

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Software Analisis Struktur*

Program *ETABS* merupakan program analisis struktur yang dikembangkan oleh perusahaan *Software Computers and Structures, Incorporated (CSI)* yang berada di Barckley, California, Amerika Serikat. (Andrianto, 2007). *ETABS* merupakan salah satu program analisis struktur yang dapat menganalisis struktur gedung secara static untuk memperoleh gaya-gaya dalam yang diperlukan untuk perencanaan struktur. Ketahanan struktur balok dan kolom dapat dianalisa menggunakan program *ETABS*. Ketahanan struktur ditunjukkan setelah melalui hasil running program pada menu check design structure. Khusus evaluasi ketahanan struktur kolom divisualisasikan melalui indikasi warna-warna yang dikeluarkan oleh program *ETABS*. Warna-warna tersebut merupakan nilai rasio kapasitas penampang elemen struktur tersebut terhadap beban yang dihitung secara otomatis oleh program. Berikut analisa warna untuk ketahanan struktur pada program *ETABS*:

1. warna biru muda: rasio 0.00 sampai 0.50: Sangat Aman,
2. warna hijau: rasio 0.50 sampai 0.70: Aman,
3. warna kuning: rasio 0.70 sampai 0.90: Aman,
4. warna ungu: rasio 0.90 sampai 0.94: Cukup aman,
5. warna merah: rasio >0.95: Kritis (Over Stress/OS).

2.2 Dinding Geser

Menurut SNI 2847:2019 “persyaratan beton structural untuk bangunan gedung” dinding geser adalah dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi geser, momen, dan gaya aksial. Dalam perencanaannya dinding geser harus direncanakan terhadap beban eksentris dan setiap beban lateral atau beban lain yang bekerja padanya. Dinding geser secara geometri dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: (SNI 2847, 2019)

1. flexural wall (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w > 2$ dan desainnya dikontrol oleh perilaku lentur,
2. squat wall (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w < 2$ dan desainnya dikontrol oleh perilaku geser, dan
3. coupled shearwall (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding, yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.

Di dalam SNI 03-2847-2019 terdapat syarat ketebalan dinding pendukung yang dilakukan dengan cara empiris tidak boleh kurang daripada $1/25$ tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak pula kurang daripada 100 mm. Dalam perencanaan dinding geser harus dilakukan perhitungan terhadap beban eksentris dan setiap beban lateral atau beban lainnya yang bekerja padanya.

Design dari shear wall membantu dalam kinerja struktur sebuah gedung. Jadi gaya geser yang ditahan oleh sistem struktur disetiap tingkat bisa dihitung berdasarkan rasio kekakuan dengan memakai prinsip statis tak tertentu. Gedung

yang sesungguhnya tidak memiliki dinding geser yang berdiri sendiri karena dinding berhubungan dalam segala arah dengan balok atau batang lain ke kolom-kolom disekitarnya. Sehingga deformasi dinding akan dibatasi dan keadaan ini sebagai pengaruh pembatasan (boundary effect). Agar daya tahan dinding dapat berfungsi sebagaimana mestinya, maka syarat-syarat harus dipenuhi. Ananda MS, (2014).

2.3 Bangunan Tahan Gempa

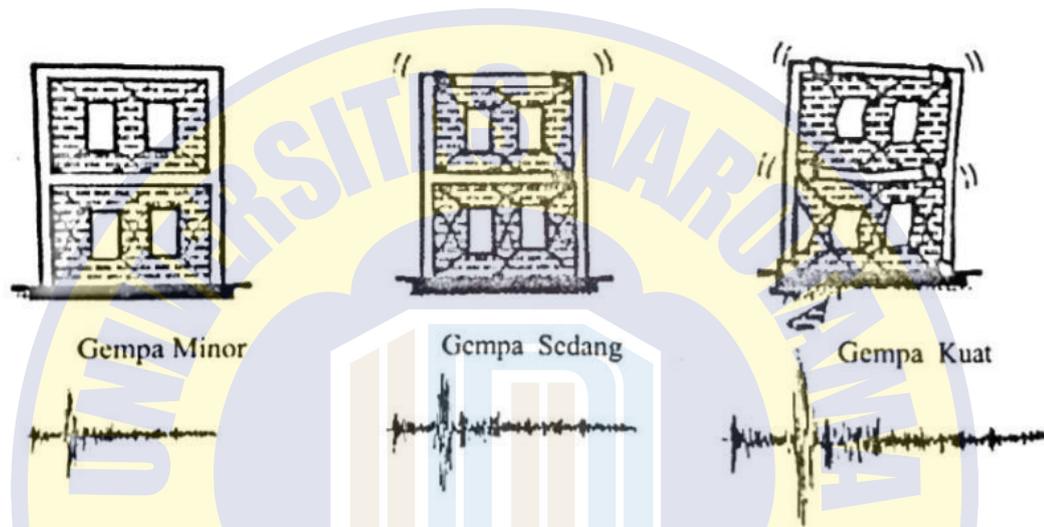
Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang mampu bertahan dan tidak runtuh jika terjadi gempa. Bangunan tahan gempa bukan berarti tidak boleh mengalami kerusakan sama sekali namun bangunan tahan gempa boleh mengalami kerusakan asalkan masih memenuhi persyaratan yang berlaku.

Pendapat Widodo (2012) filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut:

1. Pada gempa kecil (*light*, atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih dibolehkan,
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti yang baru,
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi

seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

Level-level kerusakan bangunan yang dimaksud dapat diilustrasikan pada **Gambar 2.1** di bawah ini.



Gambar 2.1 Level-level kerusakan bangunan

(Sumber: Widodo, 2012)

2.4 Kombinasi Pembebanan

Beban kombinasi yang direncanakan sesuai desain ultimit. Maka kombinasi beban yang diberikan pada struktur bangunan harus mengacu pada SNI 1726:2019. Menurut (Tavio & Wijaya, 2018) berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung sebagai berikut:

$$1. U = 1.4 D \quad (2-1)$$

$$2. U = 1.2 D + 1.6 L \quad (2-2)$$

$$3. U = 1.2 D + 1.0 E_{qx} + 0.3 E_{qy} + 0.5 L \quad (2-3)$$

$$4. U = 1.2 D + 1.0 E_{qx} - 0.3 E_{qy} + 0.5 L \quad (2-4)$$

$$5. U = 1.2 D - 1.0 E_{qx} + 0.3 E_{qy} + 0.5 L \quad (2-5)$$

$$6. U = 1.2 D - 1.0 E_{qx} - 0.3 E_{qy} + 0.5 L \quad (2-6)$$

$$7. U = 1.2 D + 1.0 E_{qy} + 0.3 E_{qx} + 0.5 L \quad (2-7)$$

$$8. U = 1.2 D + 1.0 E_{qy} - 0.3 E_{qx} + 0.5 L \quad (2-8)$$

$$9. U = 1.2 D - 1.0 E_{qy} + 0.3 E_{qx} + 0.5 L \quad (2-9)$$

$$10. U = 1.2 D - 1.0 E_{qy} - 0.3 E_{qx} + 0.5 L \quad (2-10)$$

$$11. U = 0.9 D + 1.0 E_{qx} + 0.3 E_{qy} \quad (2-11)$$

$$12. U = 0.9 D + 1.0 E_{qx} - 0.3 E_{qy} \quad (2-12)$$

$$13. U = 0.9 D - 1.0 E_{qx} + 0.3 E_{qy} \quad (2-13)$$

$$14. U = 0.9 D - 1.0 E_{qx} - 0.3 E_{qy} \quad (2-14)$$

$$15. U = 0.9 D + 1.0 E_{qy} + 0.3 E_{qx} \quad (2-15)$$

$$16. U = 0.9 D + 1.0 E_{qy} - 0.3 E_{qx} \quad (2-16)$$

$$17. U = 0.9 D - 1.0 E_{qy} + 0.3 E_{qx} \quad (2-17)$$

$$18. U = 0.9 D - 1.0 E_{qy} - 0.3 E_{qx} \quad (2-18)$$

$$19. \text{Graf} = 1.2 D + 1.0 L \quad (2-19)$$

di mana D = beban mati, L = beban hidup, E_x = beban gempa arah x dan E_y = beban gempa arah y

