan titik koordinat $-6.102458^{\circ}.106.739800^{\circ}$ berada di Pulau Kapuk Jakarta Utara, memiliki luas bangunan $\pm 129,862$ m² dengan tinggi bangunan mencapai 125,8 m. Penelitian evaluasi struktur tahan gempa bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur gedung Gold Coast Office berdasarkan parameter base shear, mass participant ratio, dan displacement. Hasil dari penelitian untuk mengetahui evaluasi kinerja struktur berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Metode yang digunakan adalah analisis dinamik metode respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2019, (2019).

Nilai displacement akibat pengaruh gempa rencana arah X didapat terbesar 0,0085 m dan arah Y didapat terbesar 0,0086 m sehingga dapat dinyatakan gedung Gold Coast Office Jakarta Utara aman dan memenuhi syarat kinerja struktur gedung berdasarkan kinerja batas layan dengan persyaratan $(0,03/R)*H = 0,0176$ m. Nilai displacement akibat pengaruh gempa rencana arah X didapat terbesar 0,0418 m dan arah Y didapat terbesar 0.0419 m sehingga dapat dinyatakan gedung Gold Coast Office Jakarta Utara aman dan memenuhi syarat kinerja struktur gedung berdasarkan kinerja batas ultimit dengan persyaratan $(0,02*H) = 0,082$ m.

Kata kunci — Struktur Bangunan Gedung, Gempa, Perkantoran, Beton Bertulang, Dinamik Respon Spektrum

1. PENDAHULUAN

Indonesia negara rawan gempa karena dipertemukan 3 lempeng, yakni lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik (Sumber: BMKG). Gempa bumi adalah getaran bumi yang dihasilkan oleh percepatan energi yang dilepaskan, energi ini menyebar ke segala arah dari pusat sumbernya (Lutgens, Frederick K et all., 1982). Pendekatan struktur mengikuti pedoman yang benar dan memasukan parameter gempa rencana dalam mendirikan bangunan sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019. Gedung *Gold Coast Office* berfungsi sebagai gedung perkantoran, dibangun tahun 2016 di Jl. Pantai Indah Kapuk, Kamal Muara, Kec. Penjaringan, Kota Jakarta Utara, memiliki dua tower yakni tower *Liberty* dan tower *Eiffel*. Bangunan yang sudah berdiri umumnya sudah direncanakan terhadap beban gempa bumi namun dengan perkembangan zaman dan penyempurnaan peraturan yang berlaku dilakukan evaluasi pada struktur gedung tahan gempa pada bangunan gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara sesuai peraturan yang terbaru. Struktur tahan gempa merupakan struktur yang mampu bertahan dari beban gravitasi dan beban gempa yang terjadi secara tiba-tiba dengan intensitas yang berbeda.

Dari penjelasan yang sudah dipaparkan akan dilakukan evaluasi pada gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara untuk mengetahui kelayakan struktur menggunakan analisis dinamik metode respon spektrum (*spectrum resposns*) sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan. Untuk mengetahui kelayakan kinerja struktur berdasarkan kinerja struktur batas layan dan kinerja struktur batas ultimit.

1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah mengevaluasi kekuatan dan keamanan struktur tahan gempa pada gedung *Gold Coast Office* menggunakan analisis dinamik metode respon spektrum, mengidentifikasi kinerja struktur berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit pada bangunan gedung *Gold Coast Office*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kekuatan dan keamanan struktur tahan gempa pada bangunan gedung *Gold Coast Office* menggunakan analisis dinamik metode respon spektrum, mengidentifikasi kinerja struktur berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit pada bangunan gedung *Gold Coast Office*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

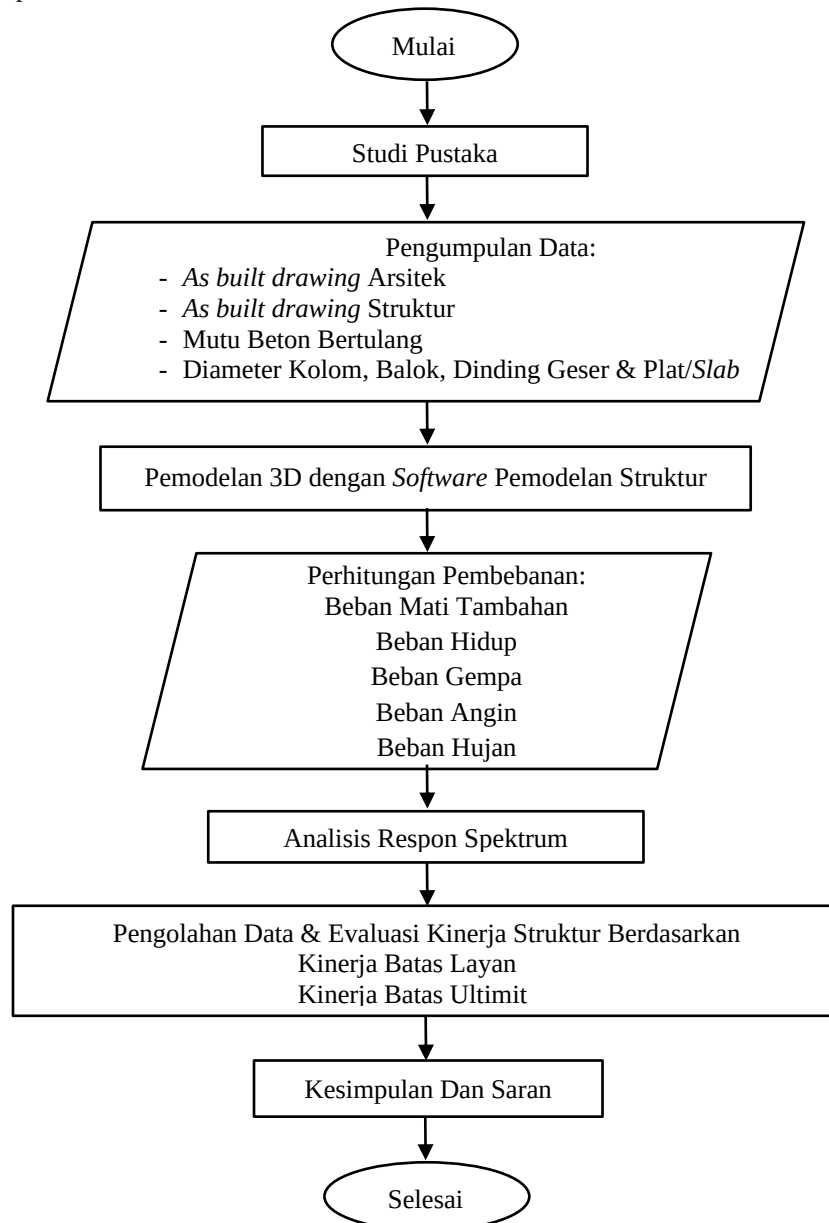
Lokasi penelitian adalah gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara yang berfungsi sebagai Gedung perkantoran, dengan titik koordinat -6,102458°.106,739800° berada di Jalan Pantai Indah Kapuk, RT.6/RW.2, Kamal Muara, Kec. Penjaringan, Kota Jakarta Utara, DKI Jakarta 14470, titik lokasi penelitian pada *Google Earth* pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: *Google Earth*)

