

# SEISMIK RETROFIT BANGUNAN BETON BERTULANG EKSISTING DENGAN PERKUATAN DINDING GESER

Junaedi Utomo<sup>1\*</sup>, Ade Lisantono<sup>2</sup> dan Hermawan<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44, Yogyakarta  
e-mail: [junaedi.utomo@uajy.ac.id](mailto:junaedi.utomo@uajy.ac.id)

<sup>2</sup> Departemen Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44, Yogyakarta  
e-mail: [ade.lisantono@uajy.ac.id](mailto:ade.lisantono@uajy.ac.id)

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Soegijapranata, Jl. Pawiyatan Luhur Sel. IV No.1, Semarang  
e-mail: [hermawan.mrk@gmail.com](mailto:hermawan.mrk@gmail.com)

## ABSTRAK

Tujuan evaluasi seismik adalah untuk evaluasi berbagai defisiensi yang membuat bangunan tidak dapat mencapai sasaran kinerja yang dipilih. Retrofit dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi defisiensi pada bangunan eksisting dengan meningkatkan kinerja struktur keseluruhan dengan menambahkan elemen baru ke dalam sistem struktur. Bangunan beton bertulang eksisting yang diretrofit adalah bangunan bertingkat sedang dengan ketidak teraturan vertikal dan dibangun pada tanah dengan kemiringan satu arah. Hasil analisis non-linier pada bangunan eksisting menunjukkan adanya beberapa defisiensi, terutama defisiensi geser. Seismik retrofit dengan EuroCode 8 – Part 3 dilakukan dengan dinding geser beton bertulang yang dipasang pada bagian luar dan bagian interior dari bangunan. Dinding geser mempunyai efek yang menguntungkan terhadap kinerja seismik dari bangunan eksisting. Setelah dilakukan perkuatan dengan dinding geser, analisis non-linier pada bangunan eksisting diulang sampai semua defisiensi yang ditemukan sebelumnya hilang. Hasil analisis non-linier menunjukkan bangunan eksisting, yang telah diperkuat dengan dinding geser, dapat mencapai semua sasaran kinerja yang ada dalam EuroCode 8 – Part 3.

Kata kunci: Analisis nonlinier, Defisiensi Geser, Dinding Geser, EuroCode 8 – Part 3, Seismik Retrofit

## 1. PENDAHULUAN

Ketidak teraturan dalam suatu bangunan sering terjadi karena konfigurasi dan geometri bangunan mengikuti rancangan arsitektural dan fungsi bangunan. Ketidak teraturan juga sering ada dalam bangunan eksisting yang akan diretrofit. Beberapa dari ketidak teraturan ini telah ada aturannya dalam berbagai standar seperti ASCE 7-16. Dengan mengacu pada standar-standar ini, pelaku *retrofitting* pada bangunan beton bertulang eksisting dapat menyusun strategi perkuatan mengacu pada ASCE 7-16 dan menggunakan *acceptance criteria* dan *modeling parameters* dari EuroCode 8–Part 3, ASCE 41-17 atau yang lain.

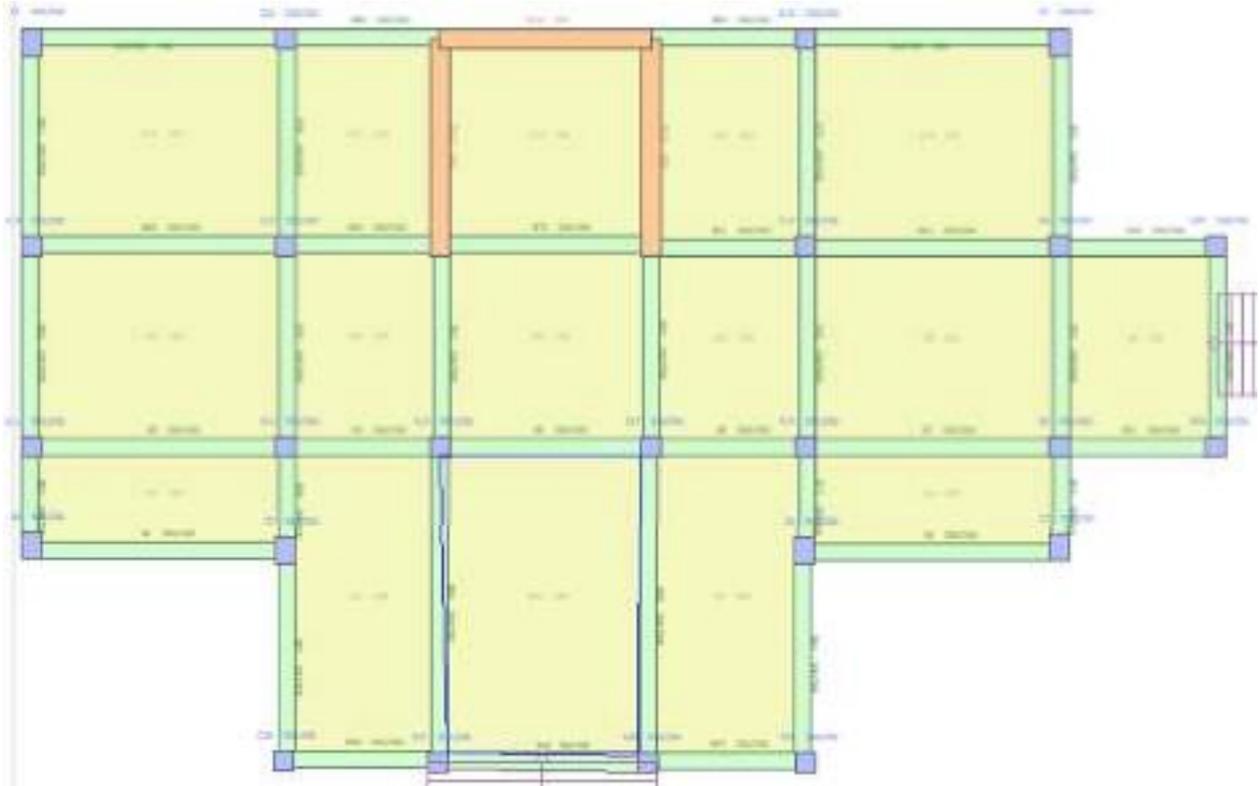
Bangunan beton bertulang eksisting yang diretrofit adalah bangunan bertingkat sedang dengan ketidak teraturan vertikal dan dibangun pada tanah dengan kemiringan satu arah yang membuat tinggi kolom pada lantai dasar berbeda. Bangunan ini bukan bangunan sesungguhnya, bangunan ini sengaja dirancang untuk mengalami berbagai defisiensi selanjutnya seismik retrofit dilakukan untuk meningkatkan kinerja seismik bangunan sesuai dengan sasaran kinerja yang dipilih. *Retrofitting* dilakukan memakai perangkat lunak SeismoBuild (2020), yaitu perangkat lunak yang khusus dikembangkan untuk retrofit bangunan beton bertulang. Saat ini SeismoBuild mengadopsi enam *Codes* yaitu: *Euro codes* (EuroCode 8-Part 3), *American codes* (ASCE 41-17), *Italian National Seismic Codes* (NTC 08 dan NTC 18), *Greek Seismic Interventions Code* (KANEPE) dan *Turkish Seismic Evaluation Building Code* (TBDY).

