

Analisis Kinerja Struktur Apartemen 16 Lantai di Jakarta Terhadap Beban Gempa dengan Metode Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019

Johannes Panjaitan^{1,*}, Erna Septiandini¹, Mirara Khanza¹

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta¹

Koresponden*, Email: johannespanjaitan135@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	28 November 2024	<i>The higher a building the lateral force received, the larger it will be, especially against earthquake forces, so it requires planning for earthquake forces. This test aims to model buildings, analyze the loads acting on buildings, analyze mass participation, periods, and shear forces of buildings. As well as evaluating the deviation between floors and the influence of P-Delta. The first stage is modeling the building structure using the Extended Three Dimensional Analysis of Building System (ETABS) program. The stage after modeling is the input of the loads that work in the building. And the last stage is the calculation as well as inputting the period value and value on the define functions spectrum response menu. An additional dead load of 4.001 kN/m² for the plate, 8.58 kN/m² for the wall, and 6.2763 kN/m² for the staircase. The live load is 1.92 kN/m² and 4.79 kN/m². The value of the deviation between levels and the value of P-Delta influence on a 16-storey apartment building in Jakarta is smaller than the permit limit, so it meets the requirements. The modeling of the 16-storey apartment structure was successfully carried out in the form of 3-dimensional (3D) modeling. And the strength of the building is safe against earthquake loads that work according to SNI 1726:2019</i>
Diperbaiki	29 Januari 2025	
Disetujui	08 Mei 2025	

Keywords: structure analysis, spectrum response, story drift, P-Delta.

Abstrak

Semakin tinggi suatu bangunan gaya lateral yang diterima juga akan semakin besar, terutama terhadap gaya gempa, sehingga memerlukan perencanaan terhadap gaya gempa. Pengujian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan bangunan, menganalisis beban yang bekerja pada bangunan, menganalisis partisipasi massa, periode, dan gaya geser bangunan. Serta mengevaluasi simpangan antar lantai dan pengaruh P-Delta. Tahap pertama pemodelan struktur bangunan dengan menggunakan program *Extended Three Dimensional Analysis of Building System (ETABS)*. Tahap setelah pemodelan adalah input beban-beban yang bekerja di bangunan. Dan tahap terakhir adalah perhitungan sekaligus menginput nilai periode dan *value* pada menu *define functions* respon spektrum. Beban mati tambahan sebesar 4,001 kN/m² untuk pelat, 8,58 kN/m² untuk dinding, dan 6,2763 kN/m² untuk tangga. Beban hidup 1,92 kN/m² dan 4,79 kN/m². Nilai simpangan antar tingkat dan nilai pengaruh P-Delta pada bangunan apartemen 16 lantai di Jakarta lebih kecil dari batas izin, sehingga memenuhi persyaratan. Pemodelan Struktur Apartemen 16 lantai berhasil dilakukan dengan berupa pemodelan 3 dimensi (3D). Dan kekuatan bangunan aman terhadap beban gempa yang bekerja sesuai SNI 1726:2019.

Kata kunci: analisis struktur, respon spektrum, *story drift*, *P-Delta*.

1. Pendahuluan

Bangunan Gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus [1].

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di tengah daerah cincin api pasifik, terdapat banyak gunung api aktif, pertemuan antar lempeng tektonik dan jalur sabuk alpine. Kondisi tersebut membuat Indonesia termasuk ke dalam negara yang memiliki kategori tingkat kerawanan yang cukup tinggi. Pada tahun 2017 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

menerbitkan peta zona gempa di Indonesia untuk kebutuhan Pembangunan dan kawaspadan [2].

Berdasarkan hasil proyeksi penduduk SP2020, Jumlah penduduk DKI Jakarta tahun 2023 sebesar 10.762.100 jiwa dengan laju pertumbuhan penduduk 2023 terhadap 2020 sebesar 0,38%. Dengan kepadatan penduduk DKI Jakarta tahun 2023 adalah 16.165 jiwa setiap km². Kota Jakarta Pusat memiliki kepadatan penduduk tertinggi yaitu sebesar 22.061 jiwa/km² [3].

Hal ini menyebabkan kebutuhan akan ketersediaan bangunan gedung semakin meningkat, terutama terhadap apartemen atau rumah susun. Selain bangunan yang berfungsi sebagai hunian, bangunan dengan fungsi usaha juga akan semakin banyak dibutuhkan, seperti gedung perkantoran, hotel, dan perdagangan. Bangunan-

bangunan tersebut biasanya memiliki ketinggian bangunan yang tinggi.

Semakin tinggi suatu bangunan, gaya lateral yang diterima juga akan semakin besar, terutama terhadap gaya gempa. Sehingga perencanaan terhadap gaya gempa harus dipertimbangkan agar bangunan mencapai persyaratan bangunan tahan gempa, untuk menjamin keselamatan manusia yang berada di dalam gedung.

Perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia, diatur pada peraturan SNI 1726:2019. Pada SNI 1726:2019 terdapat beberapa metode perhitungan gempa, yaitu: Metode Statis Ekuivalen, Metode Spektrum Respon, dan Metode Riwayat Waktu [4]. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Analisis dinamik respon spektrum. Analisis spektrum respon memberikan hasil yang lebih akurat untuk struktur yang lebih tinggi atau tidak beraturan dibandingkan menggunakan metode statis ekuivalen dan riwayat waktu. Objek penelitian dalam studi ini menggunakan bangunan dengan 16 lantai dengan fungsi bangunan sebagai hunian. Sehingga metode analisis spektrum respon cocok untuk digunakan.

