

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Perencanaan Struktur

Campuran antara seni dan ilmu pengetahuan yang digabungkan dengan intuisi dari seorang ahli struktur terhadap perilaku struktur itu sendiri dengan pengetahuan dasar lainnya yang bertujuan untuk menciptakan suatu konstruksi struktur yang aman dan tentunya ekonomis itu merupakan definisi dari perencanaan struktur.

Sebelum berkembangnya zaman didalam hal merencanakan suatu struktur, terkhusus kedalam penentuan susunan serta ukuran elemen masih menggunakan intuisi. Selanjutnya setelah zaman berkembang, maka untuk melakukan perencanaan struktur itu sendiri telah menjadi lebih ilmiah. Dalam pengambilan keputusan dengan menggunakan prinsip-prinsip ilmiah tetap harus obyektif. Jika seorang ahli struktur itu sendiri berhasil menggabungkan intuisi dengan perhitungan ilmiah maka akan tercipta pengambilan keputusan yang baik dalam merencanakan struktur. Adapun kriteria-kriteria dari sebuah perencanaan agar dapat dikatakan optimum adalah sebagai berikut (Setiawan, 2008) :

- a. Minimnya penggunaan berat material
- b. Minimnya biaya yang keluar akibat pekerjaan konstruksi
- c. Minimnya waktu pengerjaan konstruksi
- d. Jumlah tenaga kerja yang tidak banyak dan efisien
- e. Minimum pembiayaan manufaktur
- f. Masa layan konstruksi dapat dimanfaatkan secara maksimum

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.1 menjelaskan syarat kecukupan kekuatan struktural dari komponen itu sendiri terhadap beban rencana terfaktor atau dengan kata lain kuat minimum harus sama dengan kuat perlu. (Dipohusodo, 1999). Oleh karena itu kerangka perencanaan struktur harus diperhatikan dengan seksama, adapun prosedur perencanaan struktur secara iterasi adalah sebagai berikut (Setiawan, 2008) :

1. Menentukan rancangan konstruksi (fungsi struktur)

2. Penentuan jenis material yang digunakan
3. Menetapkan beban yang bekerja pada struktur
4. Pemilihan awal dimensi elemen struktur
5. Memperhatikan gaya-gaya dan perpindahan elemen dari analisa struktur
6. Mengevaluasi hasil dari analisa struktur
7. Jika hasil evaluasi kurang optimal maka bisa ulangi langkah 1 hingga 6
8. Melakukan perencanaan akhir dari langkah-langkah 1 hingga 7

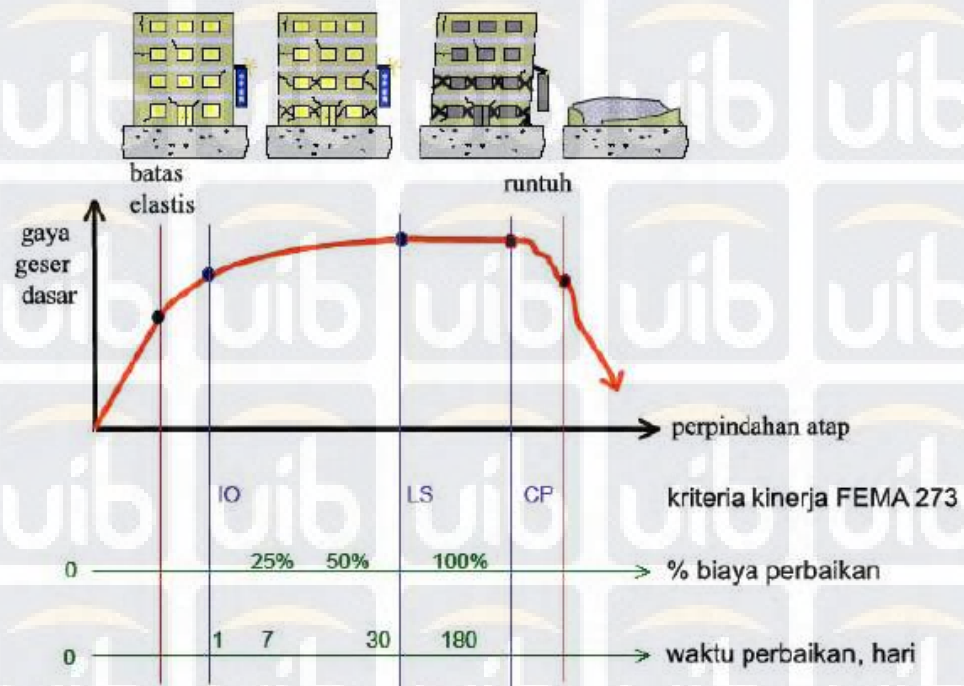
### 2.1.1 Perencanaan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Pada bangunan yang tinggi, fenomena gempa tentu merupakan salah satu gejala alam yang mempengaruhi bangunan tersebut. Hal ini juga didukung dengan letak wilayah Indonesia yang memiliki potensi untuk terjadinya gempa (Oktopianto & Andayani, 2013).

