



Asesmen Kerentanan Seismik Struktur Gedung Eksisting Berdasarkan FEMA P-154 dan ASCE/SEI 41-17

Eka Faisal Nurhidayatullah ^{*1}, Syendi Prima Syahputra ²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55285, Indonesia

²PT. Sinar Waringin Adiperkasa, Kota Surabaya, Jawa Timur, 60241, Indonesia.

*Email korespondensi: eka.faisal@staff.uty.ac.id¹

Diterima Mei 2026 ; Disetujui 31 Juli 2026; Dipublikasi 31 Juli 2026

Abstract: Most regions of Indonesia are classified as earthquake-prone areas. The education is one of the sectors most affected by earthquakes. Records of major earthquakes show that not all educational buildings have adequate seismic performance. This study aims to assess the seismic performance of an existing multi-story educational building. If structural weaknesses are identified, mitigation measures can be formulated. In this study, the structural evaluation was conducted in two stages. Stage 1 evaluation used Rapid Visual Screening (RVS) based on FEMA P-154 guidelines. Stage 2 evaluation used equivalent static and dynamic response spectrum analyses based on ASCE/SEI 41-17 and SNI 1726:2019. The Stage 1 RVS evaluation produced a score of 2.1, which is below the threshold value of 2.5, so Stage 2 evaluation was required. Based on the Stage 2 evaluation, all column elements had Demand Capacity Ratio (DCR) values below 1 (linear elastic). Only some beam elements had DCR values between 1 and 2 (linear inelastic). The projected collapse mechanism satisfied the strong column-weak beam principle. No structural weaknesses that could trigger building collapse during an earthquake were identified. Stage 3 evaluation, namely nonlinear static pushover or nonlinear dynamic time history analysis, was not recommended.

Keywords: Earthquakes, Seismic Performance, Rapid Visual Screening, Demand Capacity Ratio, Strong Column Weak Beam.

Abstrak: Sebagian besar wilayah Indonesia termasuk kategori rawan bencana gempa bumi. Salah satu sektor yang paling terdampak oleh bencana gempa yaitu pendidikan. Riwayat kejadian gempa besar menunjukkan bahwa belum semua gedung fasilitas pendidikan memiliki kinerja yang baik terhadap gempa bumi. Penelitian bertujuan untuk melakukan asesmen kinerja seismik struktur gedung bertingkat eksisting yang berfungsi sebagai fasilitas pendidikan. Apabila terdapat indikasi kelemahan struktur bangunan, maka dapat dirumuskan upaya mitigasi kebencanaan. Dalam penelitian ini dikerjakan dua tahap evaluasi struktur bangunan. Evaluasi tahap 1 yaitu *Rapid Visual Screening* (RVS) berdasarkan pedoman FEMA P-154. Sedangkan evaluasi tahap 2 dikerjakan analisis statik ekuivalen dan dinamik respon spektrum berdasarkan ketentuan ASCE/SEI 41-17 dan SNI 1726-2019. Evaluasi tahap 1 RVS menghasilkan nilai akhir yaitu 2,1 kurang dari ambang batas 2,5 sehingga diperlukan evaluasi tahap 2. Berdasarkan evaluasi tahap 2 diketahui bahwa nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) seluruh elemen struktur kolom < 1 (elastik linear). Hanya sebagian elemen struktur balok yang menghasilkan nilai DCR antara 1 hingga 2 (inelastik linear). Mekanisme keruntuhan struktur bangunan diproyeksikan telah memenuhi prinsip *strong column weak beam*. Tidak terdapat indikasi adanya kelemahan struktur yang berpotensi memicu keruntuhan bangunan apabila terkena gempa bumi. Evaluasi tahap 3 yaitu nonlinear statik pushover atau nonlinear dinamik time history tidak direkomendasikan untuk dikerjakan

Kata kunci : Gempa Bumi, Kinerja Seismik, *Rapid Visual Screening*, *Demand Capacity Ratio*, *Strong Column Weak Beam*.

Secara geografis, Indonesia terletak pada perbatasan empat sistem pelat tektonik aktif meliputi lempeng Eurasia, Indo-Australia, Filipina, dan Pasifik sehingga wilayahnya rawan mengalami kejadian gempa bumi. Data statistik tahun 2020-2024 menunjukkan kejadian bencana gempa di wilayah provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta mengakibatkan kurang lebih 23 rumah rusak berat, 124 rumah rusak sedang dan 794 rumah rusak ringan, termasuk 27 fasilitas pendidikan terdampak (BNPB, 2024)

Pendidikan merupakan salah satu aspek penting dalam kehidupan manusia. Setiap orang berhak memperoleh pendidikan tanpa diskriminasi, baik berdasarkan ekonomi, gender, agama, suku, maupun kondisi fisik. Demi menunjang terpenuhinya kebutuhan akan pendidikan diperlukan sarana dan prasarana yang baik. Ketersediaan prasarana pendidikan yang memadai di sekolah memiliki hubungan yang signifikan terhadap peningkatan mutu pendidikan (Yustikia, N. S., 2019) . Tentu saja sarana dan prasarana tersebut tidaklah cukup hanya berkaitan langsung dengan kegiatan belajar dan pembelajaran di kelas saja seperti buku sumber, peralatan, perabot, dan media pembelajaran. Pemenuhan sarana pendukung lain seperti infrastruktur juga menjadi aspek yang tidak kalah esensial guna menunjang kegiatan pendidikan. Berdasarkan SNI 1726: 2019 (BSN, 2019). Infrastruktur bangunan pendidikan termasuk ke dalam kategori resiko IV sejajar dengan bangunan rumah sakit hingga pembangkit listrik tenaga nuklir yang artinya struktur bangunan harus memiliki kinerja seismik yang sangat baik apabila mengalami gempa bumi.

Namun pada kenyataannya, data statistik Asesmen Kerentanan Seismik....
(Nurhidayatullah & Syahputra, 2026)

menunjukkan bahwa masih banyak bangunan infrastruktur pendidikan yang rentan mengalami kegagalan struktur akibat gempa bumi. Perlu adanya upaya mitigasi untuk meminimalisir dampak bencana gempa terhadap infrastruktur pendidikan. Salah satu upaya mitigasi yaitu dengan melakukan asesmen kondisi struktur bangunan eksisting. Diperlukan suatu panduan untuk menilai kerentanan bangunan terhadap gempa bagi bangunan eksisting yang lebih mudah dan praktis untuk dilaksanakan. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menilai kerentanan bangunan terhadap gempa adalah prosedur yang ditetapkan dalam FEMA P-154 dan ASCE/SEI 41-17.

FEMA P-154 menyediakan pendekatan praktis untuk menilai tingkat kerentanan seismik bangunan berdasarkan parameter visual dan informasi dasar mengenai struktur. Pedoman ini memberikan tata cara mengenai asesmen kerentanan bangunan terhadap beban gempa dengan waktu yang relatif cepat, peralatan sederhana dan biaya murah. Sedangkan ASCE/SEI 41-17 memberikan prosedur yang lebih rinci untuk mengevaluasi dan meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa dengan metode berbasis analisis kinerja seismik linear. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai dasar guna memprediksi bagaimana kinerja bangunan apabila kemungkinan gempa kuat terjadi. Apabila terdapat indikasi adanya kelemahan elemen struktur bangunan bangunan eksisting maka dapat dirumuskan upaya mitigasi keencanaan guna mencegah terjadinya keruntuhan bangunan dan meminimalisir korban jiwa.

