

# Analisis Seismik Struktur Bangunan menggunakan ASCE 41-17 dan SNI 1726:2019

Ari Febrianto<sup>1\*</sup>, Erizal<sup>1</sup>, Heriansyah Putra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia  
\*penulis koresponden: arifebrianto@apps.ipb.ac.id

**Abstrak:** Indonesia memiliki tingkat kejadian gempa yang cukup tinggi, tercatat 71.628 kejadian gempa bumi dari tahun 2009 hingga 2019, selain itu juga ditemukan kejadian gempa di Indonesia yang diakibatkan oleh sesar aktif yang belum teridentifikasi sebelumnya seperti gempa bumi Cianjur November 2022, Kondisi ini menuntut adanya pembaharuan standar gempa di Indonesia, Pembaharuan ini menyebabkan peningkatan beban gempa di beberapa wilayah Indonesia mencapai 27% hingga 69%, SNI 1726:2019 adalah standar gempa terbaru di Indonesia menggantikan SNI 1726-2012 yang dianggap tidak memadai sebagai panduan struktur tahan gempa. Bangunan gedung XYZ 8 lantai yang di bangun pada tahun 2001 sebelum penerapan SNI 1726:2019 perlu dilakukan evaluasi untuk melihat kinerja struktur terhadap standar yang terbaru. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi bangunan XYZ menggunakan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019 dan ASCE 41-17 untuk meninjau kapasitas struktur. Hasil evaluasi dengan SNI 1726:2019 dan ASCE 41-17 menyimpulkan struktur yang di evaluasi dengan SNI dan ASCE sama-sama tidak memenuhi persyaratan yang di tinjau dari simpangan antar lantai dan *pushover*, pada pemeriksaan elemen terdapat perbedaan yang signifikan terhadap jumlah elemen yang tidak memenuhi syarat standar, evaluasi dengan SNI menemukan 140 balok dengan rata-rata DCR = 1,09 dan 120 pada kolom dengan rata-rata DCR = 1.33, evaluasi dengan ASCE *demand* BSE-1E tidak satupun elemen melampaui kinerja selamat LS, namun saat *demand* BSE-2E ditemukan 8 elemen kolom lantai dasar yang melampaui kinerja CP, sendi plastis terlebih dahulu terjadi pada kolom lantai dasar tidak memenuhi persyaratan *strong column weak beam*, kondisi ini dapat membahayakan karena menyebabkan kegagalan struktur secara tiba-tiba, sehingga direkomendasikan melakukan perkuatan dengan *metode jacketing*. Evaluasi SNI 1726:2019 dan ASCE 41-17 memiliki metode yang berbeda namun dapat di simpulkan evaluasi dengan ASCE 41-17 memiliki hasil perhitungan yang lebih efisien.

Diterima: 02 Agustus 2024  
Diperbaiki: 25 September 2024  
Disetujui: 10 Oktober 2024

**Kata Kunci:** ASCE 41-17, SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, Seismik, Struktur

## 1. Pendahuluan

Indonesia memiliki tingkat kejadian gempa yang cukup tinggi, tercatat 71.628 kejadian gempa bumi dari tahun 2009 hingga 2019 dengan rata-rata 6512 kejadian pertahunnya, rata-rata kejadian gempa pada periode ini mengalami peningkatan hingga mencapai puncaknya di tahun 2018 dengan 11920 kejadian pertahunnya terjadi peningkatan 40% dari tahun sebelumnya [1]. Hal ini disebabkan seluruh wilayah Indonesia berada dalam kawasan "*ring of fire*" atau cincin api Pasifik yang aktif akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik [2]. Selain itu adanya kejadian gempa di Indonesia yang diakibatkan oleh sesar aktif yang belum teridentifikasi sebelumnya seperti gempa bumi Cianjur November 2022 [3], serta kemungkinan kejadian gempa akibat sesar

aktif yang belum teridentifikasi lainnya menyebabkan kemungkinan terjadi gempa semakin besar [4]. Kondisi ini menuntut adanya pembaharuan standar gempa di Indonesia, pembaharuan ini menyebabkan peningkatan beban gempa di beberapa wilayah Indonesia, sebagai contoh, Wilayah Jakarta akibat perubahan SNI 1726:2012 menjadi SNI 1726:2019 apabila di tinjau dari *base shear* pada struktur bangunan terjadi peningkatan beban gempa sekitar 27% hingga 69%, hal ini menyebabkan adanya perubahan perilaku yang terjadi pada struktur yang di bangun sebelum penerapan SNI pembaharuan [5], [6].

SNI 1726:2019 merupakan standar gempa terbaru di Indonesia menggantikan SNI 1726-2012 yang dianggap tidak memadai sebagai panduan struktur tahan gempa mengingat kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi di Indonesia, seperti gempa selat sunda 2006 menelan 550 korban jiwa, gempa bumi Yogyakarta 2006 menelan 5600 korban jiwa [4]. Pembaharuan pada SNI 1726:2019 mencakup pasal 4.2.2 mengenai perubahan kombinasi pembeban metode ultimit, pasal 6.4 yang membahas perubahan respons spektrum desain, pasal 7.9.1 mengenai perubahan persyaratan analisis ragam, serta pasal 7.9 yang mengalami perubahan dalam pengskalaan gaya gempa dan pembaharuan peta gempa Indonesia [7]. Namun, hingga saat ini, Indonesia belum memiliki standar evaluasi bangunan eksisting. Untuk mengatasi kebutuhan akan standar evaluasi bangunan yang sudah ada, pada tahun 2021, Pusat Studi Gempa Nasional di bawah Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat membentuk tim untuk menyusun standar evaluasi bangunan eksisting dengan mengadopsi standar ASCE 41-17. Namun demikian, standar ini belum resmi diterbitkan hingga saat ini [8].

