**JSpTS (Jurnal Spesialis Teknik Sipil)**
Volume 07, Nomor 01, April, 2026 E-ISSN: 2714-6227

# Kinerja dan Kapasitas Struktur Bangunan Eksisting sesuai Prinsip Evaluasi ASCE 41-17

**Shinta Berlinda Wulandari[1]*, Hanie Teki Tjendani[2], dan Buntara Sthenly Gan[3]**
[1,2]Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
[3]College of Engineering, Nihon University, Koriyama, Japan
E-mail: shintabw25@gmail.com[1], hanie@untag-sby.ac.id[2], gan.buntarasthenly@nihon-u.ac.jp[3]

***Abstract***

*Indonesia is located in a highly active seismic region due to its position along the Pacific Ring of Fire, causing many existing buildings to remain vulnerable to earthquake loads, particularly structures designed using outdated seismic codes. This study aims to evaluate the performance and structural capacity of an existing reinforced concrete building based on the performance-based evaluation principles of ASCE 41-17 integrated with SNI 1726:2019 and SNI 2847:2019. The research employed a quantitative analytical method using numerical simulation through Tier 1 – Screening Procedure and Tier 3 – Systematic Procedure. Structural performance evaluation was conducted using nonlinear static pushover analysis to determine capacity curves, plastic hinge formation, drift behavior, and structural performance levels. The results indicate that the existing structure still contains several structural deficiencies, particularly in columns and lateral force-resisting systems. The pushover analysis shows that the structure is still capable of resisting moderate earthquake demands; however, its capacity and ductility decrease significantly under higher seismic intensity. The structure does not fully satisfy the Immediate Occupancy (IO) and Life Safety (LS) performance levels, although under certain conditions it still achieves Collapse Prevention (CP). Plastic hinge distribution concentrated in column elements indicates that the strong column–weak beam mechanism has not been achieved optimally, making columns the critical elements controlling global structural stability. Overall, the ASCE 41-17 performance-based evaluation approach proves effective in assessing the seismic performance and capacity of existing buildings and can serve as a basis for determining structural strengthening or retrofit requirements.*

***Keywords:*** *ASCE 41-17, existing building, pushover analysis, seismic evaluation, structural performance*

***Abstrak***

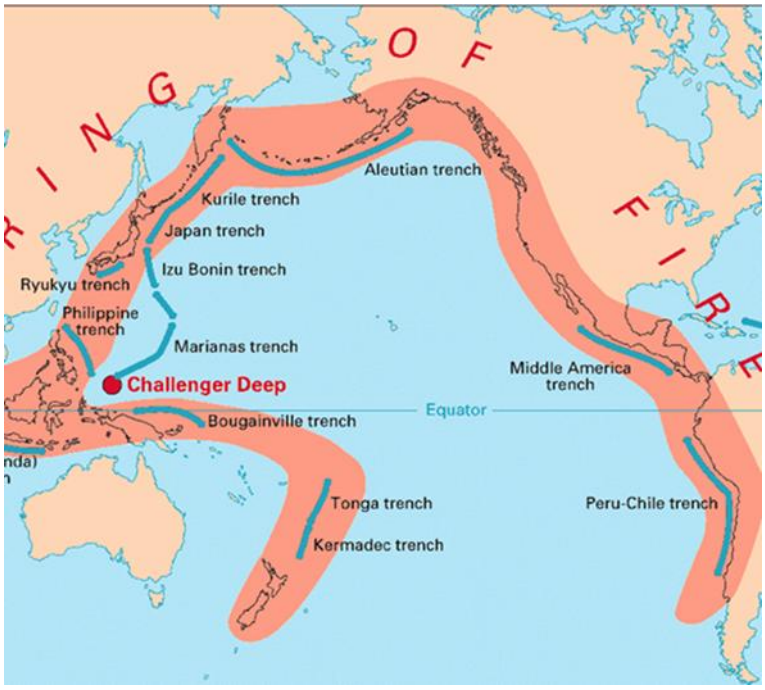
*Indonesia berada pada wilayah dengan aktivitas seismik tinggi akibat posisinya pada jalur Pacific Ring of Fire sehingga banyak bangunan eksisting masih rentan terhadap beban gempa, khususnya bangunan yang dirancang menggunakan standar lama. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja dan kapasitas struktur bangunan beton bertulang eksisting berdasarkan prinsip evaluasi berbasis kinerja sesuai ASCE 41-17 yang diintegrasikan dengan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Penelitian menggunakan metode analitis kuantitatif berbasis simulasi numerik melalui tahapan Tier 1 – Screening Procedure dan Tier 3 – Systematic Procedure. Evaluasi kinerja struktur dilakukan menggunakan analisis nonlinier statik pushover untuk memperoleh kurva kapasitas, pembentukan sendi plastis, perilaku drift, serta tingkat kinerja struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur eksisting masih memiliki beberapa defisiensi struktural, terutama pada elemen kolom dan sistem penahan gaya lateral. Hasil pushover analysis menunjukkan bahwa struktur masih mampu menahan gempa tingkat menengah, namun mengalami penurunan kapasitas dan daktilitas pada gempa dengan intensitas lebih besar. Struktur belum sepenuhnya memenuhi target kinerja Immediate Occupancy (IO) dan Life Safety (LS), meskipun pada kondisi tertentu masih mencapai Collapse Prevention (CP). Distribusi sendi plastis yang terkonsentrasi pada elemen kolom menunjukkan bahwa mekanisme strong column–weak beam belum tercapai*