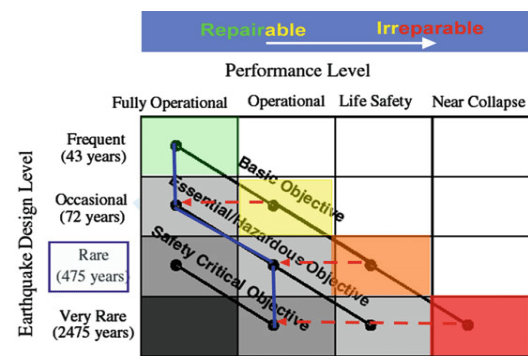
KAJIAN PUSTAKA

Bangunan Tahan Gempa

Gempa bumi merupakan peristiwa getaran pada permukaan bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi secara mendadak dari dalam kerak bumi. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia kebanyakan termasuk dalam kategori gempa bumi tektonik yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng di bawah permukaan tanah. Pergerakan lempeng ini menimbulkan getaran yang merambat sampai permukaan hingga berdampak pada struktur bangunan (Nurhidayatullah, E. F., & Dwi Kurniati., 2025). Menurut (Prawirodikromo, 2012) bangunan tahan gempa mempunyai prinsip-prinsip sebagai berikut:

1. Apabila terkena gempa kecil (*light* atau *minor earthquake*), struktur utama bangunan tidak boleh rusak dan masih berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur.
2. Apabila terkena gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, struktur bangunan utama boleh rusak atau retak ringan dan elemen non-struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diperbaiki.
3. Apabila terkena gempa kuat (*strong earthquake*), pada kondisi ini struktur bangunan tidak diperkenankan untuk runtuh atau rusak parah.

Berdasarkan (SEAOC, 2008) bangunan tahan gempa terbagi dalam tiga kategori menurut target tingkat kinerja seismik yaitu *basic objectives*, *essential/hazardous objectives* dan *safety critical objective*.



Gambar 1. Seismic Performance Objective Matrix (SEAOC, 2008)

Bangunan kategori risiko IV dengan fungsi sebagai fasilitas pendidikan termasuk dalam klasifikasi *safety critical objective* yaitu bangunan yang apabila terkena gempa yang kuat atau bahkan sangat kuat harus tetap beroperasi baik secara penuh atau membutuhkan sedikit perbaikan. Berdasarkan target kinerjanya, bangunan pendidikan setara dengan rumah sakit hingga fasilitas nuklir dengan tingkat risiko tinggi terhadap gempa bumi. Bangunan tersebut memiliki syarat yang sangat ketat terkait dengan kinerjanya terhadap gempa bumi serta dituntut harus selalu prima dalam kondisi apapun baik layan hingga ultimit.

Evaluasi Tahap 1 (Tier 1)

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas tentang evaluasi bangunan menggunakan FEMA P-154 diantaranya yaitu (Nurhidayatullah & Teguh, 2018), (Haryanto, Hu, Widyaningrum, Alfidiah, & Hidayat, 2020), (Negara, Ridwan, & Djauhari, 2022) dan (Zulfiar & Zai, 2021). Pada penelitian tersebut dikerjakan evaluasi *Rapid Visual Screening (RVS)* menggunakan formulir level 1 FEMA P-154. *Rapid Visual Screening (RVS)* merupakan metode dan panduan yang memanfaatkan sistem penilaian berbasis skor guna mengidentifikasi,

mengumpulkan data, serta menyaring bangunan yang berpotensi mengalami dampak signifikan akibat bahaya seismik.

Evaluasi tahap 1 adalah langkah awal dalam asesmen kerentanan bangunan eksisting. Tahap 1 dilakukan dengan survey lokasi dan dokumentasi bangunan. Prosedur *Rapid Visual Screening* menggunakan pendekatan penilaian kuantitatif berbasis skor yang menuntut identifikasi sistem penahan beban lateral utama pada bangunan, serta karakteristik arsitektural dan struktural yang dapat memengaruhi kinerja seismik yang diharapkan. Formulir pengumpulan data disusun untuk merekam informasi esensial terkait karakteristik bangunan, meliputi fungsi, dimensi, dokumentasi visual berupa foto dan sketsa, serta data pendukung lain yang relevan dalam proses evaluasi kinerja seismik bangunan. Seluruh data tersebut kemudian diolah untuk menghasilkan skor numerik bahaya seismik sebagai indikator awal tingkat kerentanan struktur terhadap gempa bumi. Nilai tersebut ditentukan berdasarkan tingkat percepatan getaran yang diperkirakan terjadi di wilayah seismik tertentu, serta mempertimbangkan ketentuan desain seismik dan praktik konstruksi yang berlaku di daerah tersebut.

Formulir level 1 FEMA P154 yang banyak digunakan oleh para peneliti sebelumnya menghasilkan skor yang masih bersifat global. Skor belum mampu menggambarkan kinerja serta kelemahan struktur bangunan secara rinci. Formulir tersebut level 1 FEMA P154 perlu disandingkan dengan formulir level 2 untuk mendapatkan hasil asesmen tahap awal yang lebih akurat. Di dalam formulir level 2 tercantum penilaian yang lebih rinci mencakup potensi bahaya struktural maupun

nonstruktural yang belum terdapat pada formulir level 1. Potensi bahaya struktural yang ditinjau mencakup *soft story*, *weak story*, *short column*, *setback*, *torsional irregularity*, *diaphragm opening*, *redundancy*, *pounding* dan lain-lain. Sedangkan potensi bahaya nonstruktural mencakup tower dan *parapet*, *cladding*, *falling hazard* dan lain sebagainya. Hasil penilaian evaluasi tahap 1 menggunakan formulir level 1 & 2 dapat dijadikan sebagai bahan rujukan investigasi lebih detail serta kompleks pada evaluasi tier 2.

Evaluasi Tahap 2 (Tier 2)

Tahap kedua evaluasi bertujuan untuk mengidentifikasi bagaimana kondisi elemen struktur bangunan pada saat skenario gempa terjadi. Analisis pada tahap ini dapat dilakukan menggunakan beberapa pendekatan, seperti prosedur statik linier dan dinamik linier. Penelitian ini secara khusus menerapkan kedua metode tersebut baik statik maupun dinamik linier berbasis respons spektrum. Analisis kapasitas penampang elemen struktur didasarkan pada beberapa pedoman diantaranya FEMA 310 (FEMA 310, 1998), ASCE/SEI 41-17 (ASCE/SEI 41-17, 2017), SNI 1727: 2020 (BSN (2), 2020), SNI 1726: 2019 (BSN, 2019), dan SNI 2847: 2019 (BSN, 2019).

Perbandingan antara hasil analisis struktur yaitu gaya-gaya dalam ultimit kombinasi beban gempa baik statik maupun dinamik terhadap kapasitas penampang struktur diperoleh nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR). Nilai DCR setiap elemen struktur merupakan pertanda bagaimana kondisi struktur bangunan. Berdasarkan nilai DCR elemen struktur diklasifikasikan ke dalam tiga kategori elastik linear, inelastik linear dan inelastik nonlinear. Hal tersebut belum dilakukan pada

penelitian sebelumnya terkait dengan asesmen kerentanan bangunan yaitu (Febrianto, Erizal, & Putra, 2024) (Handayani, 2021).

1. Prosedur statik linier

Analisis statik ekuivalen adalah metode evaluasi struktur terhadap gempa yang mensimulasikan getaran sebagai beban horizontal statis yang diterapkan pada pusat-pusat massa bangunan. Pada bangunan dengan massa yang besar, beban horizontal yang dihasilkan akan terdistribusi ke masing-masing pusat massa tersebut. Berdasarkan prinsip keseimbangan gaya, fenomena ini dapat dianggap sebagai bentuk gaya horizontal yang bekerja pada struktur bangunan, yang dikenal sebagai gaya geser dasar (V). Secara keseluruhan, gaya geser dasar ini mencerminkan kondisi keseimbangan antara beban horizontal total yang bekerja pada bangunan dan distribusi gaya pada setiap pusat massa.

