

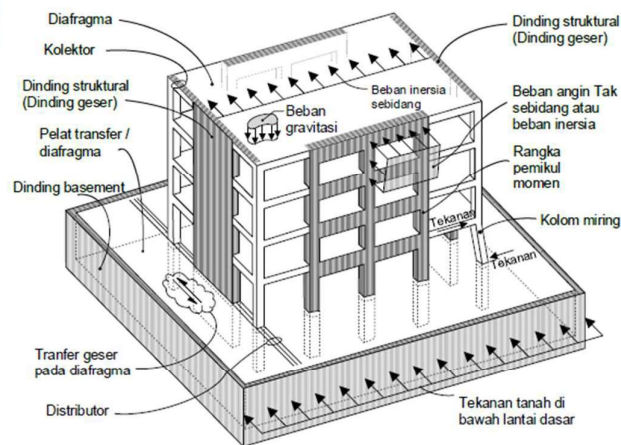
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 SISTEM STRUKTUR

Sistem struktur merupakan serangkaian komponen struktur yang memiliki peran dalam menyalurkan atau meneruskan aliran beban yang bekerja, sistem struktur sendiri umumnya terdiri dari elemen struktur penahan beban vertikal atau gravitasi dan beban horizontal atau lateral. Elemen struktur penahan beban vertikal terdiri dari elemen plat lantai, balok dan kolom, sedangkan elemen penahan beban horizontal atau beban lateral terdiri dari elemen dinding geser, kolom dan bresing. Plat lantai pada sistem struktur yang direncanakan monolit dengan balok umumnya dimodelkan sebagai elemen diafragma kaku, dimana plat lantai akan mendistribusikan beban lateral kepada komponen pemikul beban lateral.

Sistem struktur beton pada rangka gedung umumnya menggunakan sistem rangka pemikul momen atau sistem dinding geser, dengan kebutuhan desain yang lebih ekonomis kombinasi dua sistem rangka tersebut sering digunakan guna mengoptimalkan fungsi dan anggaran pelaksanaan. Sebagaimana diatur dalam SNI 1726-2019 sistem dinding geser diharapkan memiliki peran dalam menyerap 75% gaya lateral akibat gempa dan sistem rangka pemikul momen mampu menahan gaya lateran akibat beban gempa minimal 25%.



Gambar 2. 1 Model Diafragma Tipikal

Sumber : SNI 2847-2019

2.2 DESAIN BERBASIS PRESKRIPTIF

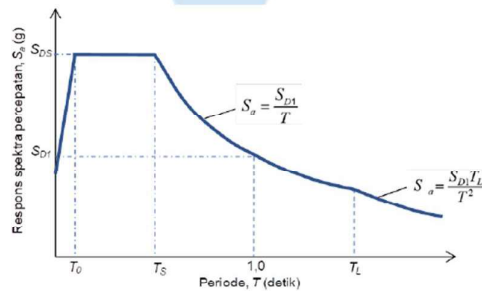
Desain berbasis preskriptif merupakan desain linear elastik dimana sistem struktur dirancang berdasarkan peraturan yang berlaku, pada penelitian ini desain berbasis preskriptif yang telah dilakukan berdasarkan peraturan yang berlaku akan dievaluasi kinerjanya. Hasil analisis dari desain berbasis preskriptif akan digunakan sebagai *preliminary design* pada desain berbasis kinerja untuk menentukan parameter inelastik maupun elastik dari setiap elemen struktur. Syarat-syarat desain preskriptif secara umum mengacu pada SNI 17287-2020, SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019, diantaranya sebagai berikut.

2.2.1 Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi secara umum mengacu pada SNI 1727-2020 dimana didalamnya mengatur terkait beban mati dan beban hidup yang bekerja pada elemen struktur bangunan berdasarkan fungsi pemanfaatannya. Adapun beberapa beban yang tidak ditampilkan secara spesifik didalam SNI 1727-2020 seperti halnya beban dinding dapat mengacu pada SNI 03-1727-1989.

2.2.2 Pembebanan Gempa

Pembebanan Gempa secara umum mengacu pada SNI 1726-2019 dimana pada standar ini secara detail mengatur cara perhitungan beban gempa statik ekuivalen dan membuat kurva beban respon spektrum. Pada standar ini juga terdapat peta sumber dan bahaya gempa Indonesia 2017 yang merupakan parameter dalam menentukan nilai percepatan batuan dasar periode pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1). Gaya geser dasar statik dan kurva respon spektrum desain merupakan keluaran yang dapat dihasilkan, yang kemudian akan digunakan dalam model pembebanan.



Gambar 2. 2 Spektrum Respon Desain

Sumber : SNI 1726-2019

2.2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan merupakan bagian dari pertimbangan bahwa bangunan gedung dan nongedung tidak boleh gagal terlebih dahulu daripada struktur yang ditumpunya sebagai mana diatur dalam pasal 4.2.1 SNI 1726-2019 mengatur terkait faktor kuat lebih dari beban gravitasi yang akan diterima elemen struktur dan pasal 4.2.2.3 SNI 1726-2019 terkait faktor pengaruh beban seismik terhadap struktur.

