

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

2.1.1. Struktur Beton Bertulang

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolik lain, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa campuran tambahan yang membentuk massa padat (SK SNI T-15-1991-03). Campuran ini akan membentuk batu tiruan yang kekuatannya bervariasi bergantung pada campuran yang direncanakan.

Beton bertulang itu sendiri adalah penggabungan dari dua buah bahan yaitu: beton dan baja (tulangan) yang dalam perencanaannya harus mengacu pada standar yang ada di Indonesia SNI 2847-2013 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Keunggulan dari bahan beton adalah material yang kuat menahan tekan, sedangkan baja (tulangan) merupakan material yang sangat baik untuk menahan tarik dan geser. Penggabungan kedua material ini diharapkan mampu menahan gaya tarik, gaya tekan dan gaya geser sehingga suatu struktur bangunan tetap kuat dan aman. Penggunaan beton bertulang pada struktur gedung meliputi : fondasi, balok, kolom, pelat, dinding *shearwall*.

2.1.2. Struktur Baja

Baja adalah logam paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), di mana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2%-0,7% berat sesuai *gradenya*. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur-unsur lain selain karbon yang akan tertinggal di dalam baja seperti mangan (Mn),

silicon (Si), *cromium* (Cr), *vanadium* (V) dan unsur lainnya (Bolton, 1998). Penggunaan bahan baja pada struktur bangunan juga sudah merambah luas ke berbagai sektor, bahkan konstruksi yang menggunakan struktur baja akan terkesan lebih modern dibandingkan dengan struktur beton bertulang. Bangunan gedung struktur baja memiliki struktur rangka utama baja, yaitu kolom, balok, lantai dan atap.

Perencanaan struktur gedung baja di Indonesia mengacu pada pada SNI 1729-2015 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Keunggulan material baja adalah memiliki kuat tarik yang sangat tinggi. Selain itu baja juga lebih lentur dan ringan bila dibandingkan dengan beton dalam penggunaannya.

2.1.3. Konsep Umum

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan (Budiono dan Supriatna, 2011: 17). Pada struktur berdeformasi bisa berarti memanjang, memendek, dan bengkok. Faktor daktilitas suatu struktur gedung merupakan dasar bagi penentuan beban gempa yang bekerja pada struktur gedung, karena itu tercapainya tingkat yang diharapkan harus terjamin dengan baik. Hal ini dapat tercapai apabila balok harus leleh terlebih dahulu sebelum terjadi kerusakan-kerusakan pada kolom(konsep *strong coloumn weak beam*).

Hal ini berarti bahwa akibat pengaruh gempa rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung hanya berada pada ujung-ujung balok dan pada kaki-kaki kolom.

Dalam pengertian yang lebih lagi daktilitas merupakan kemampuan struktur untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang kali

dan bolak-balik akibat adanya beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur itu tetap berdiri walaupun sudah berada pada kondisi ambang keruntuhan. Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, terbentuknya sendi-sendi plastis yang diharapkan terjadi pada struktur saat terjadi gempa yang besar perlu dikontrol dan dibatasi lokasinya pada komponen struktur tersebut. Pada struktur rangka akan lebih baik apabila disipasi energi gempa melalui pelelehan(sendi plastis) pada komponen balok dan kolom yang diharapkan memberikan kekuatan, kekakuan, dan kestabilan pada waktu menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Sistem rangka ruang di dalam komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial disebut dengan Sistem Rangka Pemikul Momen.

2.2. Dinamika Struktur

Dinamika struktur adalah salah satu bagian dari ilmu mekanika yang secara khusus membahas respons struktur terhadap beban dinamik, misalnya akibat gempa. Dalam bahasan dinamika struktur, beban maupun respons struktur tidak hanya ditentukan oleh arah, lokasi, dan besarnya, tetapi juga oleh variabel waktu. Secara khusus, besarnya respons struktur yang berupa gaya dalam merupakan fungsi dari waktu, sebagai bentuk respons terhadap gangguan atau beban luar, yang rumusnya ditentukan oleh parameter yang dimiliki struktur yang bersangkutan, diantaranya massa, kekakuan dan redaman yang berpengaruh pada getaran yang dialami oleh struktur.