2. Prosedur dinamik respon spektrum

Analisis dinamik adalah analisis struktur yang pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2, yaitu analisis ragam respons spektrum dan analisis riwayat waktu (Nurhidayatullah & Teguh, 2018). Penelitian ini menggunakan metode analisis ragam respons spektrum sesuai pedoman ASCE/SEI 41-17 dan SNI 1726: 2019.

3. Demand Capacity Ratio (DCR)

Demand Capacity Ratio (DCR) adalah perbandingan antara beban yang diterima (*demand*) oleh suatu elemen struktur gedung terhadap kemampuan elemen tersebut untuk menahannya

(*capacity*). Berdasarkan ASCE/SEI 41-17 (ASCE/SEI 41-17, 2017) *demand capacity ratio* secara umum dapat dituliskan menggunakan persamaan:

$$DCR = \frac{QUD}{QCE} \quad (1)$$

Keterangan:

QUD = Gaya akibat kombi nasi beban gravitasi dan gempa.

QCE = Kekuatan elemen struktur bangunan.

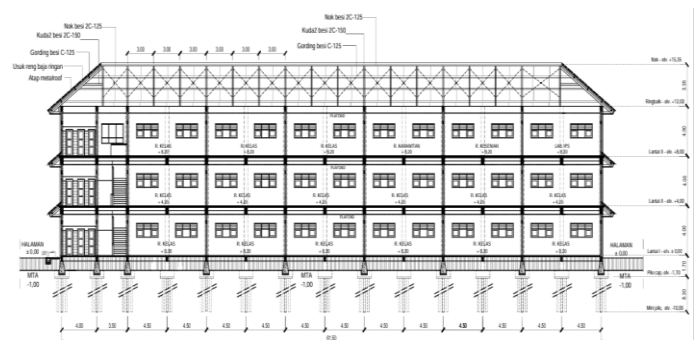
Menurut ASCE/SEI 41-17 dan FEMA 273 (FEMA, 1997) angka *DCR* merepresentasikan kondisi elemen struktur bangunan sebagai berikut:

- Nilai *DCR* kurang dari 1,0 menunjukkan bahwa elemen struktur masih berada dalam kondisi elastik.
- Nilai *DCR* diantara 1,0 sampai dengan 2,0 menunjukkan bahwa elemen struktur berada dalam kondisi inelastik – linear.
- Nilai *DCR* lebih dari 2 mengindikasikan bahwa elemen tersebut sudah berada dalam kondisi inelastik – nonlinear.

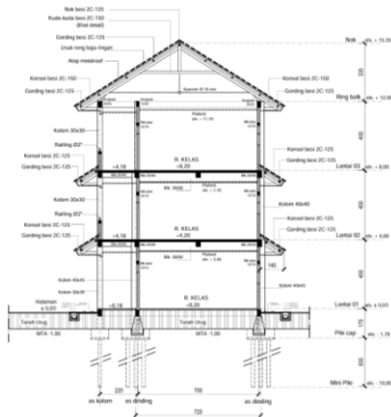
METODE PENELITIAN

Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian merupakan struktur gedung bertingkat dengan fungsi sebagai bangunan sekolah berlokasi di Kota Surakarta, Provinsi Jawa Tengah.



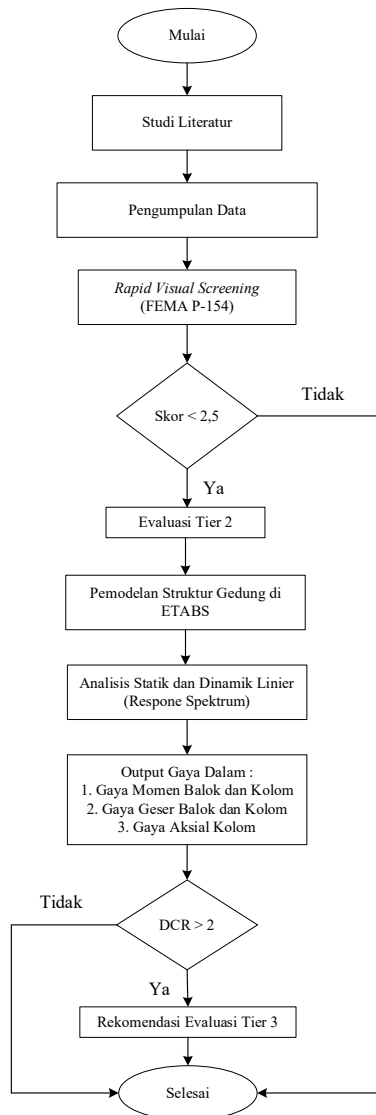
Gambar 2. Potongan memanjang gedung



Gambar 3. Potongan melintang gedung

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian tercantum pada bagan alir berikut.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dijelaskan sebagai berikut.

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dan data sekunder. Data primer yaitu data elemen struktur dan nonstruktur yang diperoleh melalui observasi lapangan dan wawancara dengan stakeholder terkait. Sedangkan data sekunder berupa *Detailed Engineering Design* (DED), pembebanan, hingga percepatan gempa.

2. Rapid Visual Screening FEMA P-154

Rapid Visual Screening dilakukan dengan mengunjungi lokasi bangunan, melakukan skrining sembari mengisi formulir FEMA P-154 (2015) yaitu formulir level 1 dan level 2. Hasil penilaian RVS berupa skor dengan batas nilai 2 untuk bangunan hunian standar dan 2,5 untuk bangunan dengan kategori resiko IV. Jika skor di bawah nilai tersebut, bangunan terindikasi memiliki kerentanan terhadap gempa bumi dan perlu dilanjutkan ke evaluasi tahap dua.

3. Evaluasi Tier 2

Evaluasi Tier 2 dikerjakan dengan metode analisis gempa statik ekuivalen dan dinamik respons spektrum linear. Pemodelan dan analisis struktur bangunan dikerjakan secara tiga dimensi dengan bantuan *software ETABS Ultimate 21.0.0*. Kombinasi beban mati, beban hidup dan beban gempa yang diaplikasikan dalam proses analisis struktur menghasilkan gaya dalam ultimit (*demand*). Sedangkan kekuatan elemen struktur beton bertulang (*capacity*) diperoleh melalui analisis sesuai dengan ketentuan SNI 2847: 2019.

4. Demand Capacity Ratio (DCR)

DCR merupakan perbandingan antara gaya dalam kombinasi beban ultimit (*demand*) dan kekuatan elemen struktur beton bertulang

(*demand*). Analisis DCR dikerjakan pada seluruh elemen struktur pemikul beban gempa baik kolom maupun balok. Nilai DCR mencerminkan kondisi setiap elemen struktur yaitu elastik linear, inelastik linear atau inelastik nonlinear. Dari hasil analisis DCR dapat diketahui bagaimana kinerja struktur bangunan akibat beban gempa secara lebih rinci hingga pada masing – masing komponen struktur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Tahap 1 (Tier 1)

Evaluasi tahap pertama dikerjakan dengan metode RVS menggunakan formulir FEMA P-154. Berbagai data teknis baik data primer maupun sekunder perlu diperjelas terlebih dahulu guna mengisi formulir level 1 dan 2. Koordinat lokasi objek penelitian dikategorikan ke dalam wilayah dengan tingkat seismisitas sedang hingga tinggi (*moderate high seismicity*) dengan nilai percepatan spektral periode pendek S_s 0,820g dan percepatan spektral 1 detik S_1 0,392g. Oleh karena itu asesmen dikerjakan menggunakan tipe formulir *moderate high seismicity*. Berdasarkan fungsinya sebagai bangunan sekolah, gedung tergolong ke dalam kategori risiko IV (*safety critical objectives*).