2.5 Pembebanan Struktur

Pada proses perencanaan maupun peninjauan struktur bangunan harus diperhitungkan beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Berdasarkan Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung

dan struktur lain (SNI 1727:2020) maka beban yang bekerja pada bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Beban mati ialah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
2. Beban hidup ialah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung tersebut atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, contohnya seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.
3. Beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.

2.6 Kajian Pembebanan *Statik Ekuivalen* untuk Gempa

Kajian pembebanan *static ekuivalen* untuk gempa berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 1726:2019) dapat dilihat pada subbab dibawah ini.

2.6.1 Gaya Geser Dasar Seismik Respons (V_1)

Kekuatan besarnya gaya geser dasar seismik respons ragam pertama (V_1) untuk arah x dan arah y menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, harus dihitung berdasarkan (SNI 1726:2019) Pasal 7.8.1 melalui Persamaan (2.20)

$$V_1 = C_1 \cdot W_t \quad (2-20)$$

di mana C_1 = koefisien desain seismic dan W_t = jumlah berat seismik efektif

2.6.2 Koefisien Respons Seismik (Cs)

Dalam penentuan koefisien *respons seismik* (Cs) didasarkan pada (SNI 1726- 2019) Pasal 7.8.1.1. Koefisien respons seismik ditinjau dari arah x dan arah y dihitung menggunakan Persamaan (2.21), (2.22) dan (2.23).

$$C_{s \text{ min}} = 0.044.S_{Ds}.I_e > 0,01 \quad (2-21)$$

$$C_{s \text{ maks}} = \frac{S_{Ds}.I_e}{R} \quad (2-22)$$

$$C_{s \text{ hitungan}} = \frac{S_{D1}.I_e}{T.R} \quad (2-23)$$

di mana S_{Ds} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek, S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik, I_e = faktor keutamaan gempa (SNI 1726:2019) pasal 4.1.2, T = periode fundamental struktur dan R = faktor modifikasi respon (SNI 1726:2019) pasal 7.2.2.

Tabel 2.1 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1
III	1,25
IV	1,50

2.6.3 Distribusi Vertikal Gaya Geser Dasar Seismik (F_x)

Gaya geser dasar seismik selanjutnya didistribusikan vertikal ke lantai di atasnya, dengan menggunakan Persamaan (2.24) dalam (SNI 1726:2019):

$$F_x = C_{vx} \times V_1$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2-24)$$

di mana F_x = Faktor distribusi vertikal, V = gaya geser dasar seismik, w_i, w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang dikenakan pada tingkat i atau x , h_i, h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dan k = eksponen yang terkait dengan periode struktur, ditentukan sebagai berikut: 1 untuk struktur dengan $T < 0.5$ detik, 2 untuk struktur dengan $T > 2.5$ detik, 2 atau dilakukan interpolasi linier antara 1 dan 2, untuk $0.5 < T < 2.5$.

2.6.4 Periode Getar Fundamental

Penentuan nilai periode getar fundamental didasarkan pada (SNI 1726-2019) Pasal 7.8.2, untuk periode getar fundamental suatu bangunan dibatasi nilai maksimum dan nilai minimum. Periode getar fundamental untuk nilai maksimum ditinjau dari arah x dan arah y dihitung dengan Persamaan (2.25).

$$T_{a \text{ maks}} = C_u T_{a \text{ min}} \quad (2-24)$$

Koefisien C_u ditentukan melalui Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Koefisien untuk batas atas pada perioda (SNI 1726:2019)

Parameter percepatan respons spektral desain pada titik (S_{D1})	Koefisien (C_u)
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Periode getar fundamental untuk nilai minimum ditinjau dari arah x dan arah y dihitung dengan Persamaan (2.26).

$$T_{a \min} = C_t H_n^x \quad (2-26)$$

di mana H_{nx} adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x berdasarkan (SNI 1726:2019)

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa seismik	-	1.00
Rangka baja pemikul momen	0.0724	0.80
Rangka beton pemikul momen	0.0466	0.90
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488	0.75

2.6.5 Gaya Geser Dasar Seismik Spektrum Respons Ragam (V_t)

Pemodelan *ETABS* dapat menghitung besarnya nilai *story shears*. Nilai *story shear* pada lantai dasar merupakan gaya geser dasar seismik respons spektrum yang dapat diperoleh dari hasil running analisis program *ETABS*.

2.6.6 Faktor Skala Gaya Geser Dasar Seismik Spektrum Respons Ragam

Berdasarkan (SNI 1726:2019) Pasal 7.9.1.4.1, apabila nilai gaya geser dasar seismik respons spektrum (V_t) lebih kecil 100% dari gaya geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen (V_1), maka nilai gaya V_t harus dikalikan dengan faktor skala. Nilai faktor skala tersebut dapat dihitung dengan Persamaan (2.27) (SNI 1726:2019) Pasal 7.9.2.5.2:

$$\text{Faktor skala} = \frac{V_x}{V_t} > 1 \quad (2-27)$$

2.6.7 Faktor Redudansi (ρ) untuk Kategori Desain Seismik D sampai F

Berdasarkan (SNI 1726:2019) Pasal 7.3.4.2, untuk struktur yang dirancang pada kategori desain seismik D, E atau F, maka ρ harus sama dengan 1.3 artinya apabila ditemukan pada lantai tertentu tidak memenuhi nilai 35% dari V_t , maka nilai gaya geser lantai tiap lantai harus dikalikan dengan $\rho=1.3$. Jika tiap lantai memenuhi 35% dari V_t , maka diizinkan nilai $\rho=1$.

2.7 Grafik Respons Spektra

Respons spektrum merupakan grafik hubungan nilai puncak respons struktur percepatan akibat gempa sebagai fungsi dari periode *natural system* struktur. Spektrum gempa dibuat berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2021. Pembuatan spektrum gempa disesuaikan dengan letak geografis dan kategori kelas jenis situs tanah bangunan. Pembuatan grafik respons spektra dipengaruhi oleh data nilai parameter percepatan respons spektral desain dan nilai periode getar fundamental.

Nilai parameter percepatan respons spektral desain dipengaruhi oleh jenis kelas situs tanah. Jika kelas situs tanah telah diketahui, maka selanjutnya dapat ditentukan parameter-parameter percepatan gempa untuk pembuatan grafik *respons spektrum*.

2.7.1 Parameter Percepatan Terpetakan

Parameter percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0.2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik (SNI 1726:2019). Nilai S_s dan S_1 dapat juga diperoleh melalui hasil analisa website aplikasi desain spektra Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman (PUSKIM), Kementerian Pekerjaan Umum.

