

Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Akibat Gempa Berdasarkan Simpangan Dengan Analisis Respon Spektrum

Fungky Andi Satria¹⁾

Mohd. Isneini²⁾

Andi Kusnadi³⁾

Ratna Widyawati⁴⁾

Abstract

Kingland Avenue Serpong Apartment is a high-rise building located on Serpong KM. 08 Pakulonan Highway, North Serpong, South Tangerang. This building consists of 2 basements, 24 floors, and a roof with an elevation of ± 116.70 m. A building must have optimal performance, including in resisting earthquake loads, so that the safety of the occupants in it is guaranteed. Response spectrum analysis is one of the methods commonly used in analyzing earthquake loads to determine the performance of buildings based on their deviation values. This study aims to determine the performance level of the structure and the deviation between levels.

Based on the results of the spectrum response analysis, the overall value of the deviation between levels is below the deviation between the levels of permits, with maximum total deviation ratio value in the x direction of 0.0016 and 0.0020 in the y direction. Based on ATC-40, the performance level of the Kingland Avenue Serpong Apartment structure is at the Immediate Occupancy performance level, with little impact on structural damage, capacity of the vertical and lateral force resisting system on the structure are still the same as the conditions where the earthquake has not occurred, so the building is safe and can be used immediately.

Keywords: pushover, time history, earthquake, drift.

Abstrak

Apartemen *Kingland Avenue Serpong* adalah gedung bertingkat tinggi yang berada di Jalan Raya Serpong KM. 08 Pakulonan, Serpong Utara, Tangerang Selatan. Gedung ini terdiri dari 2 Basement, 24 lantai, dan atap dengan elevasi $\pm 116,70$ m. Sebuah gedung harus memiliki kinerja yang optimal termasuk dalam menahan gempa sehingga keselamatan penghuni lebih terjamin. Analisis respon spektrum adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam menganalisis beban gempa untuk mengetahui kinerja bangunan berdasarkan nilai simpangannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui level kinerja struktur dan simpangan antar tingkat.

Berdasarkan hasil analisis respon spektrum secara keseluruhan nilai simpangan antar tingkat berada di bawah simpangan antar tingkat izin, dengan nilai rasio simpangan total maksimum arah x sebesar 0,0016 dan 0,0020 pada arah y. Berdasarkan ATC-40, Level kinerja struktur Apartemen *Kingland Avenue Serpong* berada pada level kinerja *Immediate Occupancy*, dengan dampak sedikit kerusakan struktural yang terjadi, kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

Kata Kunci : *pushover, time history, gempa, simpangan.*

¹⁾ Mahasiswa pada Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Surel: funkiandisatria@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Tingginya potensi gempa bumi di Indonesia disebabkan letak geografis Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia. Bangunan tinggi memiliki banyak resiko yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah gempa bumi maka dari itu setiap bangunan perlu memiliki kinerja yang baik di berbagai aspek termasuk dalam hal menahan beban gempa sehingga keselamatan jiwa didalamnya dapat terjaga. (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat terhadap gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Analisis dinamik dilakukan pada perancangan struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. (Purnomo et al., 2014)

Analisis respon spektrum merupakan suatu cara analisis gempa secara dinamik, dimana total respons didapat melalui superposisi (kombinasi getaran) dari respon masing-masing ragam getar.

Apartemen *Kingland Avenue* Serpong merupakan bangunan tingkat tinggi (*high-rise building*) memiliki 2 *basement* dan 24 lantai dengan elevasi puncak bangunan +116,70 m. Merupakan bangunan tingkat tinggi yang memiliki resiko tinggi apabila terjadi gempa. Apartemen *Kingland Avenue* Serpong berada di Jalan Raya Serpong KM. 08 Pakulonan, Serpong Utara, Tangerang Selatan.

Pada penelitian ini evaluasi kinerja struktur bangunan dilakukan dengan bantuan aplikasi pemodelan struktur. Parameter yang ditinjau menentukan level kinerja struktur yaitu nilai simpangan maksimum dan simpangan antar tingkat dengan menggunakan metode analisis respon spektrum.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisis Struktur Dengan Aspek Kegempaan

2.1.1. Analisis Statik

Analisis statik merupakan metode analisis struktur dengan getaran gempa yang dimodelkan sebagai beban-beban horizontal statik yang bekerja pada pusat-pusat massa bangunan. Prinsip analisis ini didasarkan bahwa bila sebuah sistem struktur mengalami getaran, maka seluruh ragam getar dapat terjadi bersamaan sehingga terjadi *interference* antar pengaruh dari semua ragam getar.