Dilihat dari elemen pemikul beban gempa, objek penelitian termasuk dalam kategori C1 yaitu

bangunan dengan sistem rangka pemikul momen beton bertulang MRF (*Moment Resisting Frame*) dengan nilai *basic score* sebesar 1,7. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa terdapat beberapa balok pada bagian eksterior yang tidak sejajar dengan kolom sehingga termasuk *plan irregularity* dengan skor -0,7. Meskipun dibangun pada tahun 2024, standar perancangan struktur bangunan tahan gempa yang digunakan masih mengacu pada standar yang lama, yaitu SNI 03-1726-2002. Pedoman tersebut sudah mengadopsi tipe-tipe struktur pemikul gempa FEMA sehingga termasuk *post-benchmark* dengan skor 1,9. Kondisi tanah di area objek penelitian termasuk dalam klasifikasi tanah lunak (SE) dengan struktur bangunan tiga tingkat sehingga diperoleh angka -0,2.

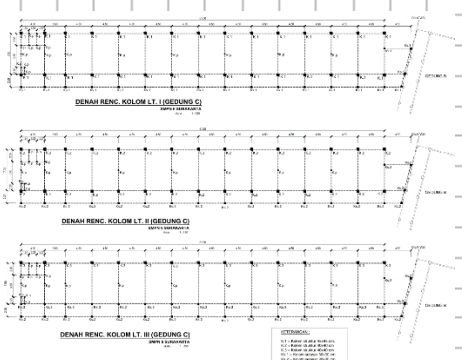
Berdasarkan skor penilaian di atas, diperoleh hasil akhir evaluasi RVS formulir level 1 yaitu 2,7 (Gambar 5). Gedung termasuk kategori risiko IV dengan tingkat risiko kegempaan yang tinggi. Selain itu terdapat potensi *pounding* dengan blok bangunan yang disebelahnya akibat jarak dilatasi yang cukup minim. Maka atas dasar pertimbangan tersebut asesmen perlu dilanjutkan menggunakan formulir level 2 (Gambar 6).

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA P-154 Data Collection Form

Level 1
MODERATELY HIGH Seismicity



TAMPAK DEPAN (GEDUNG C)
SMP N 6 SURAKARTA



SKETCH

Address: Jalan Kapten Mulyadi No. 259, Semanggi, Pasar Kliwon
Surakarta, Jawa Tengah Zip: 57118

Other Identifiers

Building Name:

Use: Sekolah

Latitude: -7.581779476701419 **Longitude:** 110.83140313625336
S₁: 0,8201 **S₂:** 0,3976

Screeners(s): R. Syendi Prima Syahputra **Date/Time:** 12 Maret 2025

No. Stories: Above Grade: 3 Below Grade: 0 **Year Built:** 2024 ☐ EST

Total Floor Area (sq. ft.): 627,3 m2 **Code Year:**

Additions: ☒ None ☐ Yes, Year(s) Built:

Occupancy: Assembly ☐ Commercial ☐ Emer. Services ☐ Historic ☐ Shelter
Industrial ☐ Office ☒ School ☐ Government
Utility ☐ Warehouse ☐ Residential, # Units:

Soil Type: ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E ☐ F ☐ DNK
Hard Rock Avg. Rock Dense Soil Stiff Soil Soft Soil Poor Soil
If DNK, assume Type D.

Geologic Hazards: Liquefaction: Yes/No/DNK Landslide: Yes/No/DNK Surf. Rupt.: Yes/No/DNK

Adjacency: ☐ Pounding ☐ Falling Hazards from Taller Adjacent Building

Irregularities: ☐ Vertical (type/severity) ☒ Plan (type) Balok tidak sejajar dengan kolom

Exterior Falling Hazards: ☐ Unbraced Chimneys ☐ Heavy Cladding or Heavy Veneer
☐ Parapets ☐ Appendages
☐ Other:

COMMENTS:

Plan Irregularities : Sesuai dengan FEMA P-154 (2015) pada bangunan SMP N 6 Surakarta terdapat plan irregularities yaitu posisi balok tidak sejajar dengan titik tengah kolom

☐ Additional sketches or comments on separate page

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL LEVEL 1 SCORE, S _{L1}																		
FEMA BUILDING TYPE	Do Not Know	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (URF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Basic Score		4.1	3.7	3.2	2.3	2.2	2.9	2.2	2.0	1.7	2.1	1.4	1.8	1.5	1.8	1.8	1.2	2.2
Severe Vertical Irregularity, V ₁		-1.3	-1.3	-1.3	-1.1	-1.0	-1.2	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-0.8	-1.0	-0.9	-1.0	-1.0	-0.8	NA
Moderate Vertical Irregularity, V ₂		-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	NA
Plan Irregularity, P ₁		-1.3	-1.2	-1.1	-0.9	-0.8	-1.0	-0.8	-0.7	-0.7	-0.9	-0.6	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.5	NA
Pre-Code		-0.8	-0.9	-0.9	-0.5	-0.5	-0.7	-0.6	-0.2	-0.4	-0.7	-0.1	-0.4	-0.3	-0.5	-0.5	-0.1	-0.3
Post-Benchmark		1.5	1.9	2.3	1.4	1.4	1.0	1.9	NA	1.9	2.1	NA	2.1	2.4	2.1	2.1	NA	1.2
Soil Type A or B		0.3	0.6	0.9	0.6	0.9	0.3	0.9	0.9	0.6	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8	0.8	0.6	0.9
Soil Type E (1-3 stories)		0.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	0.0	-0.4	-0.5	-0.2	-0.2	-0.4	-0.5	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.5
Soil Type E (> 3 stories)		-0.5	-0.8	-1.2	-0.7	-0.7	NA	-0.7	-0.6	-0.6	-0.8	-0.4	NA	-0.5	-0.6	-0.7	-0.3	NA
Minimum Score, S _{min}		1.6	1.2	0.8	0.5	0.5	0.9	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	1.4

FINAL LEVEL 1 SCORE, S_{L1} ≥ S_{min}: SL 1 = 1,7 - 0,7 + 1,9 - 0,2 = 2,7

EXTENT OF REVIEW

Exterior: ☒ Partial ☐ All Sides ☐ Aerial

Interior: ☒ None ☐ Visible ☐ Entered

Drawings Reviewed: ☒ Yes ☐ No

Soil Type Source: _____

Geologic Hazards Source: _____

Contact Person: _____

LEVEL 2 SCREENING PERFORMED?

☒ Yes, Final Level 2 Score, S_{L2} 2,1 ☐ No

Nonstructural hazards? ☐ Yes ☐ No

OTHER HAZARDS

Are There Hazards That Trigger A Detailed Structural Evaluation?

☒ Pounding potential (unless S_{L2} > cut-off, if known)

☐ Falling hazards from taller adjacent building

☐ Geologic hazards or Soil Type F

☐ Significant damage/deterioration to the structural system

ACTION REQUIRED

Detailed Structural Evaluation Required?

☐ Yes, unknown FEMA building type or other building

☒ Yes, score less than cut-off

☐ Yes, other hazards present

☐ No

Detailed Nonstructural Evaluation Recommended? (check one)

☐ Yes, nonstructural hazards identified that should be evaluated

☐ No, nonstructural hazards exist that may require mitigation, but a detailed evaluation is not necessary

☒ No, no nonstructural hazards identified ☐ DNK

Where information cannot be verified, screener shall note the following: EST = Estimated or unreliable data OR DNK = Do Not Know

Legend: MRF = Moment-resisting frame RC = Reinforced concrete URM INF = Unreinforced masonry infill MH = Manufactured Housing FD = Flexible diaphragm
BR = Braced frame SW = Shear wall LM = Light metal RD = Rigid diaphragm

Gambar 5. Formulir RVS level 1

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards

FEMA P-154 Data Collection Form

Optional Level 2 data collection to be performed by a civil or structural engineering professional, architect, or graduate student with background in seismic evaluation or design of buildings.