Analisis dinamik respon spektrum merupakan sarana untuk mengetahui persyaratan parameter bangunan tahan gempa dan melakukan pengecekan kapasitas suatu elemen struktur. Analisis ini dinilai dapat memberikan hasil lebih akurat dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen. Proses dilakukan dengan mengidentifikasi dan mengukur komponen struktur berdasarkan respon struktur untuk memantau kualitas struktur, sehingga didapatkan hasil perhitungan kinerja struktur yang tepat untuk mengamankan struktur tersebut dari gempa, sesuai dengan standar peraturan gempa yang berlaku [4].

SNI 1726:2019 mempersyaratkan rasio gaya geser dasar (dari kombinasi ragam hasil analisis) terhadap gaya geser dasar (prosedur lateral ekuivalen perhitungan manual) setidaknya 0,85. Jika kurang dari itu, faktor skala gaya yang digunakan harus dimodifikasi dan disesuaikan. Faktor skala gaya yang diperhitungkan merupakan rasio dari perkalian gaya gravitasi dengan faktor keutamaan bangunan terhadap faktor reduksi gempa. Nilai faktor reduksi gempa ditentukan dari sistem strukturnya [5].

Permodelan struktur gedung dapat dianalisis menggunakan program *Extended Three Dimensional Analysis of Building System (ETABS)* versi 9.7.0. Program ini menghasilkan analisis struktur berupa gaya-gaya dalam yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur gedung akibat pembebanan gravitasi ataupun gempa [6].

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk : (1) Melakukan permodelan struktur Gedung menggunakan perangkat lunak *ETABS* (2) Menganalisis beban yang bekerja terhadap struktur gedung (3) Menganalisis kesesuaian struktur gedung dengan menggunakan analisis

respon spektrum yang meliputi partisipasi massa, periode fundamental, dan gaya geser dasar dalam memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 1726:2019, dan (4) Mengevaluasi kinerja struktur gedung terhadap simpangan antar tingkat dan pengaruh P-Delta berdasarkan SNI 1726:2019.

2. Metode

Dalam penelitian ini, digunakan data sekunder seperti gambar rencana. Data Gedung yang ditinjau yaitu sebagai berikut :

Struktur bangunan	: Beton Bertulang
Fungsi bangunan	: Hunian
Tinggi bangunan	: 57,4 meter
Jumlah lantai	: 16
Struktur Atap	: Dak Beton
Lokasi Proyek	: Jakarta

Tahap pertama pemodelan struktur bangunan dengan menggunakan *ETABS*. Struktur yang dimodelkan adalah struktur kolom, *shearwall*, balok, dan pelat. Mutu beton yang digunakan adalah $f'_c = 45$ MPa untuk Kolom dan *shearwall*, sedangkan $f'_c = 35$ MPa untuk balok, pelat, dan tangga. Baja tulangan yang digunakan adalah baja ulir dengan tegangan leleh sebesar $f_y = 420$ MPa.

Tahap setelah pemodelan adalah *input* beban, beban mati dan beban hidup yang di-*input* sebagai beban statis dengan arah beban vertikal, dan beban gempa di-*input* sebagai sumbu utama bangunan (arah x dan arah y) dengan arah beban horizontal. Beban mati dan hidup yang di-*input* berdasarkan SNI 1727-2020 [7]. Beban angin tidak di-*input* pada pemodelan struktur Gedung, karena beban dianggap tidak terlalu berpengaruh atau bernilai kecil. Walau nilai beban angin tidak di-*input*, nama beban angin tetap dimasukkan kedalam beban kombinasi, agar memenuhi persyaratan kombinasi SNI yang berlaku.

Nilai parameter yang akan digunakan untuk menganalisis didapat dari perhitungan otomatis melalui situs resmi RSA Cipta Karya. Kemudian menghitung sekaligus menginput nilai periode dan *value* pada menu *define functions* respon spektrum. Dilanjutkan dengan menambah beban mati, beban hidup di menu *mass source*, lalu memasukkan nilai *static Ex* dan *static Ey* pada *define-load patterns*. Setelah itu menentukan sistem struktur dan parameter sistem, yaitu koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran (Cd) sesuai dengan SNI 1726: 2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk struktur bangunan gedung dan non Gedung”.