Keterbatasan standar nasional mengenai gempa untuk evaluasi bangunan eksisting menyebabkan beberapa praktik dan penelitian evaluasi bangunan yang telah dilakukan selama ini masih mengacu pada SNI 1726:2019 dan beton bertulang 2847:2019. Pendekatan evaluasi yang dilakukan dengan standar tersebut bersifat preskriptif dan cenderung ke arah yang lebih konservatif terhadap bangunan gedung. Apabila pendekatan preskriptif dilakukan maka akan banyak perkuatan yang dilakukan, dalam evaluasi bangunan pendekatan yang dilakukan tidak perlu bersifat preskriptif. Pendekatan lainnya yang dapat dilakukan yaitu bersifat komprehensif dengan menggunakan ketentuan ASCE 41-17. ASCE 41-17 mengatur cara evaluasi *seismik* dan *retrofit* bangunan yang dilakukan sebelum gempa. Dengan melakukan pendekatan yang komprehensif, evaluasi menerima seluruh kekurangan yang ada pada bangunan seperti mutu material, dokumen, dan *detailing* struktur [9].

## 2. Metode Penelitian

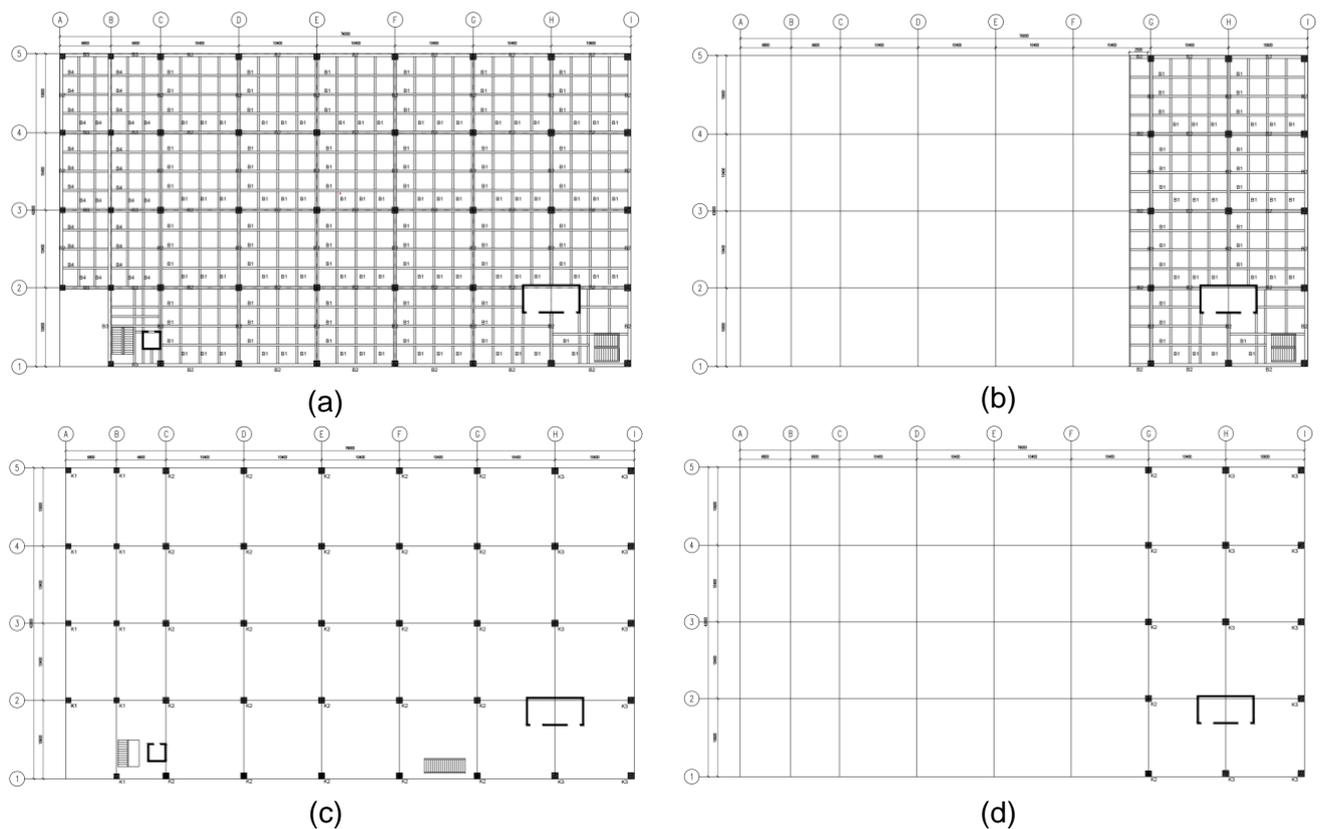
### 2.1. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, dimulai dengan pengumpulan data teknis bangunan, pemodelan struktur, pembebanan struktur, evaluasi kapasitas struktur dan elemen menggunakan SNI 1726:2019 dan ASCE 41-17. Pemodelan dilakukan dengan *software* ETABS dengan acuan gambar *as built drawing*, struktur dibuat dengan dua model dengan denah, ketinggian bangunan, beban gravitasi, kelas situs tanah, material dan detail elemen yang sama, model pertama struktur dianalisis menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, model kedua mengacu kepada ASCE 41-17. dalam proses analisis kedua model akan mengikuti syarat dan batasan yang berlaku pada kedua standar, selanjutnya dilakukan evaluasi hasil analisis kinerja struktur dan elemen bangunan.