Level 2 (Optional)**MODERATELY HIGH Seismicity**

Bldg Name: SMPN 6 Surakarta	Final Level 1 Score: $S_{L1} = 2,7$	(do not consider S_{MN})
Screener: R. Syendi Prima Syahputra	Level 1 Irregularity Modifiers: Vertical Irregularity, $V_{L1} = 0$	Plan Irregularity, $P_{L1} = -0,7$
Date/Time: 12 Maret 2025	ADJUSTED BASELINE SCORE: $S' = (S_{L1} - V_{L1} - P_{L1}) = (2,7 - 0 - (-0,7)) = 3,4$	

STRUCTURAL MODIFIERS TO ADD TO ADJUSTED BASELINE SCORE

Topic	Statement (If statement is true, circle the "Yes" modifier; otherwise cross out the modifier.)		Yes	Subtotals
Vertical Irregularity, V_{L2}	Sloping Site	W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-1.3	$V_{L2} = 0$ (Cap at -1.3)
	Site	Non-W1 building: There is at least a full story grade change from one side of the building to the other.	-0.3	
	Weak and/or Soft Story (circle one maximum)	W1 building cripple wall: An unbraced cripple wall is visible in the crawl space.	-0.6	
		W1 house over garage: Underneath an occupied story, there is a garage opening without a steel moment frame, and there is less than 8' of wall on the same line (for multiple occupied floors above, use 16' of wall minimum).	-1.3	
		W1A building open front: There are openings at the ground story (such as for parking) over at least 50% of the length of the building.	-1.3	
		Non-W1 building: Length of lateral system at any story is less than 50% of that at story above or height of any story is more than 2.0 times the height of the story above.	-1.0	
		Non-W1 building: Length of lateral system at any story is between 50% and 75% of that at story above or height of any story is between 1.3 and 2.0 times the height of the story above.	-0.5	
	Setback	Vertical elements of the lateral system at an upper story are outboard of those at the story below causing the diaphragm to cantilever at the offset.	-1.0	
		Vertical elements of the lateral system at upper stories are inboard of those at lower stories.	-0.5	
	Short Column/ Pier	There is an in-plane offset of the lateral elements that is greater than the length of the elements.	-0.3	
		C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: At least 20% of columns (or piers) along a column line in the lateral system have height/depth ratios less than 50% of the nominal height/depth ratio at that level.	-0.5	
		C1,C2,C3,PC1,PC2,RM1,RM2: The column depth (or pier width) is less than one half of the depth of the spandrel, or there are infill walls or adjacent floors that shorten the column.	-0.5	
Split Level	There is a split level at one of the floor levels or at the roof.	-0.5		
Other	There is another observable severe vertical irregularity that obviously affects the building's seismic performance.	-1.0		
Irregularity	There is another observable moderate vertical irregularity that may affect the building's seismic performance.	-0.5		
Plan Irregularity, P_{L2}	Torsional irregularity: Lateral system does not appear relatively well distributed in plan in either or both directions. (Do not include the W1A open front irregularity listed above.)		-0.8	$P_{L2} = -0.8$ (Cap at -1.3)
	Non-parallel system: There are one or more major vertical elements of the lateral system that are not orthogonal to each other.		-0.4	
	Reentrant corner: Both projections from an interior corner exceed 25% of the overall plan dimension in that direction.		-0.4	
	Diaphragm opening: There is an opening in the diaphragm with a width over 50% of the total diaphragm width at that level.		-0.3	
	C1, C2 building out-of-plane offset: The exterior beams do not align with the columns in plan.		-0.4	
	Other irregularity: There is another observable plan irregularity that obviously affects the building's seismic performance.		-0.8	
Redundancy	The building has at least two bays of lateral elements on each side of the building in each direction.		+0.3	$M = -0.5$
Pounding	Building is separated from an adjacent structure by less than 0.5% of the height of the shorter of the building and adjacent structure and:	The floors do not align vertically within 2 feet.	-1.0	
		One building is 2 or more stories taller than the other.	-1.0	
		The building is at the end of the block.	-0.5	
S2 Building	"K" bracing geometry is visible.		-1.0	
C1 Building	Flat plate serves as the beam in the moment frame.		-0.5	
PC1/RM1 Bldg	There are roof-to-wall ties that are visible or known from drawings that do not rely on cross-grain bending. (Do not combine with post-benchmark or retrofit modifier.)		+0.3	
PC1/RM1 Bldg	The building has closely spaced, full height interior walls (rather than an interior space with few walls such as in a warehouse).		+0.3	
URM	Gable walls are present.		-0.4	
MH	There is a supplemental seismic bracing system provided between the carriage and the ground.		+1.2	
Retrofit	Comprehensive seismic retrofit is visible or known from drawings.		+1.4	
FINAL LEVEL 2 SCORE, $S_{L2} = (S' + V_{L2} + P_{L2} + M) \geq S_{MIN}$: $S_{L2} = 3.4 - 0 - 0.8 - 0.5 = 2.1$				(Transfer to Level 1 form)
There is observable damage or deterioration or another condition that negatively affects the building's seismic performance: ☐ Yes ☒ No				
If yes, describe the condition in the comment box below and indicate on the Level 1 form that detailed evaluation is required independent of the building's score.				

OBSERVABLE NONSTRUCTURAL HAZARDS

Location	Statement (Check "Yes" or "No")	Yes	No	Comment
Exterior	There is an unbraced unreinforced masonry parapet or unbraced unreinforced masonry chimney.		☒	
	There is heavy cladding or heavy veneer.		☒	
	There is a heavy canopy over exit doors or pedestrian walkways that appears inadequately supported.		☒	
	There is an unreinforced masonry appendage over exit doors or pedestrian walkways.		☒	
	There is a sign posted on the building that indicates hazardous materials are present.		☒	
	There is a taller adjacent building with an unanchored URM wall or unbraced URM parapet or chimney.		☒	
Interior	Other observed exterior nonstructural falling hazard:		☒	
	There are hollow clay tile or brick partitions at any stair or exit corridor.		☒	
	Other observed interior nonstructural falling hazard:		☒	
Estimated Nonstructural Seismic Performance (Check appropriate box and transfer to Level 1 form conclusions)				
☐ Potential nonstructural hazards with significant threat to occupant life safety → Detailed Nonstructural Evaluation recommended				
☐ Nonstructural hazards identified with significant threat to occupant life safety → But no Detailed Nonstructural Evaluation required				
☒ Low or no nonstructural hazard threat to occupant life safety → No Detailed Nonstructural Evaluation required				

Comments:

Gambar 6. Formulir RVS level 2Berdasarkan asesmen formulir level 2 diketahui bahwa tidak terdapat potensi baik *soft*

story maupun *weak story* dengan kondisi ketinggian antar tingkat bangunan cenderung seragam. Tidak terdapat *set back*, seluruh bangunan memiliki elevasi atap yang sejajar. Apabila dilihat dari denah struktur, sistem penahan gaya lateral cenderung terdistribusi dengan baik sehingga tidak berpotensi mengalami *torsional irregularity*. Namun berdasarkan hasil observasi lapangan, terdapat potensi *plan irregularity* lain yaitu beberapa balok pada bagian eksterior tidak sejajar dengan kolom, serta terdapat potensi *pounding* dengan blok bangunan yang disebelahnya akibat jarak dilatasi yang cukup minim.