*Corresponding Author's email: shintabw25@gmail.com

*secara optimal sehingga kolom menjadi elemen kritis terhadap kestabilan global struktur. Secara keseluruhan, pendekatan evaluasi berbasis kinerja ASCE 41-17 terbukti efektif untuk menilai kapasitas dan perilaku struktur bangunan eksisting serta dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan perkuatan atau retrofit struktur.*
***Kata kunci:*** *ASCE 41-17, analisis pushover, bangunan eksisting, evaluasi seismik, kinerja struktur*

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di sepanjang zona subduksi dan sistem patahan aktif yang merupakan bagian dari Cincin Api Pasifik. Kondisi ini menjadikan Indonesia salah satu wilayah yang paling rawan gempa di dunia, dengan frekuensi dan intensitas yang bervariasi di berbagai daerah. Paparan terhadap bahaya seismik bersifat kronis dan beragam secara spasial, yang berarti bahwa karakteristik gempa bumi seperti spektrum frekuensi, jenis sumber, durasi guncangan, dan komponen impulsif sangat memengaruhi desain struktur (BMKG & AIEC, 2025).




**Gambar 1** *Ring of Fire*

Bangunan eksisting, khususnya bangunan bertingkat yang dibangun sebelum penerapan kode seismik modern, menunjukkan berbagai bentuk kerentanan struktural. Detail penguatan yang tidak memadai, kapasitas geser kolom yang terbatas, dan mekanisme lantai lunak merupakan penyebab umum kerusakan. Gempa bumi besar di Indonesia telah berulang kali mengungkapkan pola kegagalan ini, yang menggarisbawahi perlunya penguatan elemen-elemen penting—terutama kolom—agar bangunan yang sudah ada dapat menahan tuntutan seismik sesuai dengan standar saat ini (Salim & Sidi, 2024).

Sebagai respons terhadap meningkatnya pemahaman mengenai bahaya gempa dan perilaku struktur, Indonesia telah merevisi standar perencanaan bangunan tahan gempa melalui SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Revisi ini mencakup pembaruan peta percepatan gempa dasar, spektra respons, serta ketentuan detailing pada struktur beton bertulang, sekaligus memperketat perhitungan gaya lateral rencana dan persyaratan penulangan/detailing sehingga menyempurnakan desain bangunan baru. Namun demikian, karena standar tersebut lebih berorientasi pada perencanaan bangunan baru, bangunan eksisting yang dibangun dengan standar lama atau bahkan tanpa standar tetap berada dalam kondisi rentan. Oleh sebab itu, bangunan eksisting memerlukan prosedur evaluasi dan strategi retrofit yang sistematis agar dapat disesuaikan dengan tuntutan kekuatan dan daktilitas modern. Dalam konteks Indonesia, integrasi antara peta *hazard* SNI dan prosedur evaluasi retrofit menjadi penting agar rekomendasi perkuatan dapat diterapkan secara praktis dan relevan.

Pendekatan evaluasi berbasis kinerja dan strategi retrofit memiliki peran penting dalam meningkatkan ketahanan bangunan eksisting terhadap beban seismik. ASCE 41-17 (*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*) merupakan standar internasional yang dirancang khusus untuk evaluasi seismik dan retrofit bangunan eksisting dengan pendekatan bertingkat (*tiered*) dan berbasis kinerja (*performance-based*). Standar ASCE 41-17 menyediakan kerangka evaluasi bertingkat, antara lain *Tier* 1 – *Screening Procedure*, *Tier* 2 – *Deficiency-Based Evaluation*, dan *Tier* 3 – *Systematic Procedure*. Standar ini memodelkan perilaku struktural maupun nonstruktural melalui *backbone curves* sebagai respons nonlinier terhadap deformasi, yang kemudian dikombinasikan dengan *acceptance criteria* berupa rotasi plastis, *drift*, dan batas deformasi untuk mengidentifikasi tingkat kerusakan, kapasitas deformasi, serta mekanisme kegagalan struktur secara lebih terukur dan sistematis.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian mengenai "Kinerja dan Kapasitas Struktur Bangunan Eksisting sesuai Prinsip Evaluasi ASCE 41-17" menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini difokuskan pada evaluasi kinerja dan kapasitas struktur bangunan eksisting menggunakan prinsip evaluasi berbasis kinerja sesuai ASCE 41-17 yang dikombinasikan dengan ketentuan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran tingkat keamanan struktur eksisting terhadap beban gempa sekaligus menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan perkuatan struktur secara tepat dan terukur.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analitis–kuantitatif berbasis simulasi numerik untuk mengevaluasi kinerja dan kapasitas struktur bangunan eksisting berdasarkan prinsip evaluasi ASCE 41-17. Pendekatan penelitian dilakukan melalui *performance-based seismic evaluation* dengan tahapan evaluasi bertingkat sesuai

