

Evaluasi Kinerja Seismik dengan Penerapan Metode Respons Spektrum pada Struktur Gedung Perkantoran di Klaten

Hendramawat Aski Safarizki 1*, Muhammad Febrialdi Karno 2, Bagas Wahyu Adhi 3

^{1,2} Universitas Veteran Bangun Nusantara, Jl. Letjen Sudjono Humardhani, No.1, Sukoharjo, Jawa Tengah

³ Universitas Islam Batik, Jl. Agus Salim No.10, Sondakan, Kec. Laweyan, Kota Surakarta, Jawa Tengah
*hendra.mawat@gmail.com

ABSTRAK

Klaten terletak di wilayah rawan gempa karena berdekatan dengan Sesar Dengkeng dan Sesar Opak. Penelitian ini menganalisis kinerja seismik suatu Gedung di Klaten menggunakan respon spektrum. Hasil analisis menunjukkan bahwa gaya geser dasar dinamik setara dengan gaya geser dasar statik sebesar 1719,194 kN yang telah memenuhi persyaratan. Drift terbesar pada lantai 2 sebesar 0,0778 m arah X dan 0,0787 m arah Y telah memenuhi syarat batasan simpangan antar lantai yang diizinkan ($\Delta a/p$) sebesar 0,0808 m. Pada kriteria kinerja batas layanan nilai simpangan antar lantai (Δs) terbesar pada lantai 2 sebesar 0,0141 m arah X dan 0,0143 m arah Y telah memenuhi syarat batasan kinerja batas layanan ($0,03/R \times h_{sx}$) sebesar 0,0158 m. Pada kriteria kinerja batas ultimit nilai simpangan antar lantai (Δm) yang dikali dengan 0,7R terbesar pada lantai 2 sebesar 0,0792 m arah X dan 0,0801 m arah Y telah memenuhi syarat batasan kinerja batas ultimit ($0,02 \times h_{sx}$) sebesar 0,0840 m.

Kata kunci: Gempa, Kinerja seismik, Respon spektrum, Simpangan

ABSTRACT

Klaten is located in an earthquake-prone area due to its proximity to the Dengkeng Fault and Opak Fault. This study analyzes the seismic performance of a building in Klaten using response spectrum analysis. The analysis results show that the dynamic base shear force is equivalent to the static base shear force of 1719.194 kN, which meets the requirements. The maximum drift on the second floor is 0.0778 m in the X direction and 0.0787 m in the Y direction, which meets the allowed inter-story drift limit ($\Delta a/p$) of 0.0808 m. For the serviceability limit performance criteria, the maximum inter-story drift (Δs) on the second floor of 0.0141 m in the X direction and 0.0143 m in the Y direction meets the serviceability limit performance limit ($0.03/R \times h_{sx}$) of 0.0158 m. For the ultimate limit performance criteria, the maximum floor-to-floor deflection (Δm) multiplied by 0.7R on the second floor is 0.0792 m in the X direction and 0.0801 m in the Y direction, which meets the ultimate limit performance criteria ($0.02 \times h_{sx}$) of 0.0840 m.

Keywords: Earthquake, Seismic performance, Spectrum response, Drift

1. PENDAHULUAN

2.

Klaten, yang merupakan bagian dari Provinsi Jawa Tengah, terus menunjukkan kemajuan besar dalam berbagai bidang. Posisi geografis Klaten, yang berada di tengah dua kota metropolitan, Kota Surakarta dan Kota Yogyakarta, memengaruhi kemajuan ini.

Gedung Perkantoran yang ditinjau terletak di Klaten, kota yang berdekatan dengan dua sesar aktif

yaitu Sesar Dengkeng dan Sesar Opak yang menjadikan wilayah ini rentan terhadap potensi gempa bumi. Salah satu sejarah gempa bumi di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya berlangsung di tanggal 27 Mei 2006, ketika kawasan tersebut diguncang gempa berkekuatan Magnitudo (M) 6,3 dengan pusat gempa terletak di selatan Yogyakarta. Gempa ini menyebabkan kerusakan yang sangat parah di berbagai daerah, termasuk Klaten, Sleman, dan Bantul.

Untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan oleh gempa bumi penting untuk melakukan upaya

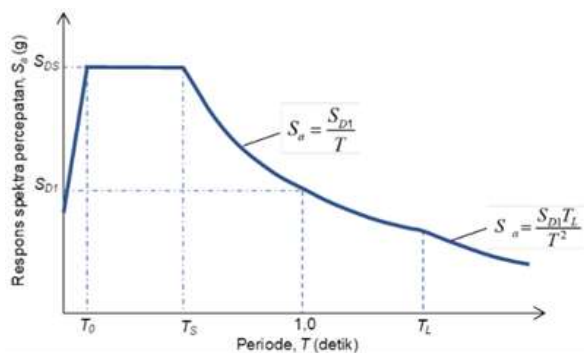
mitigasi dan evaluasi terhadap struktur bangunan sebelum bencana terjadi. Proses analisis ini dilaksanakan dengan analisis dinamik yang dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode respon spektrum.

Perencanaan Gedung Tahan Gempa

Menurut Wongsonegoro (2023), bangunan dengan kemampuan tahan gempa dirancang sedemikian rupa agar dapat menahan guncangan dan menghindari keruntuhan saat gempa, baik dengan intensitas kecil maupun besar. Struktur tahan gempa bukan dimaksudkan untuk sepenuhnya bebas dari kerusakan, tetapi kerusakan yang dialami masih berada dalam ambang toleransi yang diatur oleh standar teknis yang berlaku.

Spektrum Respon Desain

Spektrum respon adalah representasi grafis yang memperlihatkan hubungan antara periode getar alami (T) dan respon tertinggi yang dihasilkan bergantung pada rasio redaman serta karakteristik gempa tertentu. Respon maksimum ini bisa berbentuk percepatan (*velocity*), perpindahan (*displacement*), kecepatan (*acceleration*) dan sistem dengan derajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*) (Latuheru & Prasajo, 2017).



Gambar 1. Spektrum Respon Desain

Pembebanan Struktur

Beban yang dialami oleh bangunan merupakan elemen kunci dalam perencanaan, karena tingkat keamanan bangunan sangat bergantung pada beban yang diterimanya. Struktur dianggap kokoh jika mampu menopang seluruh beban yang bekerja padanya. Di antara berbagai macam beban, beban hidup, beban mati, dan beban gempa memiliki dampak paling signifikan terhadap struktur.

Base Shear (Gaya Geser Dasar Seismik)

Base shear ialah gaya horizontal yang diperoleh dari gempa di bagian bawah struktur bangunan. Gaya ini digunakan sebagai acuan dalam merancang struktur

agar mampu menahan beban gempa. Berdasarkan dalam pasal 7.8.1 SNI 1726-2019, base shear akibat gempa (V) bisa dihitung menggunakan rumus di bawah ini.

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

Keterangan:

V = gaya geser dasar seismik.

C_s = koefisien respon seismik.

W = berat seismik efektif struktur.

Drift (Simpangan Antar Lantai)

Drift (simpangan antar lantai) mengacu pada pergeseran lateral relatif antar 2 tingkat yang bersebelahan dalam suatu bangunan, atau bisa didefinisikan sebagai perbedaan perpindahan horizontal antar lantai (Hasdanita et al., 2023). Sesuai dengan pasal 7.8.6 dalam SNI 1726-2019, drift (simpangan antar lantai) bisa diperoleh menggunakan rumus berikut.

$$\delta x = \frac{C_d \delta x_e}{I_e} \leq \Delta a \quad (2)$$

Keterangan:

δx = simpangan antar lantai.

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral.

δx_e = simpangan di tingkat-x yang disyaratkan.

I_e = faktor keutamaan gempa.

Δa = simpangan antar tingkat izin.

Kinerja Batas Layan

Sesuai dengan pasal 8.1 dalam SNI 1726-2002, kinerja ini untuk mengurangi kemungkinan pelelehan baja dan retak berlebih pada beton, serta menghindari cacat nonstruktur dan rasa tidak nyaman bagi pengguna bangunan. Ketentuan kinerja ini dijelaskan berikut.

$$\Delta s \leq \frac{0,03}{R} \times h_{sx} \leq 30 \text{ mm} \quad (3)$$

Keterangan:

Δs = simpangan antar tingkat maksimum.

R = koefisien modifikasi respon.

h_{sx} = tinggi tingkat.

Kinerja Batas Ultimit

Berdasarkan pasal 8.2 dalam SNI 1726-2002, tujuan dari kinerja batas ultimit adalah untuk meminimalkan risiko keruntuhan bangunan yang dapat membahayakan keselamatan manusia. Selain itu, kinerja ini bertujuan untuk menghindari tabrakan yang berpotensi membahayakan antara bangunan atau elemen-elemen bangunan yang

dipisahkan oleh celah pemisah. Ketentuan kinerja ini dijelaskan berikut.

$$\xi \times \Delta m \leq 0,02 \times h_{sx}$$

(4)

Keterangan:

ξ = faktor pengali.