Berdasarkan pertimbangan atas beberapa kondisi struktur bangunan, diperoleh hasil akhir penilaian setelah memperhitungkan formulir level 2 yaitu 2,1. Menurut FEMA P-154, skor akhir biasanya berkisar antara 0 hingga 7, dengan skor yang lebih tinggi memiliki kinerja seismik yang lebih baik. Skor yang lebih tinggi menunjukkan kemungkinan keruntuhan yang lebih kecil akibat gaya gempa. Skor 2,0 disarankan sebagai batas bagi bangunan hunian standar. Sedangkan skor batas yang lebih tinggi diperlukan untuk fasilitas kritis atau penting. Sehingga skor ambang batas menjadi lebih tinggi yaitu 2,5 (FEMA, 2015). Objek penelitian termasuk dalam fasilitas kritis (kategori resiko IV). Struktur gedung memerlukan evaluasi tahap kedua. Penilaian tahap 2 yang lebih rinci akan dilakukan sesuai dengan panduan ASCE/SEI 41-17.

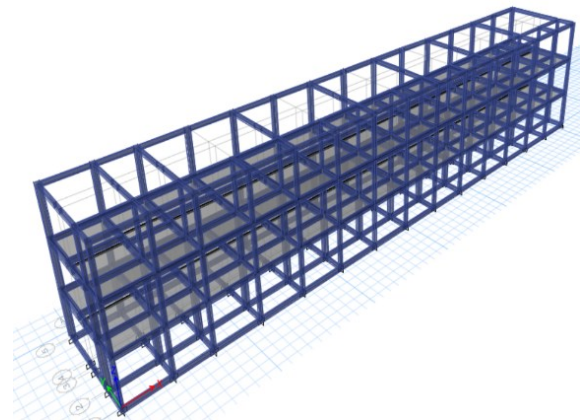
Hasil Evaluasi Tahap (tier) 2

Hasil evaluasi Tier 1 menunjukkan terdapat ketentuan yang belum terpenuhi menurut FEMA 154, sehingga perlu adanya evaluasi lanjutan untuk mengetahui kinerja bangunan secara lebih rinci.

Evaluasi tahap 2 menggunakan prosedur analisis statik linier ekuivalen dan dinamik linier respons spektrum. Hasil dari evaluasi ini yaitu nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR). Nilai DCR memberikan gambaran terkait bagaimana kondisi komponen struktur bangunan dalam memikul gaya gempa. Hal tersebut dapat digunakan sebagai acuan guna memutuskan langkah perlakuan selanjutnya yang perlu dikenakan terhadap struktur bangunan.

1. Pemodelan Struktur Bangunan

Pemodelan dan analisis struktur bangunan dikerjakan dengan bantuan software ETABS Ultimate 21.0.0. seperti ditunjukkan oleh Gambar

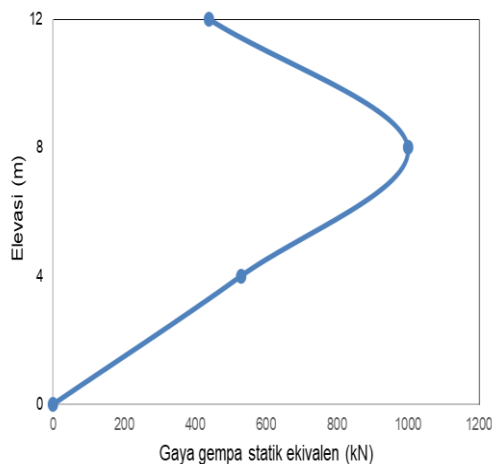


Gambar 7. Pemodelan struktur bangunan

Pada evaluasi ini, fokus penelitian dibatasi pada elemen struktur utama pemikul beban gempa, yaitu balok dan kolom.

2. Analisis Linier Statik Ekuivalen

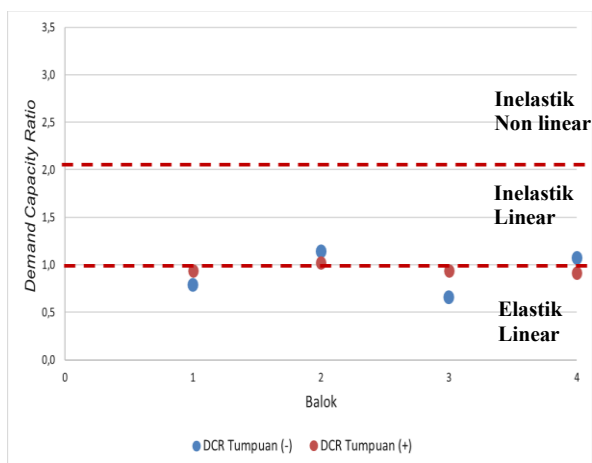
Gaya lateral statik akibat beban gempa diperhitungkan sesuai ketentuan ASCE/SEI 41-17 dan SNI 1726: 2019. Gaya lateral diberikan pada pusat masa setiap tingkat bangunan dengan nominal seperti ditunjukkan oleh gambar berikut.



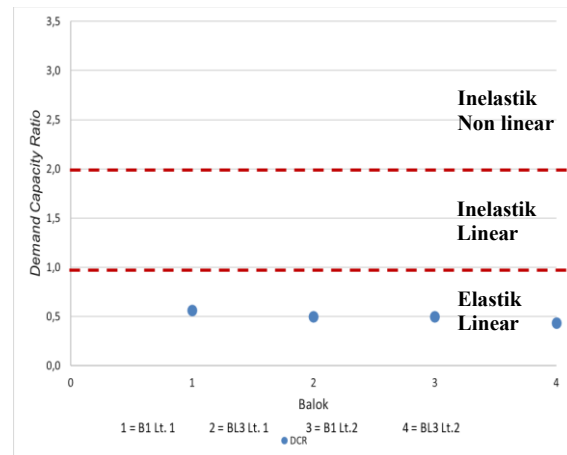
Gambar 8. Gaya gempa statik ekuivalen

Nilai DCR diperhitungkan pada seluruh elemen struktur pemikul gempa baik balok maupun kolom. DCR komponen struktur balok, ditinjau gaya dalam momen dan gaya geser sedangkan kolom yaitu gaya aksial, momen dan gaya geser.

Hasil perhitungan *Demand Capacity Ratio* akibat gempa statik pada struktur balok ditampilkan pada gambar 9 & 10.



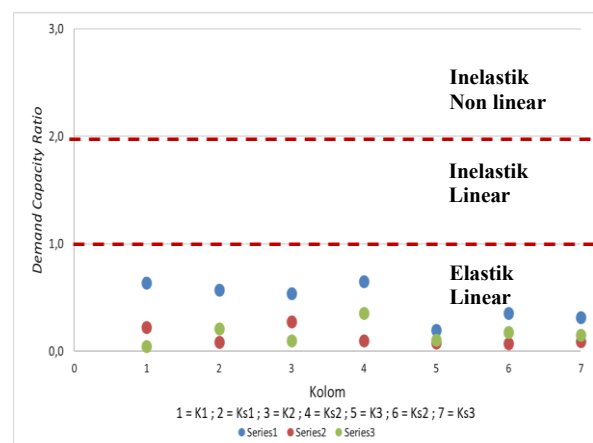
Gambar 9. Grafik DCR momen balok akibat gempa statik ekuivalen



Gambar 10. Grafik DCR geser balok akibat gempa statik ekuivalen

Hasil analisis DCR balok menunjukkan bahwa sebagian besar struktur masih berada dalam kondisi elastik linear (EL). Terdapat beberapa balok tipe B3 yang nilai DCRnya sudah sedikit melebihi angka 1 sehingga diproyeksikan sudah berada dalam kondisi inelastik linear (IL). Sebaran kondisi balok akibat beban gempa statik dapat dilihat pada Gambar 12.

Hasil perhitungan *Demand Capacity Ratio* akibat gempa statik pada struktur kolom ditunjukkan oleh Gambar 11.