2.1.2. Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi 2, analisis riwayat waktu (*time history*) dan analisis ragam respon spektrum dimana pada analisis respon spektrum, total respon didapat melalui superposisi dari respons masing-masing ragam getar. analisis perbandingan pengaruh penambahan serat baja karbon 3D Dramix dan serat kawat benadrat terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur pada beton mutu normal.

2.2. Ketentuan Umum Bangunan Gedung dalam Pengaruh Gempa

2.2.1. Gempa Rencana

Menurut (SNI 1726, 2019) Pasal 4.1.1, menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarannya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

2.2.2. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Dalam Pasal 4.1.2 (SNI 1726, 2019) kategori resiko struktur bangunan di klasifikasikan menjadi 4 kategori. Klafisikasi tersebut berdasarkan jenis pemanfaatan suatu struktur dan tingkat kepentingan. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa (I_e).

2.2.3. Klasifikasi Situs

Efek getaran gempa pada bangunan sangat dipengaruhi oleh jenis tanah tempat bangunan itu berdiri. Bila gempa bumi terjadi maka struktur bangunan akan ikut terpengaruh oleh getaran gempa.

2.2.4. Wilayah Gempa

Menurut (SNI 1726, 2019) wilayah Indonesia meliputi peta percepatan puncak/*peak ground acceleration* (PGA), S_1 , dan S_s . Untuk menentukan nilai S_1 dan S_s menggunakan acuan peta pada peta gempa indonesia. S_1^1 merupakan parameter respon spektra percepatan pada periode 1 detik, sedangkan S_s adalah parameter respons spektra percepatan pada periode pendek.

2.2.5. Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik (KDS) struktur bangunan yang ditinjau harus ditetapkan sesuai dengan Pasal 6.5 (SNI 1726, 2019). Kategori Desain Seismik dipilih berdasarkan kategori yang paling parah.

2.3. Gaya Statik

2.3.1. Analisis Gaya

Menurut (SNI 1726, 2019), gaya geser dasar seismik (V), pada arah yang ditetapkan harus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (1)$$

Periode fundamental struktur (T) merupakan waktu getaran alami bangunan dalam hitungan detik. Dalam Pasal 7.8.2 (SNI 1726, 2019) sifat struktur dan karakteristik deformasi harus digunakan untuk menentukan nilai T pada arah yang ditinjau. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan T , diizinkan secara langsung menggunakan T_a .

2.3.2. Gaya Gravitasi

Beban mati merupakan berat permanen dari semua bagian bangunan, termasuk semua unsur tambahan, finishing, mesin-mesin dan peralatan permanen yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung tersebut. Beban hidup merupakan semua beban yang disebabkan dari fungsi suatu gedung, termasuk beban akibat dari barang-barang yang dapat berpindah pada lantai.(SNI 1727, 2013)

2.4. Kinerja Bangunan Terhadap Beban Gempa

Penerapan desain dan analisis perilaku serta kinerja struktur berdasarkan konsep *Performance Based Earthquake Engineering* di Indonesia ditandai dengan dibuatnya peraturan terkait gedung dan gempa yaitu: Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung; Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI-1726 Tahun 2002, 2012 dan 2019; Peta Hazard Gempa Indonesia 2010; Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Evaluasi kinerja struktur pada gedung bertingkat ini menerapkan konsep *Performance Based in Earthquake Engineering* bertujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan keamanan dari gedung. Setelah melakukan analisis dinamik maka diperoleh *drift* gedung akibat gempa, kemudian hasil tersebut dievaluasi untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan keamanan pada gedung.

2.5. Analisis Respon Spektrum

Analisis respon spektrum adalah metode analisis struktur bangunan dengan menggunakan spektrum gempa yang digambarkan dalam bentuk kurva hubungan antara periode struktur bangunan dengan nilai percepatan bangunan itu sendiri ketika terkena beban gempa.