2.2.4 Ketidakberaturan Struktur

Berdasarkan pasal 7.3.3.4 SNI 1726-2019 struktur dengan kategori desain seismik D, E dan F dan mempunyai ketidakberaturan struktur, gaya desain harus ditingkatkan 25% untuk elemen-elemen pemikul gaya seismik. Ketidakberaturan struktur sangat erat kaitannya dengan mekanisme penyaluran beban gempa lateral, dimana ketidakberaturan struktur terdiri dari ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal.

2.2.5 Proporsi Penyerapan Gaya Gempa Sistem Ganda

Proporsi penyerapan gaya gempa sistem ganda merupakan bagian dari tabel 12 SNI 1726-2019 pasal 7.2.2 mengenai kombinasi sistem struktur dalam arah yang berbeda. Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda diizinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah ortogonal struktur. Pada penggunaan sistem struktur ganda maka mempertimbangkan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan.

2.2.6 Partisipasi Massa Ragam Struktur

Pada SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1 dikatakan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Sebagai alternatif yang tersirat dalam pengecualian dikatakan bahwa, analisis diizinkan memasukan jumlah ragam minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau.

2.2.7 Perbandingan Gaya Geser dasar Statis dan Dinamis

Berdasarkan pasal 7.9.1.4.SNI 1726-2019 terkait penskalaan gaya, yang menyatakan bahwa apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan nilai V/V_t .

2.2.8 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai ditentukan berdasarkan pasal 7.8.6 SNI 1726-2019 yang menyatakan bahwa simpangan antar tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar lantai yang telah ditentukan tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin yang diatur dalam pasal 7.12.1 SNI 1726-2019 tabel 20 berdasarkan kategori resiko.

2.2.9 Stabilitas Struktur Terhadap P-Delta

Pada pasal 7.8.7 SNI 1726-2019 pengaruh P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkan tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas kurang dari 0,10. Koefisien stabilitas tidak boleh melebihi koefisien stabilitas maksimum, apabila melebihi maka struktur harus didesain ulang. Jika koefisien stabilitas di antara 0,10 dan koefisien stabilitas maksimum maka perlu dilakukan analisis rasional terhadap perpindahan dan gaya komponen struktur.

2.2.10 Detail Penulangan Elemen Struktur

Detail penulangan elemen struktur setelah analisis dan semua syarat terpenuhi mengacu pada SNI 2847-2019, dimana kriteria pendetailan elemen struktur berdasarkan sistem struktur yang dirancang menjadi dasar penentu. Detail perencanaan elemen balok sistem rangka pemikul momen khusus mengacu pada pasal 18.6 SNI 2847-2019. Detail perencanaan elemen kolom sistem rangka pemikul momen khusus mengacu pada pasal 18.7 SNI 2847-2019. Detail perencanaan dinding struktural khusus mengacu pada pasal 18.10 SNI 2847-2019. Detail perencanaan pelat dua arah mengacu pada pasal 8 SNI 2847-2019.

2.3 DESAIN BERBASIS KINERJA

Desain berbasis kinerja atau umumnya lebih dikenal dengan nama *performance based design* merupakan pendekatan desain nonlinear yang lebih komprehensif dan fleksibel dalam medesain sistem struktur bangunan. Desain berbasis kinerja memiliki peran yang sangat penting dalam merancang bangunan berdasarkan fungsi dan faktor keutamaan yang lebih eksplisit sesuai keinginan pengguna jasa. Desain berbasis kinerja juga memiliki peran penting dalam mengevaluasi bangunan eksisting yang telah dirancang berdasarkan peraturan lama guna menilai kinerja dari bangunan eksisting sehingga laik berfungsi.

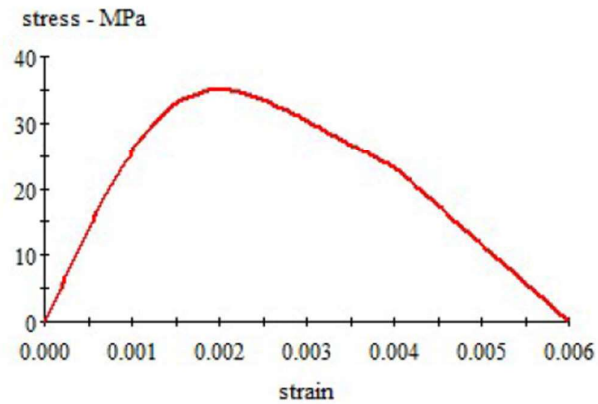
Desain yang lebih eksplisit memberikan banyak manfaat dalam mengoptimalkan sistem struktur dan pendetailan, sehingga anggaran dapat lebih efisien dengan kinerja yang masih sesuai yang diharapkan, dimana hal ini tidak mampu dijelaskan secara eksplisit oleh peraturan standar perancangan preskriptif linear elastik. Desain berbasis kinerja dalam merancang maupun mengevaluasi umumnya dilakukan menggunakan metode analisis nonlinear *pushover* atau metode analisis nonlinear *time history* atau bahkan keduanya. Dalam penelitian ini hanya akan membahas mengenai metode analisis nonlinear *time history*, berikut akan dibahas teori-teori mengenai desain berbasis kinerja menggunakan analisis nonlinear *time history*.