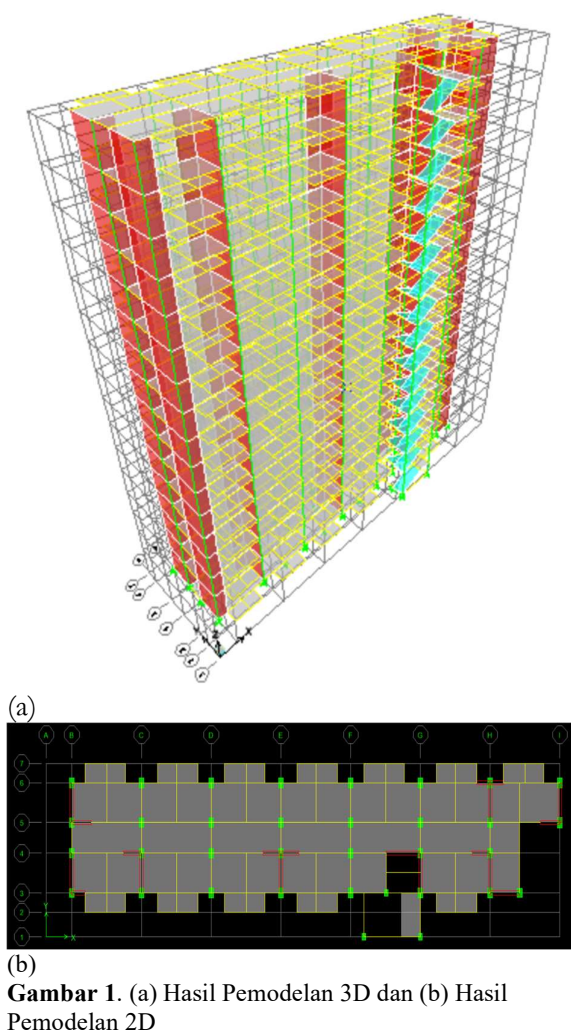
Kemudian menambahkan beban respon spektrum dengan menyalin beban statis dan memberi nama GX dan GY, lalu memodifikasi sesuai dengan tipe beban. Berikutnya melakukan *run analysis* respon spektrum dan menghitung ulang *scale factors* untuk penyesuaian nilai

koreksi. Kemudian menyimpulkan analisis faktor akhirnya respon spektrum dari hasil tabel yang telah didapatkan [4].

3. Hasil dan Pembahasan

Pemodelan Struktur

Permodelan struktur Gedung 16 lantai di Jakarta dilakukan menggunakan perangkat lunak *ETABS V9.7.0*. Struktur yang dimodelkan adalah kolom, *shearwall*, balok, pelat, dan tangga. Tipe Kolom ada 9 yaitu K1 (130x50), K2 (120x60), K3 (100x60), K4 (100x40), K5 (90x50), K6 (85x50), K7 (80x50), K8 (60x40), dan K9 (50x50). Tipe balok ada 5 yaitu B1 (70x45), B2 (60x60), B3 (60x40), B4 (50x30), B5 (40x30). Hasil permodelan struktur menggunakan *ETABS V9.7.0* dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. (a) Hasil Pemodelan 3D dan (b) Hasil Pemodelan 2D

Pembebanan

Pembebanan gravitasi meliputi beban mati dan beban hidup. Beban gravitasi yang dimasukkan pada proses perhitungan mengacu pada SNI 1727:2020 dan PPPURG 1987. Selain beban gravitasi, terdapat juga beban lateral, yaitu beban gempa. Kombinasi beban mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 4.2.2 yaitu kombinasi beban untuk metode ultimit (*Ultimate Limit State/ULS*) [8]

Beban hidup

Beban hidup yang digunakan berdasarkan ketentuan SNI 1727:2020 [7] dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987 [9]. Bangunan obyek penelitian berfungsi sebagai hunian, dengan kategori bangunan adalah apartemen. Beban hidup yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Beban Hidup Pada Apartemen

Jenis Ruangan	Beban (kN/m^2)
Apartemen (lihat rumah tinggal)	
Rumah Tinggal	
Semua hunian rumah tinggal lainnya	
Ruang pribadi dan koridor	1,92
Koridor ruang publik	4,79
Jalur penyelamatan saat kebakaran	4,79

Beban mati

Beban mati terdiri dari berat bahan konstruksi dan berat peralatan layanan tetap. Berat bahan konstruksi tidak diberikan pada struktur karena secara otomatis terhitung pada program *ETABS*. Sedangkan berat peralatan layanan tetap termasuk beban mati tambahan, seperti mekanikal elektrik, spesi, keramik, plafon, dan penggantung [8] Pada pengujian ini, bangunan apartemen tipe tipikal sehingga beban mati lantai 1 – 16 sama. Beban mati dinding akan dibeban kan secara merata ke balok dengan nilai beban $8,58 \text{ kN/m}^2$. Selain itu, beban mati pada tangga bernilai $6,2763 \text{ kN/m}^2$ [9]

Kombinasi Beban

Perhitungan kekuatan beban gempa menggunakan 22 kombinasi pembebanan seperti pada **Tabel 2**. Semua kombinasi dimasukkan untuk menganalisis struktur gedung pada program *ETABS V9.7.0*.