ketentuan ASCE 41-17, meliputi *Tier* 1 – *Screening Procedure* dan *Tier* 3 – *Systematic Procedure*. Analisis dilakukan terhadap bangunan eksisting untuk mengetahui tingkat kinerja struktur terhadap beban gempa berdasarkan parameter deformasi, kapasitas, dan *acceptance criteria*.

## 2.1 Subjek Penelitian

Subjek penelitian berupa bangunan gedung bertingkat dengan sistem struktur rangka beton bertulang yang dirancang menggunakan standar perencanaan lama. Struktur bangunan dimodelkan sebagai bangunan eksisting yang dievaluasi terhadap tuntutan gempa sesuai standar terbaru. Data penelitian meliputi dimensi elemen struktur, mutu material, konfigurasi sistem struktur, serta data pembebanan berdasarkan gambar perencanaan dan dokumen teknis bangunan.

## 2.2 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri atas perangkat lunak analisis struktur, standar peraturan, dan data sekunder yang digunakan dalam proses evaluasi struktur. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan SAP2000 untuk membangun model tiga dimensi dan melakukan analisis nonlinier struktur. Standar dan pedoman yang digunakan meliputi:

- SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung.
- SNI 1727:2020 untuk pembebanan bangunan gedung.
- SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural.
- ASCE 41-17 sebagai pedoman evaluasi kinerja bangunan eksisting.
- PPIUG 1983 untuk pembebanan mati bangunan.

Data sekunder yang digunakan terdiri atas data perencanaan struktur eksisting, parameter hazard gempa nasional, serta data teknis bangunan.

## 2.3 Prosedur Penelitian

1) Studi Literatur

   Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur mengenai perilaku struktur beton bertulang terhadap beban gempa, konsep *performance-based seismic evaluation*, *pushover analysis*, serta kriteria kinerja struktur berdasarkan ASCE 41-17. Kajian juga mencakup konsep *backbone curve*, *acceptance criteria*, dan parameter kinerja struktur seperti *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

2) Pengumpulan Data

   Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumen terhadap data perencanaan bangunan eksisting yang meliputi gambar struktur, dimensi elemen, detail penulangan, mutu material, dan data pembebanan. Selain itu,

dikumpulkan pula data parameter gempa berdasarkan peta hazard nasional sebagai dasar penentuan respons spektrum gempa rencana.

3) Perhitungan Pembebanan
Perhitungan pembebanan dilakukan untuk menentukan gaya-gaya yang bekerja pada struktur. Beban yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa sesuai ketentuan standar nasional. Beban gempa dihitung berdasarkan parameter respons spektrum pada lokasi bangunan menggunakan SNI 1726:2019.

4) Pemodelan Struktur Eksisting
Bangunan eksisting dimodelkan secara tiga dimensi menggunakan SAP2000 dengan memasukkan data material, dimensi elemen, konfigurasi struktur, serta pembebanan sesuai kondisi aktual bangunan. Model struktur digunakan untuk memperoleh respons struktur terhadap beban gravitasi dan beban lateral gempa.

5) *Tier* 1 – *Screening Procedure*
Tahap *Tier* 1 dilakukan sebagai evaluasi awal menggunakan checklist sesuai ASCE 41-17 untuk mengidentifikasi potensi kelemahan struktur. Pemeriksaan meliputi konfigurasi bangunan, sistem penahan gaya lateral, ketidakteraturan struktur, serta detailing elemen beton bertulang. Hasil screening digunakan untuk menentukan kebutuhan evaluasi lanjutan pada *Tier* 3.