2.3.1 Parameter Nonlinear Elemen Struktur

Analisis nonlinear memerlukan parameter-parameter perilaku inelastik setiap elemen dan material struktur, parameter tersebut dianalisis dalam skala perilaku penampang dan elemen penyusunnya. Perilaku dari penampang dapat didekati dengan model kekakuan dan kekuatan kapasitas penampang pada kondisi inelastik. PEER-ATC-72-1 pasal 2.1.2 menyatakan bahwa untuk tujuan simulasi kinerja struktur secara akurat, model analisis harus didasarkan pada sifat yang diharapkan dari elemen dan material struktur.

a. Beton Tidak Terkekang

Parameter beton tidak terkekang umumnya dimodelkan pada selimut beton untuk elemen struktur yang modelkan dengan pendekatan *fiber section approach*. Model beton tidak terkekang oleh Mander pada perangkat lunak analisis penampang XTRACT dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2. 3 Model Mander Kurva Beton Tidak Terkekang

For Strain - $\varepsilon < 2 \cdot \varepsilon_t$	$f_c = 0$
For Strain - $\varepsilon < 0$	$f_c = \varepsilon \cdot E_c$
For Strain - $\varepsilon < \varepsilon_{cu}$	$f_c = \frac{f_c^r \cdot x^r}{r - 1 + x^r}$
For Strain - $\varepsilon < \varepsilon_{sp}$	$f_c = f_{cu} + (f_{cp} - f_{cu}) \cdot \frac{(\varepsilon - \varepsilon_{cu})}{(\varepsilon_{sp} - \varepsilon_{cu})}$

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}}$$

$$E_{sec} = \frac{f_c^r}{\varepsilon_{cc}}$$

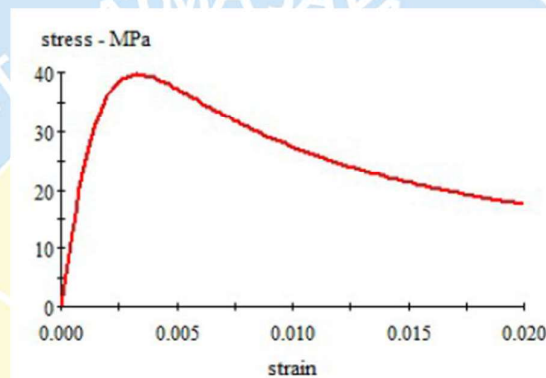
Dimana :

- ε : Regangan Beton
- f_c : Tegangan pada Beton
- E_c : Modulus Elastis
- E_{sec} : Secant Modulus
- ε_t : Kapasitas regangan tarik
- ε_{cu} : Regangan Ultimit Beton
- ε_{cc} : Regangan pada puncak tegangan (0.002)
- ε_{sp} : Regangan spalling

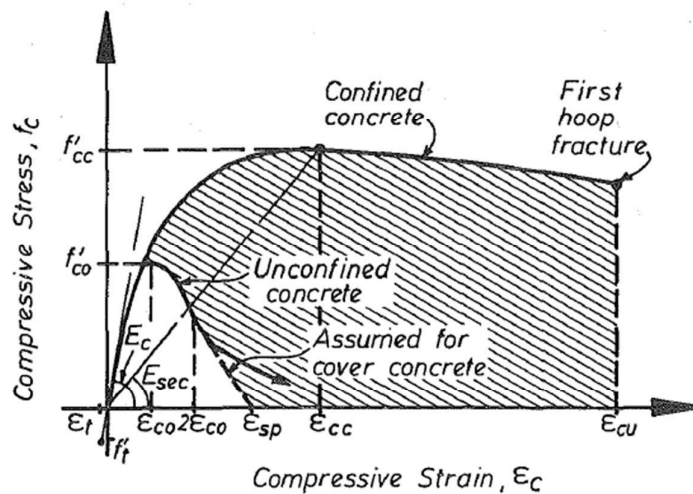
f'_c : Kuat Tekan 28 Hari
 f_{cu} : Tegangan saat ϵ_{cu}
 f_{cp} : Kekuatan setelah spalling

b. Beton Terkekang

Parameter beton terkekang umumnya dimodelkan pada inti beton, model beton terkekang oleh Mander pada perangkat lunak analisis penampang XTRACT dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Model Beton Terkekang XTRACT