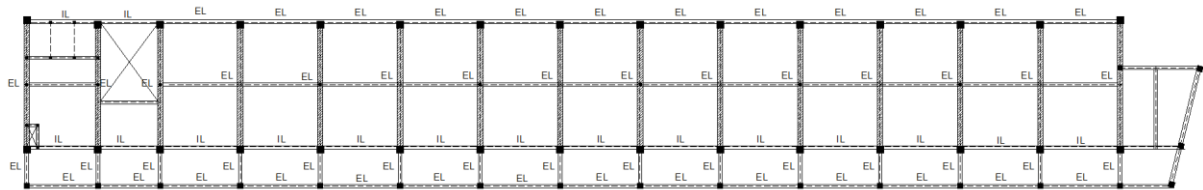


Gambar 11. Grafik DCR kolom akibat gempa statik ekuivalen

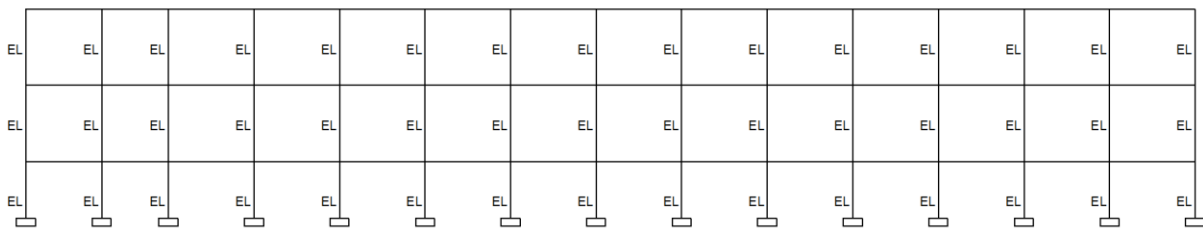
Seluruh kolom tampak masih berada dalam kondisi

elastik linear (EL) dengan nilai DCR kurang dari 1.
 Sebaran kondisi struktur kolom dapat dilihat pada

Gambar 13.



Gambar 12. Denah sebaran kondisi balok lantai 1 akibat beban gempa statik



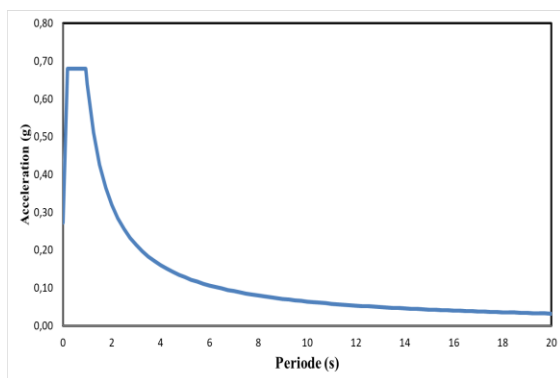
Gambar 13. Denah sebaran DCR kolom akibat beban gempa statik

3. Analisis Linier Dinamik Respon Spektrum

Respons spektrum gempa diperhitungkan mengikuti ketentuan ASCE/SEI 41-17 dan SNI 1726: 2019 sesuai dengan kondisi percepatan gempa dan situs wilayah setempat.

T_L sepanjang 20 detik.

Hasil perhitungan *Demand Capacity Ratio* akibat beban gempa dinamik ditampilkan pada gambar 15 sampai dengan 17.

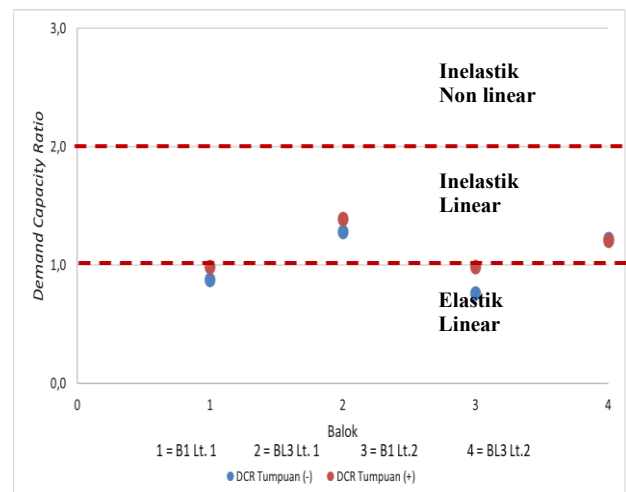


Gambar 14. Respons spektrum gempa

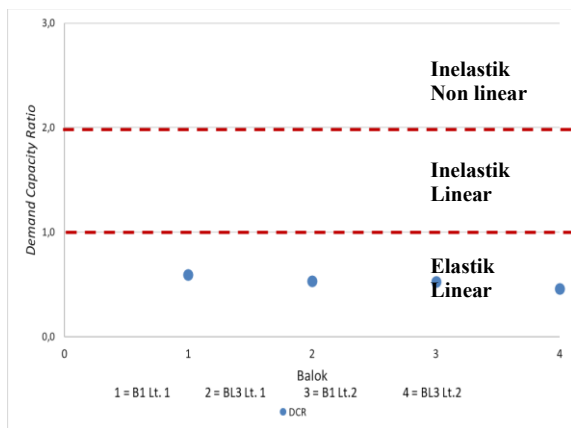
Grafik respons spektrum desain wilayah Surakarta dengan kondisi situs SE menunjukkan tingkat percepatan spektra desain periode pendek S_{ds} yaitu sebesar 0,680 g sedangkan percepatan spektra desain periode satu detik S_1 yaitu sebesar 0,639 g dengan periode transisi panjang spektrum

Asesmen Kerentanan Seismik....

(Nurhidayatullah & Syahputra, 2026)



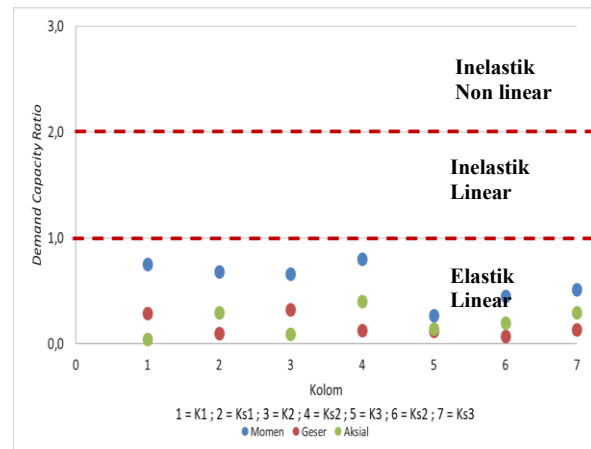
Gambar 15. Grafik DCR balok akibat momen dinamik



Gambar 16. Grafik DCR balok akibat geser dinamik

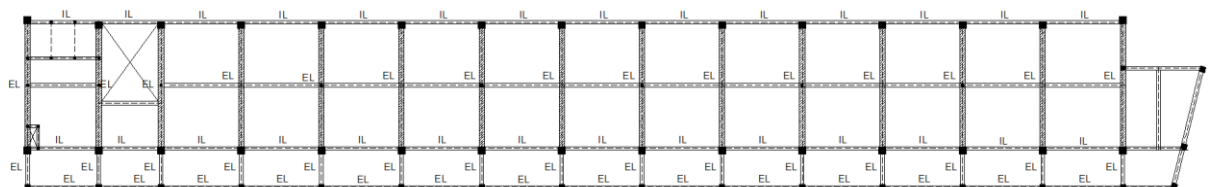
Simulasi beban gempa dinamik respons spektrum secara umum mengakibatkan seluruh balok mengalami peningkatan nilai DCR. Meskipun begitu seluruh balok tipe B1 masih berada dalam keadaan elastik linear (EL). Semakin banyak jumlah balok tipe B3 yang sudah berada dalam kondisi inelastik linear (IL). Namun belum ada struktur balok yang sudah mencapai inelastik nonlinear (IL). Sebaran kondisi balok akibat beban

gempa dinamik respons spektrum dapat dilihat pada Gambar 18.