2.7.2 Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko –Tertarget (MCE_R)

Penentuan parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0.2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter percepatan respons spektral MCE_R pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan Persamaan (2.28) dan (2.29) berdasarkan (SNI 1726:2019) Pasal 6.2

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2-28)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2-29)$$

Penentuan koefisien situs F_a (Koefisien situs untuk perioda pendek pada perioda 0.2 detik) ditentukan berdasarkan nilai S_s pada Tabel 2.4. Penentuan koefisien situs F_v (Koefisien situs untuk perioda panjang pada perioda 1 detik) ditentukan berdasarkan nilai S_1 pada Tabel 2.5.

Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_a

(SNI 1726:2019)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada perioda pendek, $T=0.2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s \leq 0.50$	$S_s \leq 0.75$	$S_s \leq 1.0$	$S_s \leq 1.0$	$S_s \leq 1.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
SF	$S_s^{(a)}$					

Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v

(SNI 1726:2019)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan pada perioda pendek, $T=1$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0.1$	$S_s \leq 0.2$	$S_s \leq 0.3$	$S_s \leq 0.4$	0.5	0.6
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4

SD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
SE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
SF	SS ^(a)					

2.8 Simpangan Antar Lantai dari Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit ditentukan oleh simpangan antar tingkat maksimum struktur akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan, dimaksudkan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan benturan antar gedung.

Hasil dari analisis struktur akan menghasilkan gaya-gaya dalam, antara lain: gaya momen, geser, torsi dan axial. Program *ETABS* juga dapat mengeluarkan data output berupa base shear dan displacement atau total drift. Nilai total drift disebut juga dengan nilai perpindahan elastis di lantai tingkat x (δ_{ex}). Nilai perpindahan elastis antar lantai diperoleh dari hasil selisih nilai δ_{ex} lantai tingkat atas dikurangi δ_{ex} lantai tingkat bawah. Menurut BSN (2019) dalam (SNI 1726- 2019) menjelaskan bahwa nilai perpindahan elastis antar lantai (*story drift*) harus dihitung dengan faktor perbesaran atau amplifikasi defleksi dan faktor keutamaan gempa.

Nilai perpindahan atau simpangan antar lantai tingkat (*story drift*) yang diperbesar, ditentukan melalui Persamaan (2.30).

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2-30)$$

di mana C_d = faktor amplifikasi defleksi, δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan (ditentukan dengan analisis elastis), dan I_e = faktor keutamaan gempa.

Penentuan batas nilai *story drift*/simpangan antar lantai tingkat desain (Δx) ditentukan berdasarkan tipe dari sistem struktur penahan gaya seismik pada Tabel 2.6. berdasarkan (SNI 1726:2019) Pasal 7.12.1

Tabel 2.6 Simpangan Antar Lantai Ijin berdasarkan
(SNI 1726:2019)

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0.025h_{sx}^c$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

dimana h_{sx} adalah tinggi tingkat dibawah tingkat x.

2.9 Pengertian Analisis Statik Non-Linier (Pushover Analysis)

Analisis *nonlinear static pushover* (beban dorong) merupakan penyerdehanaan dari analisis *nonlinear dynamic time history* (riwayat waktu). Analisis beban dorong ini menerapkan beban di mana besar beban meningkat terus menerus sampai kondisi yang diinginkan. Dalam analisis ini, beban gempa

terdistribusi vertikal dan diasumsikan sebagai beban statik yang bekerja pada titik pusat massa disetiap lantai. Beban gempa inilah yang akan ditingkatkan secara bertahap sampai terjadi sendi plastis.

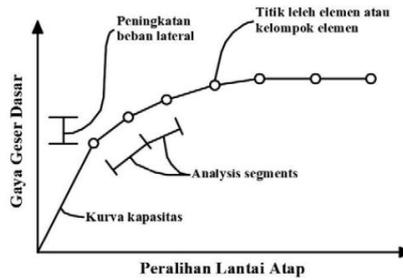
2.10 Analisis Beban Dorong Berdasarkan ATC-40 (Capacity-Spectrum Method)

Capacity-spectrum method merupakan analisis statis nonlinier yang memberikan hasil berupa grafik dari kurva global *force-displacement capacity* dengan response spectra. Hasil tersebut memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana bangunan merespon gerakan gempa. Prinsip metode ini adalah mencari titik temu antara pada spectrum kapasitas dengan respon spectrum sesuai dengan permintaan (*demand*).

2.10.1 Kapasitas (*Capacity*)

Kurva kapasitas dibuat untuk mewakili respons dari struktur pada mode pertama, dengan asumsi mode pertama ini adalah mode yang dominan yang bekerja pada struktur. Hal ini umumnya berlaku untuk bangunan dengan periode getaran sampai dengan 1 detik.

Kurva kapasitas merupakan kurva yang memperlihatkan hubungan antara peralihan lantai atap dengan gaya geser dasar (base shear) akibat dari pemberian beban lateral secara bertahap pada struktur. Kurva kapasitas ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Kurva Kapasitas

(Sumber : ATC - 40)

2.10.2 Permintaan (*Demand*)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa kinerja erat kaitannya dengan permintaan. Oleh karena itu, sebelum menentukan hal-hal yang perlu dipersiapkan untuk mendesain struktur gedung sesuai dengan permintaan, maka kita harus mengetahui hal-hal yang perlu dipersiapkan untuk memperoleh suatu nilai kinerja. Di mana dalam kondisi ini, lokasi titik kinerja (performance) berada pada perpotongan:

1. Titik berada di kurva spectrum kapasitas mewakili struktur saat terjadi perpindahan.
2. Titik berada pada demand spectrum. Demand spectrum tersebut merupakan reduksi dari kurva spectrum dengan redaman 5%.

Kurva spectrum dengan redaman 5% diperoleh dengan mengalikan kurva spectrum tersebut dengan suatu faktor reduksi. Berikut ini adalah langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk memperoleh faktor reduksi:

1. Mengubah kurva kapasitas menjadi spectrum kapasitas (capacity spectrum)

Spectrum kapasitas adalah representasi dari kurva dengan format Acceleration-Displacement Respons Spectra (ADRS) atau disebut juga kurva

Sa versus Sd. Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas dapat dilihat pada Gambar 2.3. Persamaan yang digunakan untuk mengubah kurva kapasitas menjadi spectrum kapasitas adalah sebagai berikut (Applied Technology Council. 1996):

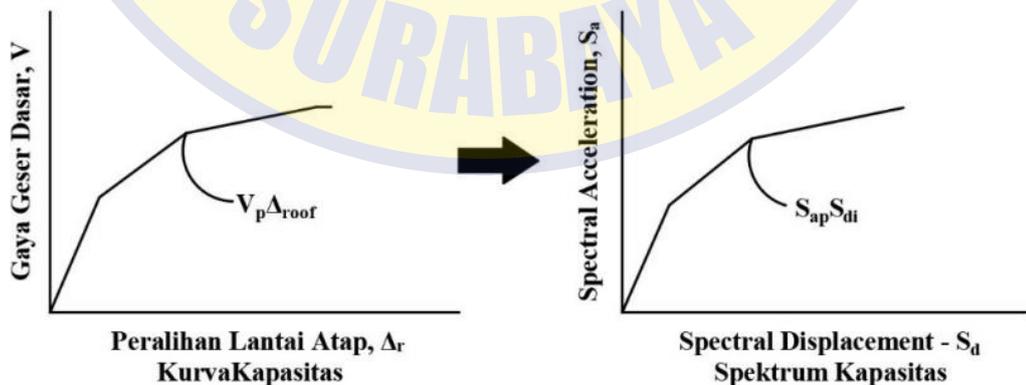
$$\int PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i \phi_{il})}{\sum_{i=1}^N (m_i \phi_{il}^2)} \quad (2-31)$$

$$\int PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i \phi_{il}^2)}{\sum_{i=1}^N (m_i) \sum_{i=1}^N (m_i \phi_{il}^2)} \quad (2-32)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (2-33)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad (2-34)$$

di mana PF_1 = Modal participation factor untuk mode 1, α = Modal mass coefficient untuk mode 1, M_i = Massa lantai ke-i, ϕ_{il} = Amplitudo dari mode 1 pada lantai-i, N = Tingkat ke N, tingkat utama, V = Gaya geser dasar, W = Berat mati bangunan, Δ_{roof} = Peralihan atap, S_a = Spectral acceleration, dan S_d = Spectral displacement.