Gambar 2. 4 Model Mander Kurva Tegangan-Regangan Beton Terkekang

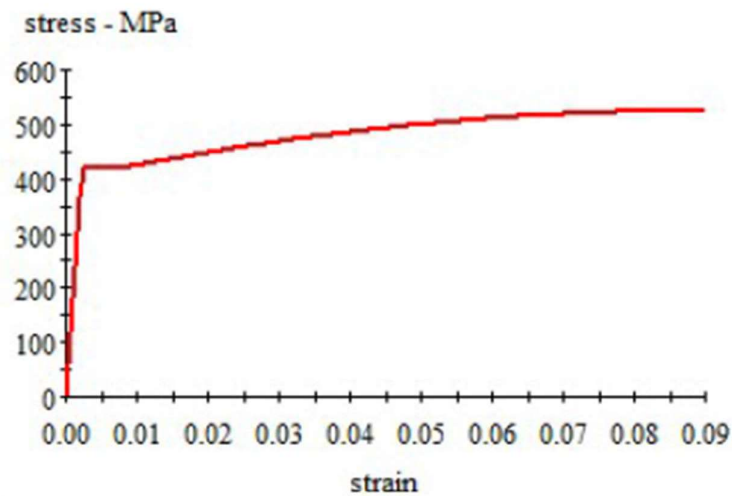
For Strain - $\varepsilon < 2 \cdot \varepsilon_t$	$f_c = 0$
For Strain - $\varepsilon < 0$	$f_c = \varepsilon \cdot E_c$
For Strain - $\varepsilon < \varepsilon_{cu}$	$f_c = \frac{f_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r}$ $x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}}$ $\varepsilon_{cc} = .002 \cdot \left[1 + 5 \cdot \left(\frac{f_{cc}}{f_c} - 1 \right) \right]$ $r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}}$ $E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}}$

Dimana :

- ε : Regangan Beton
- f_c : Tegangan pada Beton
- E_c : Modulus Elastis
- ε_t : Kapasitas regangan tarik
- ε_{cu} : Regangan Ultimit Beton
- ε_{cc} : Regangan pada puncak tegangan (0.002)
- f_c : Kuat tekan 28 Hari
- f_{cc} : Kuat tekan beton terkekang

c. Baja Tulangan

Model material baja tulangan menggunakan pendekatan model baja bilinear dimodelkan dengan perilaku elastik disaat mengalami tegangan dibawah batas tegangan leleh dan mengalami peningkatan kekuatan atau *strain hardening* hingga mencapai tegangan ultimit.



Gambar 2. 5 Model Bilinear Perilaku Baja Tulangan

Dimana :

ε : Regangan Baja Tulangan

f_s : Tegangan pada Baja

F_y : Tegangan Leleh

F_u : Tegangan saat fraktur

ε_y : Regangan Leleh

ε_{sh} : Regangan saat *strain hardening*

For Strain - $\varepsilon < \varepsilon_y$ $f_s = E \cdot \varepsilon$

For Strain - $\varepsilon < \varepsilon_{sh}$ $f_s = f_y$

For Strain - $\varepsilon < \varepsilon_{su}$ $f_s = f_u - (f_u - f_y) \cdot \left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right)^2$

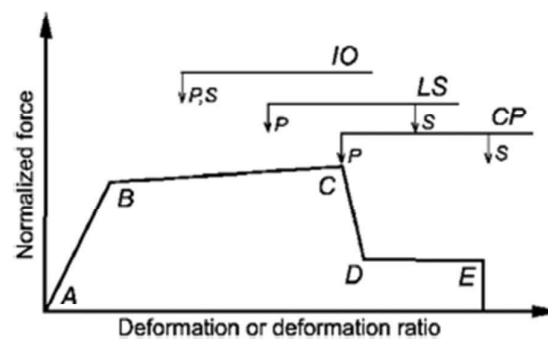
ε_{sh} : Regangan saat *failure*

E : Modulus Elastis

d. Properti Sendi Plastis

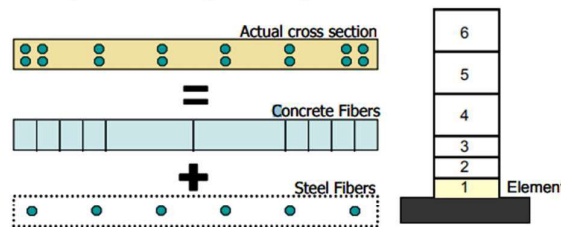
Properti sendi plastis merupakan parameter yang berperan penting dalam mengukur kemampuan elemen struktur dalam menerima beban yang bekerja dalam suatu sistem struktur. Sendi plastik terjadi ketika suatu elemen struktur menahan beban yang menghasilkan momen melebihi kapasitas leleh penampang

atau material, sehingga membentuk sendi platis. Model sendi plastis elemen struktur maupun material umumnya dimodelkan dalam bentuk kurva momen-rotasi, dimana pada model kurva momen rotasi dapat dibuatkan model kurva gaya-perpindahan. Kurva gaya-perpindahan memiliki titik yang berkaitan dengan kinerja yang dihasilkan oleh elemen struktur. Program XTRACT memudahkan dalam mendapat properti sendi plastis yaitu dengan mendapatkan nilai kurvatur ultimit dan kurvatur saat leleh, maka didapatkan nilai rotasi ultimit dan rotasi saat leleh.



Gambar 2. 6 Kurva Gaya-Perpindahan Sendi Platis ASCE 41-17

e. Perilaku inelastik dinding geser



Gambar 2. 7 Model *fiber Section Approach* pada elemen dinding geser

Sumber : *figure 4-2 PEER-ATC-72-1*

Pemodelan perilaku inelastic pada elemen struktur dinding geser mengacu pada PEER-ATC-72-1 dimana perilaku inelastik elemen dinding geser tidak ditentukan oleh parameter sendi plastis melainkan berasal dari perilaku inelastik masing-masing material penyusun elemen struktur dengan asumsi bahwa perilaku geser tetap ditinjau dalam perilaku elastik.