Hal tersebut dikarenakan letak posisi geografis Indonesia pada jalur cincin api (*Ring of Fire*), yaitu pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia (Manurung, 2017).

Pada saat ini, perencanaan bangunan tahan gempa merujuk kepada peraturan perencanaan bangunan di tiap masing-masing negara. Peraturan tersebut bertujuan untuk menjamin keselamatan pengguna dari gempa yang bisa saja terjadi dan tentu pasti untuk mengurangi kerugian harta benda seperti material, dll. Akan tetapi jika hanya dengan metode seperti itu, belum bisa meninjau level kinerja bangunan terhadap gempa.

Proses perencanaan berbasis kinerja ini dapat dimulai dengan melakukan simulasi kinerja dari model rencana bangunan terhadap beban gempa. Keluaran yang dapat diberikan yaitu informasi tentang ketahanan/kerusakan struktur (*level of damage*), kesiapan pakai (*occupancy*) dari struktur itu serta tingkat keselamatan (*life*), tak lupa pula informasi tentang kerugian yang diakibatkan dari gejala alam tersebut (*economic loss*). Yang nantinya dari informasi tersebut dapat menetapkan kondisi apa yang dipilih, selanjutnya kondisi tersebut akan digunakan perencana sebagai pedomannya (Dewobroto, 2005).



Gambar 2.1. Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja

Sumber : (Dewobroto, 2005)

*Federal Emergency Management Agency (FEMA) 273 (1997)* adalah pedoman perencanaan berbasis kinerja yang level kinerjanya dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. IO = *Immediate Occupancy*, segera dapat dipakai (terjadi kerusakan ringan pada struktur)
2. LS = *Life Safety*, keselamatan penghuni terjamin (kerusakan struktur masih kategori ringan dan belum berpotensi runtuh)
3. CP = *Collapse Prevention*, struktur sudah diambang keruntuhan dan tidak diperkenankan untuk digunakan kembali.

Level kinerja (*performance levels*) yang merujuk pada FEMA 273 dapat dilihat pada Gambar 2.1 Kurva tersebut dihasilkan dari analisa pushover atau analisa statik non-linear, sehingga dapat juga disebut sebagai kurva pushover. Selanjutnya titik kinerja (*performance point*) merupakan besarnya perpindahan titik pada atap saat mengalami gempa.

## **2.2. Dasar-Dasar Kriteria Perencanaan**

Sebelum melakukan perencanaan, ada tahap awal yang harus diperhatikan ataupun ditentukan terlebih dahulu, karena hal ini akan berpengaruh untuk perencanaan ditahap selanjutnya.

### **2.2.1 Material Struktur**

Pada umumnya material struktur terbagi menjadi 4, yaitu :

#### **a. Struktur Kayu**

Merupakan salah satu jenis struktur yang paling awal digunakan untuk membuat suatu konstruksi, namun material ini memiliki kekurangan umur yang pendek dan juga mudah terbakar

#### **b. Struktur Baja**

Struktur ini bisa dibilang kuat untuk bangunan bertingkat tinggi, dan sesuai dengan sifat dari material ini, kuat untuk menahan tarik dan tekan.

#### **c. Struktur Beton**

Untuk struktur ini umum digunakan untuk bangunan bertingkat sedang, namun memiliki kekurangan yaitu tidak kuat terhadap gaya tarik sehingga perlu dikombinasikan dengan besi tulangan sebagai penahan dari gaya tarik.

#### **d. Struktur Komposit**

Jenis struktur ini merupakan gabungan dari beberapa jenis struktur lainnya, namun pada umumnya gabungan antara struktur baja dengan beton bertulang.

### **2.2.2 Konfigurasi Perencanaan Struktur**

Dalam perencanaan struktur, perlu juga diperhatikan konfigurasi awal untuk mengoptimalkan perencanaan struktur yang dilakukan, dan beberapa konfigurasi yang dimaksud adalah :

#### **a. Konfigurasi Vertikal**

Bentuk struktur diharapkan untuk berbentuk tipikal atau tidak banyak berubah pada arah vertikal, hal ini karena bentuk bangunan yang



langsing kurang bisa menahan momen guling yang diakibatkan oleh gempa

b. Konfigurasi Horizontal

Desain atau denah struktur diharapkan memiliki bentuk yang simetris, hal ini guna untuk mempermudah menemukan titik pusat kekakuan dan disamakan dengan titik pusat massa dari bentuk struktur tersebut.

c. Konfigurasi Rangka Struktur

Jika rangka umum (kolom dan balok) kurang bisa menahan beban horizontal maka perlu ditambahkan *difragma wall* atau dinding geser.

d. Konfigurasi Keruntuhan Struktur

Saat merencanakan konstruksi gedung pada daerah gempa, perlu meninjau balok terlebih dahulu untuk memperi tumpuan sendi karena perpindahan balok akibat gempa cenderung lebih besar ketimbang kolom.