Gambar 2.3 Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas

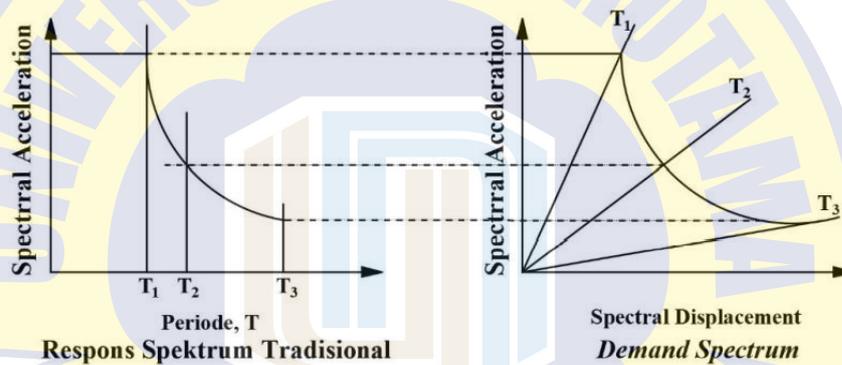
(Sumber: ATC - 40)

- Mengubah respons spectrum tradisional dengan redaman 5% menjadi demand spectrum dalam format ADRS

Persamaan yang digunakan untuk mengubah respons spectrum tradisional menjadi demand spectrum pada Gambar 2.4 dalam format ADRS adalah sebagai berikut (Applied Technology Council. 1996):

$$s_d = \frac{1}{4\pi^2} S_a T^2 \quad (2-35)$$

di mana S_a = Spectral acceleration, S_d = Spectral displacement, T = Periode (detik)

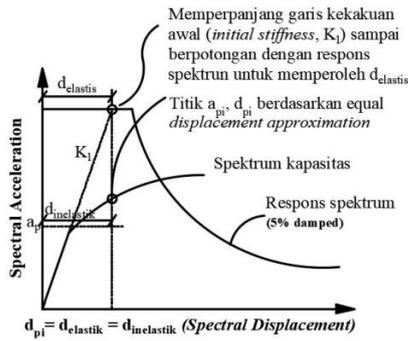


Gambar 2.4 Respons Spektrum Tradisional dan Demand Spectrum

(Sumber: ATC - 40)

- Menampilkan spectrum kapasitas dan demand spectrum dalam satu grafik

Langkah ini dilakukan untuk menentukan perkiraan awal a_{pi} dan d_{pi} . Grafik kedua spectrum ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.

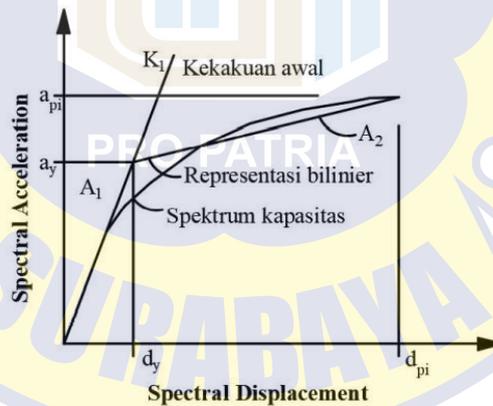


Gambar 2.5 Plot Spektrum Kapasitas dan Demand Spektrum

(Sumber: ATC - 40)

4. Membentuk kurva representasi bilinear

Kurva representasi bilinear dibentuk dari spectrum kapasitas dengan ketentuan sebagai berikut:



Gambar 2.6 Representasi Bilinear dari Spektrum Kapasitas

(Sumber: ATC - 40)

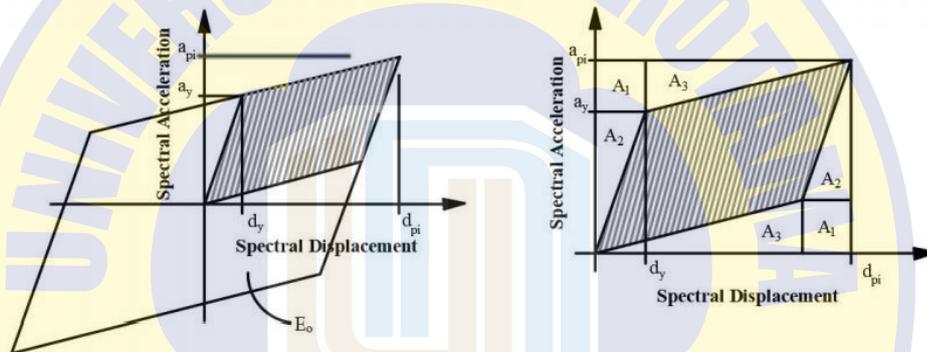
Kurva representasi bilinear Gambar 2.9 ini dibuat dengan menyamakan luas A_1 dengan luas A_2 . Tujuan menyamakan kedua luasan ini adalah agar masing masing daerah memiliki energi disipasi akibat damping yang sama.

5. Menentukan nilai β_0

Untuk mendapatkan nilai β_0 maka diperlukan damping energi (E_D) yang diperoleh dengan rumus (Applied Technology Council. 1996)

$$\begin{aligned}
 E_D &= 4 (\alpha_{pi} d_{pi} - 2A_1 - 2A_2 - 2A_3) & (2-35) \\
 &= 4 (\alpha_{pi} d_{pi} - 2d_y(\alpha_{pi} - \alpha_y) - a_y d_y - (d_{pi} - d_y)(a_{pi} - a_y)) \\
 &= 4 (\alpha_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})
 \end{aligned}$$

Keterangan koefisien dari rumus diatas dapat dilihat dari Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Damping Energi

(Sumber: ATC - 40)

Berikut adalah keterangan untuk Gambar 2.7 di mana $E_D =$ Area tertutup dari hysteric loop = Area dari luas jajar genjang yang lebih besar = 4 kali area jajar genjang yang diarsir.