2.3.2 Kriteria penerimaan dan Level Gempa

Kriteria penerimaan digunakan dalam prosedur analisis nonlinear dalam menentukan batas kinerja seismik elemen struktur, melalui kubung kurva gaya-perpindahan. Batas-batas level kinerja struktur mengacu pada ASCE 41-17 dan level kinerja berkaitan dengan level gempa yang mengacu pada FEMA 273 yang dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Level Kinerja ASCE 41-17 terhadap level gempa FEMA 273

Gempa Rencana	Level 1 (Gempa Moderat)	Level 2 (Gempa Sedang)	Level 3 (Gempa Kuat)
Level Kinerja	Tidak ada / Sedikit Kerusakan	Ada Kerusakan yang dapat diperbaiki	Ada kerusakan tapi runtuh
Deformasi Kolom FEMA 273	Elastik	Rotasi < 0,01 rad	Rotasi < 0,02 rad
Deformasi Balok FEMA 273	Elastik	Rotasi < 0,02 rad	Rotasi < 0,025 rad
Indek <i>drift</i> yang diijinkan	0,005	0,01	0,02

Catatan : Indeks *drift* adalah rasio perpindahan atap terhadap tinggi bangunan

Sumber : Utomo, Ekaputri et al. (2019)

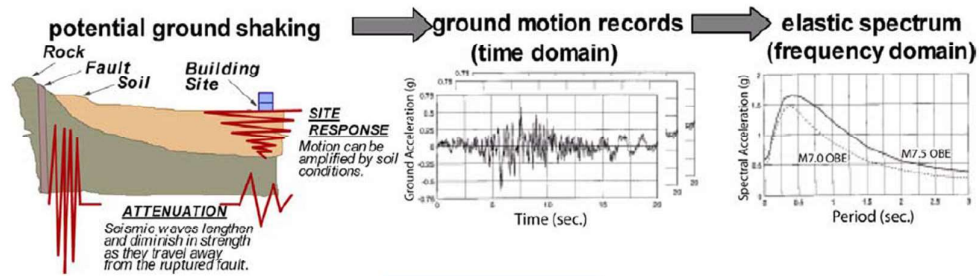
Tabel 2. 2 Level Gempa Desain (*Seismik Hazard*)

Level beban gempa terhadap intensitas MMI	Deskripsi Kualitatif FEMA	Probabilitas Kejadian dalam 50 Tahun	Periode Ulang (Tahun)	PGA efektif
Kejadian Level 1 : MMI VII	Kadang – kadang	50%	100	0,12
Kejadian Level 2 : MMI VIII	Jarang	10%	500	0,25
Kejadian Level 3 : MMI IX	Sangat Jarang	2%	2500	0,5

Catatan : Indeks *drift* adalah rasio perpindahan atap terhadap tinggi bangunan

Sumber : Utomo, Ekaputri et al. (2019)

2.3.3 Analisis *Time history*

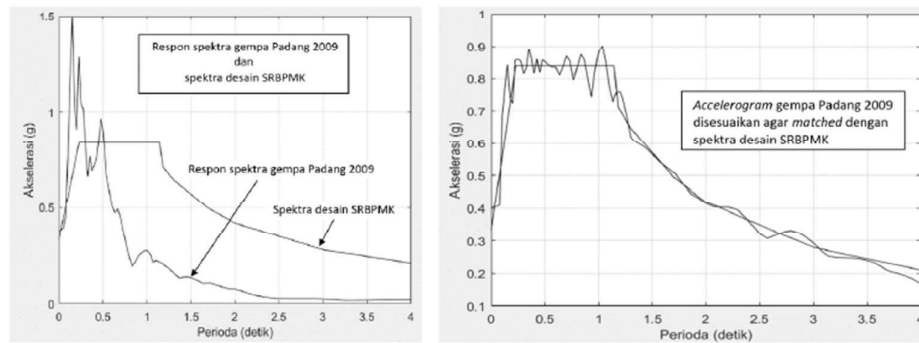


Gambar 2. 8 Mekanisme Rekaman Pecepatan Gempa

Sumber : Figure 2-6 FEMA 440

Analisis *time history* atau riwayat waktu merupakan analisis yang menggunakan parameter percepatan energi gempa pada permukaan tanah yang berasal dari pusat gempa terjadi. Pada SNI 1726-2019 pasal 11 analisis riwayat waktu digunakan untuk menunjukkan kekuatan, kekakuan dan daktilitas dalam menahan guncangan gempa. Pada pasal 11.2.2 SNI 1726-2019 serangkaian gerakan tanah akibat guncangan gempa harus dipilih tidak kurang dari 11 pasang untuk setiap target spektra dan gerakan tanah harus terdiri dari sepasang komponen gerak tanah horizontal, pada penelitian ini gerakan tanah efek gempa vertikal tidak diperhitungkan. Setiap pasang rekaman gempa horizontal harus diskalakan dengan spektra desain lokasi struktur sesuai dengan pasal 11.2.3 SNI 1726-2019.