Seismik Retrofit pada makalah ini dilakukan memakai EuroCode 8 – Part 3 (CEN 2005). Agar dapat memperoleh perbandingan antara EuroCode 8 dan ASCE 41-17, ketentuan-ketentuan sejenis pada kedua *Codes* juga dibahas. ASCE 41-17 telah mengalami proses evolusi panjang dari ASCE 41–06, ASCE 41-13 dan ASCE 41-17.

## 2. PERKUATAN TERHADAP BANGUNAN EKSISTING

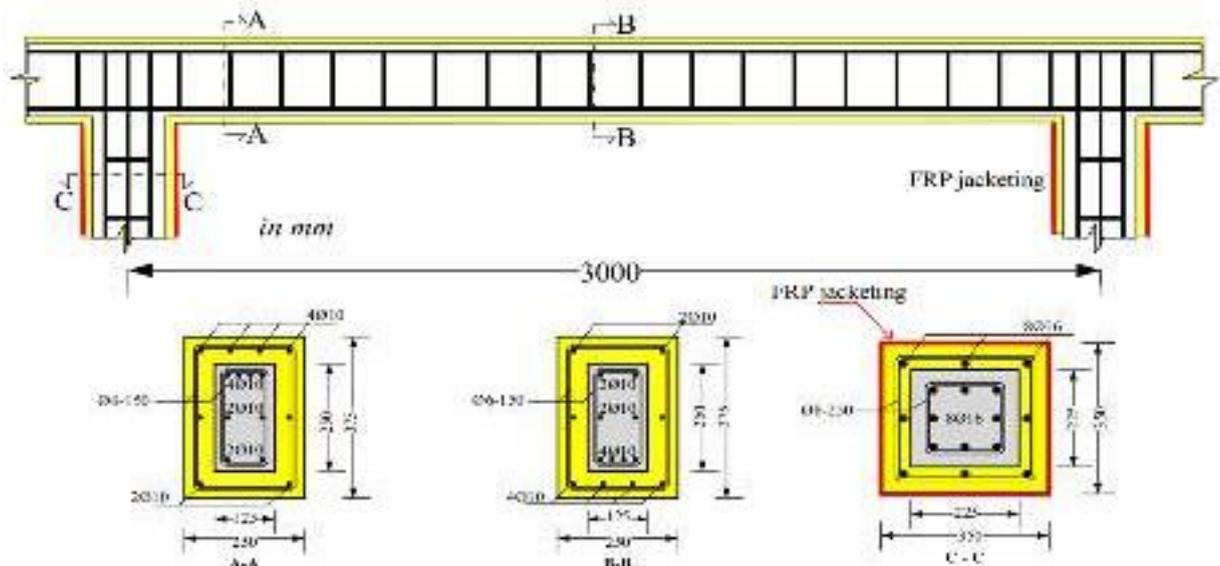
Ada dua kelompok teknik perkuatan yang sering dipakai terhadap bangunan eksisting. Kelompok pertama teknik perkuatan diterapkan pada level global, yang memperlakukan struktur keseluruhan sebagai satu entitas, dengan tujuan mengurangi besar/pengaruh gaya-gaya dalam yang bekerja pada tiap komponen. Perkuatan global yang sering dilakukan adalah menambahkan dinding geser ke dalam sistem struktur bangunan eksisting. Dinding geser mempunyai efek yang menguntungkan terhadap kinerja seismik dari bangunan eksisting. Tambahan dinding geser akan meningkatkan kekuatan, kekakuan dan daktilitas pada struktur keseluruhan. Adanya elemen yang besar dan kaku