Rumus untuk membuat area yang diarsir (Applied Technology Council. 1996):

$$A_1 = (\alpha_{pi} - \alpha_y) * d_y \quad (2-36)$$

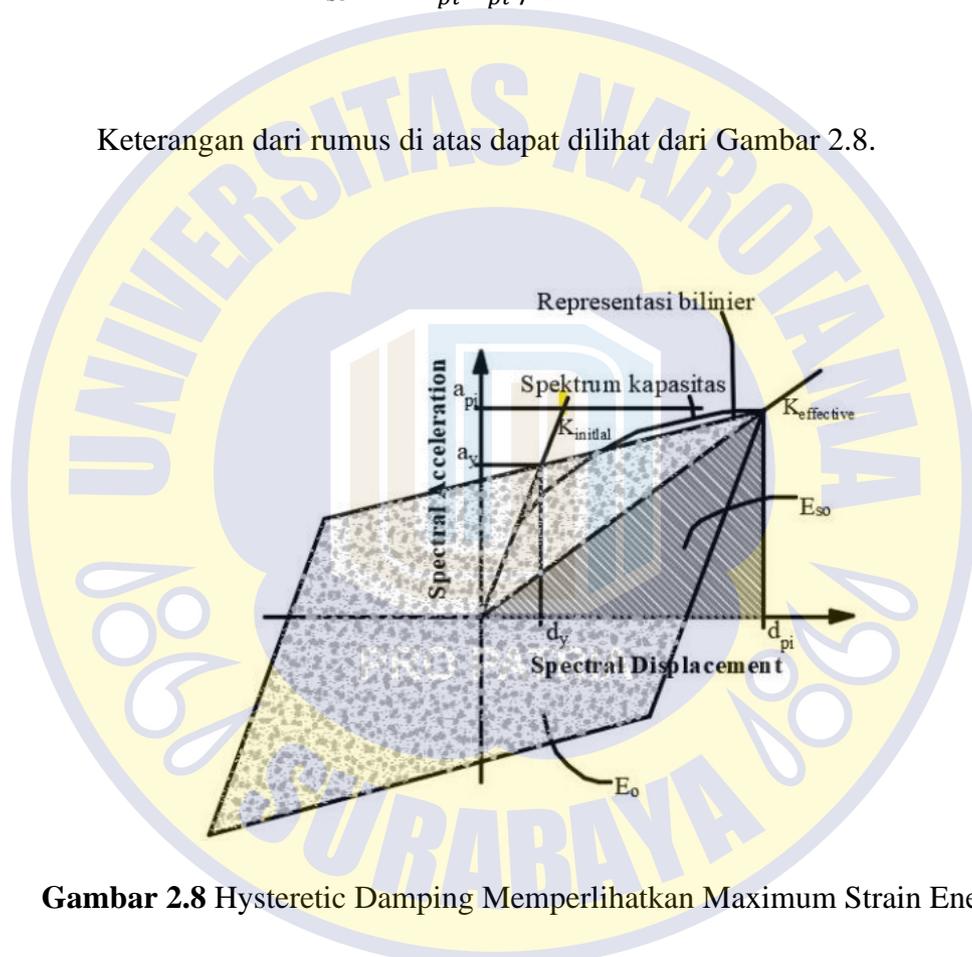
$$A_2 = (\alpha_y * d_y) / 2 \quad (2-37)$$

$$A_3 = [(a_{pi} - a_y) * (d_{pi} - d_y)] \quad (2-38)$$

Selain nilai E_D , untuk menentukan β_0 juga diperlukan nilai maximum strain energy (E_{S0}). Nilai E_{S0} diperoleh dari rumus berikut (Applied Technology Council. 1996):

$$E_{S0} = a_{pi} d_{pi} / 2 \quad (2-39)$$

Keterangan dari rumus di atas dapat dilihat dari Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hysteretic Damping Memperlihatkan Maximum Strain Energy

(Sumber: ATC - 40)

Dari nilai-nilai yang telah diperoleh, maka dapat dihitung nilai β_0 (%) dengan rumus sebagai berikut (Applied Technology Council. 1996):

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (2-40)$$

$$= \frac{1}{4\pi} \frac{4 (\alpha_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})}{a_{pi} d_{pi} / 2}$$

$$= \frac{0.637 (\alpha_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$$

$$\beta_0 = \frac{63.7 (\alpha_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (2-41)$$

6. Menentukan nilai β_0

Menghitung factor reduksi spectral (SRA dan SRV) Rumus SRA dan SRV diperoleh dari rumus berikut (Applied Technology Council. 1996):

$$SRA = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \geq SRA_{min} \quad (2-42)$$

$$SRA = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \geq SRA_{min} \quad (2-43)$$

Nilai β_{eff} (%) diperoleh dari rumus (Applied Technology Council. 1996):

$$\beta_{eff} = k \cdot \beta_0 + 5 \quad (2-44)$$

Nai k diperoleh dari Tabel 2.7 berikut (Applied Technology Council. 1996):

Tabel 2.7 Nilai k

(Sumber : ATC – 40)

Tipe Struktur	β_0 (%)	k
Tipe A	≤ 16.25	1
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51 (\alpha_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipe B	≤ 25	0.67
	> 25	$.13 - \frac{0.51 (\alpha_y d_{pi} - d_y \alpha_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipe C	Any value	3.33

Nilai SRA_{min} dan SRV_{min} dapat dilihat Tabel 2.8 berikut (Applied Technology Council. 1996)

Tabel 2.8 Nilai SRA_{min} dan SRV_{min}

(Sumber : ATC – 40)

Tipe Struktur	SRA_{min}	SRV_{min}
Tipe A	0.33	0.50
Tipe B	0.44	0.56
Tipe C	<u>0.56</u>	0.67

Tipe gedung di klasifikasikan berdasarkan ketentuan berikut (Applied Technology Council. 1996):

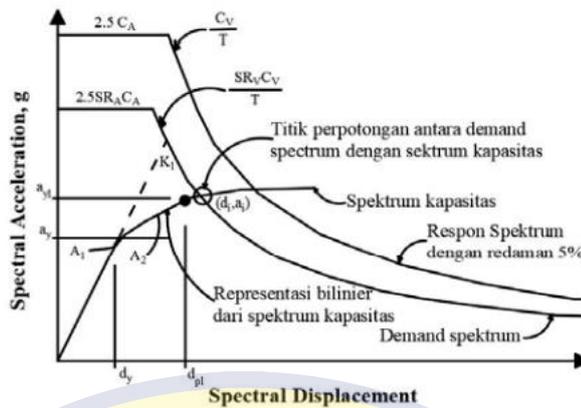
Tabel 2.9 Tipe Struktur

(Sumber : ATC – 40)

	<i>Essentially Existing Building</i>	<i>Average Existing Building</i>	<i>Poor Existing Building</i>
<i>Shaking Duration</i>			
<i>Short</i>	<i>Type A</i>	<i>Type B</i>	<i>Type C</i>
<i>Long</i>	<i>Type B</i>	<i>Type C</i>	<i>Type C</i>

2.10.3 Kinerja (*Performance*)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, level kinerja diperoleh dari perpotongan capacity curve dengan demand spectrum. Grafik perpotongan tersebut dapat diperoleh dari Gambar 2.9



Gambar 2.9 Grafik Perpotongan Kurva Kapasitas dengan Demand Spectrum
(Sumber: ATC - 40)

Titik perpotongan antara demand spectrum dan spectrum kapasitas dalam hal ini berup titik (d_i, a_i) . Nilai dari titik perpotongan tersebut harus berada dalam suatu batas toleransi 5% dari titik (a_{pi}, d_{pi}) . Bila nilai tersebut diluar batas toleransi, maka prosedur dalam mencari faktor reduksi diulangi dari tahap mencari representasi bilinear, dengan $a_{pi}=a_i$ dan $d_{pi}=d_i$ sampai batas toleransi terpenuhi. Hasil yang diperoleh setelah batas toleransi terpenuhi, a_{pi} (*spectral displacement*, S_d) dan d_{pi} (*spectral acceleration*, S_a) perlu diubah menjadi gaya geser untuk a_{pi} dan perpindahan (*displacement*) untuk d_{pi} . Konversi hasil tersebut adalah dengan menggunakan rumus-rumus berikut (*Applied Technology Council. 1996*):

$$S = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \cdot \phi_{1.roof}} \quad (2-45)$$