2.2.1. Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

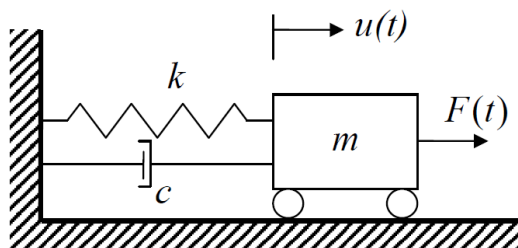
Menurut Widodo (2001) derajat kebebasan (*degree of freedom*) adalah derajat independensi yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu sistem pada setiap saat. Apabila suatu titik yang ditinjau mengalami perpindahan

tempat secara horizontal, vertikal dan ke samping misalnya, maka sistem tersebut mempunyai 3 derajat kebebasan.

Menurut Mario Paz (1996), pada umumnya struktur berkesinambungan (*continuous structure*) mempunyai jumlah derajat kebebasan (*number degree of freedom*) tak berhingga. Namun dengan proses idealisasi atau seleksi, sebuah model matematis yang tepat dapat mereduksi jumlah derajat kebebasan menjadi suatu jumlah diskrit dan untuk beberapa keadaan dapat menjadi berderajat kebebasan tunggal (*single degree of freedom*).

2.2.2. Derajat Kebebasan Tunggal (*Single Degree of Freedom*)

Sistem massa yang berpindah dalam satu arah saja yaitu arah horizontal dinamakan sistem berderajat kebebasan tunggal / SDOF (*single degree of freedom*). Pada sistem SDOF, struktur dimodelkan dengan massa tunggal dan koordinat perpindahan tunggal. Elemen-elemen yang berpengaruh pada sistem ini adalah massa, kekakuan struktur, redaman, dan gaya luar. Berikut pada Gambar 2.1 contoh model matematis dari SDOF

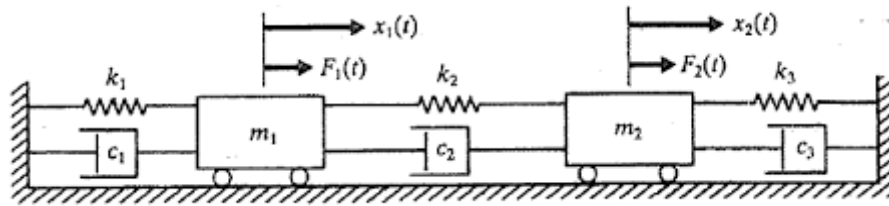


Gambar 2.1 Model Matematis SDOF

Sumber : Dinamika Struktur Teori & Perhitungan, Mario PAZ (1996)

2.2.3. Derajat Kebebasan Banyak (*Multi Degree of Freedom*)

Model matematis yang merepresentasikan sistem berderajat kebebasan banyak (MDOF) dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model Matematis MDOF

Sumber : Dinamika Struktur Teori & Perhitungan, Mario PAZ (1996)

Suatu struktur memiliki frekuensi natural sebanyak derajat kebebasan yang dimilikinya dan jika beban dinamik yang diterima struktur memiliki frekuensi yang mendekati frekuensi natural dari struktur maka akan terjadi resonansi yang akan mengakibatkan keruntuhan atau *collapse* pada struktur.

2.3. Pembebanan

Perencanaan pada suatu struktur gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa atau kombinasi dari beban-beban tersebut. Besarnya beban yang bekerja pada struktur diambil dari SNI 1727-2013 mengenai beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain.

1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari 2 jenis, yaitu berat sendiri dan berat *superimposed dead load (SIDL)*. Berat sendiri merupakan berat balok dan kolom. Massa jenis beton sendiri adalah 2400 kN/m^3 . Namun, beban sendiri sudah dihitung secara otomatis oleh komputer. Berat *superimposed dead load* terdiri dari berat pasir $3,64 \text{ kN/m}^3$, berat spesi 22 kN/m^3 , berat keramik 22 kN/m^3 , berat listrik dan mekanikal (MEP) $0,2 \text{ kN/m}^2$, dan berat *plafond* $0,25 \text{ kN/m}^2$.

2. Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada

lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut (SNI 1727-2013). Beban hidup yang bekerja adalah sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$ (ruang kelas).