seperti dinding geser akan mengurangi pengaruh beban yang bekerja pada tiap komponen. Adanya pengurangan *demand* pada bangunan eksisting ini sangat menguntungkan untuk pekerjaan seismik retrofit karena dengan tulangan-tulangan yang sudah terpasang komponen-komponen sudah mampu menahan beban-beban yang bekerja atau hanya memerlukan perkuatan ringan saja. Perlu kiranya disadari bahwa jumlah tulangan yang terpasang pada bangunan eksisting umumnya kurang dibanding dengan jumlah tulangan yang ditentukan berdasar peraturan bangunan tahan gempa masa kini. **Gambar 1** menunjukkan contoh dinding geser yang ditambahkan pada bagian luar dan bagian interior bangunan eksisting. Lokasi dinding geser perlu dipertimbangkan agar retrofiting dapat dikerjakan dan menimbulkan gangguan minimal baik pada bangunan atau pada penghuni bangunan.



**Gambar 1.** Penambahan dan pemilihan lokasi dinding geser pada bangunan eksisting

Kelompok kedua teknik perkuatan diterapkan pada level komponen dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan atau daktilitas dari komponen tertentu. **Gambar 2** merupakan contoh perkuatan pada komponen (balok dan kolom) yang dilakukan dengan *reinforced concrete jackets* dan pembungkusan dengan *fiber reinforced polymer* (FRP).



**Gambar 2.** Solusi retrofit komponen bangunan beton bertulang eksisting

Kedua teknik perkuatan ini sering digabung saat melakukan perkuatan pada bangunan eksisting. Umumnya teknik perkuatan pertama diaplikasikan terlebih dahulu, dan teknik perkuatan kedua dilakukan (bila diperlukan) untuk memperkuat komponen-komponen individu dalam bangunan eksisting yang perlu ditingkatkan kinerja seismiknya.

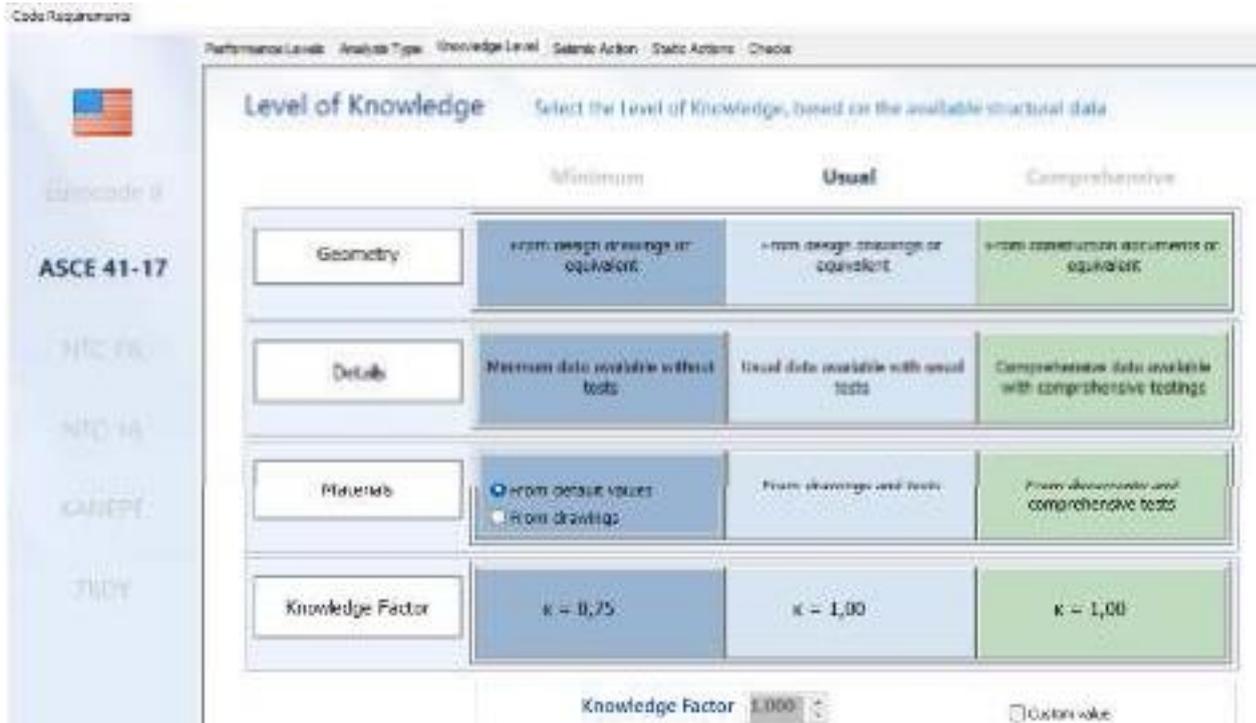
### 3. EVALUASI SEISMIK DAN LEVEL PENGETAHUAN

Proses evaluasi seismik memakai analisis nonlinier dapat menghasilkan solusi retrofit yang lebih ekonomis (Antoniou (2023)). Ada dua prosedur analisis nonlinier yaitu Prosedur Statik Nonlinier (NSP) dan Prosedur Dinamik Nonlinier (NDP). Saat ini NSP telah menjadi standar untuk retrofit dan dapat dipakai untuk struktur yang mempunyai ketidak teraturan (Antoniou (2023) dan SeismoBuild (2020)). Prosedur Statik Nonlinier (NSP) telah diaplikasikan dalam perangkat lunak SeismoBuild (2020) dan akan dipakai dalam makalah ini.