2.2 Diagram Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan meng-input data *as built drawing* ke *software* pemodelan struktur dengan diagram alir seperti **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian (Sumber: Dokumen Pribadi)
Sumber : Dokumen Pribadi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Bangunan Gedung

Tabel 1. Data Bangunan Gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara (Sumber: PT Pulau Intan)

No.	Uraian	Data Bangunan
1.	Nama Gedung	: Gedung <i>Gold Coast Office</i>
2.	Fungsi Bangunan	: Perkantoran
3.	Tinggi Bangunan	: $\pm 125,8$ m
4.	<i>Tower</i>	: <i>Tower Liberty & Tower Eiffel</i>
5.	Luas Bangunan	: $\pm 129,862$ m ²
6.	Jenis Struktur	: Struktur Beton Bertulang
7.	Sistem Struktur	: Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan
8.	Jenis Tanah	: Tanah Sedang (diasumsikan)

3.2 Spesifikasi Material

1. Mutu Beton (f_c')

Tabel 2. Mutu Beton Gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara (Sumber: PT. Pulau Intan)

No.	Uraian	Floor	Mutu Beton
1.	Kolom (<i>Columb</i>) & Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	• Basement – 12 th FL	45 MPa
		• 12 th FL - <i>Rooftop</i>	35 MPa
2.	Balok (<i>Girder</i>) & Plat (<i>Slab</i>)	• Basement - <i>Rooftop</i>	35 MPa

Berat jenis beton = $2,4$ t/m³

Modulus Elastisitas Beton = $4700 \times \sqrt{f_c'}$

2. Mutu Baja Tulangan Pokok (f_y')
 - $\geq$ D10 BJTD 40 f_y 400 MPa
 - $<$ D10 BJTP 24 f_y 240 Mpa

3.3 Data Elemen Struktur Gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara

Tabel 3. Diameter Kolom (mm) (Sumber: PT Pulau Intan)

850 x 850	900 x 900	950 x 950	1100 x 1100	1000 x 800	1000 x 1000
1100 x 1000	1300 x 1000	1400 x 1000	900 x 1000	1000 x 1000	1000 x 1200
1000 x 1300	1200 x 1000	1300 x 1000	1000 x 1100	1000 x 1200	1000 x 1300
800 x 800	1050 x 1050	1200 x 1200	1200 x 800	1200 x 1000	1500 x 1000
1600 x 1000	1700 x 1000	800 x 800	800 x 1000	600 x 600	800 x 1200
1000 x 1400	1000 x 1500				

Tabel 4. Diameter Dinding Geser (mm)

300	350	450	500	250	250
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabel 5. Diameter Balok (mm)

400 x 800	400 x 850	500 x 850	400 x 750	500 x 750	600 x 1000	600 x 850
350 x 900	250 x 600	250 x 400	350 x 700	500 x 800	300 x 600	350 x 700
400 x 700	250 x 500	350 x 700	350 x 600	300 x 500	150 x 300	350 x 500
350 x 800						

Tabel 6. Tebal Plat Lantai (mm)

120	135	150	200
-----	-----	-----	-----

3.4 Perhitungan Pembebanan

1. Beban Mati Tambahan (*Super Imposed Dead Load*)

Tabel 7. Beban Mati Tambahan (Sumber: SKBI 1987)

Nomor	Komponen Beban	Beban kN/m^2
1.	Keramik + Spesi + Pasir	1,05
2.	Instalasi MEP	0,25
3.	Plafond + Rangka	0,18
Total Beban Pelat Lantai:		1,48
1.	Keramik + Spesi + Pasir	1,05
2.	<i>Waterproofing</i>	0,28
3.	Instalasi MEP	0,15
Total Beban Pelat Atap Untuk Tempat Berkumpul:		1,48
1.	Spesi + Pasir	0,81
2.	<i>Waterproofing</i>	0,28
3.	Instalasi MEP	0,15
Total Beban Pelat Atap:		1,236

2. Beban Hidup

Tabel 8. Beban Hidup (Sumber: SNI 1727-2020)

Nomor	Komponen Beban	Beban (kN/m^2)
1.	Gedung Perkantoran	
	- Kantor	2,40
	- Lobi atau Koridor di lantai pertama	4,79
	- Lobi atau Koridor di atas lantai pertama	3,83
2.	Dudukan Mesin Elevator	1,33
3.	Tangga Permanen	1,33
4.	Garasi / Parkir	
	- Mobil penumpang saja	1,92
5.	Atap atau <i>Rooftop</i>	
	- Atap untuk tempat berkumpul	4,70
	- Atap Datar	0,96

3. Beban Gempa

Cipta karya Spektrum Respon Desain Indonesia yang dapat diakses melalui link <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2010/>. Lokasi penelitian gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara dengan titik koordinat $-6,102458^\circ.106,739800^\circ$.