3. Beban Gempa

Beban gempa untuk bangunan mengikuti Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012). Beban gempa struktur dapat berupa gempa linier dan nonlinier. Untuk gempa respons spektrum struktur yang berlokasi di Lampung dengan jenis tanah sedang SD. Selain itu, fungsi bangunan adalah fasilitas pendidikan.

4. Beban angin

Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin sebagai faktor penting yang memengaruhi. Besarnya kecepatan angin berbeda-beda untuk setiap lokasi geografi. Oleh karena itu perlu diperhatikan lokasi bangunan tersebut terletak di perkotaan, di pedesaan, atau di pinggir pantai. Untuk perencanaan bangunan ini, menggunakan tekanan tiup angin *ultimate* sebesar 40 kg/m^2 karena bangunan tersebut berada di kampus ITERA yang memiliki tiupan angin yang cukup besar. Setiap elemen bangunan tidak mendapatkan besar beban angin yang sama, karena bergantung pada arah datang angin. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, untuk perencanaan gedung tertutup, nilai koefisien angin pada dinding vertikal adalah sebesar:

1. Di pihak angin $= + 0,9$
2. Di belakang angin $= - 0,4$
3. Sejajar dengan arah angin $= - 0,4$

2.3.1. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban yang digunakan mengikuti ketentuan pembebanan gempa SNI 1726-2012 untuk metode *ultimate* yaitu sebagai berikut :

1. 1,4DL
2. 1,2DL + 1,2 SIDL + 1,6 LL + 0,5 (Lr atau H)
3. 1,2DL + 1,2SIDL + 1,6 (Lr atau H) + LL
4. 1,2DL + 1,2SIDL + LL + W + 0,5(Lr atau H)
5. 1,2DL + 1,2SIDL + E + LL
6. 0,9DL + W
7. 0,9DL + E

Untuk kombinasi pembebanan 3-5 di atas faktor beban pada beban hidup (LL) diizinkan direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi, luasan yang ditempati sebagai tempat perkumpulan publik, dan semua luasan di mana LL lebih besar dari 4,8 kN/m².

2.3.2. Pengaruh Beban Gempa

Pada kombinasi yang terdapat beban gempa di dalam persamaannya, pengaruh beban gempa, E, harus ditetapkan sebagai berikut :

- Untuk penggunaan dalam kombinasi 5 metode *ultimate* atau kombinasi beban 5 dan 6 metode tegangan izin, E harus didefinisikan sebagai :

$$E = E_h + E_v \quad (2.1)$$

- Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 metode *ultimate* atau kombinasi beban 8 metode tegangan izin, E harus didefinisikan sebagai :

$$E = E_h - E_v \quad (2.2)$$

di mana :

- E = pengaruh beban gempa
E_h = pengaruh beban gempa horizontal
E_v = pengaruh beban gempa vertikal

E_h adalah pengaruh beban gempa horizontal yang ditentukan dengan persamaan 2.3 :

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.3)$$

di mana :

Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p

ρ = faktor redudansi

E_v adalah pengaruh gaya gempa vertikal yang ditentukan dengan persamaan 2.4 :

$$E_v = 0,2 S_{DS} DL \quad (2.4)$$

di mana :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

DL = pengaruh beban mati.

Menurut SNI 03-1726-2012, untuk pembebanan gempa pada kombinasi 5 dan 7 metode *ultimate* perlu dipecah menjadi :

5. $(1,2+0,2S_{DS})DL + \rho Q_E + LL$

7. $(0,9-0,2S_{DS})DL + \rho Q_E + 1,6H$

Hal yang sama dilakukan pada kombinasi pembebanan metode tegangan izin yang mengandung beban gempa, E, pada persamaannya.

di mana :

DL adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga dan peralatan tetap, LL beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain, L_r beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak, H beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air, W beban angin dan E beban gempa.

Seluruh kombinasi pembebanan yang telah disebutkan di atas akan digunakan pada penelitian tugas akhir ini, dan untuk detail pembebanannya akan dijelaskan pada bab III.