Δm = simpangan antar tingkat maksimum.

h_{sx} = tinggi tingkat.

3. METODE PENELITIAN

Analisis ini akan menyelidiki ketahanan gedung bertingkat melalui analisis dinamik metode respon spektrum dengan kelas situs tanah sedang yang mengacu pada SNI 1726-2019 berdasarkan nilai base shear, drift, dan displacement yang kemudian hasilnya dianalisis berdasarkan kinerja batas layan dan batas ultimit. Analisis akan dilakukan dengan membuat model gedung bertingkat tiga dimensi menggunakan bantuan software SAP2000.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini memerlukan beberapa tahapan yang dilalui, antara lain.

a. Pengumpulan data

Data yang dimanfaatkan pada analisis ini mencakup informasi umum bangunan, data tanah, rencana mutu kerja, rencana kerja syarat, dan detail engineering design bangunan terkait.

b. Perhitungan pembebanan

Dalam proses penelitian ini perhitungan dilakukan terhadap berbagai jenis beban antara lain beban gempa, beban mati, dan beban hidup.

c. Pemodelan 3 dimensi

Pemodelan secara 3 dimensi pada bangunan gedung ini menggunakan software SAP2000.

d. Input pembebanan

Beban gempa, beban mati, dan beban hidup dimasukkan ke dalam SAP2000.

e. Kontrol berat struktur

Melakukan pengendalian berat struktur bangunan.

f. Analisis struktur dengan metode respon spektrum.

g. Pengecekan partisipasi massa struktur sebesar 100%, periode getar alami, serta base shear.

h. Pengolahan data

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan Struktur

Beban mati

Ada dua kategori beban mati ini, yakni beban mati tambahan serta berat sendiri struktur. Dalam analisis ini hanya beban mati tambahan yang perlu dimasukkan ke dalam software, sedangkan berat sendiri struktur secara otomatis terisi selama analisis dalam software SAP2000.

Beban hidup

Berikut ini adalah nilai beban hidup yang telah disesuaikan berdasarkan data yang ada pada gedung yang ditinjau di Klaten.

Parkir	= 1,92 kN/m ²
Ruang kantor	= 2,4 kN/m ²
Atap	= 0,96 kN/m ²

Kontrol Berat Bangunan

Kontrol berat bangunan perlu dilakukan untuk meminimalkan kemungkinan perbedaan berat yang dapat terjadi antara perhitungan beban secara manual dan perhitungan beban yang dilakukan menggunakan software SAP2000.

$$\begin{aligned} \text{Kontrol} &= \frac{\text{Beban SAP2000} - \text{Beban Perhitungan Manual}}{\text{Beban Perhitungan Manual}} \times 100\% \\ &= \frac{(21109,786 - 21017,047)}{21017,047} \times 100\% \\ &= 0,4413\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kontrol berat bangunan di atas diketahui perbedaan berat bangunan sebesar 0,4413%. Angka ini berada di bawah batas toleransi 5% yang ditetapkan sebagai kriteria perbandingan antara hasil perhitungan manual dan output software SAP2000. Oleh karena itu, analisis dapat dilanjutkan.

Respon Spektrum Desain

Bangunan yang dianalisis berada di atas lahan dengan kondisi tanah sedang (kelas D)

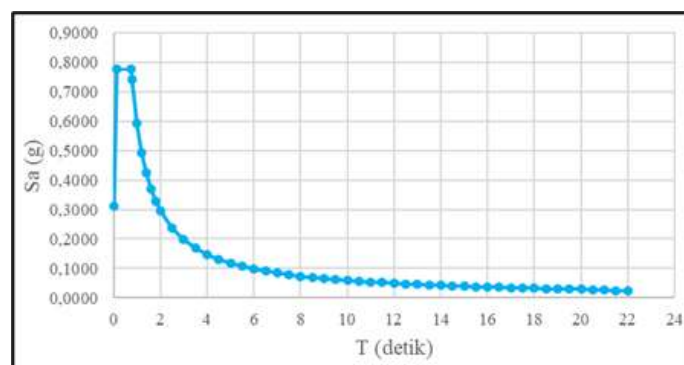
Jumlah lantai : 4 Lantai

Tinggi bangunan : 18,55 m

Fungsi bangunan : Perkantoran

Kategori risiko bangunan : II ($I_e = 1,0$)

Berdasarkan data yang dimiliki maka dapat dibuat grafik respon spektrum sebagai mana tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Respon Spektrum

PEMBAHASAN

Pembahasan mengandung interpretasi data, serta perbandingan dengan data yang diperoleh sebelumnya jika ada. Pada paragraph ini berisi tentang pembahasan hasil penelitian, yaitu dengan membandingkan temuan penelitian dengan hasil penelitian lain yang relevan sebelumnya. Paragraph ini juga wajib mengutip penelitian terdahulu, kemudian ditegaskan implikasi dari hasil penelitian.