6) *Ties* 3 – *Systematic Procedure*
Tahap *Tier* 3 dilakukan melalui analisis nonlinier statik menggunakan pushover analysis untuk mengevaluasi kinerja dan kapasitas struktur secara lebih rinci. Analisis ini digunakan untuk memperoleh hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan struktur dalam bentuk *capacity curve*. Berdasarkan hasil *pushover analysis*, dilakukan evaluasi terhadap tingkat kinerja struktur menggunakan *acceptance criteria* ASCE 41-17. Parameter yang dianalisis meliputi *displacement*, *drift ratio*, pembentukan sendi plastis, dan mekanisme keruntuhan struktur.

## 2.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif berdasarkan hasil simulasi struktur. Data hasil *pushover analysis* digunakan untuk mengevaluasi kapasitas struktur, level kinerja bangunan, serta perilaku nonlinier elemen struktur. Penilaian dilakukan dengan membandingkan parameter respons struktur terhadap batas penerimaan (*acceptance criteria*) ASCE 41-17.

Hasil evaluasi kemudian digunakan untuk mengidentifikasi tingkat keamanan struktur eksisting terhadap beban gempa dan menentukan apakah bangunan memenuhi target kinerja yang dipersyaratkan. Analisis juga dilakukan terhadap distribusi sendi plastis, kapasitas deformasi, dan pola mekanisme keruntuhan

struktur untuk mengetahui elemen-elemen kritis yang mempengaruhi kestabilan global bangunan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur eksisting dirancang menggunakan standar pembebanan dan penulangan lama. PPIUG 1983 digunakan untuk menghitung beban mati, SNI 1727:2013 digunakan utnuk menghitung beban hidup dan beban angin, SNI 1726:2012 digunakan untuk menghitung beban gempa, serta SNI 2847:2013 digunakan untuk menghitung penulangan. Struktur akan dievaluasi menggunakan ASCE 41-17 untuk mengetahui kinerja dan kapasitas struktur eksisting.

### 3.1 Evaluasi Struktur Eksisting Berdasarkan ASCE 41-17

Evaluasi awal dilakukan menggunakan prosedur *Tier* 1 – *Screening* sesuai ketentuan ASCE 41-17 untuk mengidentifikasi potensi kelemahan struktur eksisting. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui apakah bangunan memenuhi persyaratan minimum evaluasi seismik sebelum dilakukan analisis lebih rinci pada *Tier* 3. Berdasarkan hasil *screening*, ditemukan beberapa indikasi defisiensi struktur, terutama pada elemen kolom dan sistem penahan gaya lateral yang belum memenuhi ketentuan detailing tahan gempa modern.

**Tabel 1** Rekapitulasi *Drift*

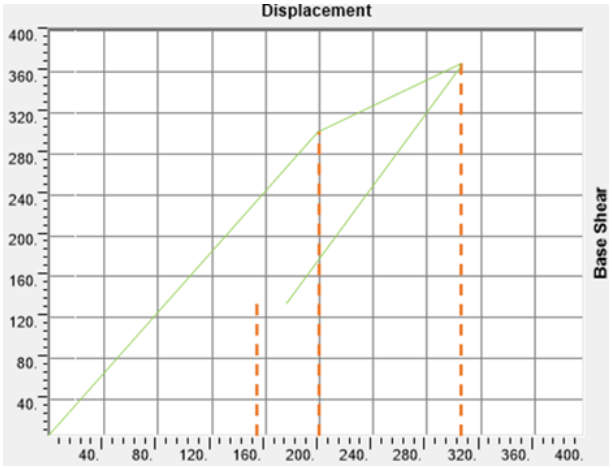
| Lantai | Tinggi Lantai | *Drift* X | *Drift* Antar Lantai | *Drift* Y | *Drift* Antar Lantai |
|---|---|---|---|---|---|
| | mm | mm | mm | mm | mm |
| 10 | 3400 | 246,502 | 47,32 | 117,085 | 74,86 |
| 9 | 3400 | 237,898 | 73,82 | 103,474 | 76,59 |
| 8 | 3400 | 224,477 | 98,80 | 89,549 | 77,06 |
| 7 | 3400 | 206,514 | 121,82 | 75,539 | 76,63 |
| 6 | 3400 | 184,365 | 195,35 | 61,607 | 74,27 |
| 5 | 3400 | 148,847 | 157,95 | 48,104 | 70,38 |
| 4 | 3400 | 120,128 | 174,60 | 35,308 | 62,84 |
| 3 | 4200 | 88,382 | 174,66 | 23,882 | 66,41 |
| 2 | 4200 | 56,626 | 202,95 | 11,808 | 46,37 |
| 1 | 4200 | 19,726 | 108,50 | 3,377 | 18,58 |
| **Rata-Rata** | | | **135,58** | | **64,40** |
| **150% Rata-Rata** | | | **203,36** | | **96,60** |