Kategori resiko bangunan II, parameter percepatan gempa nilai $S_s = 0,756682$ g, $S_1 = 0,377273$ g, parameter *factor amplifikasi* nilai $F_a = 1,197327$, $F_v = 1,922727$, Koefisien situs dan parameter respon spektra $S_{ms} = 0,905996$ g, $S_{m1} = 0,725393$ g. parameter percepatan spektra desain $S_{DS} = 0,603997$ g, $S_{D1} = 0,483596$ g.

4. Beban Angin

Tabel 9. Beban Angin (Sumber: SNI 1727-2020)

Arah angin	H (m)	V m^2	Kz	Kd	Kz _t	SPBAU _{qh} kN/m^2	G	cpi Tek. inter	cpf Tek. Eks	Gcpi	Gcpf	P kN/m^2
Depan	0	40.9	0.57	0.95	1	0.56	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.29
	6.1	40.9	0.76	0.95	1	0.74	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.39
	9.3	40.9	0.76	0.95	1	0.74	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.39
	12.5	40.9	0.81	0.95	1	0.79	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.42
	15.7	40.9	0.89	0.95	1	0.87	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.46
	18.9	40.9	0.89	0.95	1	0.87	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.46
	22.8	40.9	0.93	0.95	1	0.91	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.48
	26.9	40.9	0.99	0.95	1	0.96	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.51
	31	40.9	0.99	0.95	1	0.96	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.51
	35.1	40.9	1.04	0.95	1	1.01	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.53
	39.2	40.9	1.09	0.95	1	1.06	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.56
	43.3	40.9	1.09	0.95	1	1.06	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.56
	47.4	40.9	1.13	0.95	1	1.10	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.58
	51.5	40.9	1.17	0.95	1	1.14	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.60
	55.6	40.9	1.17	0.95	1	1.14	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.60
Depan	59.7	40.9	1.2	0.95	1	1.17	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.62
	63.8	40.9	1.2	0.95	1	1.17	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.62
	67.9	40.9	1.2	0.95	1	1.17	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.62
	72	40.9	1.28	0.95	1	1.25	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.66
	76.1	40.9	1.28	0.95	1	1.25	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.66
	80.2	40.9	1.28	0.95	1	1.25	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.66
	84.3	40.9	1.28	0.95	1	1.25	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.66
	88.4	40.9	1.35	0.95	1	1.32	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.69
	92.5	40.9	1.35	0.95	1	1.32	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.69
	96.6	40.9	1.35	0.95	1	1.32	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.69
	100.7	40.9	1.35	0.95	1	1.32	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.69
	104.8	40.9	1.41	0.95	1	1.37	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.72
	108.9	40.9	1.41	0.95	1	1.37	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.72
	113	40.9	1.41	0.95	1	1.37	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.72
	117.1	40.9	1.41	0.95	1	1.37	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.72
Belakang X Belakang Y Samping	121.2	40.9	1.47	0.95	1	1.43	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.75
	125.8	40.9	1.47	0.95	1	1.43	0.85	0.18	0.8	0.153	0.68	0.75
	125.8	40.9	1.47	0.95	1	1.43	0.85	0.18	-0.32	0.153	-0.27	-0.61
	125.8	40.9	1.47	0.95	1	1.43	0.85	0.18	-0.5	0.153	-0.43	-0.83
	125.8	40.9	1.47	0.95	1	1.43	0.85	0.18	-0.7	0.153	-0.59	-1.07

5. Beban Hujan (Sumber: SNI 1727-2020)

$$R = 0,0098 (d_s + d_h)$$

Keterangan:

R : Beban Air Hujan (kN/m^2)

d_s : Kedalaman air pada atap (mm)

d_h : Tambahan kedalaman air pada atap (mm)

$$R = 0,0098 (d_s + d_h)$$

$$= 0,0098 (50 + 50)$$

$$= 0.98 \text{ kN/m}^2$$

3.5 Analisis Respon Spektrum

Cara *input* data respon spektrum adalah dengan cara, klik **Define – Function – Response Spectrum** pada *option* di **chose function type to add** – pilih **ASCE7-16** (ASCE7-16 pedoman yang mengacu pada SNI 1726-2019).

3.6 Kombinasi Pembebanan

Dari hasil analisis desain respon spektrum didapatkan nilai SDS sebesar 0,603997 g serta $\rho = 1,3$ dengan kategori resiko II dan termasuk KDS tipe D. Berikut kombinasi pembebanan sesuai SNI 1726-2019.