Tabel 2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Beban	Komponen
Kombinasi 1	1,4 Beban Mati
Kombinasi 2	1,2 Beban Mati + 1,6 Beban Hidup + 0,5 Beban Hujan
Kombinasi 3	1,2 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup + 1,6 Beban Hujan
Kombinasi 4	1,2 Beban Mati + 1,6 Beban Hujan + 0,5 Beban Angin
Kombinasi 5	1,2 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup + 0,5 Beban Hujan + 1,0 Beban Angin
Kombinasi 6	0,9 Beban Mati + 1,0 Beban Angin
Kombinasi 7	1,34 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup + 1,0 Beban Gempa X + 0,3 Beban Gempa Y
Kombinasi 8	1,34 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup + 0,3 Beban Gempa X + 1,0 Beban Gempa Y
Kombinasi 9	1,34 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup - 1,0 Beban Gempa X - 0,3 Beban Gempa Y
Kombinasi 10	1,34 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup - 0,3 Beban Gempa X - 1,0 Beban Gempa Y
Kombinasi 11	1,34 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup + 1,0 Beban Gempa X - 0,3 Beban Gempa Y
Kombinasi 12	1,34 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup + 0,3 Beban Gempa X - 1,0 Beban Gempa Y
Kombinasi 13	1,34 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup - 1,0 Beban Gempa X + 0,3 Beban Gempa Y
Kombinasi 14	1,34 Beban Mati + 1,0 Beban Hidup - 0,3 Beban Gempa X + 1,0 Beban Gempa Y
Kombinasi 15	0,76 Beban Mati + 1,0 Beban Gempa X + 0,3 Beban Gempa Y
Kombinasi 16	0,76 Beban Mati + 0,3 Beban Gempa X + 1,0 Beban Gempa Y
Kombinasi 17	0,76 Beban Mati - 1,0 Beban Gempa X - 0,3 Beban Gempa Y
Kombinasi 18	0,76 Beban Mati - 0,3 Beban Gempa X - 1,0 Beban Gempa Y
Kombinasi 19	0,76 Beban Mati + 1,0 Beban Gempa X - 0,3 Beban Gempa Y
Kombinasi 20	0,76 Beban Mati + 0,3 Beban Gempa X - 1,0 Beban Gempa Y
Kombinasi 21	0,76 Beban Mati - 1,0 Beban Gempa X + 0,3 Beban Gempa Y
Kombinasi 22	0,76 Beban Mati - 0,3 Beban Gempa X + 1,0 Beban Gempa Y

Spektrum Respon Desain

Gedung apartemen termasuk kedalam kategori resiko II maka nilai faktor keutamaan gempa, $I_e = 1$. Berdasarkan hasil *Soil Test*, area lokasi apartemen diklasifikasikan dengan SD (tanah sedang). Parameter desain respon spektra dapat dilihat dari lokasi bangunan, dengan mengunjungi website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Parameter yang dapat diperoleh dari RSA Cipta Karya adalah percepatan puncak batuan dasar (PGA), percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s), dan percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1). Untuk nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek $T=0,2$ detik (SDS), nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 deik (SD1), faktor amplifikasi periode pendek (F_A), faktor amplifikasi terkait percepatan dalam getaran periode 1 detik (F_V) didapat dari perhitungan interpolasi menggunakan microsoft excel. Parameter yang digunakan untuk analisa respon spektrum seperti yang dilihat pada **Tabel 3**.

Material yang dipilih adalah beton bertulang dan menggunakan dinding geser beton bertulang khusus, dengan nilai $R = 7$; $\Omega = 2,5$; dan $C_d = 5,5$.

Periode, Mode Shape dan Partisipasi Massa

Periode getar natural (T) merupakan variabel merupakan variabel yang penting dalam perencanaan

bangunan tahan gempa. *Mode shape* yang memiliki frekuensi frekuensi terendah (periode terpanjang) disebut sebagai *mode shape* pertama (*mode* satu atau *fundamental mode*) [8].

Tabel 3. Paramater respon spektrum

Kombinasi Beban	Komponen
PGA	0,3727
S_s	0,7806
S_1	0,3823
F_A	1,188
F_V	1,918
SDS	0,62
SDS	0,49

Dari hasil perhitungan manual sesuai SNI 1726:2019, periode maksimum apartemen 16 lantai sebesar 1,424 dan nilai periode minimum adalah sebsar 1,017 detik. Sedangkan hasil perhitungan otomatis *ETABS*, periode arah X dan Y adalah 1,224 detik dan 1,319 detik. Nilai tersebut memenuhi persyaratan dari periode maksimum dan periode minimum, sehingga nilai periode arah X dan arah Y yang digunakan adalah 1,224 detik dan 1,319 detik. Nilai periode getar struktur dapat dilihat pada **Tabel 4**, dan nilai periode struktur berdasarkan hasil *run analyze ETABS* bisa dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 4. Nilai Periode Getar Struktur (T)

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Tcx	1,224	Tcy	1,319
Ta	1,017	Ta	1,017
Tmax	1,425	Tmax	1,425
Tx	1,224	Ty	1,319

Tc = periode computed; Ta = periode minimum; Tmax = periode maksimum; T = Periode desain.

Tabel 5. Nilai Periode Struktur Apartemen 16 Lantai

Mode	Periode (detik)	Mode	Periode (detik)
1	1,3196	7	0,1920
2	1,2244	8	0,1318
3	1,1882	9	0,1182
4	0,3776	10	0,1163
5	0,3084	11	0,080
6	0,2774	12	0,0752

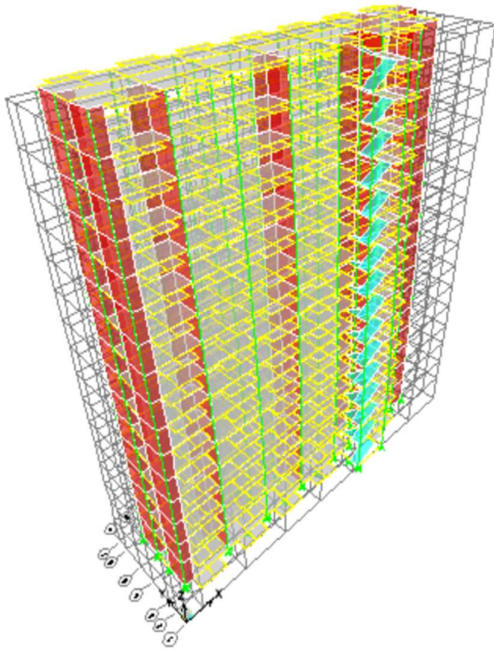
Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1 tentang analisis spektrum respons ragam. Dikatakan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100%. Sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horinzontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model [10]. Jika nilai partisipasi massa yang diperoleh dari *ETABS* belum

mencapai 90%, maka jumlah ragam harus ditambahkan hingga partisipasi massa arah X dan arah Y lebih dari 90%.