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa terdapat nilai *drift* yang melebihi 150% dari nilai rata-rata *drift* antar lantai yang berpotensi akan membentuk mekanisme inelastik pada elemen kolom akibat kapasitas deformasi yang terbatas. Selain itu, ketidakteraturan distribusi kekakuan antar lantai menyebabkan konsentrasi *drift* pada beberapa lantai tertentu sehingga meningkatkan risiko pembentukan *soft*

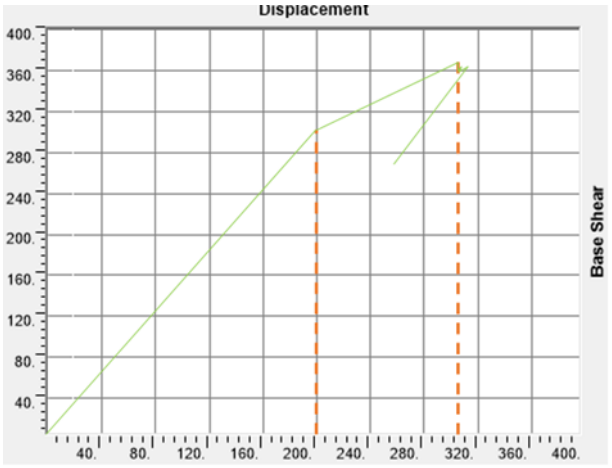
*story mechanism*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa bangunan eksisting memerlukan evaluasi lanjutan menggunakan analisis nonlinier untuk mengetahui kapasitas aktual struktur terhadap beban gempa.

### 3.2 Analisis Kapasitas Struktur

Analisis kapasitas dilakukan menggunakan pendekatan *force-controlled* berdasarkan karakteristik kurva kapasitas *pushover*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kurva kapasitas arah X memiliki karakteristik tipe 2, sedangkan arah Y menunjukkan karakteristik tipe 1 sebagaimana klasifikasi pada ASCE 41-17.




(a)




(b)

**Gambar 2** (a) Kurva Kapasitas *Pushover* Arah X, (b) Kurva Kapasitas *Pushover* Arah Y

Pada arah X, perilaku struktur menunjukkan peningkatan deformasi pasca-leleh yang masih mampu mempertahankan kapasitas tanpa penurunan kekuatan secara drastis. Sementara itu, pada arah Y, struktur mengalami peningkatan deformasi yang lebih terbatas sehingga menunjukkan kapasitas daktilitas yang lebih rendah dibanding arah X. Berdasarkan evaluasi tersebut, komponen struktur

dikategorikan menggunakan metode *force-controlled* karena perilaku pasca-leleh belum menunjukkan kemampuan deformasi yang memadai.

Evaluasi kapasitas elemen struktur dilakukan dengan membandingkan kapasitas nominal elemen terhadap gaya dalam yang terjadi akibat kombinasi pembebanan gempa sesuai target kinerja BSE-1E dan BSE-2E. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beberapa elemen balok masih memenuhi kapasitas lentur dan geser, namun sejumlah kolom mengalami rasio *demand-capacity* yang tinggi sehingga menjadi elemen kritis terhadap kestabilan global struktur.

### 3.3 *Acceptance Criteria* dan Pemodelan Sendi Plastis

Pendefinisian sendi plastis dilakukan berdasarkan *modelling parameters* dan *acceptance criteria* yang ditetapkan dalam ASCE 41-17. Parameter sendi plastis balok diperoleh melalui pendekatan analitis dan interpolasi berdasarkan rasio tulangan, kapasitas geser, serta tingkat pembebanan aksial elemen.

**Tabel 2** Parameter Pemodelan dan Kriteria Penerimaan Numerik untuk Prosedur Nonlinier - Balok Beton Bertulang

| ***Criteria*** | | | ***Modelling Parameters[a]*** | | | ***Acceptance Criteria[a]*** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ***Plastic Rotation Angle (radians)*** | | ***Residual Strength Ratio*** | ***Plastic Rotation Angle (radians)*** | | |
| | | | | | | ***Performance Level*** | | |
| | | | ***a*** | ***b*** | ***c*** | **IO** | **LS** | **CP** |
| ***Condition i. Beams controlled by flexure[b]*** | | | | | | | | |
| $\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$ | *Transverse reinforcement[c]* | $\frac{V^d}{b_w d\sqrt{f'_{cE}}}$ | | | | | | |
| ≤0,0 | C | ≥6 (0,5) | 0,02 | 0,04 | 0,2 | 0,005 | 0,02 | 0,04 |
| ≥0,5 | C | ≥6 (0,5) | 0,015 | 0,02 | 0,2 | 0,005 | 0,015 | 0,02 |

Terdapat beberapa parameter dari perhitungan kapasitas balok untuk memperoleh parameter sendi plastis balok, antara lain:

ρ = 0,012621
ρ' = 0,007572
V = 376.797,58 N
$b_w$ = 300 mm
d = 648,5 mm
$f'_c$ = 24,9 MPa

Nilai-nilai pada setiap parameter digunakan untuk mengetahui *modelling parameters* (a, b, c) dan *acceptance criteria* (IO, LS, CP). Berikut hasil yang diperoleh:

a = 0,018128988
b = 0,032515953

c = 0,2
IO = 0,005
LS = 0,018128988
CP = 0,032515953

**Tabel 3** *Acceptance Criteria* Balok

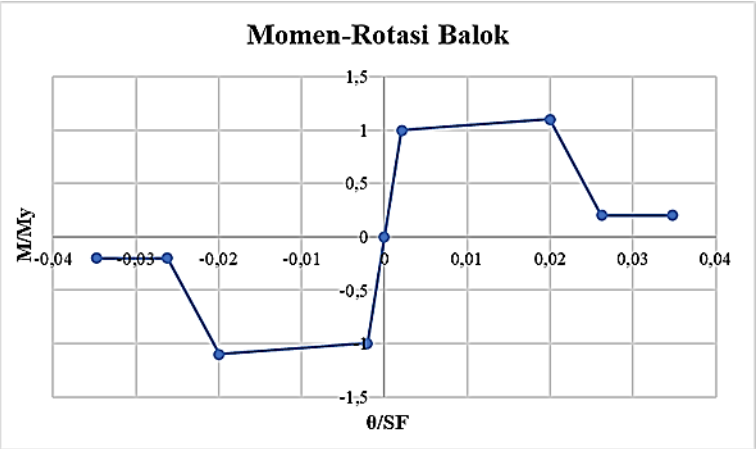
| ***Performance Level*** | ***Acceptance Criteria*** | |
|---|---|---|
| | ***Positive*** | ***Negative*** |
| IO | 0,005 | -0,005 |
| LS | 0,018128988 | -0,018128988 |
| CP | 0,032515953 | -0,032515953 |

Nilai tersebut digunakan untuk membentuk hubungan momen–rotasi sebagai dasar pemodelan *hinge* nonlinier pada analisis *pushover*.

**Tabel 4** Momen-Rotasi Balok

| **Point** | **$M/M_y$** | **θ/SF** |
|---|---|---|
| E- | -0,2 | -0,03469 |
| D- | -0,2 | -0,02620 |
| C- | -1,1 | -0,01996 |
| B- | -1 | -0,00209 |
| A | 0 | 0 |
| B | 1 | 0,00209 |
| C | 1,1 | 0,01996 |
| D | 0,2 | 0,02620 |
| E | 0,2 | 0,03469 |

Berdasarkan perhitungan momen-rotasi balok, diperoleh kurva interaksi momen-rotasi sebagai berikut:




**Gambar 3** Grafik Momen-Rotasi Balok

Sebagaimana penentuan sendi plastis balok, parameter sendi plastis kolom juga diperoleh melalui pendekatan analitis dan interpolasi berdasarkan rasio tulangan, kapasitas geser, serta tingkat pembebanan aksial elemen.

**Tabel 5** Parameter Pemodelan dan Kriteria Penerimaan Numerik untuk Prosedur Nonlinier - Kolom Beton Bertulang Selain Bentuk Lingkaran dengan Tulangan Spiral atau Lingkaran Seismik

| ***Plastic Rotation Angles, a and b (radians)*** <br> ***Residual Strength Ratio, c*** | ***Acceptance Criteria*** | | |
|---|---|---|---|
| | ***Plastic Rotation Angle (radians)*** | | |
| | ***Performance Level*** | | |
| | **IO** | **LS** | **CP** |
| *Columns not controlled by inadequate development or splicing along the clear height*[a] | | | |
| $a = \left(0{,}042 - 0{,}043\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 0{,}63\rho_t - 0{,}023\frac{V_{yE}}{V_{CoIOE}}\right) \geq 0{,}0$ | 0,15 $a$ ≤0,005 | 0,5 $b^b$ | 0,7 $b^b$ |
| $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \leq 0{,}5 \begin{cases} b = \frac{0{,}5}{5 + 0{,}8\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}}\frac{1}{\rho_t}\frac{f'_{cE}}{f_{ytE}}} - 0{,}01 \geq a^a \end{cases}$ | | | |
| $c = 0{,}24 - 0{,}4\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \geq 0{,}0$ | | | |

Terdapat beberapa parameter dari perhitungan kapasitas kolom untuk memperoleh parameter sendi plastis kolom, antara lain:

$N_{UD}$ = 243274,42 N
$A_g$ = 210.000 mm$^2$
$f'_c$ = 24,9 MPa
$f_y$ = 400 MPa
$V_y/V_{col}$ = 0,2
$\rho^t$ = 0,0075

Parameter sendi plastis kolom dapat diperoleh dengan mensubtitusi nilai-nilai yang sudah diperoleh dari perhitungan sebelumnya.

a = 0,04012
b = 0,08418
c = 0,22139
IO = 0,00602
LS = 0,04209
CP = 0,05893

Namun, perhitungan momen-rotasi kolom harus tetap memperhatikan *acceptance criteria* kolom.