### 2.2. Data Teknis Bangunan

Struktur gedung yang dimodelkan merupakan gedung 8 lantai berlokasi di Kota Jakarta dengan ketinggian 28.5 meter. Kelas situs tanah di lokasi penelitian dikategorikan tanah lunak masuk ke dalam KDS E. Sistem struktur yang digunakan menggunakan sistem ganda rangka pemikul momen dengan dinding geser. Beban gravitasi bangunan diperhitungkan berdasarkan SNI 1727:2020 dalam bentuk

beban mati, beban hidup, beban mati tambahan sesuai dengan fungsi bangunan serta beban gempa menggunakan SNI 1726:2019 dan ASCE 41-17. Bangunan dianalisis menggunakan kombinasi beban sesuai dengan SNI dan ASCE. Model struktur mengacu kepada data sekunder dari *as built drawing* dan hasil pengujian material dan pengujian lapangan, data tersebut merupakan data pengujian *core drill* dan uji tarik baja. Denah kolom dan balok beserta detail elemen kolom, balok yang disajikan pada **Gambar 1** dan **Tabel 1-3**.



**Gambar 1** Denah (a) Balok lantai 2 sampai 5 (b) Balok Lantai 6 sampai dak (c) Kolom Lantai 1 sampai 4 (d) Kolom lantai 5 sampai 6

**Tabel 1** Elemen Kolom

Penampang	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Tul	
			Longitudinal*	Transversal**
K1	700	700	28 S 22	P 12 - 100 / P12 - 200
K2	800	800	28 S 22	P 12 - 100 / P12 - 200
K3	850	850	28 S 22	P 12 - 100 / P12 - 200
K4	600	600	20 S 22	P 12 - 200 / P12 - 200

\* 28 S 22 : 28 (Jumlah julangan) S (Besi sirip) 22 (Diameter)

\*\* P 12 - 100 : P (Tulangan polos) 12 (Diameter) - 100 (Jarak tulangan)

**Tabel 2** Elemen Balok

Penampang	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Posisi	Tul Longitudinal		Tul Transversal	
				Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
B1/B2	250	600	Atas	3 S 29	3 S 29	P12-100	P12-150
			Bawah	3 S 29	3 S 29		
B2/B6	400	850	Atas	5 S 29	5 S 29	P12-125	P12-200

Penampang	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Posisi	Tul Longitudinal		Tul Transversal	
				Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
B3/B7	400	700	Bawah	5 S 29	5 S 29	P12-200	P12-200
			Atas	5 S 29	5 S 29		
			Bawah	5 S 29	5 S 29		
B4/B8	250	500	Atas	3 S 29	3 S 29	P12-150	P12-175
			Bawah	3 S 29	3 S 29		

\* 28 S 22 : 28 (Jumlah julangan) S (Besi sirip) 22 (Diameter)

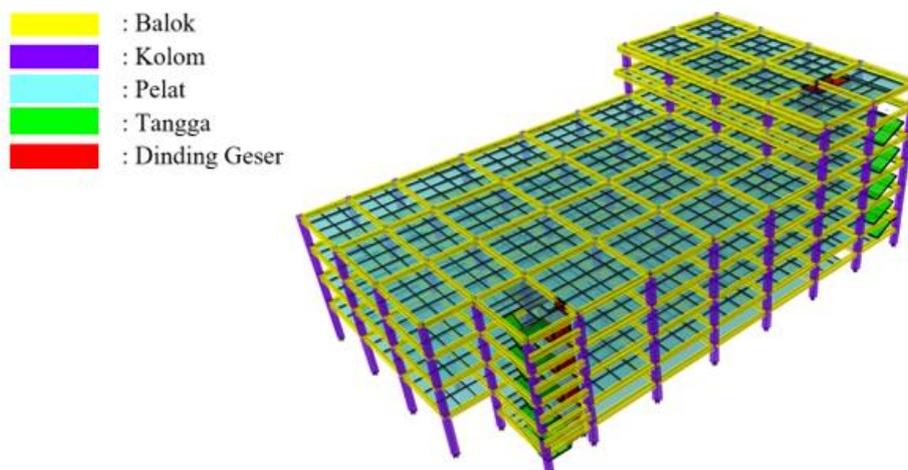
\*\* P 12 – 100 : P (Tulangan polos) 12 (Diameter) – 100 (Jarak tulangan)

**Tabel 3** Mutu material

Material	Mutu (MPa)
Baja Tulangan Dia. 22, 25, 29 (mm)	fy 420
Baja Tulangan Dia. 12 (mm)	fy 240
Beton Kolom	f <sub>c</sub> 20,55
Mutu Beton Balok	f <sub>c</sub> 17,96
Mutu Beton Pelat	f <sub>c</sub> 19,86
Mutu Beton Dinding Geser	f <sub>c</sub> 21,47

### 2.3. Pemodelan

Pemodelan dilakukan menggunakan ETABS 18, pada tahap ini dibuat dua model, struktur yang menjadi objek penelitian dibangun pada tahun 2001 sebelum penerapan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Selama bangunan berdiri, standar gempa dan beton bertulang di Indonesia telah beberapa kali mengalami perubahan. Akibat perubahan standar dan fungsi bangunan tersebut, perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui kinerja struktur. Evaluasi bangunan dilakukan dengan ASCE 41-17 dan SNI 1726:2019 yang bertujuan untuk melihat kinerja struktur bangunan yang sudah berdiri sebelum adanya perubahan peraturan kegempaan yang lebih modern. Pemodelan meliputi Denah, beban dan parameter material sama pada kedua model. Elemen struktur yang dimodelkan meliputi kolom, balok, pelat dan dinding geser. Tangga dimodelkan dalam analisis untuk mendapatkan kekakuan aktual dari struktur, apabila tangga tidak dimodelkan kekakuan struktur akan lebih kecil sehingga dapat mempengaruhi besar gaya gempa yang di terima struktur [10]. Model struktur ditampilkan pada Gambar 1. Evaluasi kapasitas struktur dan elemen pada kedua model, akan dilakukan perbandingan meliputi simpangan antar lantai, balok, kolom dan beban gempa.