### 2.3. Sistem Struktur

Adapun dalam suatu konstruksi bangunan/gedung pasti ada pembagian dari sistem strukturnya. Hal ini karena masing-masing sistem struktur memiliki peranan masing-masing yang berbeda. Adapun pembagian sistem struktur yang dimaksud adalah :

#### 2.3.1 Struktur Atas

Dalam perencanaan struktur suatu gedung atau bangunan, struktur atas merupakan suatu elemen yang digunakan untuk menopang momen ataupun gaya yang terjadi akibat beban yang bekerja lalu nantinya akan diteruskan ke struktur bawah. Kolom, pelat lantai, balok, dinding geser termasuk kedalam kategori struktur atas.

#### 2.3.2 Struktur Bawah

Disaat merencanakan struktur, struktur bawah merupakan salah satu yang terpenting karena akan menerima beban-beban yang bekerja dari atas

bangunan atau gedung. Umumnya struktur bawah atau pondasi ini memiliki beberapa jenis, antara lain pondasi tapak, bor pile, pancang.

## 2.4. Ketentuan Umum Bangunan Tahan Gempa (Gedung)

### 2.4.1 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Bangunan

Saat menghitung struktur tahan gempa, perlu juga memperhatikan Faktor Keutamaan ( $I_e$ ) dari bangunan tersebut dengan mengacu kepada SNI-1726:2012. Karena bangunan yang mendapatkan pengaruh dari gempa rencana harus disesuaikan/dikalikan dengan nilai faktor keutamaan dari masing-masing jenis bangunan tersebut.

Tabel 2.1. Tabel Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan ( $I_e$ ) untuk kategori gedung atau bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko	Faktor Keutamaan $I_e$
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan. - Fasilitas seperti (perkebunan, peternakan, perikanan, perikanan, fasilitas sementara) - Gudang (penyimpanan) - Struktur kecil lainnya (rumah jaga, dsb)	I	1,0
Semua gedung dan struktur umum yang tidak termasuk kedalam kategori resiko I, III, IV. - Pasar - Rumah kantor dan toko - Perumahan - Gedung perkantoran, rumah susun/apartemen - Mall atau pusat perbelanjaan - Fasilitas manufaktur seperti (pabrik atau bangunan industri)	II	1,0
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia saat terjadi kegagalan. - Fasilitas umum seperti (Bioskop, stadion, penitipan anak, gedung pertemuan)	III	1,25

- Fasilitas kesehatan (tidak memiliki unit bedah dan UGD)
- Penjara
- Bangunan panti jompo

Gedung dan non gedung yang berbeda dengan kategori IV dan akan berdampak pada ekonomi atau gangguan massal terhadap kehidupan jika terjadi kegagalan.

- Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit
- instalasi air bersih,
- pembangkit tenaga listrik
- fasilitas radio dan televisi (telekomunikasi)

Gedung dan non gedung yang berfungsi hanya sebagai fasilitas penting.

IV

1,5

- Fasilitas pendidikan dan gedung sekolah
- Fasilitas kesehatan yang memiliki unit bedah dan UGD (Rumah Sakit)
- Fasilitas ambulans, kantor polisi dan pemadam kebakaran (Garasi kendaraan darurat termasuk)
- Tempat perlindungan dari bencana alam
- Bangunan monumental
- Bangunan pembangkit energi atau fasilitas publik lainnya pada saat darurat

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Tabel 1 & 2)

## 2.5. Respon Spektral dan Wilayah Gempa

### 2.5.1 Parameter Percepatan Terpetakan

Parameter  $S_s$  merupakan percepatan batuan dasar pada saat periode pendek (0,2 detik), sedangkan  $S_1$  parameter saat periode 1 detik. Bila  $S_I \leq 0,04g$  dan  $S_s \leq 0,15g$ , maka struktur bangunan dapat dikategorikan sebagai desain seismik A, dan sudah cukup memenuhi syarat sesuai dengan sub bab

#### 2.5.4.





Tabel 2.2. Koefisien Situs ( $F_a$ )

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 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
SF	SS <sup>b</sup>				

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Tabel 4)

Tabel 2.3. Koefisien Situs ( $F_v$ )

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode 1 detik, $T = 1$ 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	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Tabel 5)

Untuk parameter respons spektrum percepatan untuk periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) harus disesuaikan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  dengan klasifikasi situs sesuai dengan Tabel 2.2 dan Tabel 2.3, dan dilanjutkan dengan persamaan berikut :

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (1)$$

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

dimana :

$S_s$  = percepatan batuan dasar pada periode pendek (0,2 detik)