Level Pengetahuan (*Knowledge level*) mempengaruhi hasil asesmen bangunan eksisting yang mengandung banyak ketidakpastian (*epistemic uncertainties*). Level Pengetahuan dibentuk melalui pengumpulan data yang diambil dari : (1) geometri sistem struktur, baik komponen struktural maupun komponen nonstruktural; (2) *detailing*, yaitu detil dan jumlah tulangan terpasang; dan (3) material penyusun komponen. Meskipun gambar konstruksi dan gambar jadi (*as-built drawings*) telah diperoleh, tetap harus dilakukan survei lapangan dan uji material untuk memeriksa apakah ada penyimpangan yang dapat berpengaruh terhadap respon seismik struktur. *Seismic safety assessment standard* pada EuroCode 8 dan ASCE 41-17 menggunakan pendekatan berbasis komponen memakai kriteria penerimaan batas (*limit-state acceptance criteria*) dari kapasitas parameter-parameter untuk melakukan verifikasi terhadap keamanan dari pola kegagalan daktail dan kegagalan getas. EuroCode 8 memakai *confidence factors (CF)* untuk faktorisasi nilai rata-rata kuat material (**Gambar 3**). ASCE 41-17 memakai *knowledge factor (κ)* seperti ditunjukkan oleh **Gambar 4**. ASCE41-17 membagi Level Pengetahuan menjadi tiga yaitu: *minimum*, *usual* dan *comprehensive* yang selanjutnya dipakai dengan memilih satu diantara tiga *knowledge factor* yaitu: 0.75-0.9, 1.0 dan 1.0. *Knowledge factor* dari ASCE41-17 beroperasi pada sisi kapasitas komponen sehingga nilainya lebih kecil atau maksimum sama dengan satu. Level Pengetahuan dipakai untuk memilih jenis analisis yang digunakan, dan *knowledge factor* dipakai sebagai tambahan faktor keamanan untuk memperhitungkan kurangnya *knowledge* tentang bangunan eksisting. ASCE7-41 tidak memperbolehkan pemakaian prosedur analisis nonlinier bila Level Pengetahuan bangunan eksisting adalah minimum.

	Knowledge Level 1	Knowledge Level 2	Knowledge Level 3
Geometry	From original outline construction drawings with sample visual survey or from full survey	From original outline construction drawings with sample visual survey or from full survey	From original outline construction drawings with sample visual survey or from full survey
Details	Simulated design in accordance with relevant practice and from limited in-situ inspection	From incomplete original detailed construction drawings with limited in-situ inspection or from extended in-situ inspection	From original detailed construction drawings with limited in-situ inspection or from comprehensive in-situ inspection
Materials	Default values in accordance with coverages of this type of construction and from limited in-situ testing	From original design coverages with limited in-situ testing or from extended in-situ testing	From original test reports with limited in-situ testing or from comprehensive in-situ testing
Confidence Factor	CF = 1,35	CF = 1,20	CF = 1,00

**Gambar 3.** *Confident factor* dari EuroCode 8 – Part 3 (SeismoBuild (2020))



**Gambar 4.** Knowledge levels dari ASCE 41-17 (SeismoBuild (2020))

#### 4. LEVEL KINERJA, SASARAN KINERJA DAN LEVEL BAHAYA SEISMİK

EuroCode 8–Part 3 dan ASCE 41-17 adalah standar asesmen keamanan seismik yang memakai pendekatan asesmen berbasis kinerja dengan memasukan berbagai ketidak pastian melalui *confident factor* (CF) atau *knowledge level* ( $\kappa$ ). **Gambar 5** menunjukkan perbandingan sasaran kinerja (yang merupakan kombinasi level bahaya seismik dan level kinerja) sesuai dengan ASCE 41-17 dan EuroCode 8- Part 3 untuk bangunan umum.