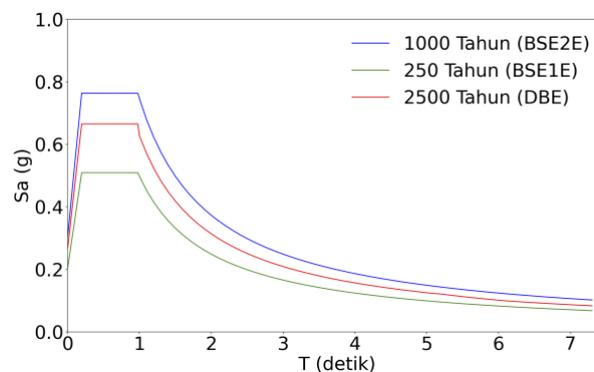


**Gambar 2** Model struktur 3D Model

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur terdiri dari beban gravitasi yakni beban mati struktur, beban mati tambahan, dan beban hidup yang bergantung pada fungsi bangunan. Beban gravitasi mengacu pada SNI 1727:2020. Beban ini tidak terdapat perbedaan pada kedua model karena mempunyai fungsi bangunan yang sama. Beban gempa ditentukan berdasarkan hubungan percepatan gempa dan periode fundamental bangunan yang dapat dilihat pada grafik *respon spektra*. Penentuan respons spektra dipengaruhi oleh kelas situs tanah. Beban gempa diterapkan pada kedua sumbu orthogonal bangunan. Penerapan beban gempa pada SNI 1726:2019 disesuaikan persyaratan peraturan dengan periode ulang 2500 tahun dengan probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun (BDE). ASCE 41 memperbolehkan meninjau struktur dengan gempa yang lebih rendah untuk bangunan eksisting dengan level gempa periode 250 (BSE1E) tahun dan 1000 tahun (BSE2E), beban gempa pada model disajikan pada **Gambar 3**.



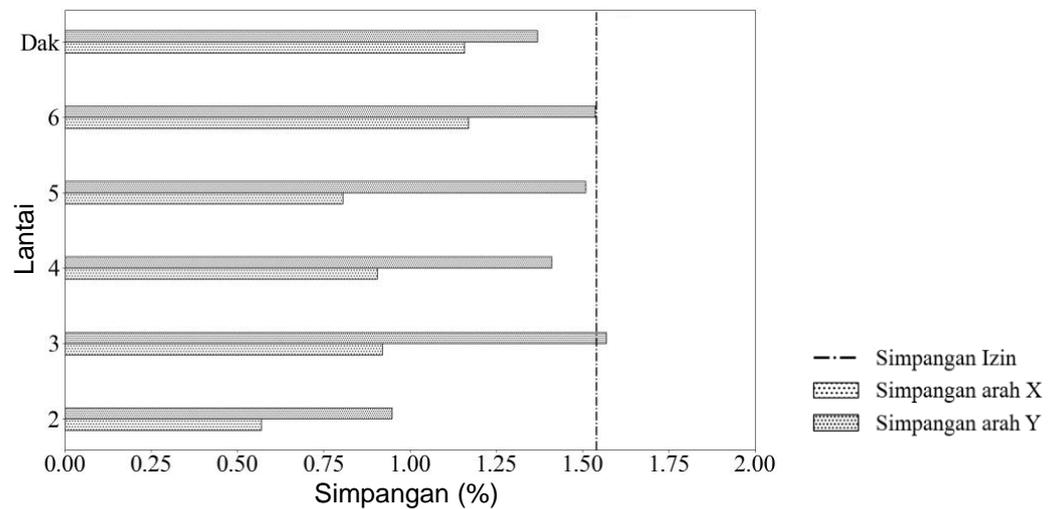
**Gambar 3** Spektra Desain

Percepatan respons spektrum untuk gempa BSE1E memiliki nilai percepatan terendah 0,51 g, percepatan gempa DBE memiliki nilai maksimum di 0,66 g meningkat 23,5 % dari BSE1E dan percepatan tertinggi untuk gempa BSE2E 0.7636 g meningkat 12 % dari gempa DBE, pada gempa DBE memiliki nilai lebih kecil dari BSE1E dengan periode ulang yang lebih tinggi di sebabkan persyaratan SNI untuk gempa desain mengizinkan mereduksi 2/3 spektrum percepatan periode. Sesuai dengan SNI, pengaplikasian beban gempa dapat direduksi melalui penggunaan koefisien faktor modifikasi yang sesuai dengan sistem struktur bangunan, untuk bangunan dengan *dual* sistem rangka pemikul momen dan dinding geser dapat mereduksi beban gempa hingga 7 kali lebih rendah dari beban gempa nominal, Hal ini menyebabkan struktur didesain untuk menahan beban yang lebih kecil. Namun, konsekuensi dari reduksi beban gempa ini adalah perlunya *detailing* yang ketat yang harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2019, dengan harapan bahwa struktur akan berperilaku *inelastis* saat terjadi gempa besar [11], akan tetapi dalam analisis non-linear, perilaku *inelastis* dan kapasitas *daktilitas* dievaluasi secara langsung tanpa menggunakan faktor modifikasi, memungkinkan penilaian yang lebih akurat dan mendetail mengenai kinerja struktur dan sambungan selama gempa [12].