Maka *displacement* (Δ_{roof}) menjadi :

$$\Delta_{roof} = S_d \cdot PF_1 \cdot \phi_{1.roof} \quad (2-46)$$

Karena nilai $S_d = d_{pi}$, maka rumus (2.46) menjadi :

$$\Delta_{roof} = d_{pi} \cdot PF_1 \cdot \phi_{1 roof} \quad (2-47)$$

$$S = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (2-48)$$

Maka gaya gesernya (V), menjadi :

$$V = S_a \cdot W \cdot \alpha_1 \quad (2-49)$$

Karena nilai $S_a = \alpha_{pi}$, maka rumus menjadi :

$$V = \alpha_{pi} \cdot W \cdot \alpha_1 \quad (2-50)$$

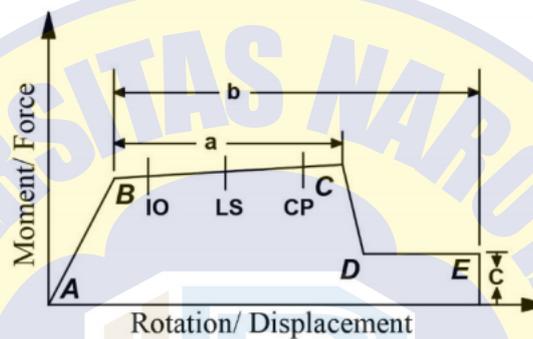
di mana PF_1 = Modal participation factor untuk mode 1, α_1 = Modal koefisien massa untuk mode 1, $\phi_{1,roof}$ = ϕ lantai atap, mode 1, V = Gaya geser dasar, W = Berat mati bangunan, Δ_{roof} = peralihan Atap, S_a = Spectral acceleration, S_d = Spectral displacement.

2.11 Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan daerah konsentrasi tegangan di mana pada bagian tersebut telah mencapai leleh karena adanya gaya yang membebani. Sendi plastis merupakan salah satu hasil dari disipasi energi yang dilakukan struktur, di mana struktur berusaha memencarkan energi yang diterima akibat beban serta mengubahnya ke bentuk yang lain (peralihan dan sendi plastis). Pemodelan sendi dilakukan untuk mendefinisikan perilaku non-linier force-displacement dan/atau momen-rotasi yang dapat ditempatkan pada beberapa tempat di sepanjang bentang balok atau kolom. Pemodelan sendi adalah rigid dan tidak memiliki efek pada perilaku linier pada member.

2.11.1 Hasil Analisis Sendi Plastis

Dengan menggunakan analisis nonlinier, dapat diperoleh hasil analisis sendi plastis. Pemodelan dan hasil analisis sendi plastis dapat diklasifikasikan dengan mengacu pada kurva hubungan momen-rotasi (force-displacement) seperti terlihat pada Gambar 2.13 (Federal Emergency Management Agency. 2000).



Gambar 2.10 Kurva Hubungan Momen-Rotasi, Setipe dengan Kurva Hubungan Force- Displacement
(Sumber: FEMA - 356)

Dengan menggunakan analisis nonlinier, dapat diperoleh hasil analisis sendi plastis. Pemodelan dan hasil analisis sendi plastis dapat diklasifikasikan dengan mengacu pada kurva hubungan momen-rotasi (force-displacement) seperti terlihat pada Gambar 2.13 (Federal Emergency Management Agency. 2000).

Kurva pada Gambar 2.10 memiliki lima titik utama, yaitu titik A, B, C, D dan E serta kondisi taraf kinerja yang bisa dicapai pada posisi tertentu seperti Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS) dan Collapse Prevention (CP). Keterangan dari Gambar 2.13 yaitu: titik A merupakan titik awal sebelum struktur

dikenai beban gempa, ritik B memperlihatkan kelelahan, namun deformasi belum terjadi sampai dengan titik B, garis AB menunjukkan respons linier, titik C merepresentasikan kapasitas ultimit, garis BC menunjukkan strain hardening, titik D merepresentasikan kekuatan sisa (residual strength), garis CD menunjukkan degradasi kekuatan, titik E memperlihatkan kondisi keruntuhan total, garis DE menunjukkan pengurangan kekuatan lagi, a adalah bagian deformasi yang terjadi setelah leleh sampai kapasitas ultimitnya, b adalah bagian deformasi yang terjadi setelah leleh sampai kondisi keruntuhan total, dan c adalah kekuatan sisa setelah terjadi penurunan kekuatan yang mendadak dari C ke D.

Hasil dari analisis sendi plastis, yaitu: gaya dan/atau momen pada sendi, peralihan dan/atau rotasi plastis, kondisi paling ekstrim yang terjadi pada sendi, kondisi ini tidak menunjukkan apakah terjadi deformasi positif atau negatif: A ke B, B ke C, C ke D, D ke E, dan >E, taraf kinerja paling ekstrim yang terjadi pada sendi, taraf ini tidak menunjukkan apakah terjadi deformasi positif atau negatif: A ke B, B ke IO, IO ke LS, LS ke CP dan >CP.

2.11.2 Distribusi Sendi Plastis

Sendi plastis hanya boleh terjadi pada balok, dasar kolom yang dekat dengan pondasi, balok perangkai pada dinding geser, dan dasar dari dinding geser. Dalam perencanaan, desain kapasitas harus terpenuhi, di mana kolom harus didesain lebih kuat dari balok, sehingga sendi plastis diharapkan terjadi pada balok terlebih dahulu (beam sway mechanism). Hal ini karena kerusakan yang terjadi pada balok termasuk dalam kerusakan lokal dan dapat diperbaiki. Dengan

terjadinya sendi plastis pada balok, maka energy akan tersebar dibanyak tempat. Berbeda dengan story mechanism, di mana sendi plastis terjadi pada kolom dan energy terpusat di satu tempat. Tentunya hal ini sangat berbahaya. Sendi plastis yang terjadi pertama kali harus memiliki kapasitas rotasi yang cukup untuk pembentukan sendi plastis berikutnya, tanpa mengalami penurunan kekuatan dan kekakuan yang signifikan. Dengan demikian mekanisme kelelahan yang daktail dapat tercapai.

2.11.3 Mekanisme Pembentukan Sendi Plastis

Pada saat struktur mengalami percepatan tanah pada tumpuan struktur, maka massa struktur juga akan mengalami percepatan. Besarnya percepatan massa struktur tersebut dipengaruhi oleh periode alami struktur. Dari grafik respons spectrum dapat diketahui bahwa dengan berkurangnya periode alami struktur maka percepatan massa akan membesar dan dengan bertambahnya periode alami struktur akan mengurangi percepatan massa struktur. Namun hal tersebut sangat dipengaruhi oleh karakteristik dari sebuah rekaman gempa tertentu yang bisa mempengaruhi respons yang dihasilkan. Karena beban gempa yang digunakan berupa rekaman gempa actual yang merupakan fungsi dari waktu, bersifat dinamis dan tidak beraturan, maka ada kemungkinan pada saat tertentu akan terjadi gaya inersia yang menyebabkan suatu keadaan di mana beban yang terjadi melebihi dari kekuatan leleh elemen struktur tersebut. Gaya inersia ini timbul dari massa yang mengalami percepatan.