2.4. Struktur Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7 struktur bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai struktur gedung beraturan dan struktur gedung tidak beraturan. Untuk struktur gedung beraturan dapat digunakan prosedur analisis statis ekuivalen dan untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan dinamik. Analisis yang dapat digunakan untuk struktur gedung tidak beraturan adalah analisis ragam respons spektrum dan analisis respons dinamik riwayat waktu linier dan nonlinier.

Pada tugas akhir ini digunakan perencanaan struktur gedung tidak beraturan dengan analisis yang digunakan adalah analisis respons dinamik riwayat waktu.

2.5. Persyaratan Umum Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung Berdasarkan SNI 1726-2012

2.5.1. Gempa Rencana

Sesuai dengan SNI 1726-2012 terkait dengan gempa rencana yang pengaruhnya harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah 2 %.

2.5.2. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.

Berdasarkan SNI 1726-2012 suatu beban gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e (Tabel 2.2) sesuai dengan Tabel 2.1 kategori risiko bangunan gedung.

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : – Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, perikanan – Fasilitas sementara – Gudang penyimpanan – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : – Perumahan – Rumah toko dan rumah kantor – Pasar – Gedung Perkantoran – Gedung apartemen/ rumah susun – Pusat perbelanjaan/ <i>mall</i> – Bangunan industri – Fasilitas manufaktur – Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk Beban Gempa Lanjutan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: – Bangunan-bangunan monumental – Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan – Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat. – Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat – Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya – Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat. – Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat – Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.	IV

Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Kategori risiko studi kasus tugas akhir ini adalah kategori IV (fasilitas pendidikan) dengan faktor keutamaan 1,5.

2.5.3. Sistem Struktur Penahan Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012, sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diizinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing

arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_o harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 2.3 :

Tabel 2.3 Faktor R , C_d , dan Ω_o untuk Sistem Penahan Gaya Gempa.

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem Ω_o^g	Faktor pembebasan defleksi C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	4	TB	TB	TI	TI	TI
4. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
5. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah.	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
6. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Catatan :

TB : Tidak dibatasi;

TI : Tidak diizinkan.

2.5.4. Faktor Redundansi

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.3.4, faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur sesuai dengan ketentuan berikut :

1. Kondisi di mana nilai ρ adalah 1,0

Nilai ρ diizinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini :

1. Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C;
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta;
3. Desain komponen non-struktural;
4. Desain struktur non-gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih;
6. Desain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi beban dengan faktor kuat- lebih ;
7. Struktur dengan sistem peredaman;
8. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

2. Faktor redundansi(ρ) untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana ρ diizinkan diambil sebesar 1,0:

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau ;
2. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

Dan pada tugas akhir ini digunakan faktor redundansi (ρ) sama dengan 1,3 (untuk kategori desain seismik D)

2.5.5. Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.5. Setiap struktur harus diklasifikasikan desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektrum percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.4 untuk periode pendek dan Tabel 2.5 untuk periode 1 detik :

Tabel 2.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{D1} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{D1}$	D	D

2.5.6. Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 terkait penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat (δx) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan 2.5 berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \Delta_{xe}}{I_e} \quad (2.5)$$

Keterangan :

C_d : faktor pembesaran defleksi

Δ_{xe} : defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis.

I_e : faktor keutamaan gempa.

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 2.6 :

Tabel 2.6 Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)

Struktur	Kategori Risiko		
	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.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Sumber : SNI 1726-2012

Keterangan :

- h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x.

Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan , simpangan antar lantai tingkat izin harus sesuai dengan tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi Δ_a / ρ .