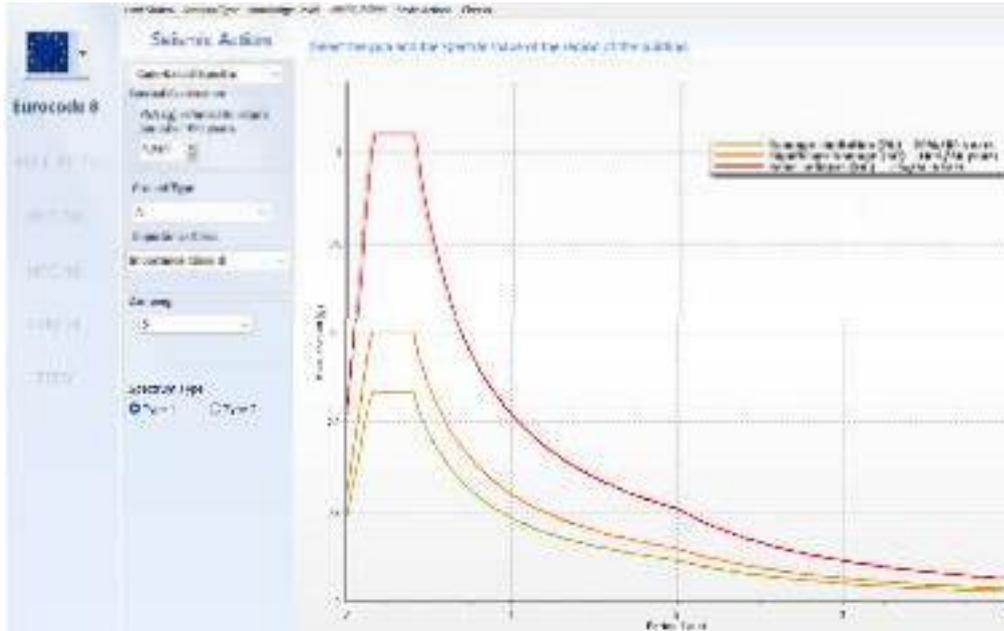
ASCE 41-17	Performance Level				EC8/3	Limit state			
	OP	IO	LS	CP		-	DL	SD	NC
50% in 50 years	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	50% in 50 years	-	-	-	-
20% in 50 years	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	20% in 50 years	-	X	-	-
10% in 50 years	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	10% in 50 years	-	-	X	-
2% in 50 years	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	2% in 50 years	-	-	-	X

**Gambar 5.** Perbandingan kombinasi level kinerja dan koresponding level bahaya seismik (Nuno et al. (2024)) Dari

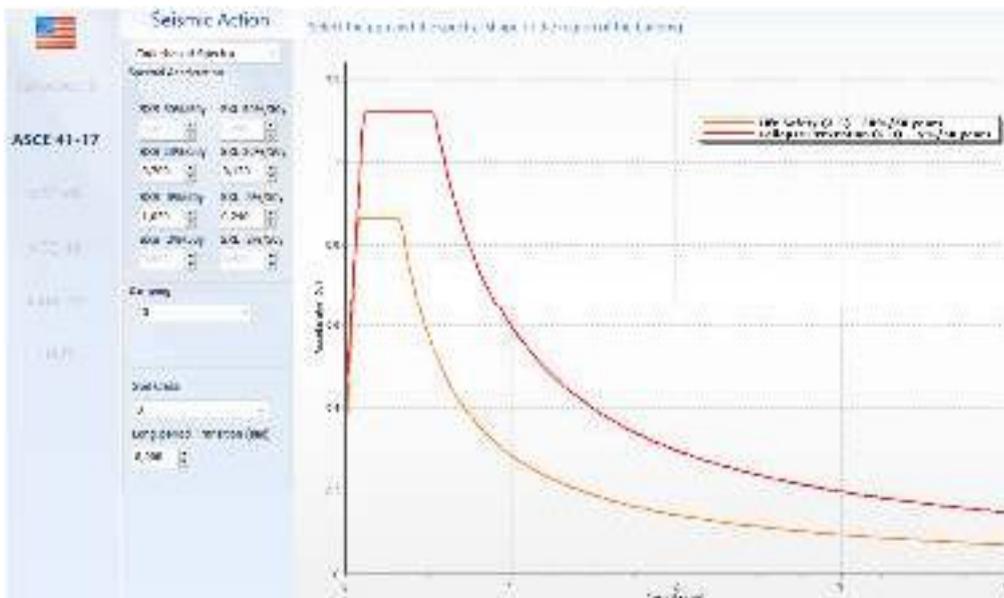
**Gambar 5** tampak EuroCode 8 menyajikan satu set sasaran kinerja yang merupakan pasangan level kinerja dan level bahaya seismik (kombinasi tunggal), sedang ASCE 41-17 menyajikan banyak kombinasi pasangan level kinerja dan level bahaya seismik.

#### 5. RESPON SPEKTRA AKSELERASI

Bahaya seismik akibat gerakan tanah didefinisikan melalui Respon Spektra Akselerasi atau riwayat akselerasi gerakan tanah akibat gempa yang ditentukan secara probabilistik atau deterministik. Respon spektra akselerasi untuk EuroCode 8-Part 3 untuk *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan perioda ulang 475 tahun, tipe tanah A, *importance class* II dan redaman 5 % ditunjukkan oleh **Gambar 5**. Respon spektra akselerasi untuk ASCE 41-17, yang dihitung mengikuti contoh hitungan FEMA P2006 (2018), untuk wilayah Yogyakarta dengan kelas situs D, dan redaman 5 % untuk level bahaya seismik BSE-1E (20%/50 tahan) dan BSE-2E (5%/50 tahun) ditunjukkan oleh **Gambar 6**. Hitungan parameter-parameter untuk respon spektra akselerasi ini telah dipresentasikan oleh penulis dalam KoNTekS ke 17.