#### 3.2. Evaluasi Kinerja struktur

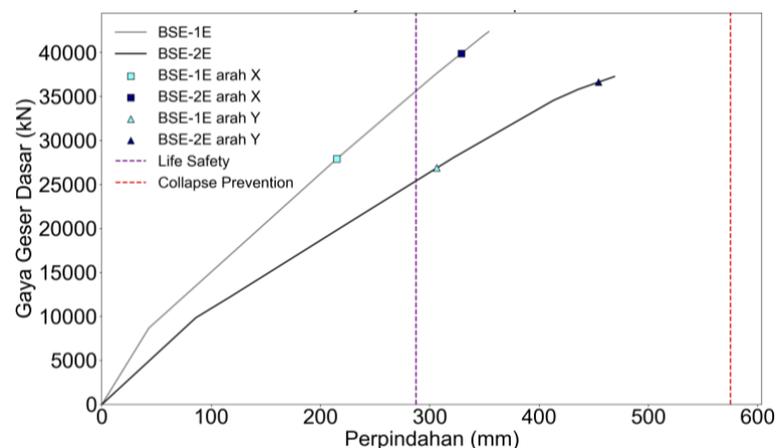
Evaluasi kinerja struktur bangunan dapat dilakukan dengan pemeriksaan simpangan antar lantai. Simpangan lantai merupakan perbedaan perpindahan antara dua lantai yang berdekatan, digunakan untuk menilai respons struktur terhadap beban lateral seperti gempa. simpangan antar lantai pada kedua arah ortogonal nilainya harus lebih kecil dari pada simpangan izin (*drift limit*). SNI 1726:2019 menjelaskan pada pasal 7.8.6. Pada Tabel 20, simpangan antar lantai di atur dalam SNI bergantung pada sistem struktur dan kategori risiko bangunan, pada penelitian ini bangunan diizinkan mengalami

simpangan maksimal 2 % di kali faktor redudansi  $r$ . Evaluasi struktur pada ASCE 41-17 menggunakan metode *Nonlinear Statik Prosedur (Pushover)* karena bangunan eksisting memiliki ketidakberaturan struktur yang di atur pada ASCE 41-17 pasal 7.3.1.2 sehingga tidak memenuhi persyaratan untuk menggunakan metode *linier static prosedur*. Simpangan antar tingkat dengan pemeriksaan SNI di sajikan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4** Simpangan antar lantai

Simpangan menurut SNI 1726:2019 di tinjau dengan gempa *Desain Basic Earthquake (DBE)* menunjukkan simpangan antar lantai tidak memenuhi batas keselamatan, karena ditemukan simpangan antar lantai 3 arah Y = 1,57 % lebih besar dari *drift limit* 1,54 %. Struktur yang tidak mampu memenuhi batas simpangan meningkatkan risiko kegagalan saat gempa besar terjadi, hal ini dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur bangunan sehingga bangunan tidak dapat di fungsikan kembali [13]. Evaluasi menggunakan ASCE 41-17 dipilih menggunakan *non linear static prosedur (Pushover)*. Hasil analisis *pushover* mempresentasikan kapasitas lateral struktur memperlihatkan grafik hubungan antara gaya geser dasar dengan Perpindahan struktur, seperti disajikan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5** Grafik kapasitas Vs demand (a) arah X (b) arah Y

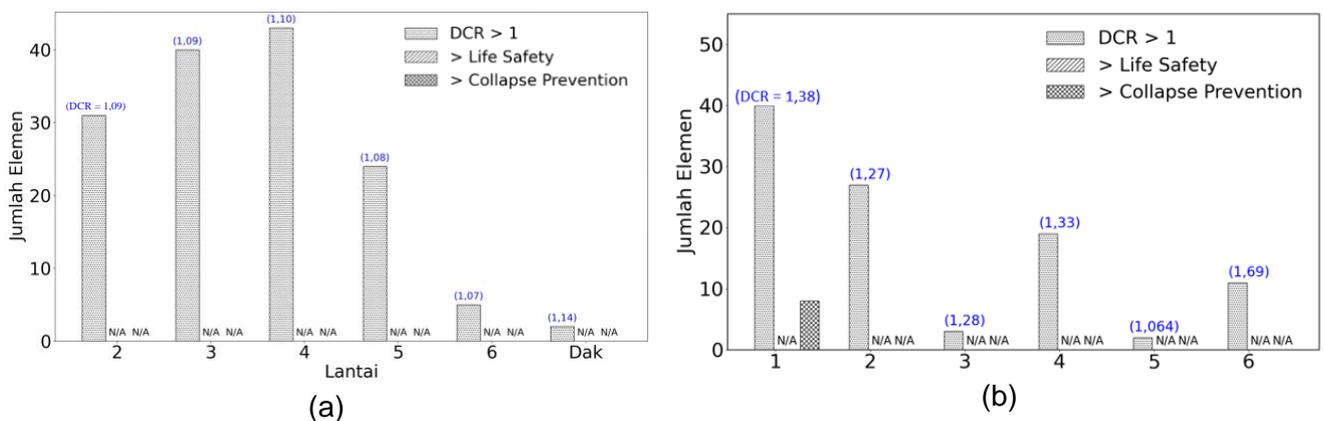
Analisis *pushover* menunjukkan titik kinerja atas kurva kapasitas vs demand. Titik kinerja arah X dengan demand gempa BSE-1E terjadi saat gaya geser dasar mencapai 27.928 kN dan perpindahan sebesar 214,78 mm, serta demand gempa BSE-2E terjadi pada gaya geser dasar 39.899 kN dengan perpindahan 329,90 mm, masih memenuhi kriteria batas keselamatan sehingga cukup memadai pada