$S_I$  = percepatan batuan dasar pada periode 1 detik

$F_a$  = faktor amplifikasi seismik pada pendek (0,2 detik)

$F_v$  = faktor amplifikasi seismik pada 1 detik

$S_{MS}$  = parameter spektrum respon percepatan gempa periode pendek

$S_{M1}$  = parameter spektrum respon percepatan gempa periode 1 detik

### 2.5.2 Parameter Percepatan Spektral Desain

Untuk menentukan parameter percepatan spektral desain, harus menggunakan persamaan dibawah ini :

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (4)$$

dimana :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

$S_{D1}$  = parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

### 2.5.3 Kategori Desain Seismik

Dengan berdasarkan parameter percepatan spektral desain, maka harus ditetapkan konstruksi struktur sesuai dengan persyaratan desain seismik sesuai dengan kategori resiko masing-masing. Untuk kategori resiko I, II, III yang terletak pada spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik ( $S_I \geq 0,75$ ) maka kategori desain seismik nya adalah E. Hal ini juga berlaku pada kategori resiko IV dan untuk perioda 1 detik ( $S_I \geq 75$ ) maka dapat ditetapkan desain seismiknya F.

Sedangkan untuk perioda 1 detik ( $S_I \leq 0,75$ ), maka kategori desain seismiknya dapat dilihat melalui Tabel 2.6.

Tabel 2.4. Kategori Desain Seismik Periode Pendek ( $S_{Ds}$ )

Nilai $S_{Ds}$	Kategori Resiko	
	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

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Tabel 6)

Tabel 2.5. Kategori Desain Seismik Periode 1 Detik ( $S_{D1}$ )

Nilai $S_{D1}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Tabel 7)

#### 2.5.4 Pemilihan Sistem Struktur

Sistem penahan gaya gempa baik vertikal ataupun lateral harus memenuhi salah satu tipe dari Tabel 2.6. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur dari tabel berikut :

Tabel 2.6. Faktor  $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega_0$ , Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien modifikasi respons $R^a$	Faktor kuat lebih sistem $\Omega_0^e$	Faktor pembesaran defleksi $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h$				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>c</sup>
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5.5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5.5	TB	TB	48	30	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	4.5	3	4	TB	TB	10 <sup>h,i</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>i</sup>
Rangka baja pemikul momen biasa	3.5	3	3	TB	TB	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>i</sup>
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5.5	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4.5	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2.5	TB	TI	TI	TI	TI

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Tabel 9)

dimana :

TB = tidak dibatasi

TI = tidak diizinkan

Untuk kategori desain seismik A, elemen non-struktural pada struktur dibebaskan dari ketentuan-ketentuan desain seismik. Gaya lateral statik pada setiap struktur diaplikasikan secara simultan ditiap lantai. Adapun rumus perhitungan gaya lateral ditiap lantai dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :



$$F_x = 0,01W_x \quad (5)$$

dimana :

$F_x$  = gaya lateral rencana (diaplikasikan pada tiap lantai)

$W_x$  = bagian beban mati total pada struktur (yang bekerja pada lantai)

### 2.5.5 Periode Fundamental Pendekatan

Penentuan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (6)$$

dimana :

$h_n$  = ketinggian struktur (m)

Sedangkan untuk nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$  dapat dilihat dari tabel berikut :

Tabel 2.7. Nilai  $C_t$  dan  $x$  Parameter Periode Pendekatan

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memiliki 100% gaya gempa yang disyaratkan.		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
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

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Tabel 15)

Tabel 2.8. Koefisien Batas Perioda

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain (Periode 1 Detik, $S_{DI}$ )	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

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Tabel 14)

Terdapat alternatif persamaan untuk perhitungan pendekatan nilai perioda fundamental bagi struktur yang memiliki ketinggian  $< 12$  tingkat dan tinggi tingkat paling sedikit 3 meter. Hal ini berlaku untuk struktur rangka penahan momen beton dan baja.

$$T_a = 0,1 N \quad (7)$$

dimana :

$N$  = jumlah tingkat

## 2.6. Pembebanan

### 2.6.1 Jenis-Jenis Beban

Gaya luar yang bekerja pada suatu struktur itu merupakan definisi dari beban. Dalam menentukan besarnya beban pada suatu struktur secara pasti itu dapat dikatakan cukup sulit, karena pada umumnya hanya bergantung pada estimasi saja. Langkah selanjutnya jika sudah mengestimasi besar beban yang bekerja pada struktur adalah menentukan kombinasi-kombinasi dari beban tersebut. Jenis-jenis beban yang sering dijumpai antara lain :

#### a. Beban Mati

Merupakan berat dari semua elemen gedung/bangunan yang tidak berpindah atau bersifat tetap selama gedung/bangunan itu berdiri. Berat untuk beban ini sudah ditetapkan berdasarkan penelitian sebelumnya dan nilai beratnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.9. Berat Sendiri Bahan Bangunan