Base Shear

Jika gaya geser yang didapatkan melalui analisis ragam (V_t) kurang daripada 100% base shear (V) hasil perhitungan menggunakan metode statik ekuivalen, dengan demikian, nilai base shear tersebut harus mengalikan dengan nilai V/V_t .

Tabel 1. Base Shear Skala Awal

Base Shear	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	Cek
Arah X	1719,194	1027,488	Belum Ok
Arah Y	1719,194	981,184	Belum Ok

Berdasarkan Tabel 1 base shear dinamik ($V_{dinamik}$) nilainya kurang daripada base shear statik (V_{statik}) sehingga perlu dilakukan penskalaan gaya, dengan arah X sebesar 1,6732 dan arah Y sebesar 1,7521. Selanjutnya dihitung base shear dengan skala yang sudah dihitung sebelumnya pada Tabel 2.

Tabel 2. Base Shear Skala

Base Shear	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	Cek
Arah X	1719,194	1719,194	Ok
Arah Y	1719,194	1719,194	Ok

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa base shear dinamik ($V_{dinamik}$) telah mencapai 100% dari base shear statik (V_{statik}). Dengan demikian, perhitungan tersebut sesuai dengan persyaratan.

Drift (Simpangan Antar Lantai)

Berdasarkan pasal 7.12.1.1 SNI 1726-2019, drift (Δx) yang didapatkan tidak boleh melebihi nilai $\Delta a/\rho$ untuk semua lantai dengan ρ adalah faktor redundansi.

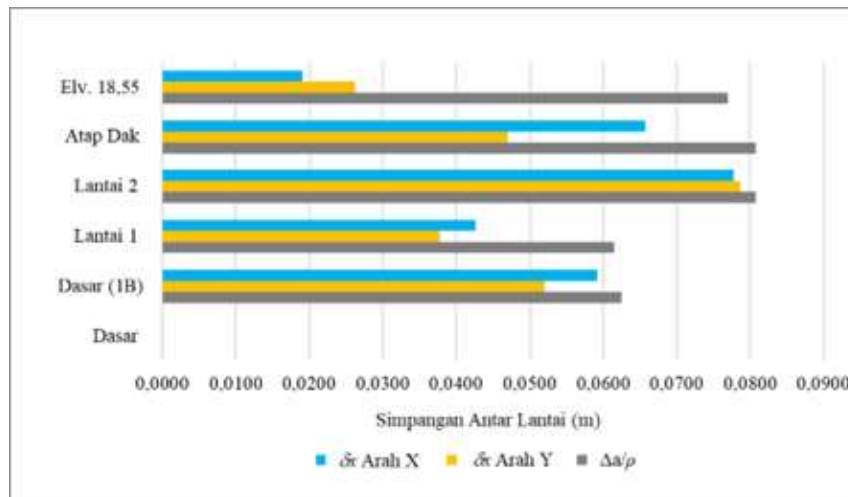
Berikut ini akan dicontohkan perhitungan drift (simpangan antar lantai) pada lantai 2 arah X.

$$\begin{aligned} \Delta x_e &= UI \text{ lantai 2} - UI \text{ lantai 1} \\ &= 0,0327 - 0,0185 \\ &= 0,0141 \text{ m} \\ \Delta x &= \frac{Cd \Delta x_e}{I_e} \\ &= \frac{5,5 \times 0,0141}{1} \\ &= 0,0778 \text{ m} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \Delta x &\leq \frac{\Delta a}{\rho} \\ \Delta x &\leq \frac{0,025 h_{sx}}{\rho} \\ 0,0778 \text{ m} &\leq \frac{0,025 \times 4,2}{1,3} \\ 0,0778 \text{ m} &\leq 0,0808 \text{ m} \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung drift yang terjadi seperti pada Gambar 3 Simpangan antar lantai.