Rentang periode untuk penskalaan atau pencocokan harus ditentukan sesuai dengan periode getar yang secara signifikan berkontribusi terhadap respons dinamik lateral bangunan. Rentang periode ini harus memiliki batas atas dan batas bawah dimana batas atas tidak kurang dari 1,5 kali periode ragam pertama terbesar dan batas bawah 20% periode pada partisipasi massa 90%, sesuai pasal 11.2.3.1 SNI 1726-2019.



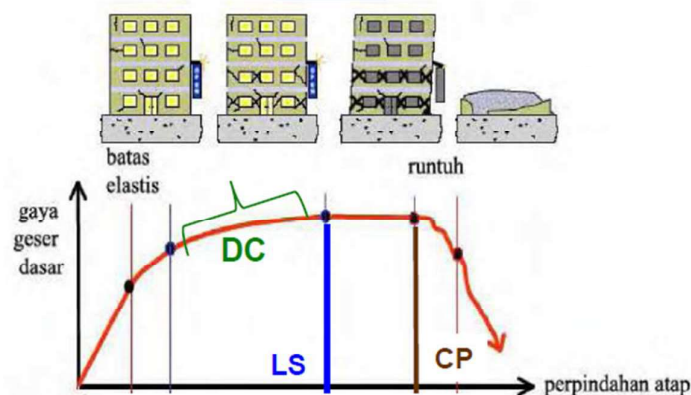
Gambar 2. 9 Penskalaan akselerogram terhadap spektra desain

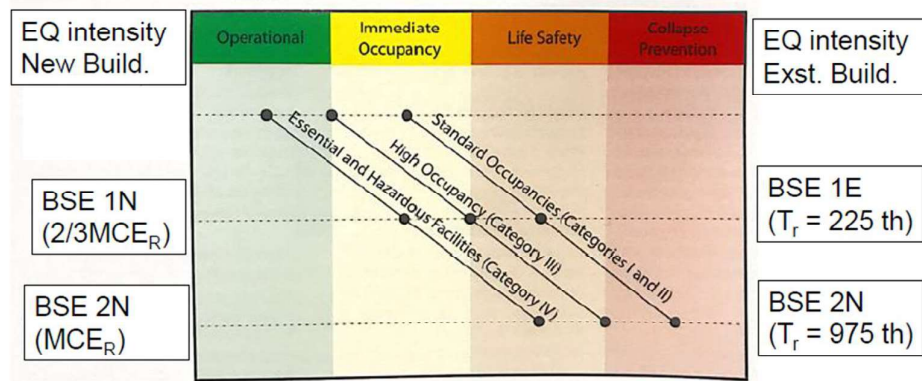
Sumber : Utomo, Ekaputri et al. (2019)

Penskalaan rekaman gempa sesuai sasaran *seismic hazard* ASCE 41-17 BSE-1N untuk kinerja *life safety* yang mengacu pada level *Design Base Earthquake (DBE)* dan ASCE 41-17 BSE-2N untuk kinerja *collapse prevention* yang mengacu pada level *Maximum Considered Earthquake (MCE)*. *DBE* merupakan level gempa dengan probabilitas kejadian 10% dalam periode ulang 500 tahun dimana nilai percepatannya $\frac{2}{3}$ kali percepatan *MCE*, sedangkan *MCE* merupakan level gempa dengan probabilitas kejadian 2% dalam periode ulang 2500 tahun.

2.4 KINERJA STRUKTUR

Kinerja struktur merupakan akumulasi setiap elemen struktur dalam mendistribusi gaya-gaya yang berasal dari beban lateral maupun gravitasi, dimana kinerja setiap elemen struktur digambarkan melalui kurva momen-rotasi dan kinerja struktur digambarkan melalui rasio perpindahan atap terhadap tinggi struktur. Tingkat kinerja yang dapat dicapai dari kurva momen-rotasi yaitu *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)* dan *Collapse Prevention (CP)*.

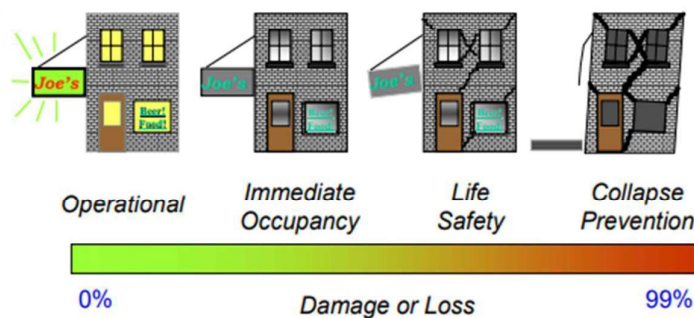




Gambar 2. 10 Tingkat kinerja Struktur

Sumber : Bintek ASCE 41-17 PUPR

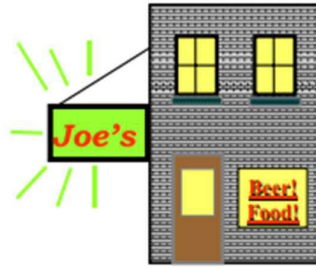
Tingkat kinerja struktur juga dinyatakan dalam kondisi pasca guncang gempa, dimana hal ini berupa tingkat kerusakan yang dialami oleh struktur dan kemampuan layannya. Tingkat kemampuan layan yang diharapkan ditentukan berdasarkan kategori faktor keutamaan struktur. Struktur dengan kategori keutamaan I dan II jika mengalami gempa dengan level BSE-1N (2/3 MCE) diharapkan berada pada tingkat kinerja *life safety* dan jika mengalami gempa dengan level BSE-2N (MCE) diharapkan berada pada tingkat kinerja *collapse prevention*. Struktur dengan kategori keutamaan IV jika mengalami gempa dengan level BSE-1N (2/3 MCE) diharapkan berada pada tingkat kinerja *immediate occupancy* dan jika mengalami gempa dengan level BSE-2N (MCE) diharapkan berada pada tingkat kinerja *life safety*.