tingkat seismik tersebut. Titik kinerja untuk arah Y dengan *demand* gempa BSE-2E terjadi, gaya geser dasar mencapai 39.899 kN dengan perpindahan 306,39 mm, kapasitas struktur masih mampu memenuhi batas keselamatan *collapse prevention*. Namun pada bahaya gempa BSE-1E kapasitas struktur tidak batas keselamatan, di tinjau dari gaya geser dasar 36.655 kN dengan perpindahan 454,35 mm, di mana telah melampaui 40 % dari kriteria yang diizinkan yaitu *life safety*, hal ini disebabkan kapasitas perpindahan elemen tidak mencukupi, sehingga struktur perlu dilakukan perbaikan [14]. Struktur dengan *demand* gempa BSE-1E memiliki nilai titik kinerja dan *base shear* yang lebih kecil dibandingkan BSE-2E, namun terdapat perbedaan batas kinerja yang lebih ketat untuk BSE-1E dengan level kinerja 1% dari tinggi bangunan. Sehingga, meskipun struktur dibebani gempa yang lebih kecil, perpindahan yang dialami struktur lebih besar dari yang diizinkan, yang mengindikasikan adanya kerusakan saat terjadi gempa BSE-1E melampaui batas yang diharapkan.

Saat gempa BSE-2E, batasan struktur lebih longgar dengan batas 2% dari tinggi bangunan, Meskipun dengan beban gempa yang lebih besar, struktur diizinkan mengalami perpindahan yang lebih besar meskipun mengalami kerusakan namun tidak runtuh. Terdapat perbedaan dalam evaluasi SNI bergantung pada kategori risiko bangunan tersebut. Bangunan kategori risiko II, ketentuan desain SNI diharapkan memberikan probabilitas keruntuhan kurang dari atau sama dengan 10% pada MCER (gempa maksimum yang dipertimbangkan berdasarkan risiko), dalam konteks ASCE, tujuan ini diartikan sebagai memenuhi tingkat kinerja Pencegahan LS untuk BSE-1E dan CP untuk BSE-2E. Selain perbedaan pemeriksaan kapasitas, terdapat juga perbedaan prosedur analisis, dimana SNI membatasi periode yang digunakan dalam analisis  $C_u$  dan  $T_a$  dimana  $C_u$  adalah koefisien batas atas dan  $T_a$  adalah periode perkiraan struktur, namun ASCE memungkinkan periode dihitung dengan periode analisis, sehingga bangunan dengan periode yang lebih besar dari  $C_u T_a$  berdasarkan SNI akan lebih tinggi dari pada ASCE [15].

### 3.3. Evaluasi Kinerja Elemen

Evaluasi tingkat elemen dilakukan pada elemen kolom dan balok. Elemen struktur yang di evaluasi harus memenuhi kriteria yang telah di tentukan SNI 1726:2019, SNI 2847:2019 dan ASCE 41-17, dalam evaluasi SNI 2847:2019 penentuan kriteria kapasitas penampang dengan *demand capacity ratio* (DCR), DCR adalah rasio antara gaya atau momen ultimit pada penampang yang terjadi terhadap kapasitas penampang, DCR disimpulkan memenuhi jika nilai tidak lebih besar dari 1,00. Evaluasi pada ASCE dipilih dengan menggunakan *performance objective* yaitu BPOE sesuai dengan ASCE 41-17 Pasal 2.2.1. di mana struktur harus memenuhi tujuan kinerja pada level bahaya gempa BSE-1E yaitu *Life Safety*, sedangkan untuk BSE-2E yaitu *Collapse Prevention* pada Tingkat elemen. evaluasi ditinjau berdasarkan distribusi sendi plastis yang terjadi pada elemen, hasil evaluasi disajikan pada **Gambar 6**.



**Gambar 6** Evaluasi kinerja (a) balok (b) kolom

Hasil evaluasi menggunakan SNI elemen struktur diharapkan mampu mencegah keruntuhan gempa DBE dengan percepatan respons spektrum probabilitas 2% dalam 50 tahun ( $S_s = 0,60$  dan  $S_1 = 0,49$ ) menemukan banyak elemen yang melampaui kapasitasnya, elemen balok terdapat 140 elemen dengan rata-rata DCR = 1,09 dan 120 pada kolom dengan rata-rata DCR = 1,33 sehingga kriteria keselamatan tidak terpenuhi. Evaluasi menggunakan ASCE 41-17 menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan, saat gempa BSE-1E periode ulang 250 tahun ( $S_s = 0,51$  dan  $S_1 = 0,49$ ) baik kolom maupun balok tidak satu pun elemen yang melampaui kriteria *life safety*, berdasarkan hasil tersebut target bahaya gempa BSE-1E pada pemeriksaan elemen terpenuhi. BSE-2E dengan periode gempa 1000 tahun ( $S_s = 0,76$  dan  $S_1 = 0,75$ ) elemen diharapkan mampu memenuhi kriteria *collapse prevention*, hasil evaluasi pada elemen balok masih dalam rentang *collapse prevention*, namun terdapat 8 elemen kolom yang telah melampaui tujuan kinerja, berdasarkan hal tersebut tingkat kinerja bahaya gempa BSE-2E tidak terpenuhi.