Gambar 3. Besar Drift yang terjadi

Dari grafik yang ditampilkan dalam Gambar 3, bisa disimpulkan bahwa drift yang diperoleh baik dalam arah X maupun Y, telah memenuhi kriteria yang ditetapkan yaitu tidak melebihi ambang batas simpangan antar tingkat yang diizinkan ($\Delta a/p$).

Kinerja Batas Layan

Untuk mengevaluasi kinerja batas layan struktur pada bangunan yang sedang dianalisis, perlu diperhatikan bahwa simpangan antar lantai (Δs) harus di bawah nilai $0,03/R \times h_{sx}$ atau nilai 30 mm. Nilai terkecil dari kedua parameter tersebut digunakan sebagai kriteria batas kinerja layan.

Berikut ini akan dicontohkan perhitungan evaluasi kinerja batas layan pada lantai 2 arah X.

$$\begin{aligned}\Delta s \text{ antar lantai} &= U1A \text{ lantai 2} - U1A \text{ lantai 1} \\ &= 0,0327 - 0,0185 \\ &= 0,0141 \text{ m}\end{aligned}$$

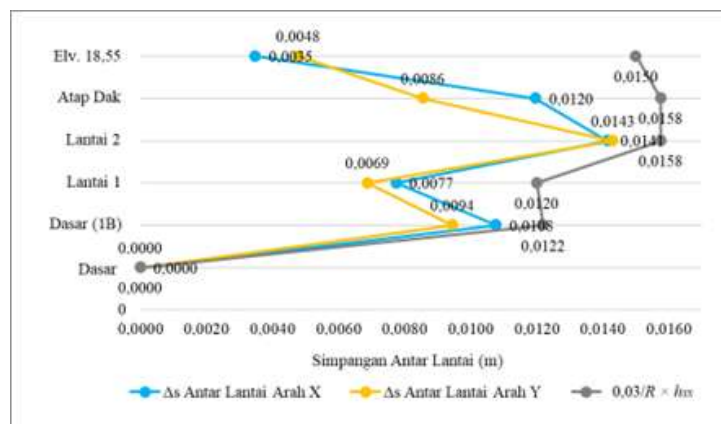
Kontrol:

$$\Delta s \text{ antar lantai} \leq \frac{0,03}{R} \times h_{sx} \leq 30 \text{ mm}$$

$$0,0141 \text{ m} \leq \frac{0,03}{8} \times 4,2 \leq 0,03 \text{ m}$$

$$0,0141 \text{ m} \leq 0,0158 \text{ m} \leq 0,03 \text{ m}$$

Nilai kinerja batas layan yang terjadi baik pada arah X dan Y seperti tampak pada Gambar 4 Kinerja Batas Layan pada Gedung yang ditinjau.



Gambar 4. Grafik Kinerja Batas Layan

Berdasarkan grafik yang ditampilkan dalam Gambar 4, bisa disimpulkan bahwa Δs antar lantai yang diperoleh baik dalam arah X maupun Y, telah memenuhi kriteria yang ditetapkan yaitu berada di bawah kriteria batas kinerja batas layan ($0,03/R \times h_{sx}$).

Kinerja Batas Ultimit

Untuk mengevaluasi kinerja batas ultimit struktur pada bangunan yang sedang dianalisis, perlu diperhatikan bahwa simpangan antar lantai (Δm) yang dikali dengan $0,7R$ tidak boleh melebihi nilai $0,02$ yang dikalikan dengan tinggi lantai.

$$\begin{aligned}\xi &= 0,7 \times R \\ &= 0,7 \times 8 \\ &= 5,6\end{aligned}$$

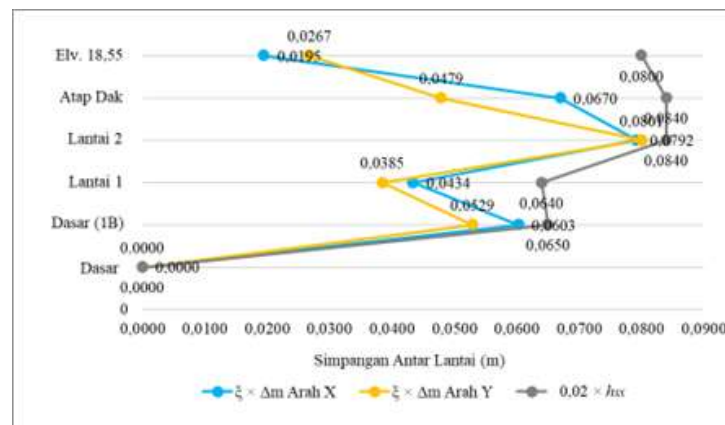
$$\begin{aligned}\Delta m \text{ antar lantai} &= U1B \text{ lantai 2} - U1B \text{ lantai 1} \\ &= 0,0327 - 0,0185 \\ &= 0,0141 \text{ m} \\ \xi \times \Delta m &= 5,6 \times 0,0141 \\ &= 0,0792 \text{ m}\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\xi \times \Delta m \leq 0,02 \times h_{sx}$$