2.6. Respons Spektrum

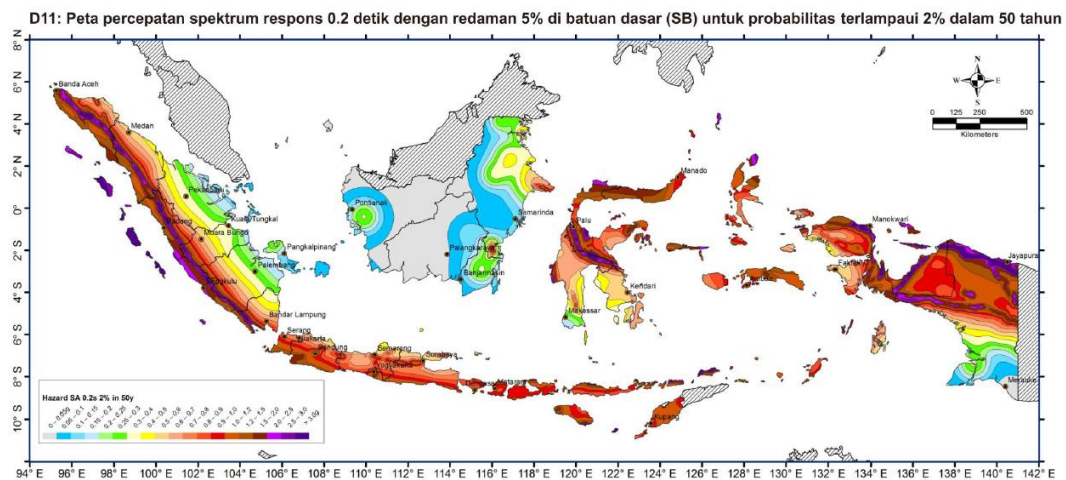
Respons spektrum adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v), dan perpindahan (d) dengan struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu.

Absis dari respons spektrum adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektrum adalah respons maksimum. Kurva respons spektrum akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum (*spectral displacement*, S_D), kecepatan maksimum (*spectral velocity*, S_V), dan percepatan maksimum (*spectral acceleration*, S_A), (Budiono dan Supriatna, 2011:26).

Mengacu pada SNI 1726-2012 respons spektrum dapat ditentukan berdasarkan parameter faktor jenis tanah dan faktor zonasi wilayah gempa. Berikut merupakan tahapan umum tentang cara menentukan respons spektrum sesuai dengan SNI:

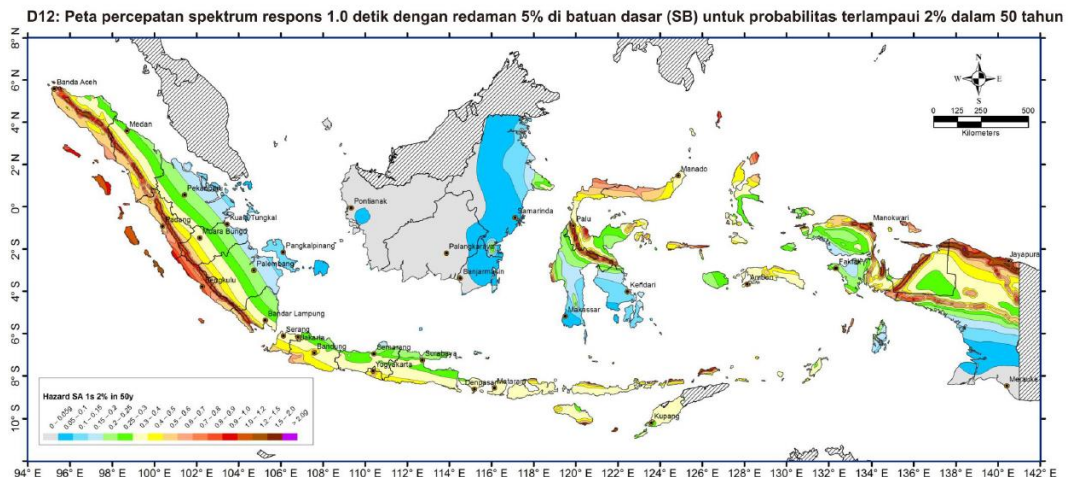
1. Menentukan parameter percepatan tanah S_s dan S_1

Parameter S_s (percepatan batuan dasar periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektrum percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi (SNI 1726-2012)



Gambar 2.3 Peta S_s

Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017



Gambar 2.4 Peta S_1

Sumber : Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017

2. Menentukan koefisien situs

Tabel 2.7 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons <i>spectral</i> percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 2.8 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons <i>spectral</i> percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4

Sumber : SNI 1726-2012

3. Menghitung parameter respons spektrum percepatan gempa maksimum

$$S_{MS} = S_s \cdot F_a \quad (2.6)$$

$$S_{M1} = S_1 \cdot F_v \quad (2.7)$$

Keterangan:

S_{MS} : Parameter spektrum respons percepatan gempa maksimum periode pendek

S_{M1} : Parameter spektrum respons percepatan gempa maksimum periode 1 detik

4. Menghitung parameter percepatan spektrum desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.8)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.9)$$

Keterangan :

S_{DS} : Parameter percepatan spektrum periode pendek.