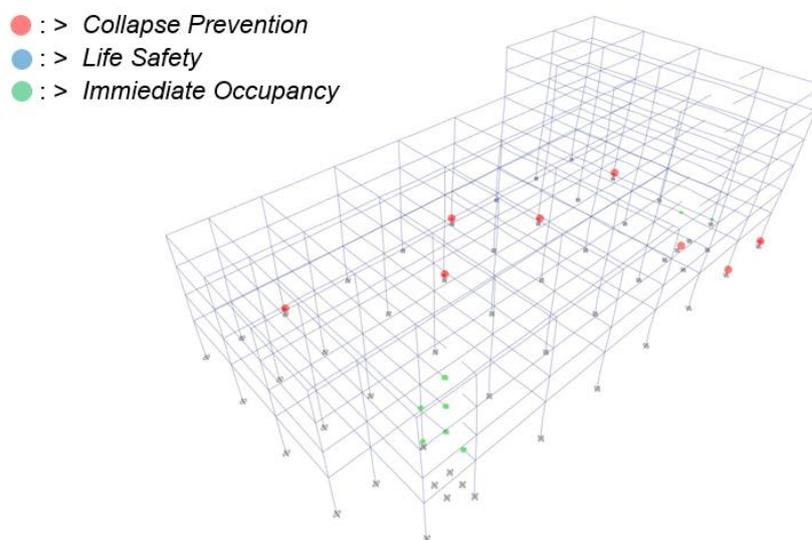
Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan [15], menunjukkan lebih banyak elemen yang memenuhi kriteria apabila di evaluasi menggunakan NSP. Meskipun nilai periode pendek ( $S_s$ ) dan percepatan periode 1 detik ( $S_1$ ) BSE-2E lebih tinggi namun hasil pemeriksaan menunjukkan jumlah elemen yang memenuhi kriteria jauh lebih kecil dari pada gempa BDE dengan periode ulang 2500 tahun. Hal ini disebabkan perhitungan kapasitas elemen struktur tidak dihitung dengan cara yang sama, pada ASCE 41-17 dengan prosedur NSP permintaan pada elemen diukur dalam bentuk deformasi. Kapasitas elemen, untuk aksi yang dikendalikan oleh deformasi dalam prosedur linier, dihitung berdasarkan kekuatan menggunakan prinsip mekanika dan kemudian dikalikan dengan faktor  $\phi$ . Namun, dalam NSP kapasitas elemen pada berbagai tingkat kinerja dihitung sebagai fraksi dari deformasi pada kekuatan puncak elemen.

Dalam penerapan beban gempa dalam analisis SNI dibagi dengan koefisien modifikasi desain seismik yaitu nilai R untuk memperhitungkan daktilitas bangunan, dalam penelitian ini nilai  $R = 7$  untuk struktur dua sistem rangka pemikul momen dan dinding geser, artinya beban gempa direduksi hingga 7 kali lebih rendah dari beban gempa desain hal ini menyebabkan walaupun struktur di desain dengan beban yang lebih kecil, namun konsekuensi dari reduksi beban gempa ini adalah perlunya *detailing* yang ketat yang harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2019, dengan harapan bahwa struktur akan berperilaku *in elastic* saat terjadi gempa besar [11].

Selain itu penerapan kombinasi pembebanan pada kedua standar tidaklah sama, Terdapat perbedaan signifikan dalam penggunaan kombinasi pembebanan antara SNI 1726:2019 dan ASCE 41-17. SNI 1726:2019 menunjukkan peningkatan faktor keamanan sebesar 8% - 21% untuk beban mati dan 31% untuk beban hidup, dan 30% beban gempa dibandingkan dengan ASCE 41-17, sebagai upaya memastikan struktur memiliki margin keamanan yang memadai terhadap ketidakpastian beban, material, dan kondisi lainnya [16], sehingga meningkatkan *demand* pada evaluasi. disisi lain ASCE 41-17 mengurangi variabel tersebut agar beban yang bekerja lebih mendekati kondisi aktual, sehingga tidak menyebabkan permintaan yang berlebihan dalam analisis struktur. Ketidakpastian material dalam ASCE 41-17 diminimalkan melalui pengujian material eksisting untuk menentukan nilai material aktual, yang mengurangi ketidakpastian dan memungkinkan penggunaan faktor keamanan yang lebih kecil dan realistis dalam menggambarkan perilaku struktur [17]. Analisis pushover pada elemen dapat menunjukkan mekanisme keruntuhan dan sendi plastis yang terjadi, analisis pushover pada level elemen disajikan pada **Gambar 7**.

Pembentukan sendi plastis yang merupakan indikator kemampuan elemen dalam menahan beban, hasil evaluasi diperoleh target perpindahan *demand* BSE1E arah  $x = 214,78$  mm dan arah  $y = 306,38$  mm, dalam kondisi ini sudah terdapat beberapa elemen sudah mengalami sendi plastis namun masih dalam rentang LS, berdasarkan hal tersebut target bahaya gempa BSE1E pada kedua sumbu yang di

tinjau tingkat bahaya keselamatan terpenuhi. Hasil pushover BSE2E menunjukkan bahwa perpindahan terjadi pada arah  $x = 328,89$  mm dalam kondisi ini sudah terdapat beberapa elemen sudah mengalami sendi plastis namun masih dalam rentang LS, namun perpindahan arah  $y = 454,35$  mm sendi plastis terjadi pada elemen sudah melampaui CP, berdasarkan hal tersebut target bahaya gempa BSE2E tidak terpenuhi, sendi plastis terlebih dahulu terjadi pada kolom lantai dasar, sehingga kondisi ini tidak memenuhi persyaratan *strong column weak beam*, mekanisme keruntuhan yang tidak memenuhi syarat tersebut dapat menyebabkan kolom gagal sebelum balok, ketika kolom gagal beban yang sebelumnya di topang akan dialihkan pada balok, namun balok tidak di desain untuk menahan beban tambahan tersebut, sehingga struktur berpotensi menyebabkan keruntuhan mendadak dan risiko mengancam jiwa [18], [19]. Sebagai upaya mitigasi struktur bangunan perlu dilakukan *retrofit* dengan metode *concrete jacketing* yang dapat memperbaiki respons seismik struktur dan menghilangkan defisiensi struktur [14].