Gambar 5. Respon Spektra Akselerasi dari EuroCode 8 (SeismoBuild (2020))



Gambar 6. Respon Spektra Akselerasi dari ASCE 41-17 (SeismoBuild (2020))

## 6. SEISMIK RETROFIT BANGUNAN BETON BERTULANG EKSISTING

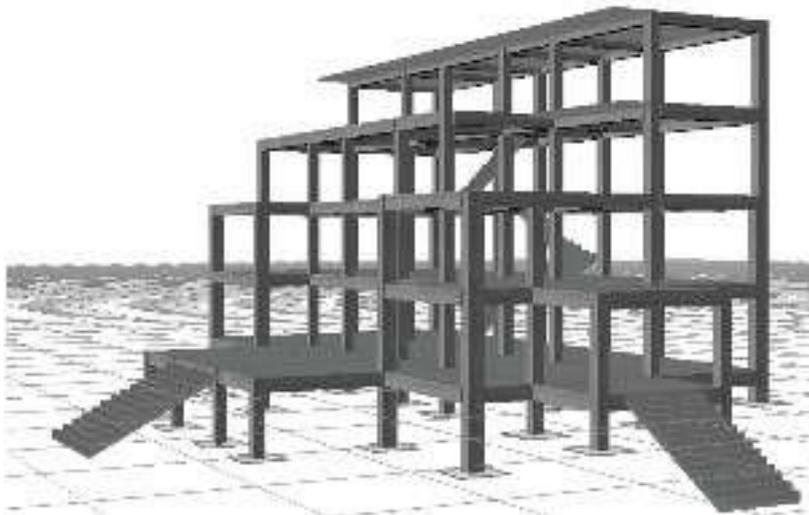
Seismik retrofit dilakukan terhadap bangunan beton eksisting yang sengaja dirancang mengikuti praktek perancangan masa lalu, saat kemajuan pengetahuan perancangan tahan gempa belum secanggih sekarang. Bangunan beton eksisting ini sengaja dirancang untuk mengalami defisiensi geser. Konfigurasi bangunan beton eksisting dalam dilihat pada **Gambar 7**. Tampak dari **Gambar 7** bahwa bangunan eksisting mengalami ketidak teraturan vertikal. Adanya kolom pendek, karena bangunan dibangun di atas tanah dengan kemiringan satu arah, yang membuat kolom pendek mengalami gaya geser besar perlu mendapat perhatian karena jumlah tulangan geser kolom pada bangunan beton masa lalu umumnya lebih sedikit dibanding dengan hasil dari perancangan bangunan tahan gempa masa kini.

Asesmen dan retrofit bangunan eksisting dengan ketidak teraturan lebih dari satu dilakukan langsung dengan prosedur statik nonlinier (NSP), menggunakan 16 kombinasi pembebanan, menggunakan respon spektra akselerasi pada **Gambar 5**, dan memakai EuroCode 8-Part 3. Tulangan-tulangan hasil perancangan bangunan eksisting untuk pelat, balok dan kolom telah dimasukkan ke dalam model yang dibuat dalam perangkat lunak SeismoBuild (2020). Hasil

perancangan ini dapat dianggap mewakili level pengetahuan yang *comprehensive* dari bangunan eksisting sehingga prosedur NSP boleh dipakai. *Properties* material yang dipakai dalam seismik retrofit dapat dilihat pada **Tabel 1**. Ada tiga kondisi batas yang ditinjau yaitu: *Damage Limitation (DL)* – 20%/50 tahun, *Significant Damage (SD)* – 10%/50 tahun dan *Near Collapse (NC)* – 2%/50 tahun. Hasil dari analisis nonlinier pada kondisi batas *near collapse (NC)* menunjukkan ada banyak defisiensi akibat gaya geser seperti ditunjukkan oleh **Gambar 8**.

**Tabel 1.** *Properties* material yang dipakai dalam retrofit.

Nama	Tipe Elemen	$F_c$ , nilai yang diharapkan (MPa)	$F_c$ , nilai batas bawah (MPa)	$F_s$ , nilai yang diharapkan (MPa)	$F_s$ , nilai batas bawah (MPa)
<i>Default eksisting</i>	Eksisting	20.0 ( <i>Mean</i> )	16.0 ( <i>Mean-<math>\sigma</math></i> )	275.0 ( <i>Mean</i> )	220.0 ( <i>Mean-<math>\sigma</math></i> )
<i>Default baru</i>	Baru	33.0 ( <i>Mean</i> )	25.0 ( <i>Mean-<math>\sigma</math></i> )	555.6 ( <i>Mean</i> )	500.0 ( <i>Mean-<math>\sigma</math></i> )