1. Combo 1 : 1,4D
2. Combo 2 : 1,2D + 1,6L + 0,5 Lr
3. Combo 3 : 1,2D + 1,6L + 0,5 R
4. Combo 4 : 1,2D + 1,0 L + 1,6 Lr
5. Combo 5 : 1,2D + 1,6 Lr + 0,5 Wh
6. Combo 6 : 1,2D + 1,6Lr + 0,5 Wv
7. Combo 7 : 1,2D + 1,6 Lr + 0,375 Wh + 0,375 Wv
8. Combo 8 : 1,2D + 1,0 L + 1,6 R
9. Combo 9 : 1,2D + 1,6 R + 0,5 Wh
10. Combo 10 : 1,2D + 1,6 R + 0,5 Wv
11. Combo 11 : 1,2D + 1,6 R + 0,375 Wh + 0,375 Wv
12. Combo 12 : 1,2D + 1,0 L + 0,5 Lr + 1,0 Wh
13. Combo 13 : 1,2D + 1,0 L + 0,5 Lr + 1,0 Wv
14. Combo 14 : 1,2D + 1,0 L + 0,5 Lr + 0,75 Wh + 0,75 Wv
15. Combo 15 : 1,2D + 1,0 L + 0,5 R + 1,0 Wh
16. Combo 16 : 1,2D + 1,0 L + 0,5 R + 1,0 Wv
17. Combo 17 : 1,2D + 1,0 L + 0,5 R + 0,75 Wh + 0,75 Wv
18. Combo 18 : 0,9D + 1,0 Wh
19. Combo 19 : 0,9D + 1,0 Wv
20. Combo 20 : 0,9D + 0,75 Wh + 0,75 Wv
21. Combo 21 : 1,32D + 1,0 L + 1,3 Eh + 0,39 Ev
22. Combo 22 : 1,32D + 1,0 L + 1,3 Eh - 0,39 Ev
23. Combo 23 : 1,32D + 1,0 L - 1,3 Eh + 0,39 Ev
24. Combo 24 : 1,32D + 1,0 L - 1,3 Eh - 0,39 Ev
25. Combo 25 : 1,32D + 1,0 L + 0,39 Eh + 1,3 Ev
26. Combo 26 : 1,32D + 1,0 L - 0,39 Eh + 1,3 Ev
27. Combo 27 : 1,32D + 1,0 L + 0,39 Eh - 1,3 Ev
28. Combo 28 : 1,32D + 1,0 L - 0,39 Eh - 1,3 Ev
29. Combo 29 : 0,78D + 1,3Eh + 0,39 Ev
30. Combo 30 : 0,78D + 1,3Eh - 0,39 Ev
31. Combo 31 : 0,78D - 1,3Eh + 0,39 Ev
32. Combo 32 : 0,78D - 1,3Eh - 0,39 Ev
33. Combo 33 : 0,78D + 0,39 Eh + 1,3Ev
34. Combo 34 : 0,78D - 0,39 Eh + 1,3Ev
35. Combo 35 : 0,78D + 0,39 Eh - 1,3Ev

36. Combo 36 : 0,78D - 0,39 Eh - 1,3Ev

Keterangan:

D	: Beban Mati	atau	<i>Dead Load</i>
L	: Beban Hidup	atau	<i>Live Load</i>
L_r	: Beban Atap	atau	<i>Roof Live</i>
R	: Beban Hujan	atau	<i>Rain Load</i>
E_h	: Beban Gempa arah X	atau	<i>Earthquake Load Horizontal</i>
E_v	: Beban Gempa arah Y	atau	<i>Earthquake Load Vertikal</i>
W	: Beban Angin	atau	<i>Wind Load</i>

3.7 Pengecekan Base Shear & Mass Participant Ratio

1. Base Shear

Nilai *Base Shear* dapat dilihat pada program *software* pemodelan struktur dengan cara **Display – Show Table – Result – Base Reactions – Table Base Reactions**.

Tabel 10. Nilai *Base Shear*

	Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Kontrol
Arah X	50.639,63	19.816,83	Tidak Memenuhi
Arah Y	50.639,63	20.635,07	Tidak Memenuhi

(Sumber: *Software* Pemodelan Struktur)

Berdasarkan SNI 1726-2019, (2019) pasal 7.9.4.1.1 harus dilakukan penskalaan gaya, berikut perhitungan *scale factor*.

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala Arah X} &= \frac{100\%V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \\ &= \frac{50.639,63}{19.816,83} \\ &= 2.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala Arah Y} &= \frac{100\%V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \\ &= \frac{50.639,63}{20.635,07} \\ &= 2.5 \end{aligned}$$

Tabel 11. Nilai *Base Shear* setelah dilakukan *Scale Factor*

	Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Kontrol
Arah X	50.639,63	51.523,77	Memenuhi
Arah Y	50.639,63	51.587,76	Memenuhi

(Sumber: *Software* Pemodelan Struktur)

Berdasarkan hasil analisis terbaru didapatkan nilai gaya geser dasar *Vdinamik* lebih besar dari *Vstatik* atau sama sehingga telah memenuhi gaya geser dasar yang disyaratkan peraturan SNI 1726-2019.

2. Mass Participant Ratio

Nilai *mass participant ratio* dapat dilihat pada program *software* pemodelan struktur dengan cara **Display – Show Table – Result – Modal Mass Participating Ratio**.

Tabel 12. Nilai *Mass Participant Ratio*

Case	Mode	Periode (Sec)	SUM UX	SUM UY
Modal	140	0.021	1	0.9999
Modal	141	0.021	1	1

(Sumber: *Software* Pemodelan Struktur)

Pada *software* pemodelan struktur didapat hasil nilai partisipasi massa mencapai 100% untuk arah-x dan arah-y terdapat pada mode 141 sehingga sudah memenuhi syarat.

3.8 Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Nilai *displacement* antar tingkat pada *software* pemodelan struktur adalah dengan cara **Display – Show Tables – Results – Displacement – Diaphragm – Center Of Mass Displacement**.