S_{D1} : Parameter percepatan spektrum periode 1 detik

5. Perhitungan nilai T_0 dan T_s

$$T_0 : 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.10)$$

$$T_1 : \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.11)$$

6. Perhitungan S_a

Untuk keperluan analisis harus dibuat respons spektrum desain yang sesuai dengan kondisi tanah setempat, dengan persamaan S_a berikut:

Untuk periode kurang dari T_0 maka S_a ditentukan dengan persamaan

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.12)$$

Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$ maka S_a sama dengan S_{DS}

$$S_a = S_{DS} \quad (2.13)$$

Untuk $T > T_s$ maka nilai S_a ditentukan dengan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.14)$$

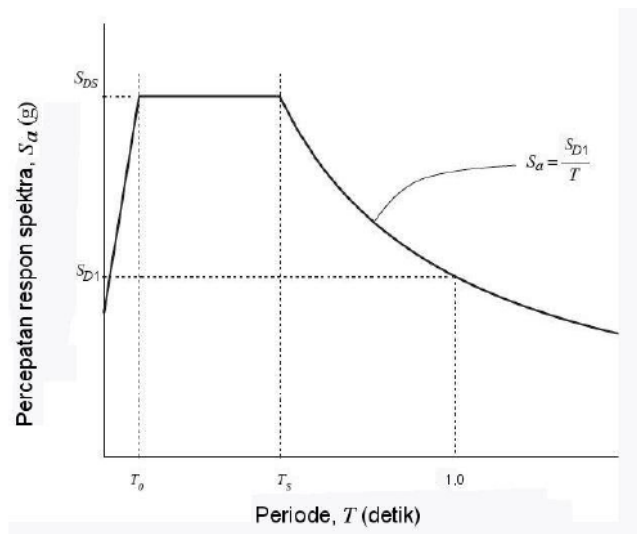
Keterangan :

S_{DS} : Parameter percepatan spektrum periode pendek.

S_{D1} : Parameter percepatan spektrum periode 1 detik

7. Plot kurva respons spektrum desain.

Gambar 2.5 adalah contoh kurva respons spektrum :



Gambar 2.5 Spektrum Respons Desain

Sumber : SNI 1726-2012

Untuk di Indonesia sendiri kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman yang bekerja sama dengan Institut Teknologi Bandung (ITB) telah mengembangkan suatu pelayanan publik yang menyediakan akses respons spektrum untuk seluruh wilayah yang ada di Indonesia dengan berbagai kriteria kelas situs dan lokasi yang diinginkan.

2.7. Analisis *Time History*

Menurut SNI 1726-2012 tentang analisis *time history* (analisis respons riwayat waktu) harus terdiri dari analisis model matematis linear suatu struktur untuk menentukan responsnya melalui metode integrasi numerik

terhadap kumpulan riwayat waktu percepatan gerakan tanah yang kompatibel dengan spektrum respons desain untuk situs yang bersangkutan.

2.7.1. Permodelan

Model matematika struktur harus dibuat untuk tujuan penentuan gaya elemen struktur dan perpindahan struktur yang dihasilkan dari beban yang diterapkan dan semua perpindahan yang dikenakan atau pengaruh P-delta. Model harus menyertakan kekakuan dan kekuatan elemen yang signifikan terhadap distribusi gaya dan deformasi dalam struktur dan merepresentasikan distribusi massa dan kekakuan secara spasial pada seluruh struktur.

Sebagai tambahan, model tersebut harus sesuai dengan hal berikut ini:

- a. Properti kekakuan elemen beton dan batu bata harus memperhitungkan pengaruh penampang retak;
- b. Untuk sistem rangka baja pemikul momen, kontribusi deformasi daerah panel pada simpangan antar lantai tingkat keseluruhan harus disertakan.

2.7.2. Parameter Respons

Beberapa parameter akan digunakan pada penelitian tugas akhir ini yang nantinya akan menjadi ukuran dalam menganalisis perilaku struktur dari masing-masing jenis struktur beton dan baja.