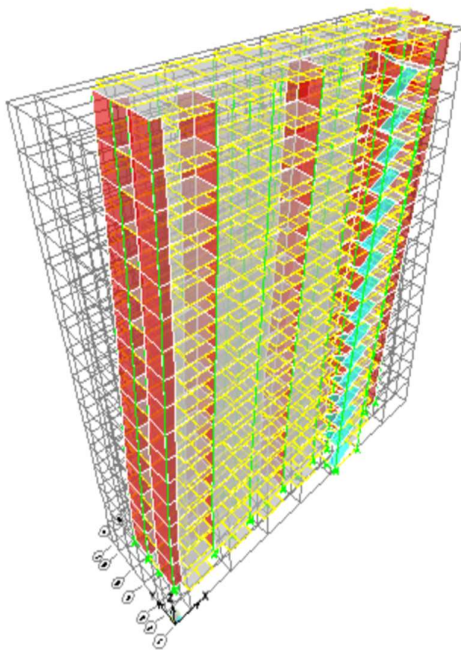
Diharapkan partisipasi massa *mode* 1 dan 2 mengalami translasi kearah X dan arah Y, dengan nilai partisipasi massa translasi lebih besar dari 50%. Dan pada partisipasi massa *mode* 3 mengalami rotasi. *Mode* 1 dan *mode* 2 tidak boleh mengalami rotasi terlebih dahulu, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Tabel 5**.

Tabel 6. Nilai Partipasi Massa Arah X dan Arah Y

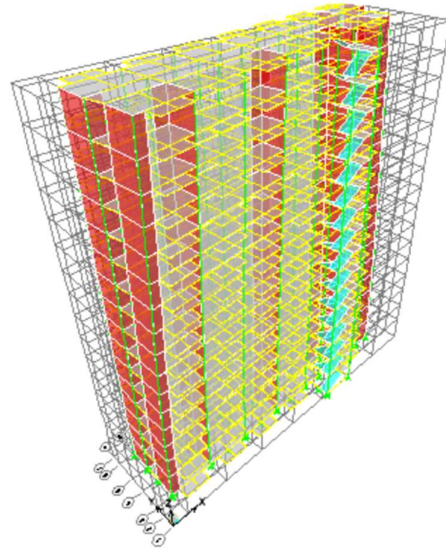
Mode	Periode (detik)	UX (%)	UY (%)	RZ (%)	Sum UX (%)	Sum UY (%)
1	1,3196	7,19	57,17	2,50	7,19	57,17
2	1,2244	65,27	6,86	0,45	72,46	64,04
3	1,1882	1,51	1,58	62,75	73,98	65,62
4	0,3776	11,38	1,21	0,03	85,36	66,83
5	0,3084	1,20	14,91	1,64	86,57	81,75
6	0,2774	0,06	1,79	16,22	86,64	83,55
7	0,1920	5,00	0,38	0,00	91,64	83,93
8	0,1318	0,54	5,84	0,54	92,19	89,78
9	0,1182	1,87	0,00	2,47	94,06	89,79
10	0,1163	0,69	1,02	4,06	94,76	90,81
11	0,080	1,80	0,01	0,00	96,57	90,83
12	0,0752	0,00	3,40	0,24	96,57	94,23