2.6. Drift

Drift (Δ) atau simpangan adalah perpindahan pada arah lateral suatu lantai atau tingkat struktur seperti pada Gambar dibawah. *Drift* (Δ) atau simpangan desain harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat yang ditinjau. Dalam evaluasi kinerja struktur, *drift* (Δ) atau simpangan dapat menjadi kuantitas kekakuan elemen vertikal pada suatu struktur. Nilai *drift* (Δ) atau simpangan sendiri digunakan untuk memperhitungkan kinerja struktur terhadap batas simpangan maksimum yang tercantum dalam (SNI 1726, 2019) serta menentukan *performance level* menurut ATC-40 yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Performance Level* menurut ATC-40

	<i>Performance Level</i>		
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>
<i>Maximum total</i>			<i>Structural Stability</i>

(Applied Technology Council, 1996)

3. METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Penelitian ini dilakukan dengan metode analisis data kuantitatif, dimana data berupa angka. Data yang sudah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan bantuan *software*. Dalam penelitian ini menggunakan analisis respon spektrum. Analisis mengacu pada SNI 1726 (2019), SNI 1727 (2013), dan ATC-40.

3.2. Lokasi dan Data Penelitian

Lokasi penelitian yang digunakan sebagai bahan evaluasi ini dilaksanakan pada Apartemen *Kingland Avenue* Serpong, berlokasi di Jalan Raya Serpong KM 08 Pakulonan, Serpong Utara, Tangerang Selatan, Banten. Data pada penelitian ini yaitu berupa data tanah, yang akan digunakan untuk menentukan kelas situs.

3.3. Prosedur Penelitian

Dari data yang telah didapatkan, pembuatan model 3 dimensi dilakukan menggunakan aplikasi pemodelan struktur. Selanjutnya memasukkan beban mati, beban hidup dan beban gempa. Kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan analisis respon spektrum. Dari hasil analisis diperoleh nilai simpangan dan simpangan antar tingkat. Selanjutnya dilakukan evaluasi struktur untuk mengetahui kesesuaian dengan simpangan antar tingkat izin yang tercantum dalam Tabel 20 (SNI 1726, 2019) dan kinerja struktur sesuai tabel 11-2 (Applied Technology Council, 1996).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

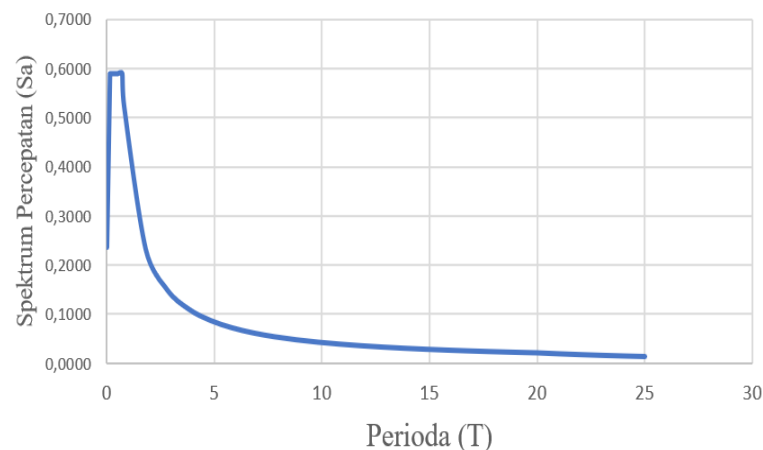
4.1. Respon Spektrum Desain

Parameter respon spektrum untuk lokasi penelitian diperoleh dari peta gempa Indonesia, dapat dilihat pada Tabel 2 dan grafik respon spektrum desain pada Gambar 1.

Tabel 2. Parameter Respon Spektrum

Aspek Gedung	Nilai
Lokasi	Tangerang Selatan
Klasifikasi situs	Tanah sedang (SD)
Kategori Risiko	II
Faktor keutamaan (I_e)	1,0
S_s	0,7220g
S_1	0,3150g

Desain Respon Spektrum



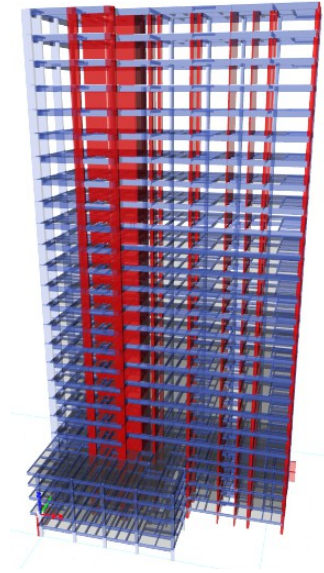
Gambar 1. Respon Spektrum desain

4.2. Gaya Lateral Gempa

Periode alami struktur adalah 4,3950 detik pada arah x dan 4,9739 detik pada arah y. Setelah diperoleh periode alami, maka dapat diperoleh gaya geser dasar dari *output* aplikasi pemodelan struktur, yaitu $V = 15589,5448$ kN.