No	Material	Berat	Keterangan
1	Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>	
2	Batu Alam	2600 kg/m <sup>3</sup>	
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung	1500 kg/m <sup>3</sup>	Berat Tumpuk
4	Batu Karang	700 kg/m <sup>3</sup>	Berat Tumpuk
5	Batu Pecah	1450 kg/m <sup>3</sup>	
6	Besi Tuang	7250 kg/m <sup>3</sup>	
7	Beton	2200 kg/m <sup>3</sup>	
8	Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>	
9	Kayu	1000 kg/m <sup>3</sup>	Kelas I
10	Kerikil, Korol	1650 kg/m <sup>3</sup>	Kering Udara Sampai Lembab, Tanpa Diayak
11	Pasangan Bata Merah	1700 kg/m <sup>3</sup>	
12	Pasangan Batu Belalah, Batu Bulat, Batu Gunung	2200 kg/m <sup>3</sup>	
13	Pasangan Batu Cetak	2200 kg/m <sup>3</sup>	
14	Pasangan Batu Karang	1450 kg/m <sup>3</sup>	
15	Pasir	1600 kg/m <sup>3</sup>	Kering Udara Sampai Lembab
16	Pasir	1800 kg/m <sup>3</sup>	Jenuh Air
17	Pasir Kerikil, Korol	1850 kg/m <sup>3</sup>	Kering Udara Sampai Lembab
18	Tanah, Lempung dan Lanai	1700 kg/m <sup>3</sup>	Kering Udara Sampai Lembab
19	Tanah, Lempung dan Lanai	2000 kg/m <sup>3</sup>	Basah
20	Timah Hitam / Timbel	11400 kg/m <sup>3</sup>	

(Sumber : PPIUG 1987, Tabel 1)

Tabel 2.10. Berat Komponen Gedung

No	Material	Berat	Keterangan
1	Adukan, per cm tebal :		
	- Dari semen	21 kg/m <sup>2</sup>	
	- Dari kapur, semen merah/tras	17 kg/m <sup>2</sup>	
2	Aspal, per cm tebal	14 kg/m <sup>2</sup>	
3	Dinding pasangan bata merah :		
	- Satu batu	450 kg/m <sup>2</sup>	
	- Setengah batu	250 kg/m <sup>2</sup>	
4	Dinding pasangan bata merah :		
	- Berlubang :		
	tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m <sup>2</sup>	
	tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m <sup>2</sup>	
	- Tanpa lubang :		
	Tebal dinding 15 cm	300 kg/m <sup>2</sup>	
	Tebal dinding 10 cm	200 kg/m <sup>2</sup>	
5	Langit-langit & dinding, terdiri :		Termasuk rusuk-rusuk,
	- Semen asbes (eternit), tebal maks. 4 mm	11 kg/m <sup>2</sup>	tanpa pegangtung atau pengaku
	- Kaca, tebal 3-5 mm	10 kg/m <sup>2</sup>	
6	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu	40 kg/m <sup>2</sup>	Tanpa langit-langit, bentang maks 5 m, beban hidup maks. 200 kg/m <sup>2</sup>
7	Penggantung langit-langit (kayu)	7 kg/m <sup>2</sup>	Bentang maks. 5 m, jarak s.k.s. min. 0,80 m
8	Penutup atap genteng	50 kg/m <sup>2</sup>	Dengan reng dan usuk / kaso per m <sup>2</sup> bidang atap
9	Penutup atap sirap	40 kg/m <sup>2</sup>	Dengan reng dan usuk / kaso per m <sup>2</sup> bidang atap
10	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25)	10 kg/m <sup>2</sup>	Tanpa usuk
11	Penutup lantai ubin, /cm tebal	24 kg/m <sup>2</sup>	Ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan
12	Semen asbes gelombang (5 mm)	11 kg/m <sup>2</sup>	

(Sumber : PPIUG 1987, Tabel 2)



### b. Beban Hidup

Merupakan beban yang timbul akibat penggunaan suatu gedung dalam masa layan, berat manusia juga termasuk dalam beban ini. Dengan kata lain yaitu, beban yang tidak tetap atau dapat berpindah dari satu tempat ke tempat yang lain dalam suatu konstruksi tersebut.