**Tabel 6** *Acceptance Criteria* Kolom

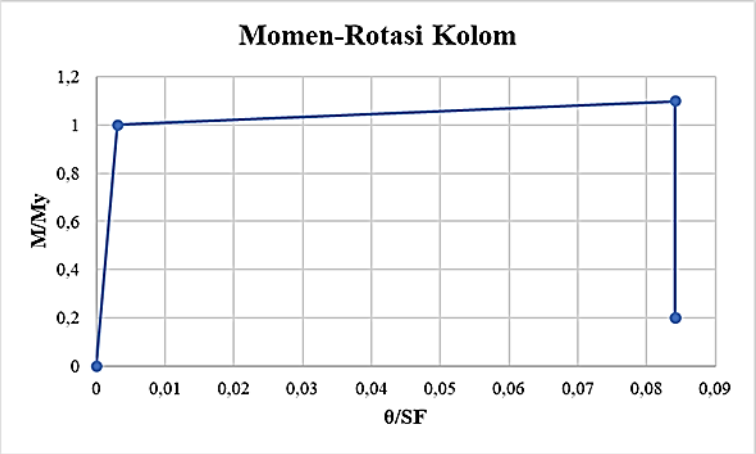
| ***Performance Level*** | ***Acceptance Criteria*** |
|---|---|
| IO | 0,00601867 |
| LS | 0,042090558 |
| CP | 0,058926781 |

Sebagaimana sendi plastis balok, nilai-nilai tersebut digunakan untuk membuat *hinge* pada *frame sections* (kolom) dengan cara yang sama.

**Tabel 7** Momen-Rotasi Kolom

| **Point** | **M/My** | **θ/SF** |
|---|---|---|
| A | 0 | 0 |
| B | 1 | 0,00307 |
| C | 1,1 | 0,084169 |
| D | 0,2 | 0,08417 |
| E | 0,2 | 0,08417 |

Berdasarkan perhitungan momen-rotasi kolom, diperoleh kurva interaksi momen-rotasi sebagai berikut:




**Gambar 4** Grafik Momen-Rotasi Kolom

Kurva momen–rotasi menunjukkan bahwa elemen balok memiliki kapasitas deformasi yang lebih baik dibanding kolom. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme *strong column–weak beam* belum sepenuhnya tercapai pada struktur eksisting sehingga meningkatkan risiko kegagalan kolom ketika struktur mengalami pembebanan gempa besar.

## 3.4 Hasil Analisis Nonlinier *Pushover*

Analisis pushover dilakukan pada arah X dan arah Y untuk mengevaluasi perilaku nonlinier struktur terhadap beban gempa BSE-1E dan BSE-2E. Hasil analisis menghasilkan hubungan antara *base shear* dan *displacement* dalam bentuk *capacity curve*.

Pada tingkat gempa BSE-1E, struktur masih mampu mempertahankan kapasitas global tanpa mengalami penurunan kekuatan yang signifikan hingga tahap akhir pembebanan. Pembentukan sendi plastis mulai terjadi sejak tahap awal pembebanan dan berkembang menjadi deformasi inelastik pada beberapa elemen kolom setelah *Step* 10.

Berdasarkan evaluasi *acceptance criteria*, bangunan tidak memenuhi level *Immediate Occupancy* (IO), berada pada ambang *Life Safety* (LS), namun masih memenuhi target kinerja *Collapse Prevention* (CP). Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur masih mampu mencegah keruntuhan total, tetapi telah mengalami kerusakan struktural yang signifikan akibat deformasi inelastik.

Pada tingkat gempa BSE-2E, kapasitas struktur mengalami penurunan signifikan terhadap *demand* gempa rencana. Hasil *pushover* arah Y menunjukkan kapasitas perpindahan maksimum hanya terjadi pada tahap awal pembebanan sehingga struktur tidak mampu memenuhi target kinerja *Collapse Prevention*.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur eksisting memiliki kapasitas daktilitas dan kemampuan disipasi energi yang terbatas terhadap gempa intensitas tinggi. Ketidakmampuan struktur memenuhi target CP mengindikasikan bahwa bangunan memiliki potensi mengalami keruntuhan parsial maupun global ketika menerima beban gempa maksimum rencana.