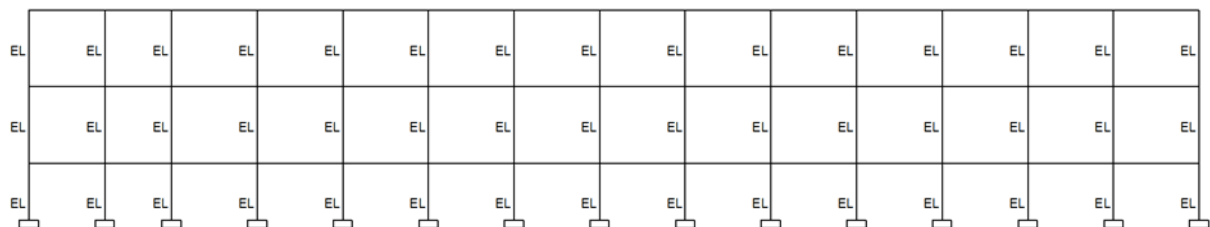


Gambar 17. Grafik DCR kolom dinamik

Selaras dengan kondisi struktur balok, hampir semua kolom juga mengalami peningkatan nilai DCR. Namun, peningkatan tersebut belum menyebabkan nilai DCR kolom melampaui angka 1. Semua kolom masih berada dalam kategori elastik linear (EL). Sebaran kondisi struktur kolom ditunjukkan oleh Gambar 20



Gambar 17. Denah sebaran kondisi balok lantai 1 akibat beban gempa dinamik



Gambar 19. Sebaran kondisi kolom akibat beban gempa dinamik

Simulasi beban gempa statik dan dinamik pada struktur bangunan menunjukkan bahwa sebagian besar struktur balok masih tergolong

elastik linear. Komponen struktur baja tulangan beton masih berada dalam kondisi regangan elastis (belum leleh). Kurang dari 50% balok yang sudah

berada dalam kategori inelastik linear. Kondisi dimana beton pada bagian serat tarik terluar sudah mengelupas dan baja tulangan tarik mulai leleh namun inti beton masih terlindungi dengan cukup baik. Mekanisme keruntuhan balok cenderung bersifat daktil.

Struktur kolom sepenuhnya masih berada dalam kondisi elastik linear dimana baja tulangan lentur belum mencapai leleh sehingga inti beton masih terlindungi dengan baik. Apabila bangunan mengalami gempa bumi kuat, kemungkinan balok akan mengalami sendi plastis terlebih dahulu. Mekanisme keruntuhan struktur bangunan sudah sesuai dengan prinsip *strong column weak beam* (Eka Faisal Nurhidayatullah, & Danang Ardiyanto., 2025). Balok dapat berperan sebagai pendissipasi energi gempa guna mencegah kolom dari kerusakan dini dan keruntuhan struktur bangunan. Target kinerja *life safety* sesuai ketentuan ASCE 41-17 & SNI 1726: 2019 dapat tercapai. Tidak terdapat indikasi adanya kelemahan struktur bangunan yang dapat berpotensi memicu terjadinya keruntuhan bangunan apabila terkena gempa bumi kuat. Evaluasi tahap 3 yaitu nonlinear statik pushover atau nonlinear dinamik time history tidak direkomendasikan untuk dikerjakan pada objek penelitian.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Evaluasi tahap 1 *Rapid Visual Screening* (RVS) menghasilkan nilai akhir yaitu 2,1 kurang dari ambang batas 2,5 sehingga diperlukan evaluasi tahap 2.
- Berdasarkan evaluasi tahap 2 diketahui bahwa nilai *Demand Capacity Ratio* (DCR) seluruh

elemen struktur kolom < 1 (elastik linear). Hanya sebagian elemen struktur balok yang menghasilkan nilai DCR antara 1 hingga 2 (inelastik linear).

- Mekanisme keruntuhan struktur bangunan diproyeksikan telah memenuhi prinsip *strong column-weak beam*.
- Tidak terdapat indikasi adanya kelemahan struktur bangunan yang berpotensi memicu keruntuhan bangunan apabila gempa bumi kuat terjadi. Evaluasi tahap 3 yaitu nonlinear statik pushover atau nonlinear dinamik time history tidak direkomendasikan untuk dikerjakan.

Saran

- Metode analisis *ground motion time history* dapat dikerjakan guna mengetahui perilaku struktur bangunan secara lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- ASCE/SEI 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia, 20191-4382 , United States of America (USA) : American Society Of Civil Engineers .
- BNPB. (2024, Maret 12). <https://dibi.bnpb.go.id/>.
- BSN (2). (2020). *SNI 1727: 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Struktur Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN.
- BSN. (2019). *SNI 1726 : 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2019). *SNI 2847 : 2019 Persyaratan Beton*

- Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Eka Faisal Nurhidayatullah, & Danang Ardiyanto. (2025). Seismic Performance Study of Multi-storey Building Structures with Nonlinear Time History Analysis Method. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION*, 9(1), 62–79. doi:<https://doi.org/10.31289/jcebt.v9i1.12622>
- Febrianto, A., Erizal, & Putra, H. (2024, Oktober 28). Analisis Seismik Struktur Bangunan Menggunakan ASCE 41-17 dan SNI 1726:2019. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 9(2), 211-220. doi:[10.29244/jsil.9.2.211-220](https://doi.org/10.29244/jsil.9.2.211-220)
- FEMA. (1997). *FEMA 273 - NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*. Washington, D.C.: Building Seismic Safety Council (BSSC).
- FEMA. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Sesimic Hazard : A Handbook Third Edition*. Federal Emergency Management Agency.
- FEMA 310. (1998). *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*. Washington, D.C.: Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings, ASCE for the Federal Emergency Management Agency.
- Handayani, N. K. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Eksisting Tujuh Lantai dengan FEMA 310. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar*, 7(1), 1-14.
- Haryanto, Y., Hu, H. T., Widyaningrum, A., Alfidiah, E., & Hidayat, B. A. (2020). FEMA 310 Tier 1 seismic evaluation of existing building: A case study of a 7-story academic RC building of Jenderal Soedirman University, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing Ltd. doi:[10.1088/1757-899X/982/1/012031](https://doi.org/10.1088/1757-899X/982/1/012031)
- Negara, S. P., Ridwan, & Djauhari, Z. (2022). Evaluasi Seismik Bangunan Eksisting Dengan Metode FEMA P-154 Dan FEMA 310. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 21(1), 1-7.
- Nurhidayatullah, E. F., & Dwi Kurniati. (2025). Prediction of ground motion due to the influence of Nonlinear Soil Conditions using probabilistic approach. *Teknisia*, 29(2), 80 - 93. doi:<https://doi.org/10.20885/teknisia.vol29.iss2.art2>
- Nurhidayatullah, E. F., & Teguh, M. (2018). Kinerja Seismik Struktur Pada Tipe Gedung Dengan Ketidakberaturan Ketinggian Dan Denah. *Jurnal Teknisia*, 23(1).
- Prawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Gempa*. (Dimaswids, & Marjekk, Eds.) Pustaka Pelajar.
- SEAO. (2008, September). A Brief Guide to Seismic Design Factors. *Structure Magazine*, pp. 30 - 32.
- Yustikia, N. S. (2019). Pentingnya Sarana Pendidikan Dalam Menunjang Kualitas Pendidikan Di Sekolah. *Jurnal Pendidikan Hindu*, 4(2), 1-12.
- Zulfiar, M. H., & Zai, M. I. (2021, 10 2). Penilaian Kerentanan Bangunan Terhadap Gempa Bumi pada Gedung Perkuliahan Berantai Tinggi di Yogyakarta. *Bulletin of Civil Engineering*, 1(2), 73-80. doi:[10.18196/bce.v1i2.11075](https://doi.org/10.18196/bce.v1i2.11075)