4.3. Pemodelan Struktur

4.3.1. Pemodelan 3D Struktur Bangunan



Gambar 2. Pemodelan 3D struktur bangunan.

4.3.2. Pengecekan Gaya Reaksi Dasar Struktur

Setelah semua elemen struktur tergambar, maka dilakukan *running* awal program untuk perhitungan gaya geser dasar. Menurut Pasal 7.9.1.4.1 (SNI 1726, 2019), Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t .

Tabel 3. Gaya Reaksi Dasar belum Dikoreksi

<i>Load Case</i>	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
RSP X maks	7325,0154	1724,2847	0
RSP Y maks	1724,2851	7298,5516	0

Tabel 4. Gaya Reaksi Dasar setelah Dikoreksi

<i>Load Case</i>	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
RSP X maks	15589,5512	3705,03	0
RSP Y maks	3715,76	15589,5498	0

4.4. Hasil Analisis Respon Spektrum

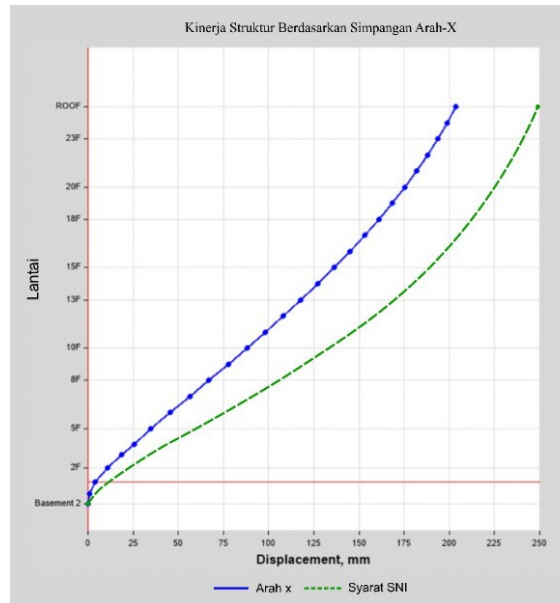
Setelah dilakukan analisis, didapatkan nilai respon struktur ditinjau arah x dan arah y, dengan nilai simpangan atap arah x sebesar 0,2034 dan 0,2467 pada arah y. Nilai tersebut akan digunakan untuk menganalisis level kinerja menurut (Applied Technology Council, 1996) dan nilai simpangan antar tingkat yang didapat dari selisih nilai simpangan per lantai akan digunakan untuk menganalisis kinerja struktur menurut (SNI 1726, 2019).

4.5. Kinerja Struktur Menurut SNI-1726 (2019)

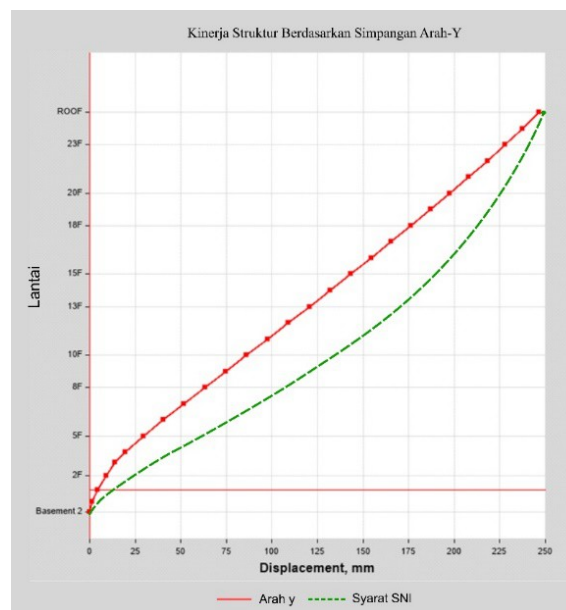
Evaluasi Kinerja Struktur Menurut (SNI 1726, 2019) menggunakan nilai simpangan antar tingkat izin sebagai acuan. Nilai simpangan antar tingkat izin dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\Delta_a = 0,020 \times h_{sx} \quad (2)$$

Kemudian hasilnya diplotkan seperti Gambar 3 dan Gambar 4



Gambar 3. Simpangan Antar Tingkat Gabungan Arah x.