Akibat keadaan tersebut maka elemen struktur dapat mengalami kelelahan dan berusaha mendisipasikan energi sehingga terjadi deformasi plastis. Pada

kondisi terjadinya deformasi plastis, akan terbentuk sendi-sendi plastis pada ujung-ujung elemen struktur. Oleh karena itu penting untuk merencanakan letak sendi plastis, dengan cara meningkatkan kekuatan struktur seperti pada pertemuan antara kolom dan balok. Kapasitas kolom ditingkatkan sehingga sendi plastis akan terbentuk pada elemen balok. Pembentukan sendi-sendi plastis pada elemen balok sangat menguntungkan karena:

- a) Bahaya keruntuhan struktur menjadi lebih kecil;
- b) Disipasi energi dapat terjadi di banyak tempat;
- c) Sendi-sendi plastis yang terjadi pada elemen balok dapat berfungsi dengan baik, sehingga memungkinkan terjadinya rotasi sendi plastis yang besar;
- d) Daktilitas yang diinginkan dari struktur dapat dengan mudah dipenuhi.

Mekanisme pembentukan sendi plastis ini akan berlangsung dengan sangat baik jika terjadi pada daerah yang daktail.

2.12 Taraf Kinerja Struktur

Setiap struktur bangunan dirancang pada taraf kinerja tertentu. Taraf kinerja ini berkaitan dengan kerusakan bangunan jika terjadi gempa. Pada suatu taraf kinerja terdapat kondisi batas maksimum kerusakan elemen struktural maupun nonstruktural. Pemilihan taraf kinerja bergantung pada lokasi bangunan, keinginan pemilik bangunan, kondisi perekonomian pemilik bangunan, nilai sejarah bangunan, dan besar gempa yang mungkin dialami struktur bangunan. Taraf kinerja dinyatakan secara kualitatif dalam kriteria tingkat kerusakan fisik yang terjadi,

ancaman terhadap keselamatan jiwa manusia, dan kemampuan layan struktur pasca gempa. Terdapat beberapa macam klasifikasi taraf kinerja secara kualitatif, yaitu:

1. Taraf penghunian segera (Immediate Occupancy), "IO". Berarti kerusakan akibat gempa sangat kecil. Gaya vertikal dan horizontal dari bangunan dapat menahan seluruh kekuatan dari gempa dan kekakuan struktur. Resiko korban jiwa sebagai hasil dari kerusakan struktural sangat rendah, meskipun beberapa perbaikan nonstructural minor masih diperlukan.
2. Taraf control kerusakan (Damage Control), "DC". Pada taraf ini struktur bangunan boleh rusak, namun tidak runtuh. Resiko korban jiwa sangat rendah. Kerusakan yang terjadi bervariasi di antara kategori IO dan LS. Hal ini berguna di mana sasaran kinerja yang ingin dicapai mempunyai kriteria yang lebih ketat daripada taraf LS, tetapi kelayakan huni bukanlah masalah utama. Contohnya adalah bangunan-bangunan bersejarah.
3. Taraf keselamatan jiwa (Life Safety), "LS". Kerusakan struktural terjadi setelah adanya gempa, tetapi keruntuhan sebagian maupun seluruh bangunan tidak terjadi. Beberapa elemen dan komponen struktural rusak. Resiko korban jiwa sebagai akibat dari kerusakan struktural diharapkan rendah. Memungkinkan untuk dapat memperbaiki struktur, walaupun secara ekonomis tidak dilaksanakan. Ketika kerusakan dari struktur tidak mendekati resiko keruntuhan, perlu adanya perbaikan secara hati-hati atau tindakan memasang bracing sementara.

4. Taraf keamanan terbatas (Limited Safety). Taraf ini bukan merupakan level spesifik, tetapi merupakan taraf diantara Life Safety dan Structural Stability.
5. Taraf stabilitas struktur (Collapse Prevention atau Structural Stability), "CP". Gedung berada pada batas keruntuhan sebagian atau total. Kerusakan struktural terjadi, berpotensi mengurangi kekakuan dan kekuatan dari sistem penahan gaya lateral dan mengurangi kapasitas untuk menahan gaya vertikal. Komponen penting untuk menahan beban gravitasi harus tetap dapat menahan beban gravitasi. Resiko korban jiwa mungkin ada. Struktur secara teknikal tidak dapat diperbaiki dan tidak aman ditempati kembali.
6. Taraf yang tidak diperhitungkan. Taraf ini bukan merupakan tingkat kinerja, tetapi khusus untuk situasi di mana hanya untuk evaluasi seismic nonstructural atau retrofit. Penjelasan khusus mengenai kondisi balok dan kolom pada berbagai kategori taraf kinerja dapat dilihat pada Tabel 2.10.

2.13 Klasifikasi *Deformation Limit*

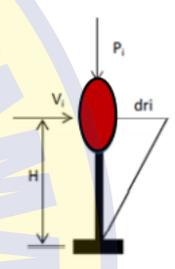
Nilai displacement yang dihasilkan dari setiap prosedur baik menggunakan Capacity Spectrum maupun Displacement Coefficient Method, digunakan untuk mendapatkan nilai drift. Nilai drift ini digunakan sebagai indikator kinerja dari struktur yang sedang dianalisis. Pada Tabel 2.10 memperlihatkan klasifikasi dari deformation limit untuk berbagai macam tingkat kinerja. Di mana Maximum Total drift didefinisikan sebagai rasio antar tingkat (drift) pada nilai target displacement.

Sementara maximum Inelastic Drift didefinisikan sebagai bagian dari Maximum Total Drift di luar titik leleh efektif.

Tabel 2.10 Deformation Limit untuk Berbagai Tingkat Kinerja

(Sumber : ATC – 40)

<i>Performance Level</i>				
Interstory	Immediate	Damage	Life	Structural
Drift	Occupancy	Control	Safety	Stability
Limit	(IO)	(DC)	(LS)	(SS)
Maximum				
Total Drift (X_{max}/H)	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 V_i/P_i$
Maximum				
Inelastic	0.005	0.005-0.015	No	No Limit
Drift Limit			Limit	



2.14 Peneliti Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya tentang perhitungan dinding geser dan penggunaan analisis pushover pada struktur bangunan bertingkat.

1. Rachman, et al., (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus: Bangunan Hotel di Semarang) Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja gedung

berdasarkan mekanisme terbentuknya sendi plastis pada balok kolom serta hubungan base shear dengan displacement pada kurva pushover dan kurva seismic demand. Metode yang digunakan adalah analisis statik nonlinier pushover dengan menggunakan program ETABS. Kesimpulan dari penelitian menunjukkan bahwa gaya geser dari evaluasi pushover pada arah x sebesar 557,867 ton. Nilai displacement adalah 0,112 m. Displacement pada gedung tidak melampaui displacement yang diijinkan, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana. Maksimum total drift adalah 0,0035 m dan maksimum In-elastic drift adalah 0,0034 m, Sehingga gedung termasuk dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO).