$$\begin{aligned}0,0792 \text{ m} &\leq 0,02 \times 4,2 \\ 0,0792 \text{ m} &\leq 0,0840 \text{ m}\end{aligned}$$

Berdasarkan grafik yang ditampilkan dalam Gambar 5, bisa disimpulkan bahwa nilai $\xi \times \Delta m$ yang diperoleh baik dalam arah X maupun Y, telah memenuhi kriteria yang ditetapkan yaitu berada di bawah kriteria batas kinerja batas ultimit ($0,02 \times h_{sx}$).



Gambar 5. Grafik Kinerja Batas Layan.

5. KESIMPULAN

Setelah proses analisis dinamik dilakukan menggunakan metode respon spektrum, ditemukan bahwa gaya geser dasar dinamik ($V_{dinamik}$) memiliki nilai 100% yang sama dengan gaya geser dasar statik (V_{statik}), yaitu 1719,194 kN baik pada arah X maupun Y. Kesimpulannya adalah bahwa hasil perhitungan memenuhi persyaratan yang tercantum dalam pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726-2019. Perhitungan analisis menunjukkan bahwa simpangan antar lantai tertinggi di lantai 2 adalah 0,0778 m di arah X dan 0,0787 m di arah Y. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa gedung yang diuji aman dan memenuhi syarat batasan simpangan antar lantai yang diizinkan ($\Delta a/p$) sebesar 0,0808 m untuk lantai 2, yang memenuhi ketentuan yang tercantum dalam pasal 7.12.1.1 dalam SNI 1726-2019.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Afrida, I., Wahyuningtyas, W. T., & Krisnamurti. (2020). Analisis Ketahanan Gedung

Apartemen Surabaya dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum (Performance Analysis of Surabaya Apartment Using Response Spectrum Method). Berkala Saintek, 4, 132–139.

Badan Standarisasi Nasional. (2002). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. (SNI 1726-2002). Jakarta: BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. (SNI 1726-2019). Jakarta: BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. (SNI 2847-2019). Jakarta: BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2020). Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. (SNI 1727-2020). Jakarta: BSN.

Hariadi, U. (2020). Kajian Kearifan Lokal Komunitas dalam Penanganan Bencana Gempa Bumi (Kasus Pasca Bencana Gempa Bumi 27 Mei 2006 di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta). Universitas Gadjah Mada.

Hasdanita, F., Masrura, D., & Teknik Sipil, J. (2023). Evaluasi Simpangan Antar Lantai (Inter Story Drift) Pada Gedung Bertingkat Dengan Metode Riwayat Waktu. Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar, 9(1), 55.

Kastama, Y. F., & Sudika, I. G. M. (2016). Perbandingan Perilaku Struktur Beton

- Bertulang Terhadap Beban Gempa Berdasarkan Sni 03-1726-2002 Dan 03-1726-2012. Jurnal Teknik, 76–92. <https://rsdev.djinggamedia.com/index.php/teknikgradien/article/view/149>
- Latuheru, R. R., & Prasojo, R. (2017). Analisa Statik dan Dinamik Gedung 8 Lantai. Jurnal Kajian Teknik Sipil, 2 Nomor 2(2), 130–141. <http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/jkts/article/view/901>
- Sadhewa, Z. F. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Menggunakan Analisis Dinamik Metode Respons Spektrum (Performance Evaluation of Reinforced Concrete Structure).
- Setiawan, D. B. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Pada Kondisi Batas Layan dan Batas Ultimit dengan Analisis Dinamik Metode Respon Spektrum (Studi Kasus: Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi) Tugas Akhir.
- Simanjuntak. (2020). Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Di Indonesia. Pinondang Simanjuntak 1). E-Journal CENTECH, 1(1), 44–53.
- Wongsonegoro, K. R. M. T. (2023). Analisis Kinerja Struktur Gedung IGD Terpadu.