Tabel 2.11 Berat Beban Hidup Pelat Pada Lantai Gedung

No	Beban Hidup	Berat sendiri
1	Lantai dan tangga rumah tinggal	200 kg/m <sup>2</sup>
2	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana Gudang-gudang selain untuk took, pabrik, bengkel	125 kg/m <sup>2</sup>
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, rumah sakit	250 kg/m <sup>2</sup>
4	Lantai ruang olah raga	400 kg/m <sup>2</sup>
5	Lantai ruang dansa	500 kg/m <sup>2</sup>
6	Lantai dan balkon ruang pertemuan, bioskop, ibadah	400 kg/m <sup>2</sup>
7	Panggung penonton dengan penonton yang berdiri	500 kg/m <sup>2</sup>
8	Tangga, bordes tangga dan gang bangunan umum	300 kg/m <sup>2</sup>
9	Tangga, bordes tangga dan gang bangunan	500 kg/m <sup>2</sup>
10	Lantai ruang pelengkap	250 kg/m <sup>2</sup>
11	Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, took buku, ruang alat dan bersih	400 kg/m <sup>2</sup>
12	Lantai gedung parkir bertingkat :	
	Lantai bawah	800 kg/m <sup>2</sup>
	Lantai tingkat lainnya	400 kg/m <sup>2</sup>
13	Balkon yang menjorok bebas keluar	300 kg/m <sup>2</sup>

(Sumber : PPIUG 1987, Tabel 2)

### c. Beban Gempa

Merupakan beban yang terjadi akibat pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan vertikal ataupun horizontal. Menurut SNI-1726:2012, waktu getar alami merupakan faktor yang mempengaruhi besarnya beban gempa tersebut selain kekakuan dan masa struktur,

redaman struktur, wilayah kegunaan rencana dan juga kondisi tanah. Namun yang terpenting adalah masa dari struktur, hal ini dikarenakan beban gempa merupakan gaya inersia yang tergantung dari masa struktur. Adapun beban gempa dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$V = C_s \times W_t \quad (8)$$

Persamaan untuk  $C_s$  sendiri yaitu :

$$C_s = \frac{SDS \times I_e}{R} \quad (9)$$

Selanjutnya untuk nilai  $C_s$  terdapat batasan maximum yaitu :

$$C_s = \frac{SD1}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (10)$$

serta nilai minimumnya dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \quad (11)$$

dimana :

$V$  = gaya lateral desain didasar struktur

$W_t$  = nilai kombinasi antara beban hidup dan mati yang telah direduksi

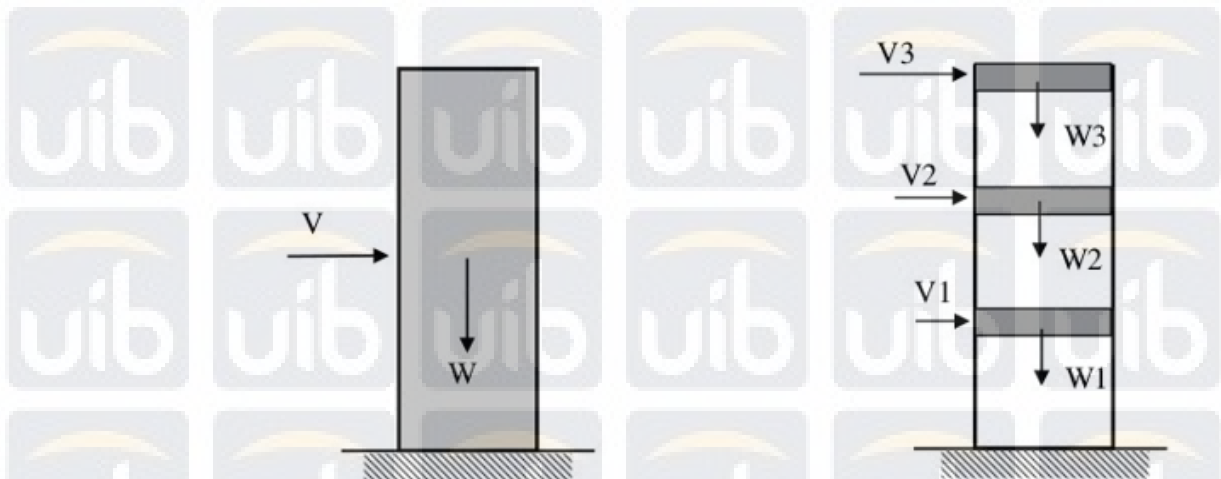
$C_s$  = faktor respon gempa

$I_e$  = faktor keutamaan struktur

$R$  = faktor reduksi gempa

$T$  = periode fundamental

Massa dari struktur dianggap terpusat pada lantai untuk bangunan gedung bertingkat. Selanjutnya beban gempa akan terdistribusi disetiap lantai



Gambar 2.4. Ilustrasi Distribusi Beban Gempa Pada Struktur

Gaya gempa lateral yang terjadi dapat dilihat pendistribusiannya berdasarkan masing-masing arah horizontal dan vertikal.