Tabel 13. Simpangan antar lantai gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara

Lantai	Load Case	X direct	Δs arah (m)	Load Case	Y Direct	Δs arah (m)
25th FL	Ex Max	X	0.23504	Ey Max	Y	0.23300
24th FL	Ex Max	X	0.22652	Ey Max	Y	0.22445
23rd FL	Ex Max	X	0.21831	Ey Max	Y	0.21611
22nd FL	Ex Max	X	0.21014	Ey Max	Y	0.20777
21st FL	Ex Max	X	0.20215	Ey Max	Y	0.19949
20th FL	Ex Max	X	0.19379	Ey Max	Y	0.19100
19th FL	Ex Max	X	0.18510	Ey Max	Y	0.18228
18th FL	Ex Max	X	0.17648	Ey Max	Y	0.17359
17th FL	Ex Max	X	0.16777	Ey Max	Y	0.16485
16th FL	Ex Max	X	0.15902	Ey Max	Y	0.15608
15th FL	Ex Max	X	0.15021	Ey Max	Y	0.14729
14th FL	Ex Max	X	0.14130	Ey Max	Y	0.13847
13th FL	Ex Max	X	0.13237	Ey Max	Y	0.12966
12th FL	Ex Max	X	0.12323	Ey Max	Y	0.12082
11th FL	Ex Max	X	0.11464	Ey Max	Y	0.11229
10th FL	Ex Max	X	0.10582	Ey Max	Y	0.10358
9th FL	Ex Max	X	0.09704	Ey Max	Y	0.09496
8th FL	Ex Max	X	0.08840	Ey Max	Y	0.08653
7th FL	Ex Max	X	0.07987	Ey Max	Y	0.07823
6th FL	Ex Max	X	0.07142	Ey Max	Y	0.07002
5th FL	Ex Max	X	0.06314	Ey Max	Y	0.06198
4th FL	Ex Max	X	0.05514	Ey Max	Y	0.05414
3rd FL	Ex Max	X	0.04729	Ey Max	Y	0.04654
2nd FL	Ex Max	X	0.03977	Ey Max	Y	0.03924
1st FL	Ex Max	X	0.03264	Ey Max	Y	0.03228
6th P	Ex Max	X	0.02501	Ey Max	Y	0.02683
5th P	Ex Max	X	0.01947	Ey Max	Y	0.02063
4th P	Ex Max	X	0.01524	Ey Max	Y	0.01622
3rd P	Ex Max	X	0.01140	Ey Max	Y	0.01219
2nd p	Ex Max	X	0.00803	Ey Max	Y	0.00855
GRN	Ex Max	X	0.00515	Ey Max	Y	0.00551

(Sumber: *Software* Pemodelan Struktur)

3.9 Evaluasi Kinerja Struktur

1. Evaluasi Kinerja Struktur Batas Layan

Kinerja batas layan sesuai peraturan SNI 1726-2002 pasal 8.1 dengan persyaratan batas layan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta}{FS} \leq \frac{0,03}{R} \times h_i \leq 30 \text{ mm atau } 0,030 \text{ m}$$

Keterangan:

R : Koefisien modifikasi yang didapatkan dari SNI 1726-2019, dengan nilai $I_e = 1.0$ dan $R = 7$ karena

tipe struktur merupakan Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan.

Δ : Simpangan antar tingkat

FS : Faktor skala ($0.8 \cdot V_1/V_t \geq 1$) diambil nilai minimum = 1

h_i : Tinggi tingkat

Tabel 14. Kinerja Struktur Batas Layan *Direction X*

Lantai (Story)	Load Case/Comb	Tingkat Height m	Δs arah X m	Δs arah tingkat X m	Delta Izin Δa ($0.03/R \cdot H$) m	CEK
25th FL	Ex Max	4.6	0.2350	0.0085	0.0197	Aman
24th FL	Ex Max	4.1	0.2265	0.0082	0.0176	Aman
23rd FL	Ex Max	4.1	0.2183	0.0082	0.0176	Aman
22nd FL	Ex Max	4.1	0.2101	0.0080	0.0176	Aman
21st FL	Ex Max	4.1	0.2022	0.0084	0.0176	Aman
20th FL	Ex Max	4.1	0.1938	0.0087	0.0176	Aman
19th FL	Ex Max	4.1	0.1851	0.0086	0.0176	Aman
18th FL	Ex Max	4.1	0.1765	0.0087	0.0176	Aman
17th FL	Ex Max	4.1	0.1678	0.0088	0.0176	Aman
16th FL	Ex Max	4.1	0.1590	0.0088	0.0176	Aman
15th FL	Ex Max	4.1	0.1502	0.0089	0.0176	Aman
14th FL	Ex Max	4.1	0.1413	0.0089	0.0176	Aman
13th FL	Ex Max	4.1	0.1324	0.0091	0.0176	Aman
12th FL	Ex Max	4.1	0.1232	0.0086	0.0176	Aman
11th FL	Ex Max	4.1	0.1146	0.0088	0.0176	Aman
10th FL	Ex Max	4.1	0.1058	0.0088	0.0176	Aman
9th FL	Ex Max	4.1	0.0970	0.0086	0.0176	Aman
8th FL	Ex Max	4.1	0.0884	0.0085	0.0176	Aman
7th FL	Ex Max	4.1	0.0799	0.0084	0.0176	Aman
6th FL	Ex Max	4.1	0.0714	0.0083	0.0176	Aman
5th FL	Ex Max	4.1	0.0631	0.0080	0.0176	Aman
4th FL	Ex Max	4.1	0.0551	0.0079	0.0176	Aman
3rd FL	Ex Max	4.1	0.0473	0.0075	0.0176	Aman
2nd FL	Ex Max	4.1	0.0398	0.0071	0.0176	Aman
1st FL	Ex Max	4.1	0.0326	0.0076	0.0176	Aman
6th P	Ex Max	3.9	0.0250	0.0055	0.0167	Aman
5th P	Ex Max	3.2	0.0195	0.0042	0.0137	Aman
4th P	Ex Max	3.2	0.0152	0.0038	0.0137	Aman
3rd P	Ex Max	3.2	0.0114	0.0034	0.0137	Aman
2nd p	Ex Max	3.2	0.0080	0.0029	0.0137	Aman
GRN	Ex Max	6.1	0.0052	0.0052	0.0261	Aman

(Sumber: Data Penelitian)