Gambar 2. Mode 1, UY = 57,17%



Gambar 3. Mode 2, UX = 65,27

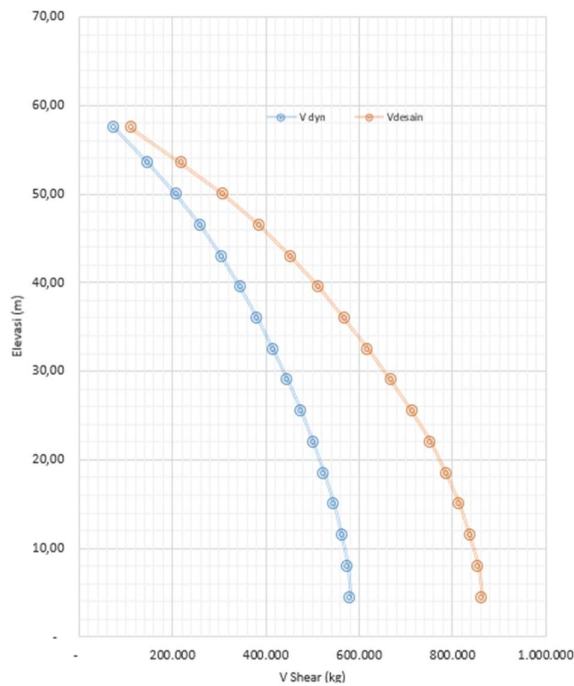


Gambar 4. Mode 3, RZ = 62,75

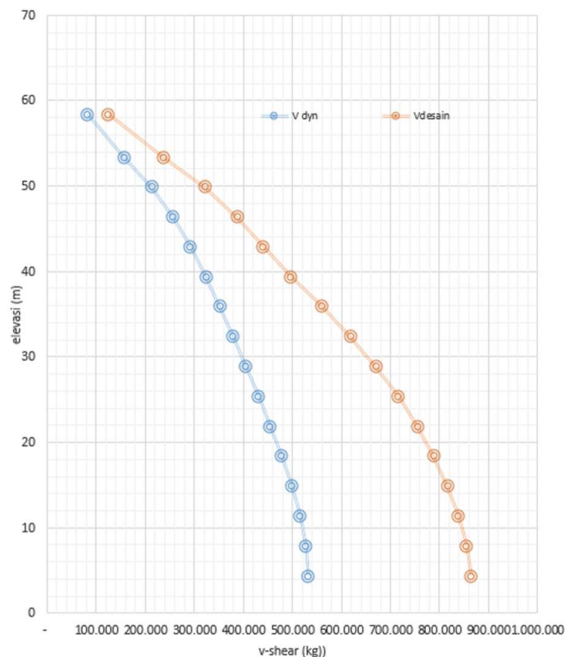
Gaya Geser Dasar

Nilai berat seismik yang diperoleh melalui hasil analisis ETAS adalah 15.157,1 ton. Nilai koefisien seismik (C_s) arah X yang digunakan adalah 0,057 dan nilai koefisien seismik (C_s) arah Y adalah 0,052. Nilai C_s maksimum arah X dan Y adalah 0,088 dan nilai C_s minimum arah X dan Y adalah 0,027. Sehingga nilai C_s 0,057 arah Y memenuhi persyaratan dan nilai C_s 0,052 arah X juga memenuhi persyaratan. Nilai koefisien respon seismik ini didapat dari perhitungan berdasarkan SNI 1726:2019. Maka nilai gaya geser dasar arah gempa X adalah 864.350 kg dan gaya geser dasar arah Y adalah 801.993 kg.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan ETABS nilai gaya geser dinamik arah gempa X diperoleh sebesar 581.980 kg dan gaya geser dinamik arah gempa Y diperoleh nilai sebesar 531.991 kg. Nilai yang diperoleh masih terlalu kecil dari 100% dari nilai geser dasar statik [11]. Sehingga diperlukan perkalian nilai geser dasar statik dengan faktor skala desain agar gaya geser dinamik memenuhi persyaratan. Nilai faktor skala untuk arah gempa X adalah 1,485 dan arah gempa Y adalah 1,508. Maka nilai gaya geser dasar dinamik arah X dan Y setelah dikali dengan faktor skala adalah 864.349 kg dan 801.993 kg. Distribusi gaya geser geser tingkat (*story shear*) statik dan dinamik setelah dikalikan dengan faktor skala [11] dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **6**.



Gambar 5. Gaya Geser Gempa Arah X



Gambar 6. Gaya Geser Gempa Arah Y

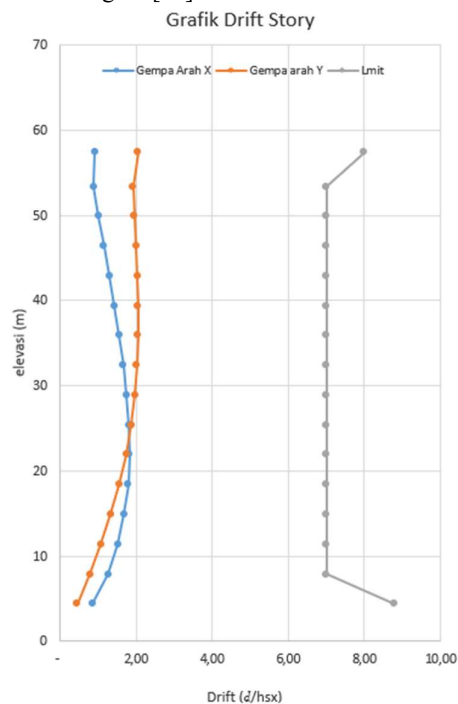
Evaluasi Kinerja Struktur

Cek kinerja struktur dilakukan untuk mengetahui apakah struktur telah kuat menahan beban-beban yang terjadi

terutama terhadap simpangan antar tingkat dan pengaruh P-Delta yang disebabkan oleh beban gempa. Bila telah memenuhi, maka perencanaan dan pembangunan gedung telah dilakukan dengan sangat baik dan gedung aman untuk digunakan hingga waktu yang telah direncanakan. Sedangkan bila tidak memenuhi, maka akan diberikan rekomendasi perkuatan struktur seperti metode *concrete jacketing* ataupun *fyber reinforced polymer* (FRP) sehingga gedung dapat berfungsi dengan baik [11].

Simpangan Antar Tingkat (Story Drift)

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar lantai desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai Tingkat izin ($\Delta\alpha$) seperti didapatkan dari tabel 20 SNI 1726:2019 untuk semua tingkat [10].

Gambar 7. Nilai *Drift Story* dan batasan izin nya

Pada bangunan apartemen 16 lantai yang berfungsi sebagai hunian memiliki kategori risiko II dan sistem pemikul gaya seismic menggunakan sistem dinding geser beton bertulang khusus. Berdasarkan Tabel 20 SNI 1726:2019, batasan simpangan antar tingkat yang diijinkan pada gedung apartemen 16 lantai adalah $0,02h_{sx}$. Hasil analisis simpangan antar tingkat dapat dilihat pada **Gambar 7** dan **Tabel 7 & 8**.