1) Distribusi gempa arah vertikal

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (12)$$

untuk  $C_{vx}$  sendiri dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \quad (13)$$

dimana :

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain didasar struktur (dalam kN)

$W_i$  dan  $W_x$  = berat efektif struktur (100% beban mati dan 30% beban hidup) yang ditempatkan pada tingkat  $x$  atau  $i$

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi tingkat dasar struktur sampai ke tingkat  $x$  atau  $i$

$k$  = eksponen struktur berdasarkan periode fundamental struktur

catatan :

Jika,  $T \leq 0,5$  maka  $k = 1$

Jika,  $T \geq 2,5$  maka  $k = 2$

## 2) Distribusi gempa arah horizontal

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (14)$$

dimana :

$F_i$  = gaya geser seismik yang terjadi pada tiap  $i$  dan dinyatakan dalam kN

### 2.6.2 Perhitungan Berat Bangunan ( $W_t$ )

Berat dari struktur bangunan sangat mempengaruhi beban gempa. Oleh karena itu untuk memperhitungkan beban gempa juga harus menghitung berat dari masing-masing lantai bangunan. Berat tersebut termasuk beban mati dan beban hidup. Namun untuk beban hidup yang bekerja harus dikalikan dengan faktor reduksi minimal sebesar 25%, hal ini mengacu kepada standar pembebanan di Indonesia.

### 2.7. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan harus cukup menopang kuat rencana beban yang akan ditahan. Berdasarkan SNI-1726:2012, Adapun kombinasi beban yang ada yaitu :

Tabel 2.12. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi 1	1,4 D
Kombinasi 2	1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau R)
Kombinasi 3	1,2D + 1,6 (Lr atau R) + (1L atau 0,5W)
Kombinasi 4	1,2D + 1W + 1L + 0,5 (Lr atau R)
Kombinasi 5	1,2D + 1L + 1E
Kombinasi 6	0,9D + 1W
Kombinasi 7	0,9D + 1E

(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*)

Untuk kombinasi nomor 5 dan 7 yang terdapat beban gempa sudah diatur dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.4. Adapun faktor dan kombinasi beban untuk beban nominal (hidup dan mati), yaitu :



- 1)  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L \pm 1,0EX \pm 0,3EY$
- 2)  $(1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0L \pm 0,3EX \pm 1,0EY$
- 3)  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D \pm 1,0EX \pm 0,3EY$
- 4)  $(0,9 - 0,2 S_{DS})D \pm 0,3EX \pm 1,0EY$

dimana :

D = merupakan beban mati pada struktur

L = merupakan beban hidup yang nilainya disesuaikan menurut SNI

E = merupakan beban gempa

Lr = merupakan beban hidup atap

R = merupakan beban hujan

W = merupakan beban angin

## 2.8. Analisa Statik Non-Linier (*Pushover Analysis*)

Analisa *pushover* merupakan suatu metode analisa statik non-linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa tiap lantai yang nilai daripada beban tersebut ditingkatkan berangsur-angsur sampai terjadinya pelelehan (sendi plastis) pada struktur bangunan yang pertama kali. Dilanjutkan kembali peningkatan sampai berubah bentuk pasca-elastis ke kondisi plastis (Utomo, 2012).

Pada proses *pushover*, akan menghasilkan kurva kapasitas yang memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan akan berubah perilaku menjadi non-linier. Kurva ini dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang dipakai sebagai beban dorong. Kurva *pushover* dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Analisa *pushover* memiliki tujuan untuk mengetahui deformasi serta gaya maksimum yang terjadi untuk meninjau bagian mana yang kritis. Dengan menggunakan analisa ini tentu dapat membantu dalam perencanaan bangunan tahan gempa asalkan sesuai dengan keterbatasan yang ada, yaitu adalah sebagai berikut (Dewobroto, 2005):

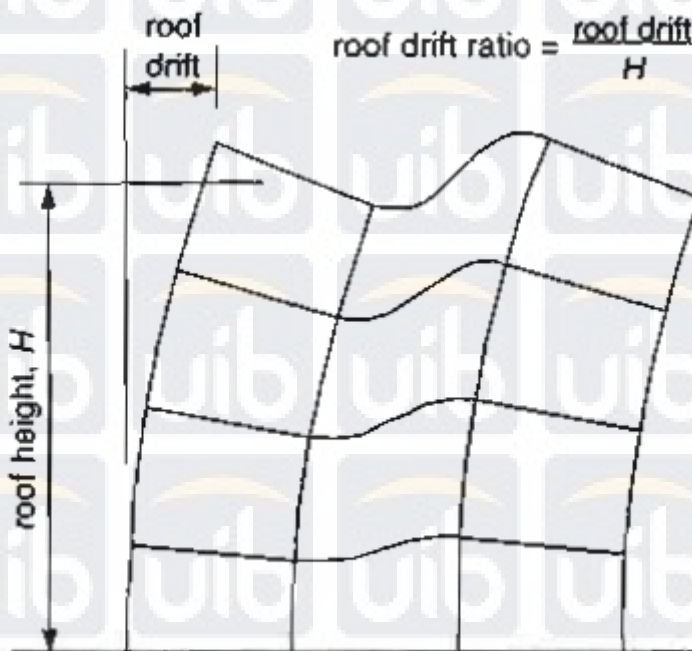
1. Hasil analisa *pushover* adalah sebuah pendekatan, hal ini dikarenakan perilaku gempa sebenarnya bersifat bolak-balik melalui siklusnya,

sedangkan sifat pembebanan dari analisa ini adalah statik monotonik (bertahap dalam satu arah)