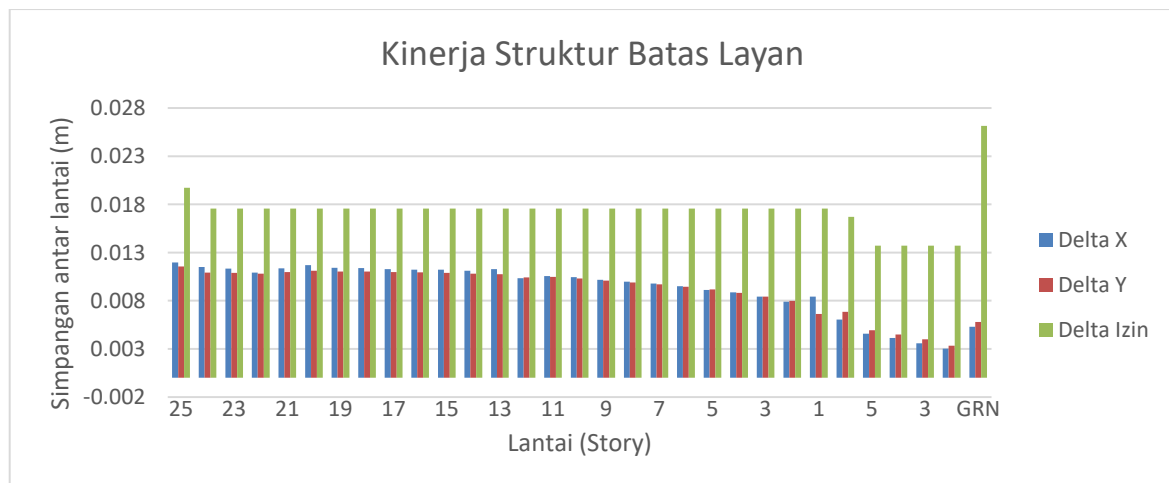
Tabel 15. Kinerja Struktur Batas Layan *Direction Y*

Lantai (Story)	Load Case/Combo	Tingkat Height m	Δs arah Y m	Δs arah tingkat Y m	Delta Izin Δa ($0.03/R \cdot H$) m	CEK
25th FL	Ey Max	4.6	0.2330	0.0086	0.0197	Aman
24th FL	Ey Max	4.1	0.2244	0.0083	0.0176	Aman
23rd FL	Ey Max	4.1	0.2161	0.0083	0.0176	Aman
22nd FL	Ey Max	4.1	0.2078	0.0083	0.0176	Aman
21st FL	Ey Max	4.1	0.1995	0.0085	0.0176	Aman
20th FL	Ey Max	4.1	0.1910	0.0087	0.0176	Aman
19th FL	Ey Max	4.1	0.1823	0.0087	0.0176	Aman
18th FL	Ey Max	4.1	0.1736	0.0087	0.0176	Aman

Lantai (Story)	Load Case/Combo	Tingkat Height m	Δs arah Y m	Δs arah tingkat Y m	Delta Izin Δa (0.03/R*H) m	CEK
17th FL	Ey Max	4.1	0.1648	0.0088	0.0176	Aman
16th FL	Ey Max	4.1	0.1561	0.0088	0.0176	Aman
15th FL	Ey Max	4.1	0.1473	0.0088	0.0176	Aman
14th FL	Ey Max	4.1	0.1385	0.0088	0.0176	Aman
13th FL	Ey Max	4.1	0.1297	0.0088	0.0176	Aman
12th FL	Ey Max	4.1	0.1208	0.0085	0.0176	Aman
11th FL	Ey Max	4.1	0.1123	0.0087	0.0176	Aman
10th FL	Ey Max	4.1	0.1036	0.0086	0.0176	Aman
9th FL	Ey Max	4.1	0.0950	0.0084	0.0176	Aman
8th FL	Ey Max	4.1	0.0865	0.0083	0.0176	Aman
7th FL	Ey Max	4.1	0.0782	0.0082	0.0176	Aman
6th FL	Ey Max	4.1	0.0700	0.0080	0.0176	Aman
5th FL	Ey Max	4.1	0.0620	0.0078	0.0176	Aman
4th FL	Ey Max	4.1	0.0541	0.0076	0.0176	Aman
3rd FL	Ey Max	4.1	0.0465	0.0073	0.0176	Aman
2nd FL	Ey Max	4.1	0.0392	0.0070	0.0176	Aman
1st FL	Ey Max	4.1	0.0323	0.0054	0.0176	Aman
6th P	Ey Max	3.9	0.0268	0.0062	0.0167	Aman
5th P	Ey Max	3.2	0.0206	0.0044	0.0137	Aman
4th P	Ey Max	3.2	0.0162	0.0040	0.0137	Aman
3rd P	Ey Max	3.2	0.0122	0.0036	0.0137	Aman
2nd p	Ey Max	3.2	0.0085	0.0030	0.0137	Aman
GRN	Ey Max	6.1	0.0055	0.0055	0.0261	Aman

(Sumber: Data Penelitian)

Berdasarkan data rekapitulasi perhitungan kinerja struktur batas layan pada **Tabel 14** dan **Tabel 15** berikut tampilan grafis dibuat sebagaimana pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Evaluasi Kinerja Struktur Batas Layan (Sumber: Data Penelitian)

Berdasarkan **Gambar 3** menunjukkan nilai Δs antar tingkat arah X maupun Y kurang dari nilai yang diisyaratkan berdasarkan persamaan $(0,03/R)*H$ sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara aman berdasarkan kinerja batas layan.