Tabel 7. Perhitungan Pengecekan *Stroty Drift* Arah X

Lantai	Tinggi lantai	Tinggi Kumulatif	Simpangan (δx)	<i>Story Drift</i> (ΔX)	<i>Story Drift</i> Izin (Δa)	<i>Drift</i> Ijin X dir
	(m)	(m)	(cm)	(cm)	(cm)	($\Delta X \leq \Delta a$)
Atap	4	57,4	4,092	0,92	8,00	OK
16	3,5	53,4	3,924	0,89	7,00	OK
15	3,5	49,9	3,763	1,02	7,00	OK
14	3,5	46,4	3,578	1,16	7,00	OK
13	3,5	42,9	3,367	1,30	7,00	OK
12	3,5	39,4	3,130	1,44	7,00	OK
11	3,5	35,9	2,868	1,56	7,00	OK
10	3,5	32,4	2,584	1,67	7,00	OK
9	3,5	28,9	2,281	1,75	7,00	OK
8	3,5	25,4	1,963	1,81	7,00	OK
7	3,5	21,9	1,634	1,83	7,00	OK
6	3,5	18,4	1,300	1,80	7,00	OK
5	3,5	14,9	0,973	1,69	7,00	OK
4	3,5	11,4	0,666	1,53	7,00	OK
3	3,5	7,9	0,387	1,28	7,00	OK
2	4,4	4,4	0,155	0,85	8,80	OK

Tabel 8. Perhitungan Pengecekan *Stroty Drift* Arah Y

Lantai	Tinggi lantai	Tinggi Kumulatif	Simpangan (δy)	<i>Story Drift</i> (ΔY)	<i>Story Drift</i> Izin (Δa)	<i>Drift</i> Ijin X dir
	(m)	(m)	(cm)	(cm)	(cm)	($\Delta Y \leq \Delta a$)
Atap	4	57,4	4,898	2,05	8,00	OK
16	3,5	53,4	4,526	1,92	7,00	OK
15	3,5	49,9	4,176	1,96	7,00	OK
14	3,5	46,4	3,819	2,01	7,00	OK
13	3,5	42,9	3,455	2,04	7,00	OK
12	3,5	39,4	3,084	2,06	7,00	OK
11	3,5	35,9	2,709	2,06	7,00	OK
10	3,5	32,4	2,335	2,03	7,00	OK
9	3,5	28,9	1,967	1,97	7,00	OK
8	3,5	25,4	1,609	1,88	7,00	OK
7	3,5	21,9	1,267	1,75	7,00	OK
6	3,5	18,4	0,950	1,56	7,00	OK
5	3,5	14,9	0,666	1,34	7,00	OK
4	3,5	11,4	0,423	1,09	7,00	OK
3	3,5	7,9	0,225	0,79	7,00	OK
2	4,4	4,4	0,082	0,45	8,80	OK

Nilai simpangan antar tingkat pada bangunan apartemen 16 lantai di Jakarta memenuhi persyaratan dan aman.

Cek Koefisien Stabilitas (θ)

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan

antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh (persamaan 45 SNI 1726:2019) sama dengan atau kurang dari 0,10.

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi (θ_{maks}) yang ditentukan oleh (persamaan 46 SNI 1726:2019). Jika

koefisien stabilitas (θ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan θ_{maks} , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya

komponen struktur dengan $1,0/(1-\theta)$. Apabila θ lebih besar dari θ_{maks} , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang. Perhitungan nilai pengaruh P-delta pada arah X dan Y dapat dilihat pada **Tabel 9** dan **10**.

Tabel 9. Perhitungan Nilai Pengaruh P-Delta Arah X

Lantai	Tinggi lantai	Px	Vx	Simpangan (δx)	Story Drift (ΔX)	θ_{maks}	Koefisien stabilitas θx	Check
	(m)	(kN)	(kN)	(mm)	(mm)			($\theta x \leq \theta_{maks}$)
Atap	4	8247	1126,376	40,92	9,24	0,09	0,0002	OK
16	3,5	17784	2206,954	39,24	8,88	0,09	0,0002	OK
15	3,5	27137	3100,234	37,63	10,19	0,09	0,0003	OK
14	3,5	36489	3867,182	35,78	11,61	0,09	0,0004	OK
13	3,5	45842	4543,853	33,67	13,03	0,09	0,0006	OK
12	3,5	55194	5149,886	31,30	14,39	0,09	0,0007	OK
11	3,5	64547	5695,206	28,68	15,62	0,09	0,0009	OK
10	3,5	73925	6192,3	25,84	16,66	0,09	0,0011	OK
9	3,5	83330	6696,172	22,81	17,52	0,09	0,0014	OK
8	3,5	92735	7153,048	19,63	18,10	0,09	0,0017	OK
7	3,5	102140	7546,97	16,34	18,33	0,09	0,0021	OK
6	3,5	111545	7877,935	13,00	18,03	0,09	0,0025	OK
5	3,5	121124	8155,94	9,73	16,89	0,09	0,0031	OK
4	3,5	131018	8382,881	6,66	15,30	0,09	0,0038	OK
3	3,5	141042	8555,933	3,87	12,76	0,09	0,0048	OK
2	4,4	151571	8643,5	1,55	8,55	0,09	0,0062	OK