Gambar 4. Simpangan Antar Tingkat Gabungan Arah y.

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap simpangan antar tingkat (*interstory drift*), secara keseluruhan simpangan berada di bawah simpangan antar tingkat izin.

4.6. Kinerja Struktur Menurut ATC-40

Menurut (Applied Technology Council, 1996) level kinerja struktur (*performance level*) dikelompokkan berdasarkan nilai maksimum *drift*. Syarat yang digunakan untuk menentukan level kinerja adalah ATC- 40 dengan nilai maksimum *drift* (D) atau simpangan pada Apartemen *Kingland Avenue* Serpong arah x sebesar 0,0016 dan 0,0020 pada arah y.

Berdasarkan syarat pada (Applied Technology Council, 1996), karena nilai maksimum *drift* kurang dari 0,01 maka kinerja struktur termasuk ke dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO), yaitu bila terjadi gempa hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

4.7. Perbandingan Level Kinerja Dengan Penelitian Sebelumnya

Tabel 6. Perbandingan Level Kinerja

No	Metode Analisis	Max Total Drift X	Level Kinerja	Max Total Drift Y	Level Kinerja
1	Respon Spektrum	0,00160	IO	0,00200	IO
2	<i>Pushover</i>	0,00500	IO	0,00600	IO
3	<i>Time History</i>	San Fernando	IO	0,01905	DC
		Niigata	IO	0,01188	DC
		Iwate	IO	0,01284	DC

(Asmara et al., 2021, Putra et al., 2021)

Pada penelitian sebelumnya digunakan analisa *time history* dan *pushover* untuk mengevaluasi kinerja struktur akibat gempa dan didapatkan hasil yang berbeda pada level kinerja gedung tersebut berdasarkan ATC 40. Pada analisa *time history* gedung berada pada level kinerja *Damage Control* (DC) *drift* arah Y, yaitu struktur bangunan pasca gempa, kerusakan yang terjadi bervariasi diantara kategori *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*, resiko korban jiwa sangat rendah, ada kemungkinan struktur bangunan rusak, namun tidak runtuh. Sedangkan pada analisa *pushover* yang sudah dilakukan dan juga analisa respon spektrum kinerja struktur berada pada level *Immediate Occupancy* (IO) atau aman jika gempa yang terjadi adalah berada pada skala MMI VIII atau 6 S.R.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan nilai simpangan antar tingkat hasil dari kontrol simpangan antar tingkat izin (Δ_a) berdasarkan Tabel 20 (SNI 1726, 2019) nilai simpangan arah X memenuhi syarat simpangan antar tingkat izin (Δ_a) dan nilai simpangan arah Y memenuhi syarat simpangan antar tingkat izin (Δ_a).

Performance point berdasarkan (Applied Technology Council, 1996) diperoleh nilai maksimum *drift* arah X sebesar 0,0016 dan arah Y sebesar 0,0020 nilai tersebut kurang dari 0,01 sehingga dikategorikan sebagai *Immediate Occupancy* (IO), yaitu bila terjadi gempa hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai. Resiko korban jiwa sangat rendah. Ada kemungkinan struktur bangunan rusak, namun tidak runtuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Seismic Safety Commission State of California.
- Asmara, K.B., Isneini, M., and Niken, C.D.W.S.B.U., 2021. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Tinggi dengan Analisis Pushover Menggunakan Aplikasi Pemodelan Struktur (Studi Kasus : The Venetian Tower). *JRSDD*, 9 (1), 177–188.
- Purnomo, E., Purwanto, E., and Supriyadi, A., 2014. Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel di Semarang). *Matriks Teknik Sipil*, 2 (4), 569–576.
- Pusat Studi Gempa Nasional, 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Putra, M.P., Isneini, M., and Noorhidana, V.A., 2021. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis Time History (Studi Kasus : Apartemen Kingland Avenue Serpong). *JRSDD*, 9 (1), 167–176.
- SNI 1726, 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1727, 2013. *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional.