2.7.3. Akselogram Gempa *Time History*

Beban gempa dinamik dapat dianalisis menggunakan analisis dinamik. Dan untuk beban *time history* menggunakan analisis riwayat waktu yang dijelaskan seperti di bawah ini :

1. Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur di mana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2 (Anggen, 2014), yaitu :

- 1) Analisis ragam respons spektrum di mana total respons didapat melalui superposisi dari respons masing-masing ragam getar.
- 2) Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis di mana pada model struktur diterapkan percepatan gempa dari masukan berupa akselogram dan respons struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

2. Analisis Riwayat Waktu

Menurut Chopra (2011), Analisa Riwayat waktu digunakan untuk menganalisis respons dinamik struktur yang menerima beban yang berubah-ubah terhadap waktu. Persamaan dinamik dari struktur seperti ini dapat dilihat pada persamaan 2.7.

$$[M] \ddot{u}(t) + [C] \dot{u}(t) + [K]u(t) = \{p(t)\} \quad (2.15)$$

Di mana $[M]$ adalah matriks massa struktur; $[C]$ adalah matriks redaman struktur; $[K]$ adalah matriks kekakuan struktur; $u(t)$ adalah simpangan yang berubah terhadap waktu; $\dot{u}(t)$ adalah kecepatan yang berubah terhadap waktu; $\ddot{u}(t)$ adalah percepatan dari struktur yang berubah terhadap waktu; dan $p(t)$ adalah vektor gaya yang bekerja pada struktur yang berubah terhadap waktu. Analisis riwayat waktu dibagi atas dua yaitu analisis riwayat waktu linier dan analisis riwayat waktu nonlinier. Siregar (2010) mengemukakan bahwa, struktur linear adalah struktur yang tidak mengalami perubahan Massa (M), Redaman (C), dan Kekakuan (K) dalam kondisi apapun. Analisa dalam kondisi ini biasanya digunakan dengan asumsi bahwa struktur direncanakan selalu berada dalam kondisi elastis, atau sifat struktur dapat kembali ke posisi

awal setelah diberikan beban tertentu. Struktur yang diberi analisis nonlinear adalah struktur yang mengalami perubahan Redaman (C), dan Kekakuan (K) pada kondisi tertentu. Analisa seperti ini membantu untuk memahami bagaimana sifat suatu struktur tersebut dapat bertahan. Nilai perbandingan titik hancur pertama kali leleh struktur disebut daktilitas (μ).

3. Percepatan Gempa Masukan (Akselerogram)

Sebelum menerapkan rangkaian akselerogram dalam analisis struktural, data harus diskalakan untuk mengurangi ketidakcocokan antara karakteristik dan parameter desain di suatu wilayah berdasarkan standar atau dari situs *hazard* tertentu. Hal yang perlu diingat bahwa akselerogram digunakan mewakili gerakan gempa.

Periode alami (*natural period*) dari getaran struktur selalu ditentukan dengan tingkat ketidakpastian (*degree of uncertainty*). Penggunaan hanya satu akselerogram dalam analisis struktural dapat dengan mudah diremehkan (*underestimation*). Untuk alasan ini, jumlah minimum variasi karakteristik dari suatu akselerogram lain yang mungkin dianggap akan mengurangi pengaruh fluktuasi periode ke periode dalam *spectra*. Maka dari itu analisis riwayat waktu harus dilakukan dengan tidak kurang dari tiga set data (masing-masing berisi dua komponen horizontal atau, jika gerakan vertikal dipertimbangkan, dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal) dari gerakan tanah (*ground motion*) yang harus dipilih dan skala tidak kurang dari tiga catatan gempa (FEMA 356).