Tabel 10. Perhitungan Nilai Pengaruh P-Delta Arah Y

Lantai	Tinggi lantai	Px	Vy	Simpangan (δy)	Story Drift (ΔY)	θ_{maks}	Koefisien stabilitas (θy)	Check
	(m)	(kN)	(kN)	(mm)	(mm)			($\Delta Y \leq \Delta a$)
Atap	4	8247	1239,971	48,98	9,24	0,09	0,00043	OK
16	3,5	17784	2359,291	45,26	8,88	0,09	0,00049	OK
15	3,5	27137	3211,694	41,76	10,19	0,09	0,0006	OK
14	3,5	36489	3871,744	38,19	11,61	0,09	0,00074	OK
13	3,5	45842	4404,956	34,55	13,03	0,09	0,0009	OK
12	3,5	55194	4964,248	30,84	14,39	0,09	0,00106	OK
11	3,5	64547	5601,8	27,09	15,62	0,09	0,0012	OK
10	3,5	73925	6180,281	23,35	16,66	0,09	0,00136	OK
9	3,5	83330	6699,283	19,67	17,52	0,09	0,00154	OK
8	3,5	92735	7155,429	16,09	18,10	0,09	0,00174	OK
7	3,5	102140	7548,721	12,67	18,33	0,09	0,00196	OK
6	3,5	111545	7879,158	9,50	18,03	0,09	0,00219	OK
5	3,5	121124	8156,719	6,66	16,89	0,09	0,00242	OK
4	3,5	131018	8383,298	4,23	15,30	0,09	0,0027	OK
3	3,5	141042	8544,455	2,25	12,76	0,09	0,003	OK
2	4,4	151571	8643,499	0,82	8,55	0,09	0,00326	OK

Berdasarkan **Tabel 9** dan **10**, diperoleh hasil dari perhitungan nilai pengaruh P-Delta arah X dan arah Y terhadap gedung apartemen 16 lantai sudah memenuhi persyaratan. Nilai koefisien stabilitas (θ) lebih kecil dari nilai θ_{maks} , sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan stabil dan tidak perlu dilakukan desain ulang struktur.

4. Simpulan

Nilai periode maksimum apartemen 16 lantai sebesar 1,424 dan nilai periode minimum adalah sebesar 1,017 detik. Sedangkan hasil perhitungan otomatis ETABS, periode arah X dan Y adalah 1,224 detik dan 1,319 detik. Nilai tersebut memenuhi persyaratan dari periode maksimum dan periode minimum, sehingga nilai periode arah X dan arah Y yang digunakan adalah 1,224 detik dan 1,319 detik. Partisipasi massa sudah mencapai lebih dari 90% pada *mode* 12, sehingga tidak perlu penambahan *mode*. Gaya geser dasar dinamik berdasarkan analisis dari ETABS arah X dan Y adalah 581.980 kg dan 531.991 kg. Nilai tersebut masih terlalu kecil dari nilai geser dasar statik, sehingga perlu dikali dengan faktor skala. Nilai faktor skala arah X dan Y adalah 1,485 dan 1,508. Nilai gaya geser dinamik arah X dan arah Y setelah dikali dengan faktor skala adalah 864.349 kg dan 801.993 kg. *Story drift* yang terjadi tidak melebihi batas izin dan bangunan memenuhi persyaratan. Nilai maksimum koefisien stabilitas adalah 0,09 dan nilai koefisien stabilitas tiap lantai tidak melebihi nilai koefisien maksimum. Sehingga bangunan disimpulkan stabil dan tidak perlu dilakukan desain ulang struktur.

Daftar Pustaka

- [1] Pemerintah Pusat, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung*. 2002.
- [2] T. Widorini, N. Hari Crista, and K. Wisnuaji Widiatmoko, "Analisis Dinamik Struktur Menara Usm Dengan Metode Respons Spektrum," 2022. Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.32497/wahanats.v27i1.3676>
- [3] Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta, *Provinsi Dki Jakarta Dalam Angka*, vol. 54. 2024.
- [4] A. Kusbiantoro *et al.*, "Respon Struktur Beton Gedung Apartemen Dan Perkantoran 20 Lantai Akibat Beban Gempa Dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum," 2024. [Online]. Available: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>
- [5] D. Pustaka Dibiantara, A. Navir Refani, and F. Wahyuni, "Evaluasi Ketahanan Gempa Dinamik Pada Struktur Bangunan Gedung tak terpakai Berumur 25 Tahun," 2020.
- [6] S. Ahmad Fauzan and A. Sapei, "Evaluation Earthquake Resistance X Building Structure in Jakarta based on SNI 03-1726-2012," 2018.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: SNI 1727:2020, 2020.
- [8] M. Farhan Harahap and dan Muhammad Fauzan, "Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa (Dynamic Behavior of Metro Galaxy Park Apartment Structure Against Earthquakes)," 2019.
- [9] Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: PPPURG 1987, 1987.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta: SNI 1726:2019, 2019.
- [11] Muhammad Hilmi, Erizal, and J. Febrita, "Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 6, no. 3, pp. 143–158, Dec. 2021, doi: 10.29244/jsil.6.3.143-158.