## 3.5 Identifikasi Sendi Plastis dan Mekanisme Kegagalan

Hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa pembentukan sendi plastis terkonsentrasi pada elemen kolom di lantai menengah hingga atas bangunan. Beberapa kolom mengalami status hinge melebihi *Collapse Prevention* (>CP), terutama pada elemen K1-1, K2-1, dan K4-1.

Distribusi sendi plastis menunjukkan bahwa kegagalan struktur didominasi oleh mekanisme kolom lemah (*weak column mechanism*). Kondisi ini sangat berbahaya karena kegagalan kolom dapat menyebabkan hilangnya stabilitas global bangunan secara progresif. Selain itu, konsentrasi deformasi pada lantai tertentu menunjukkan adanya ketidakteraturan distribusi kekakuan yang memperbesar potensi *soft story mechanism*.

Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, elemen kolom dikategorikan sebagai elemen kritis yang memerlukan peningkatan kapasitas untuk memperbaiki perilaku struktur terhadap beban gempa.

### 3.6 Pembahasan Kinerja Struktur Berdasarkan ASCE 41-17

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan *performance-based evaluation* pada ASCE 41-17 mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai perilaku struktur eksisting, baik dari sisi kapasitas global maupun perilaku lokal elemen struktur. Penggunaan analisis pushover memungkinkan identifikasi tahapan pembentukan sendi plastis, distribusi deformasi, serta mekanisme keruntuhan struktur secara lebih realistis dibanding analisis linier konvensional.

Evaluasi berdasarkan *acceptance criteria* menunjukkan bahwa bangunan eksisting masih memiliki kapasitas untuk menahan gempa tingkat menengah (BSE-1E), tetapi belum mampu memenuhi target kinerja pada gempa besar (BSE-2E). Hal ini menunjukkan bahwa bangunan yang dirancang menggunakan standar lama umumnya belum memiliki kapasitas daktilitas yang memadai sesuai tuntutan peraturan modern.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kolom merupakan elemen pengendali utama dalam mekanisme kegagalan struktur. Ketika kapasitas kolom tidak mencukupi, pembentukan sendi plastis akan terjadi lebih awal pada kolom dibanding balok sehingga meningkatkan risiko keruntuhan progresif. Temuan ini sejalan dengan prinsip desain tahan gempa modern yang menekankan pentingnya konsep *strong column–weak beam* untuk menjaga stabilitas struktur selama gempa besar.

Secara keseluruhan, evaluasi berbasis ASCE 41-17 terbukti efektif dalam menilai tingkat keamanan bangunan eksisting dan mengidentifikasi elemen-elemen kritis yang memerlukan peningkatan kapasitas struktur.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja struktur menggunakan prinsip ASCE 41-17, bangunan eksisting masih memiliki beberapa defisiensi struktural, terutama pada elemen kolom dan sistem penahan gaya lateral yang belum memenuhi ketentuan tahan gempa modern. Hasil *pushover analysis* menunjukkan bahwa struktur masih mampu menahan gempa tingkat menengah, namun mengalami penurunan kapasitas dan daktilitas pada tingkat gempa yang lebih besar sehingga belum sepenuhnya memenuhi target kinerja *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS), meskipun pada kondisi tertentu masih mencapai *Collapse Prevention* (CP). Distribusi sendi plastis yang terkonsentrasi pada kolom menunjukkan bahwa mekanisme *strong column–weak beam* belum tercapai secara optimal dan menyebabkan kolom menjadi elemen kritis terhadap stabilitas global struktur. Dengan demikian, pendekatan evaluasi berbasis kinerja ASCE 41-17 terbukti efektif untuk menilai kapasitas dan perilaku struktur bangunan eksisting serta menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan peningkatan kapasitas atau retrofit agar bangunan memenuhi tuntutan standar seismik modern.

**REFERENSI**

Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2012. In *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (Vol. 15, Issue 3). https://doi.org/10.1080/0893569032000131613

Badan Standardisasi Nasional. (2019a). SNI 1726:2019. In *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* (Issue 8).

Badan Standardisasi Nasional. (2019b). SNI 2847:2019. In *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan* (Issue 8).

Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020. In *Beban Desain Minimum dan Kriteria untuk Struktur Bangunan Gedung dan Struktur Lain* (Issue 8).

BMKG, & AIEC. (2025). *Earthquake Magnitude Distribution*. ASEAN Earthquake Information Center. https://aeic.bmkg.go.id/?utm_source

Salim, J. T., & Sidi, I. D. (2024). Comparative Seismic Evaluation of Building Codes: A Case Study on Structural Performance and Safety. *Journal Engineering and Technological Sciences*, 793-807.