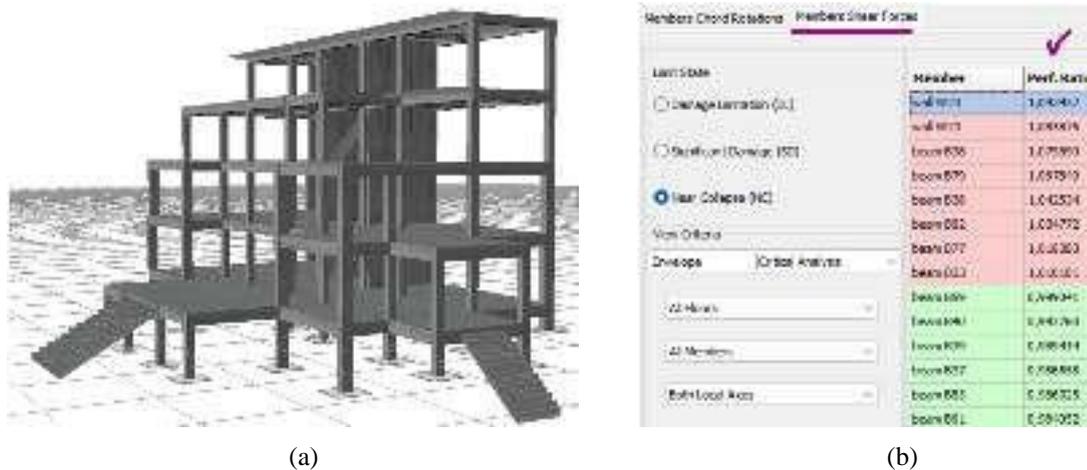


**Gambar 7.** Geometri dan konfigurasi bangunan beton bertulang eksisting yang mempunyai ketidak teraturan

Elemen	Plan	Elemen	Local Status	Status	Capacity	Form. Elemen	Analisis
elemen 101	101	101	101	101	101	101	101
elemen 102	102	102	102	102	102	102	102
elemen 103	103	103	103	103	103	103	103
elemen 104	104	104	104	104	104	104	104
elemen 105	105	105	105	105	105	105	105
elemen 106	106	106	106	106	106	106	106
elemen 107	107	107	107	107	107	107	107
elemen 108	108	108	108	108	108	108	108
elemen 109	109	109	109	109	109	109	109
elemen 110	110	110	110	110	110	110	110
elemen 111	111	111	111	111	111	111	111
elemen 112	112	112	112	112	112	112	112
elemen 113	113	113	113	113	113	113	113
elemen 114	114	114	114	114	114	114	114
elemen 115	115	115	115	115	115	115	115
elemen 116	116	116	116	116	116	116	116
elemen 117	117	117	117	117	117	117	117
elemen 118	118	118	118	118	118	118	118
elemen 119	119	119	119	119	119	119	119
elemen 120	120	120	120	120	120	120	120

**Gambar 8.** Hasil analisis nonlinier NSP bangunan eksisting pada kondisi batas *Near Collapse (NC)*

Strategi seismik retrofit yang dipakai adalah menambahkan dinding geser pada lokasi dan konfigurasi yang ditunjukkan oleh **Gambar 1** dan **Gambar 9a**. Tambahan dinding geser akan meningkatkan kekuatan, kekakuan dan daktilitas pada struktur keseluruhan. Adanya elemen yang besar dan kaku seperti dinding geser akan mengurangi pengaruh beban yang bekerja pada tiap komponen. Adanya pengurangan *demand* pada bangunan eksisting ini sangat menguntungkan untuk pekerjaan seismik retrofit karena dengan tulangan-tulangan yang sudah terpasang komponen-komponen sudah mampu menahan beban-beban yang bekerja atau hanya memerlukan perkuatan ringan saja. Hasil dari analisis nonlinier bangunan eksisting yang telah diperkuat dengan dinding geser pada kondisi batas *Near Collapse* (NC) ditunjukkan oleh **Gambar 9b**. Bila *Performance Ratio* dari suatu kompoen  $\leq 1,0$  maka komponen tersebut sudah tidak mengalami defisiensi. Semua defisiensi akibat geser pada komponen bangunan eksisting telah hampir hilang, seismik retrofit bisa dianggap selesai. Seismik retrofit dapat ditingkatkan dengan memberikan perkuatan dengan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) pada komponen *wall* W23, *beam* B33, *beam* B38, *beam* B79 dan *beam* B82 meskipun perkuatan tambahan ini tidak akan memberikan dampak signifikan terhadap bangunan eksisting. Perkuatan dengan dinding geser dipandang sudah mencukupi untuk seismik retrofit.



**Gambar 9.** Hasil analisis non-linier NSP bangunan beton bertulang eksisting: (a) Dengan perkuatan dinding geser dan (b) Geser pada kondisi batas *Near-Collapse* (NC)

Ada delapan kurva kapasitas yang diperoleh dari analisis *pushover* (prosedur NSP) sesuai jumlah kombinasi beban yang dipakai, Kurva kapasitas untuk kombinasi beban Modal + X + eccY sebelum dan sesudah retrofit ditunjukkan oleh **Gambar 10a** dan **Gambar 10b**. Dari **Gambar 10a** dan **Gambar 10b** tampak bahwa gaya geser lateral (*base shear*) pada bangunan eksisting meningkat dari 3550 kN sebelum retrofit menjadi 7220 kN setelah retrofit. *Target displacement* sebelum retrofit (bulatan kecil pada **Gambar 10a**) menurun setelah retrofit (bulatan kecil pada **Gambar 10b**). SeismoBuild (2020) memberikan nilai-nilai *Target Displacement* sebagai berikut:

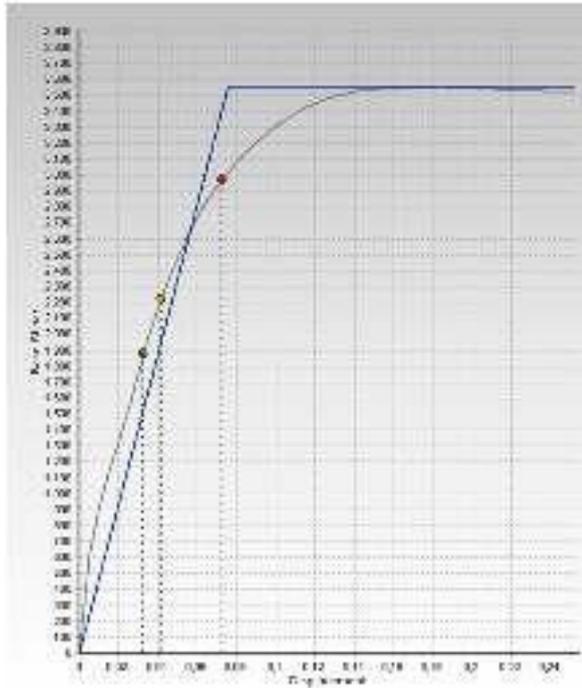
*Target displacement* sebelum retrofit:

- Level kinerja *Damage Limitation* = 0.0326 m
- Level kinerja *Significant Damage* = 0.0419 m
- Level kinerja *Near Collapse* = 0.0726 m

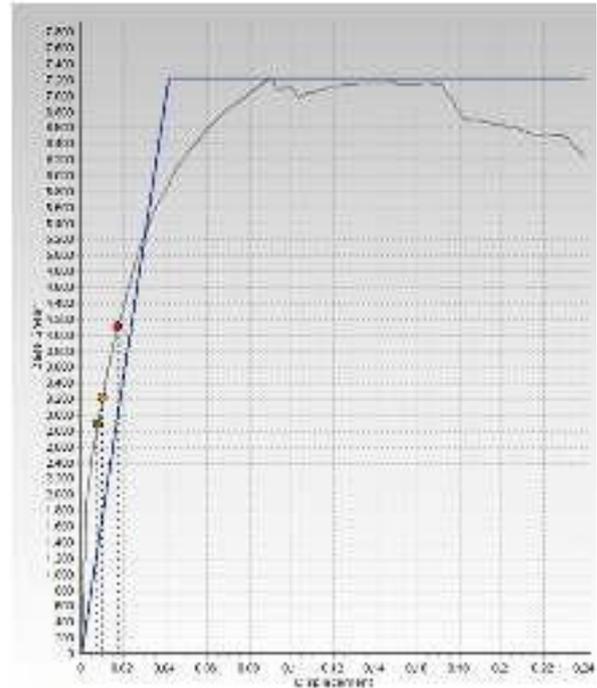
*Target displacement* setelah retrofit:

- Level kinerja *Damage Limitation* = 0.00778 m
- Level kinerja *Significant Damage* = 0.00998 m
- Level kinerja *Near Collapse* = 0.017306 m

Kurva-kurva kapasitas dari kombinasi beban 15 yang lain dapat dievaluasi dengan cara yang sama. Bila informasi tentang bangunan eksisting tersedia, dipahami dengan baik dan dilakukan pengumpulan data yang akurat dari bangunan eksisting maka retrofit menggunakan analisis non-linier akan menghasilkan solusi yang ekonomis. Bila retrofit bangunan eksisting yang dulunya dirancang memakai peraturan perancangan tahan gempa yang sudah modern (misal peraturan perancangan tahan gempa dari tahun 1990 ke atas), hasil analisis non-linier dapat menghasilkan solusi bahwa bangunan eksisting tersebut tidak perlu diretrofit, suatu solusi yang melegakan pemilik bangunan eksisting.



(a)



(b)

**Gambar 10.** Kurva kapasitas untuk kombinasi beban Modal + X + eccY: (a) Sebelum retrofit dan (b) Sesudah retrofit

## 7. KESIMPULAN

Bangunan beton bertulang eksisting yang mempunyai ketidak teraturan lebih dari satu dapat ditingkatkan kekakuan dan kapasitasnya untuk menahan beban gempa sesuai dengan level kinerja dan level bahaya seismik mengikuti ketentuan dalam EuroCode 8-Part 3. Ada banyak pilihan perkuatan yang dapat dipakai seperti *concrete jacketing* atau FRP namun dinding geser merupakan pilihan perkuatan yang efektif karena bekerja pada level global dan dapat mempengaruhi respon struktur secara signifikan. Perkuatan dinding geser meningkatkan gaya geser lateral pada bangunan eksisting dan menurunkan *Target Displacement* pada masing-masing level kinerja. Dinding geser sangat efektif untuk menurunkan *demand* pada komponen-komponen dari bangunan beton bertulang eksisting.

## DAFTAR PUSTAKA

- [ASCE] American Society of Civil Engineers (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-17)*. Reston, Virginia: ASCE.
- [ASCE] American Society of Civil Engineers (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16)*. Reston, Virginia: ASCE.
- CEN (2005) Eurocode 8: *Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings*. European Committee of Standardization, Brussels.
- Antoniou, Stelios. (2023). *Seismic Retrofit for Reinforced Concrete Buildings*, John Wiley & Sons Inc.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2018). *Example Application Guide for ASCE/SEI 41-13 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings – with Additional Commentary for ASCE/SEI 41-17*. FEMA P2006, Washington, DC: Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency.
- Nuno, P., Despoina, S. dan Xavier, R. (2024). *Closed-Form Expressions for Partial Safety Factors Used in the Seismic Assessment of Existing RC Buildings*. Bulletin of Earthquake Engineering (2024) 22:997–1032.
- SeismoBuild (2020). *A Computer Program for the Linear and Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Buildings*. Tersedia di URL: [www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com).