Gambar 2. 11 Ilustrasi Tingkat Kinerja Struktur

Sumber : FEMA 415B

2.4.1 Operation



Gambar 2. 12 Ilustrasi Kinerja Struktur *Operation*

Sumber : FEMA 415B

Kinerja *operation* adalah kinerja dimana setelah struktur mengalami guncangan gempa dan kerusakan pada struktur tidak terjadi dan struktur dapat langsung beroperasi secara optimal.

2.4.2 Immediate Ocupancy (IO)



Gambar 2. 13 Ilustrasi Kinerja Struktur *Immediate Ocupancy*

Sumber : FEMA 415B

Kinerja *Immediate Ocupancy* merupakan kinerja struktur dimana setelah mengalami guncangan gempa akan terjadi kerusakan pada komponen arsitektural dan dapat segera dilakukan perbaikan tanpa mengganggu fungsi struktur dan sistem struktur pemikul gaya masing bekerja seperti kondisi sebelum terjadi gempa.

2.4.3 Life Safety (LS)



Gambar 2. 14 Ilustrasi Kinerja Struktur *Life Safety*

Sumber : FEMA 415B

Kinerja *Life Safety* adalah kinerja struktur dimana setelah melewati guncangan gempa, pada elemen struktur sekunder mulai mengalami kerusakan dan elemen struktur utama masih mampu menahan fungsi bangunan dan masih layak dilakukan perbaikan agar bisa berfungsi kembali secara optimal.

2.4.4 Collapse Prevention (CP)



Gambar 2. 15 Ilustrasi kinerja *Collapse Prevention*

Sumber : FEMA 415B

Kinerja *Collapse Prevention* merupakan kinerja struktur yang telah mengalami gempa dan kerusakan yang cukup buruk sehingga sudah tidak mampu menahan guncangan gempa susulan dan sudah cukup sulit dilakukan perbaikan.

2.5 PENELITIAN TERDAHULU

Utomo, Ekaputri et al. (2019) telah melakukan penelitian terkait kinerja dari bangunan yang dirancang menggunakan standar desain SNI menggunakan analisis nonlinier riwayat waktu, penelitian tersebut berjudul "Evaluasi Kinerja Seismik Rangka Beton Pemikul Momen Khusus dengan PERFORM-3D". Pada penelitian ini bangunan enam tingkat dengan sistem rangka beton pemikul momen khusus direncanakan berfungsi sebagai gedung perkantoran dan berlokasi di DI Yogyakarta dan perencanaan menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS (CSI, 2021). Bangunan gedung yang direncanakan mengacu pada SNI 1727-2013 (BSN, 2013), SNI 1726-2012 (BSN, 2012) dan SNI 2847-2013 (BSN, 2013).

Analisa terkait kinerja bangunan yang dirancang menggunakan standar menggunakan analisis nonlinear menggunakan perangkat lunak PERFORM-3D (CSI, 2022) menggunakan akselerogram gempa DI Yogyakarta yang telah dibuat *match* dengan spektra desain DI Yogyakarta. Hubungan momen-kurvatur tiap komponen elemen digunakan dalam menyatakan perilaku tampang dan sifat nonlinear komponen struktur. Hasil analisis menunjukkan bagian lemah terdapat pada tingkat kedua pada struktur rangka terbuka, yang sebelumnya tidak terdeteksi oleh perangkat lunak ETABS. Bagian lemah kemudian dihilangkan dengan meningkatkan kinerja seismik dari bangunan rencana.

Metode evaluasi menggunakan analisis dinamik nonlinear untuk menilai kinerja seismik rangka beton pemikul momen khusus, informasi pertama yang diperlukan merupakan kriteria desain seismik dari FEMA 273 (FEMA, 1997), level gempa desain dari FEMA 273 dan *acceptance criteria* dari ASCE/SEI 41-17 (ASCE/SEI, 2017). Informasi kedua merupakan dimensi dari element struktur yaitu balok, kolom dan plat, mutu bahan dan beban yang bekerja. Informasi ketiga yaitu sifat nonlinear komponen rangka beton bertulang yang diperoleh dari perilaku masing-masing tampang menggunakan perangkat lunak XTRACT. Informasi keempat merupakan akselerogram gempa DI Yogyakarta yang telah dibuat *match* dengan spektra dengan spektra desain DI Yogyakarta.