2. Didalam analisa, pola beban lateral yang digunakan itu sangat penting, oleh karena itu pemilihan polanya perlu diperhatikan

### 2.8.1 Level Kinerja Struktur

Dalam merencanakan bangunan yang mampu menahan gempa, sangat penting untuk mengetahui level kinerja struktur dari bangunan tersebut. Adapun level kinerja struktur yang direncanakan mengacu ke tabel dibawah ini yang bersumber dari ATC 40.



Gambar 2.5. *Roof Drift* dan *Roof Drift Ratio*

Sumber : ATC-40

Tabel 2.13. Batasan Rasio *Drift* Atap

Parameter	Performance Level			
	<i>IO (Immediate Occupancy)</i>	<i>Damage Control</i>	<i>LS (Life Safety)</i>	<i>Structural Stability</i>
Total Drift Maximum	0.01	0.01 s/d 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Total Inelastic Drift Maximum	0.005	0.005 s/d 0.015	No Limit	No Limit

(Sumber : ATC 40, Tabel 11-2)

dimana :

$V_i$  = total gaya geser lateral pada lantai x

$P_i$  = total berat struktur pada lantai x

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a) Maximum *Drift*

$$\frac{D_t}{H_{Total}} \quad (15)$$

b) Maximum *Inelastic Drift*

$$\frac{D_t - D_1}{H_{Total}} \quad (16)$$

dimana :

$D_t$  = perpindahan (*displacement*) pada atap

$D_1$  = perpindahan (*displacement*) pada lantai 1 atau satu tingkat diatas lantai tumpuan

Untuk batas kinerja ultimit struktur menurut SNI-1726 yaitu perpindahan pada lantai atap harus lebih kecil dari 2% dikali ketinggian struktur.

### 2.8.2 Batas Simpangan Antar Tingkat

Dalam analisisnya, batas simpangan antar tingkat atau lantai tidak boleh melebihi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

Tabel 2.14. Simpangan Antar Tingkat

Struktur	Kategori Resiko		
	I & II	III	IV
Struktur selain dinding geser batu bata, struktur <4 tingkat dengan partisi, langit-langit, dinding interior, dan sistem dinding exterior dinding yang didesain mengakomodasi simpangan antar lantai.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever (batu bata)	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser (batu bata lainnya)	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

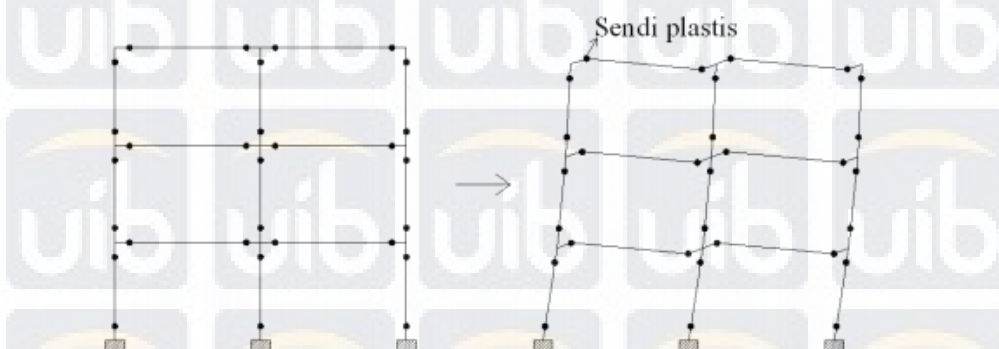
(Sumber : SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Tabel 16)

dimana :

$h_{sx}$  = tinggi tingkat dibawah tingkat x

## 2.9. Sendi Plastis

Bentuk ketidakmampuan dari elemen struktur (kolom serta balok) untuk menahan gaya dalam disebut Sendi plastis (*hinge*), atau dengan kata lain jika struktur bangunan menerima beban gempa yang melebihi tingkat elastisitas kekakuan strukturnya maka akan muncul sendi plastis. "Kolom kuat balok lemah" merupakan konsep desain yang harus disesuaikan oleh perencana terhadap perencanaan yang sedang dikerjakan. Karena jika terjadi keruntuhan struktur, diharapkan yang runtuh adalah balok-balok terlebih dahulu baru dilanjutkan dengan kolom. Jika kolom dahulu maka dipastikan struktur akan langsung hancur.



Gambar 2.6. Sendi Plastis pada Balok dan Kolom

Sumber : (Dewobroto, 2005)