2. Evaluasi Kinerja Struktur Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit sesuai SNI 1726-2002 dengan persyaratan sebagai berikut:

$$\xi \times \Delta \leq 0.02 \cdot h_i$$

Keterangan:

ξ : Faktor pengali

Δ : Simpangan antar tingkat

h_i : Tinggi tingkat

Untuk Struktur Gedung tidak beraturan

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{0.7.R}{FaktorSkala} \\ &= \frac{0.7.7}{1} \\ &= 4.9\end{aligned}$$

Tabel 16. Kinerja Struktur Batas Ultimit *Direction X*

Lantai (Story)	Load Case/Combo	Tingkat m	Δs arah X m	Δs arah tingkat X m	$\xi \cdot \Delta s$ arah tingkat X m	Delta Izin Δa (0.02*H) mm	CEK
25th FL	Ex Max	4.6	0.2350	0.0085	0.0418	0.0920	Aman
24th FL	Ex Max	4.1	0.2265	0.0082	0.0402	0.0820	Aman
23rd FL	Ex Max	4.1	0.2183	0.0082	0.0400	0.0820	Aman
22nd FL	Ex Max	4.1	0.2101	0.0080	0.0391	0.0820	Aman
21st FL	Ex Max	4.1	0.2022	0.0084	0.0410	0.0820	Aman
20th FL	Ex Max	4.1	0.1938	0.0087	0.0426	0.0820	Aman
19th FL	Ex Max	4.1	0.1851	0.0086	0.0422	0.0820	Aman
18th FL	Ex Max	4.1	0.1765	0.0087	0.0427	0.0820	Aman
17th FL	Ex Max	4.1	0.1678	0.0088	0.0429	0.0820	Aman
16th FL	Ex Max	4.1	0.1590	0.0088	0.0432	0.0820	Aman
15th FL	Ex Max	4.1	0.1502	0.0089	0.0436	0.0820	Aman
14th FL	Ex Max	4.1	0.1413	0.0089	0.0438	0.0820	Aman
13th FL	Ex Max	4.1	0.1324	0.0091	0.0448	0.0820	Aman
12th FL	Ex Max	4.1	0.1232	0.0086	0.0421	0.0820	Aman
11th FL	Ex Max	4.1	0.1146	0.0088	0.0432	0.0820	Aman
10th FL	Ex Max	4.1	0.1058	0.0088	0.0430	0.0820	Aman
9th FL	Ex Max	4.1	0.0970	0.0086	0.0424	0.0820	Aman
8th FL	Ex Max	4.1	0.0884	0.0085	0.0418	0.0820	Aman
7th FL	Ex Max	4.1	0.0799	0.0084	0.0414	0.0820	Aman
6th FL	Ex Max	4.1	0.0714	0.0083	0.0406	0.0820	Aman
5th FL	Ex Max	4.1	0.0631	0.0080	0.0392	0.0820	Aman
4th FL	Ex Max	4.1	0.0551	0.0079	0.0385	0.0820	Aman
3rd FL	Ex Max	4.1	0.0473	0.0075	0.0368	0.0820	Aman
2nd FL	Ex Max	4.1	0.0398	0.0071	0.0349	0.0820	Aman
1st FL	Ex Max	4.1	0.0326	0.0076	0.0374	0.0820	Aman
6th P	Ex Max	3.9	0.0250	0.0055	0.0272	0.0780	Aman
5th P	Ex Max	3.2	0.0195	0.0042	0.0207	0.0640	Aman
4th P	Ex Max	3.2	0.0152	0.0038	0.0188	0.0640	Aman
3rd P	Ex Max	3.2	0.0114	0.0034	0.0165	0.0640	Aman
2nd p	Ex Max	3.2	0.0080	0.0029	0.0141	0.0640	Aman
GRN	Ex Max	6.1	0.0052	0.0039	0.0191	0.1220	Aman

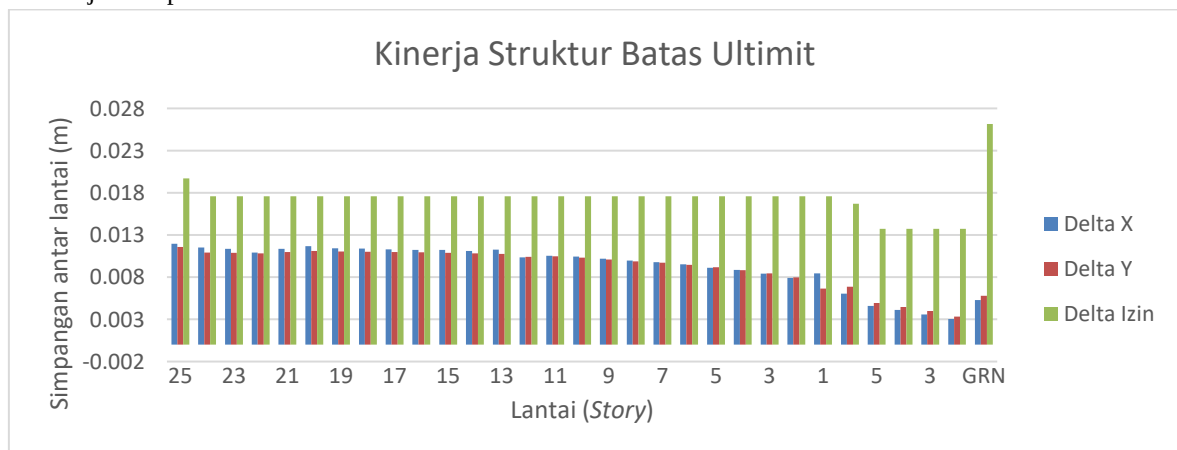
(Sumber: Data Penelitian)

Tabel 17. Kinerja Struktur Batas Ultimit *Direction Y*

Lantai (Story)	Load Case/Combo	Tingkat m	Δs arah Y m	Δs arah tingkat X m	$\delta \cdot \Delta s$ arah tingkat X m	Delta Izin Δa (0.02*H) m	CEK
25th FL	Ey Max	4.6	0.2330	0.0086	0.0419	0.0920	Aman
24th FL	Ey Max	4.1	0.2244	0.0083	0.0409	0.0820	Aman
23rd FL	Ey Max	4.1	0.2161	0.0083	0.0409	0.0820	Aman
22nd FL	Ey Max	4.1	0.2078	0.0083	0.0405	0.0820	Aman