Mamun dan Saatcioglu (2017) melakukan penelitian tentang kinerja seismik struktur rangka beton bertulang yang ada di Kanada dengan analisis kerapuhan dengan judul "*Seismic Damage Assessment of Reinforced Concrete Frame*

Buildings in Canada”. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menilai kinerja seismik bangunan rangka beton bertulang di Kanada, sambil mengembangkan kurva kerapuhan sebagai alat untuk analisis dari kinerja struktur. Tingkat kerusakan dari rangka beton bertulang yang berbeda-beda pada penelitian ini bergantung pada gerakan tanah akibat gempa, potensi pembentukan sendi plastis pada elemen struktur dan keakuratan desain.

Analisis dilakukan dengan menggunakan analisis inelastis dinamis dengan memodelkan dan menganalisa struktur bangunan yang dipilih menggunakan perangkat lunak bantu PERFORM-3D, untuk menghasilkan data kinerja struktur dibawah peningkatan intensitas gempa yang dipilih. Hasil dari analisis ini mengarah kepada probabilitas kinerja bangunan yang dirancang berdasarkan standar nasional Kanada pada tahun perencanaan bangunannya. Penelitian ini terdiri dari tiga tahap evaluasi kinerja yaitu, tahap pertama mengevaluasi kinerja struktur bangunan biasa yang dirancang setelah tahun 1975, tahap kedua mengevaluasi kinerja struktur bangunan biasa yang dirancang sebelum tahun 1975 dan tahap ketiga mengevaluasi kinerja struktur bangunan tidak beraturan yang dirancang sebelum tahun 1975. Tahap dua dan tiga mengevaluasi bangunan tua yang dirancang sebelum adanya teori atau pengetahuan gempa modern. Ketiga tahap evaluasi menjadikan wilayah Vancouver sebagai studi kasus untuk mewakili Kanada bagian barat dan wilayah Ottawa sebagai studi kasus untuk mewakili Kanada bagian timur. Bangunan yang ditinjau memiliki ketinggian variatif yaitu (2 ; 5 dan 10 Lantai) sebagai representasi dari bangunan dalam praktiknya.

Kurva kerapuhan dari hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan yang lebih tua menunjukkan probabilitas melampaui kinerja *Life Safety* dan/atau sampai pada *Collapse Prevention*. Bangunan yang lebih baru menunjukkan probabilitas melampaui kinerja *Life Safety* dan/atau sampai pada *Collapse Prevention* bangunan yang ada di wilayah Kanada bagian barat lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah Kanada bagian timur.

Tabel 2. 3 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini

No.	Penelitian Terdahulu	Perbedaan	
		Penelitian Terdahulu	Penelitian Saat Ini
1.	Peneliti : Utomo, Ekaputri et al. (2019) Judul Penelitian : “ Evaluasi Kinerja Seismik Rangka Beton Pemikul Momen Khusus dengan PERFORM-3D”	1. Obyek Penelitian : Bangunan gedung perkantoran yang berlokasi di Padang. 2. Metode analisa : Analisa Kinerja Struktur Bangunan Dinamik Nonlinear Riwayat Waktu 3. Tujuan Evaluasi: Menilai kinerja nonlinear riwayat waktu terhadap bangunan yang direncanakan menggunakan SNI 1727-2013 (BSN, 2013), SNI 1726-2012 (BSN, 2012) dan SNI 2847-2013 (BSN, 2013) yang berlokasi di Padang	1. Obyek Penelitian : Bangunan Gedung Kantor yang berlokasi di DI Yogyakarta. 2. Metode analisa : Analisa Kinerja Struktur Bangunan Dinamik Nonlinear Riwayat Waktu 3. Tujuan Evaluasi : Menilai kinerja nonlinear riwayat waktu terhadap bangunan yang direncanakan menggunakan SNI 1727-2020 (BSN, 2020), SNI 1726-2019 (BSN, 2020), SNI 2847-2019 (BSN, 2020), yang berlokasi di DI Yogyakarta.
2.	Peneliti : Mamun dan Saatcioglu (2017) Judul Penelitian : “<i>Seismic Damage Assessment of</i>	1. Obyek Penelitian : Bangunan Gedung dengan jumlah lantai 2 ; 5 dan 10 yang ada di Kanada yang dirancang sebelum	1. Obyek Penelitian : Bangunan Gedung Kantor yang berlokasi di DI Yogyakarta. 2. Metode Analisa : Analisa Kinerja Struktur Bangunan

<i>Reinforced Concrete Frame Buildings in Canada”</i>	dan sesudah tahun 1975 dengan memperhatikan ketidakberaturan strukturnya. 2. Metode analisa : Analisa Kinerja Struktur Bangunan Dinamik Nonlinear Riwayat Waktu 3. Tujuan Asesmen : Mengetahui kinerja bangunan yang dirancang sebelum dan sesudah tahun 1975 di wilayah Kanada bagian Timur dan Barat.	Dinamik Nonlinear Riwayat Waktu. 3. Tujuan Evaluasi : Menilai kinerja nonlinear riwayat waktu terhadap bangunan yang direncanakan menggunakan SNI 1727-2020 (BSN, 2020), SNI 1726-2019 (BSN, 2020), SNI 2847-2019 (BSN, 2020), yang berlokasi di DI Yogyakarta..
--	--	--