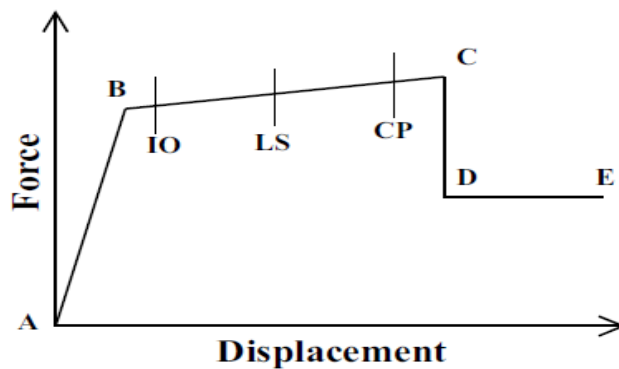
Akselerogram yang dipilih dalam analisis *time history* pada level gempa rencana harus memenuhi persyaratan seperti yang ditetapkan dalam Pasal 11.1.3.2, SNI-1726-2012 yaitu respons spektrum dari gempa aktual (redaman 5%) yang dipilih sebagai gerak tanah masukan, rata-rata nilai percepatannya harus berdekatan dengan respons spektrum dari gempa rencana (redaman 5%) pada periode $0,2T - 1,5T$.

2.8. Sendi Plastis

Mekanisme sendi plastis terbentuk di ujung-ujung dan di dasar kolom bawah menghasilkan perilaku histeresis yang stabil, pembentukan sendi plastis haruslah didominasi oleh perilaku lentur. Sendi plastis dapat terjadi pada suatu portal berderajat kebebasan banyak (MDOF). Gedung saat dilanda gempa yang cukup besar akan timbul momen-momen pada balok atau kolomnya, apabila besar dari momen-momen tersebut melampaui besar momen kapasitas balok atau kolom portal maka terjadi sendi plastis pada balok atau kolom ditandai dengan melelehnya tulangan baja pada beton bertulang. Sendi plastis terjadi secara bertahap sampai bangunan gedung tersebut runtuh (Ulfah, 2011).

Struktur didesain untuk mengalami kerusakan atau berperilaku inelastik melalui pembentukan sendi-sendi plastis pada elemen-elemen strukturnya, pada saat menahan beban gempa rencana. Perilaku inelastik atau plastis tersebut pada dasarnya memberikan mekanisme disipasi energi pada struktur sehingga dapat membatasi gaya gempa yang masuk ke struktur bangunan. Walaupun struktur bangunan berperilaku inelastik, struktur bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan pada saat menerima beban gempa rencana atau bahkan beban gempa yang lebih besar (Imran dan Hendrik, 2010:35).

Berdasarkan FEMA 356 hubungan gaya dan perpindahan dapat dikategorikan ke dalam beberapa kriteria yang menunjukkan perilaku sendi plastis. Hubungan gaya dan perpindahan dalam bentuk grafik adalah seperti pada grafik 2.6 :



Gambar 2.6 Tahapan Performa Struktur
Sumber : CSI 2014

Structural performance level dikategorikan menjadi 3 rentang yaitu :

- IO : *Immediate Occupancy*
- LS : *Life Safety*
- CP : *Collapse Prevention*

Immediate Occupancy berarti kondisi ketika tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur di mana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. *Life Safety* berarti kondisi ketika terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan, komponen nonstruktur masih ada tetapi tidak berfungsi dan dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan. *Collapse Prevention* berarti kondisi di mana kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan nonstruktur, kekuatan struktur berkurang banyak dan hampir mengalami keruntuhan.

2.8.1. Simpangan

Berdasarkan FEMA 356 rasio batasan simpangan untuk ketiga kategori *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention* seperti yang terdapat pada Tabel 2.9 :

Tabel 2.9 Kriteria Simpangan (*displacement*)

Sistem Struktur	IO	LS	CP
Beton	1 %	2 %	4 %
Baja	0,7 %	2,5 %	5 %

2.8.2. Rotasi

Berdasarkan FEMA 356 batasan rotasi pada struktur beton yang diizinkan untuk kondisi *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention* adalah seperti yang terdapat pada Tabel 2.10 :

Table 2.10 Rotasi Diizinkan pada Struktur Beton(dalam radian)

Sistem Struktur	IO		LS		CP	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Balok	0,01	-0,01	0,02	-0,02	0,025	-0,025

Sedangkan untuk struktur baja, batasan rotasi yang diizinkan untuk masing-masing kondisi *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, dan *Collapse Prevention* adalah seperti yang terdapat pada Tabel 2.11 :

Tabel 2.11 Rotasi Diizinkan pada Struktur Baja(dalam radian)

Sistem Struktur	IO		LS		CP	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Balok	0,00175	-0,0017	0,014	-0,014	0,021	-0,021