Lantai (Story)	Load Case/Combo	Tingkat m	Δs arah Y m	Δs arah tingkat X m	$\delta \cdot \Delta s$ arah tingkat X m	Delta Izin Δa (0.02*H) m	CEK
21st FL	Ey Max	4.1	0.1995	0.0085	0.0416	0.0820	Aman
20th FL	Ey Max	4.1	0.1910	0.0087	0.0427	0.0820	Aman
19th FL	Ey Max	4.1	0.1823	0.0087	0.0426	0.0820	Aman
18th FL	Ey Max	4.1	0.1736	0.0087	0.0429	0.0820	Aman
17th FL	Ey Max	4.1	0.1648	0.0088	0.0430	0.0820	Aman
16th FL	Ey Max	4.1	0.1561	0.0088	0.0431	0.0820	Aman
15th FL	Ey Max	4.1	0.1473	0.0088	0.0432	0.0820	Aman
14th FL	Ey Max	4.1	0.1385	0.0088	0.0432	0.0820	Aman
13th FL	Ey Max	4.1	0.1297	0.0088	0.0433	0.0820	Aman
12th FL	Ey Max	4.1	0.1208	0.0085	0.0418	0.0820	Aman
11th FL	Ey Max	4.1	0.1123	0.0087	0.0427	0.0820	Aman
10th FL	Ey Max	4.1	0.1036	0.0086	0.0422	0.0820	Aman
9th FL	Ey Max	4.1	0.0950	0.0084	0.0413	0.0820	Aman
8th FL	Ey Max	4.1	0.0865	0.0083	0.0407	0.0820	Aman
7th FL	Ey Max	4.1	0.0782	0.0082	0.0402	0.0820	Aman
6th FL	Ey Max	4.1	0.0700	0.0080	0.0394	0.0820	Aman
5th FL	Ey Max	4.1	0.0620	0.0078	0.0384	0.0820	Aman
4th FL	Ey Max	4.1	0.0541	0.0076	0.0372	0.0820	Aman
3rd FL	Ey Max	4.1	0.0465	0.0073	0.0358	0.0820	Aman
2nd FL	Ey Max	4.1	0.0392	0.0070	0.0341	0.0820	Aman
1st FL	Ey Max	4.1	0.0323	0.0054	0.0267	0.0820	Aman
6th P	Ey Max	3.9	0.0268	0.0062	0.0304	0.0780	Aman
5th P	Ey Max	3.2	0.0206	0.0044	0.0216	0.0640	Aman
4th P	Ey Max	3.2	0.0162	0.0040	0.0197	0.0640	Aman
3rd P	Ey Max	3.2	0.0122	0.0036	0.0179	0.0640	Aman
2nd p	Ey Max	3.2	0.0085	0.0030	0.0149	0.0640	Aman
GRN	Ey Max	6.1	0.0055	0.0055	0.0270	0.1220	Aman

Berdasarkan data rekapitulasi pada **Tabel 16** dan **Tabel 17** penampilan grafis dapat dibuat sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Evaluasi Kinerja Struktur Batas Ultimit

Sumber : Dokumen Pribadi

Berdasarkan **Gambar 4** menunjukkan nilai Δm antar tingkat arah X maupun Y kurang dari nilai yang diisyaratkan berdasarkan persamaan $(0,02 \cdot H)$ sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara aman berdasarkan kinerja batas ultimit.

Berdasarkan hasil analisis kontrol kinerja struktur batas layan dan kinerja struktur batas ultimit menunjukkan bahwa struktur bangunan gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara pada arah X maupun Y aman dan memenuhi

dari batas yang diisyaratkan.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian analisis struktur tahan gempa pada gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara metode dinamik respon spektrum dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan hasil analisis dinamik $V_{dinamik}$ lebih besar dari V_{statik} untuk arah X sebesar 51.523,77 kN dan untuk arah Y sebesar 51.587,76 kN dan nilai *Mass Participant Ratio* dengan nilai 100% berada pada Modal 141 sehingga sudah memenuhi syarat SNI 1726-2019 (2019).
2. Berikut hasil evaluasi kinerja struktur berdasarkan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.
 - a. Berdasarkan hasil analisis dari nilai simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana untuk arah X terbesar didapat 0.0085 m dan arah Y terbesar 0.0086 m sehingga dapat dinyatakan gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara aman dan memenuhi syarat kinerja struktur gedung berdasarkan evaluasi kinerja struktur batas layan dengan persyaratan $(0,03/R)*H = 0.0176$ m.
 - b. Berdasarkan hasil analisis dari nilai simpangan antar tingkat maksimum akibat pengaruh gempa rencana untuk arah X terbesar didapat 0.0418 m dan arah Y terbesar didapat 0.0419 m sehingga dapat dinyatakan gedung *Gold Coast Office* Jakarta Utara aman dan memenuhi syarat kinerja struktur gedung berdasarkan evaluasi kinerja struktur batas ultimit dengan persyaratan $(0.2*H) = 0.082$ m.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III. (2023). *Pengetahuan Gempa Bumi*. Retrieved August 8, 2023 from <https://balai3.bmkg.go.id/tentang-gempa>
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia 1727-2020. (2020). *Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. 1727:2020, 8, 1–336: Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia 1726-2002. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. 1727-2002. Jakarta: BSN
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia 1726-2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. 1726-2019, 8, 254: Jakarta: BSN
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung*. IDN Patent SKBI-1.3.53 Tahun 1987. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU
- Direktorat Bina Teknik Pemukiman dan Perumahan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). *Desain Spektra Indonesia*. Retrieved August 8, 2023 from <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- Lutgens, Frederick K et al., (1982). *Essentials of Geology*. A Bell & Howell Company. Colombus. Ohio 43216. New Jersey: Prentice Hall, 2009.