**Gambar 7** Hasil Analisis Pushover Struktur

#### 4. Kesimpulan

- Evaluasi SNI 1726:2019 struktur masih diizinkan menggunakan prosedur linear berbasis kapasitas, namun ASCE 41-17 bangunan diharuskan menggunakan prosedur *non static linear* pada evaluasi struktur, terdapat persyaratan yang lebih ketat dalam penentuan metode evaluasi pada ASCE 41-17.
- Evaluasi elemen menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019 menemukan banyak elemen balok yang melampaui kapasitasnya hingga 140 elemen dengan rata-rata DCR = 1.09 dan 120 pada kolom dengan rata-rata DCR = 1,33, namun evaluasi elemen dengan ASCE dengan hanya menemukan 8 elemen kolom yang melampaui target kinerja CP, hal ini menunjukkan bahwa elemen struktur yang di evaluasi sama-sama tidak mampu memenuhi *demand* yang bekerja, namun dengan jumlah yang signifikan berbeda, perbedaan ini menyimpulkan ASCE lebih efisien dalam mengevaluasi bangunan eksisting.
- Analisis *pushover* menemukan bahwa mekanisme keruntuhan struktur terjadi pada kolom lantai dasar, bukan pada balok, sehingga struktur tidak memenuhi persyaratan *strong column weak beam*, mekanisme keruntuhan yang tidak memenuhi syarat tersebut dapat menyebabkan kolom gagal sebelum balok, sehingga struktur berpotensi menyebabkan keruntuhan mendadak dan risiko mengancam jiwa.

## Daftar Pustaka

- [1] A. Subtaji, "Statistik Kejadian Gempa Bumi Tektonik tiap provinsi selama 11 tahun pengamatan (2009-2019)," *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, vol. 1, no. 7, hlm. 31–46, 2020.
- [2] Pusat Studi Gempa Nasional, *Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017*, 1 ed. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [3] P. Supendi dkk., "Analisis Gempabumi Cianjur (Jawa Barat) Mw 5.6 Tanggal 21 November 2022," *Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofis.*, no. November, vol. 1, no. 4, 2022.
- [4] J. Murjaya, "Bencana Gempa Bumi Sesar Aktif Versus Megathrust di selatan jawa," *Bencana Gempa Bumi Sesar Aktif Versus Megathrust di selat jawa*, 2022.
- [5] S. A. Sucipto dan S. Sutjipto, *Dampak Perubahan SNI 1726 dan SNI 2847 Pada Perencanaan Gedung Studi Kasus 4 Lantai*. 2022.
- [6] T. R. H. N. R. A. A. Surya Gede, "Studi Komparasi Pengaruh Gempa Terhadap Gedung Beton Bertulang SNI 03-1726-2012 dan SNI 03-1726-2019," *Jurnal EXTRAPOLASI*, vol. 18, 2021.
- [7] [BSN] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [8] F. Sulthan, A. A. Gumilang S, M. Rusli, dan M. Seki, "Seismic evaluation of existing building structure using United States (ASCE 41-17) and Japanese (JBDPA) standard: Case study office building in Indonesia," dalam *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Sep 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202342905001.
- [9] W. O. Nugroho, "Kebutuhan dan Strategi Rehabilitasi Seismik Gedung Beton Eksisting di Indonesia," dalam *Conference: Seminar HAKI*, 2022.
- [10] J. Hendro Takesan, P. H. Simatupang, dan W. Bunganaen, "Studi Pengaruh Tangga pada Pemodelan Struktur Bangunan Beraturan Akibat Beban Gempa dengan Menggunakan Software Etabs," *Jurnal Forum Teknik Sipil*, vol. 1, no. 2, hlm. 48–59, 2021.
- [11] B. R. Tangahu, K. S. Nur, dan M. Gani, "Analisis Pengaruh Faktor Modifikasi Respon SRPMK Struktur Gedung Beton Bertulang Pada Balok Kategori Desain Seismik D," *Jurnal Teknik*, vol. 17, no. 1, hlm. 57–65, Jun 2019, doi: 10.37031/jt.v17i1.21.
- [12] Y. A. Adhitama, B. Supriyadi, dan D. B. Suhendro, "Evaluasi Seismik Gedung Bertingkat Eksisting Menggunakan Prosedur ASCE 41-17," *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 2022.
- [13] D. Fika Aulia, I. Sudarsono, F. Mulyawati, dan J. T. Sipil, "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Pemodelan Struktur (3D) Berdasarkan Analisis Statik Beban Dorong (Pushover analysis)".
- [14] J. Utomo, J. Jaya Ekaputri, dan Han Ay Lie, "Evaluasi Kinerja Seismik Rangka Beton Pemikul Momen Khusus dengan PERFORM-3D," 2019.
- [15] S. Sattar, "Evaluating the consistency between prescriptive and performance-based seismic design approaches for reinforced concrete moment frame buildings," *Eng Struct*, vol. 174, hlm. 919–931, Nov 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.07.080.
- [16] J. U. S. B. Hamadi Ahmad, "Pengaruh Kombinasi Pembebanan Terhadap Pemilihan Pondasi Borepile Pada Bangunan Gedung," *Saintek*, vol. 2, 2022.
- [17] J. Utomo, H. A. Lie, dan D. Hermawan, "Retrofit Seismik Efisien untuk Bangunan Beton Bertulang Eksisting," dalam *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 2023, hlm. 1–3.
- [18] M. M. A. Irfani dan A. Vimala, "Collapse mechanism of strong column weak beam buildings of varying heights," *Int J Eng Adv Technol*, vol. 9, no. 1, hlm. 4144–4148, Okt 2019, doi: 10.35940/ijeat.A1380.109119.
- [19] S. W. Han, C. S. Lee, M. A. P. Zambrana, dan K. Lee, "Calibration factor for ASCE 41-17 modeling parameters for stocky rectangular RC columns," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 23, Des 2019, doi: 10.3390/app9235193.