2. Robach, et al., (2014) dalam penelitiannya yang berjudul “Perencanaan Dinding Geser pada Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Ganda” bertujuan untuk mengetahui mekanisme pembagian beban pada struktur beton bertulang yang menggunakan sistem ganda, dan mendapatkan hasil rancangan dinding geser pada struktur beton bertulang yang menggunakan sistem ganda. Dari penelitian tersebut didapat beberapa kesimpulan, yaitu distribusi beban pada struktur memakai prinsip bahwa komponen struktur akan menerima beban sesuai dengan kekakuannya. Pada Sistem Ganda, komponen SRPM berupa kolom, menerima beban lateral minimal sebesar 25%, sedangkan sisanya diterima oleh dinding geser. Dengan menghitung massa gedung berdasarkan dimensi komponen-komponennya, didapatkan gaya gempa nominal V yang didistribusikan menjadi gaya geser tiap lantai F_i . Gaya

geser F_i kemudian didistribusikan ke tiap portal yang proporsinya sesuai dengan kekakuan relatifnya. Dengan memodelkan dinding geser sebagai struktur kantilever, didapatkan gaya geser dan momen lentur, dan dari analisis terhadap tributary area, didapatkan gaya aksial, yang dipakai untuk merencanakan tulangan pada dinding geser, yang meliputi tulangan horizontal dan vertikal. Tulangan vertikal yang terpasang, diperiksa kapasitasnya terhadap lentur dan aksial dengan bantuan diagram interaksi pada program PCACOL. Jika gaya aksial dan momen nominal pada penampang kurang dari gaya aksial dan momen ultimit hasil analisis, maka rasio tulangan perlu ditambah, dan dari besarnya nilai c (jarak serat tekan terluar ke sumbu netral) dapat ditentukan apakah dinding geser perlu diberi komponen batas atau tidak. Dari hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan bahwa tulangan horizontal pada dinding geser lantai 1 sampai dengan 3 adalah D19 – 160 (2 lapis), dan pada lantai 4 sampai dengan 7 adalah D19 – 200 (2 lapis). Sedangkan tulangan vertikal untuk seluruh penampang dinding geser adalah 16 – D22 (2 sisi), dan pada komponen batas adalah 9 – D22 (4 sisi).

3. Pranata & Yunizar, (2011) dalam penelitiannya yang berjudul “Pemodelan Dinding Geser Bidang sebagai Elemen Kolom Ekuivalen pada Gedung Beton Bertulang Bertingkat Rendah” bertujuan untuk mempelajari pemodelan dindinggeser bidang sebagai elemen kolom ekuivalen pada studi kasus gedung beton bertulang dengan klasifikasi

gedung tidak beraturan. Dari penelitian tersebut terdapat beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut ini.

- a. Hasil penelitian ini diperoleh faktor pengali penampang momen inersia untuk gedung A yaitu 15, untuk gedung B yaitu 9. Dengan faktor pengali penampang momen inersia tersebut diperoleh hasil waktu getar alami yang hampir sama antara gedung dinding geser yang dimodelkan sebagai kolom ekuivalen dengan yang dimodelkan sebagai wall.
- b. Hasil analisis dinamik gedung A yaitu gaya geser dasar sebagai berikut, %- relatif perbedaan antara gedung A1 dan A2 untuk arah-x sebesar 0,12%, hasil ini memperlihatkan bahwa pemodelan kolom ekuivalen tepat dilakukan untuk arah-x.
- c. Hasil analisis dinamik gedung B yaitu gaya geser dasar sebagai berikut, %- relatif perbedaan antara gedung B1 dan B2 untuk arah-x sebesar 0,57%, hasil ini memperlihatkan bahwa pemodelan kolom ekuivalen tepat dilakukan untuk arah-x.
- d. Hasil analisis dinamik gedung A yaitu peralihan atap sebagai berikut, %-relatif perbedaan antara gedung A1 dan A2 untuk arah-x sebesar 7,17%, hasil ini memperlihatkan bahwa pemodelan kolom ekuivalen tepat dilakukan untuk arah-x. Hasil analisis dinamik gedung B yaitu peralihan atap sebagai berikut, %-relatif perbedaan antara gedung B1 dan B2 untuk arah-x sebesar 78,46%, hasil ini memperlihatkan bahwa pemodelan kolom ekuivalen tidak tepat dilakukan untuk arah-x.

4. Ananda MS, (2014) dalam penelitian yang berjudul “Perencanaan Penulangan Dinding Geser (Shear Wall) Berdasarkan Tata Cara SNI 03-2847- 2002” bertujuan untuk menentukan besar gaya pada dinding geser pada suatu konstruksi portal 6 lantai dimana letak shearwall simetris dan beraturan, dimana 10 shearwall dengan dan tanpa tulangan. Merencanakan penulangan dari dinding geser sesuai dengan gaya-gaya yang terjadi akibat kombinasi beban gempa (konsep gaya dalam) serta membandingkan antara dinding geser yang menggunakan tulangan dengan dinding geser tanpa tulangan. Dari penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan seperti berikut.

1. Dinding geser (shear wall) yang direncanakan menggunakan dimensi panjang /lebar dinding geser 6 m dan tebal 30 cm dengan tinggi gedung 24 m.
2. Gaya geser maksimum yang terjadi pada dinding geser (V_{max}) adalah 2875,46 kN.
3. Dinding geser (shear wall) yang direncanakan menggunakan dua layer baja tulangan D16-300.
4. Berdasarkan perhitungan analisa struktur pada perencanaan struktur dinding geser diperoleh kuat geser (V_n) sebesar 5015,179 kN ($V_n > V_{max}$). Dengan demikian, dinding geser (shear wall) cukup kuat menahan gaya geser yang terjadi pada struktur.
5. Dari data perbandingan struktur open frame dengan dinding geser (shear wall) dan struktur open frame didapat:
 - a. Struktur Open Frame dengan Dinding Geser (shear wall)

- 1) Tulangan yang dibutuhkan adalah 53098,807 kg
 - 2) Volume pekerjaan adalah 792,32 m³
- b. Struktur Open Frame
- 1) Tulangan yang dibutuhkan adalah 61192,794 kg
 - 2) Volume pekerjaan adalah 803,12 m³

Dari hasil penelitian tersebut didapat struktur open frame dengan dinding geser (shear wall) lebih ekonomis dari struktur open frame.

5. Manalip, et al., (2015) dalam penelitiannya yang berjudul “Penempatan Dinding Geser pada Bangunan Beton Bertulang dengan Analisa Pushover” bertujuan untuk menghitung kinerja struktur menggunakan metode pushover dan mengetahui respon pada penempatan instrumen dinding geser. Dari penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model penempatan dinding sesuai dengan kelas situs tanah dan hazard gempa adalah sebagai berikut:
 - a. Untuk hazard gempa 2500 tahun, penempatan dinding geser pada kelas Situs A mengikuti pola model 19, kelas situs B dan C mengikuti pola model 13, kelas situs D mengikuti pola model 12, dan kelas situs E mengikuti model 4.
 - b. Untuk hazard gempa 500 tahun, penempatan dinding geser pada kelas seluruh kelas situs A sampai E mengikuti pola model 11.
 - c. Untuk hazard gempa 1000 tahun, penempatan dinding geser pada kelas Situs A mengikuti pola model 19 dan atau 20, kelas situs B dan C, mengikuti pola model 19 dan atau 4, kelas situs

D, mengikuti pola model 11 dan atau 19, dan kelas situs E mengikuti pola model 4 dan atau 12. Tipe model penempatan dinding geser direkomendasikan persamaan $Y = 1,057082X - 17,236$ dimana nilai X merupakan prosentase perbandingan antara besarnya base shear terhadap berat total struktur, nilai Y memenuhi $\{ Y | Y \in A, Y \leq 20 \}$.

Kombinasi antara desain berbasis kinerja dan penempatan dinding geser yang tepat menghasilkan desain struktur yang optimal.

