

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Perencanaan Pembebanan

Pembebanan merupakan komponen penting dalam perancangan suatu bangunan. Perencanaan pembebanan yang tepat menentukan daya layan dari suatu bangunan, meliputi elemen-elemen struktur yang kuat dan aman agar mampu bekerja sesuai dengan kombinasi pembebanan yang telah direncanakan. Perencanaan pembebanan yang digunakan ialah kombinasi dari beban mati, beban hidup dan beban gempa.

##### 3.1.1 Kuat Perlu

Kuat perlu ialah kekuatan suatu komponen struktur yang diperlukan untuk mampu melayani beban terfaktor yang bekerja pada komponen struktur tersebut. Kuat perlu dapat dihitung berdasarkan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013 yaitu sebagai berikut:

$$U = 1,4 D \quad (3-1)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L \quad (3-2)$$

$$U = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-3)$$

$$U = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-4)$$

$$U = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-5)$$

$$U = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-6)$$

$$U = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-7)$$

$$U = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-8)$$

$$U = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-9)$$

$$U = (1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-10)$$

$$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-11)$$

$$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-12)$$

$$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y \quad (3-13)$$

$$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y \quad (3-14)$$

$$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-15)$$

$$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-16)$$

$$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y \quad (3-17)$$

$$U = (0,9 - 0,2 S_{Ds}) D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y \quad (3-18)$$

Keterangan :

$U$  = Kuat perlu

$D$  = Beban mati

$L$  = Beban hidup

$E_x$  = Beban gempa arah x

$E_y$  = Beban gempa arah y

$\rho$  = Faktor redudansi

$S_{Ds}$  = Parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek

### 3.1.2 Kuat Rencana

Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) (SNI 2847:2013 pasal 9.3).

Tabel 3.1 Faktor Reduksi ( $\phi$ ) Kekuatan Desain

No	Keterangan	Faktor Reduksi ( $\phi$ )
1	Penampang terkendali tarik	0,9
2	Penampang terkendali tekan	0,75
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
3	Geser dan torsi	0,75
4	Tumpuan pada beton	0,65
5	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6	Model strat pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan ( <i>nodal</i> ), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
7	Penampang lentur dalam komponen struktur pra tarik dimana penanaman strand kurang dari panjang penyaluran	0,75
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran $\phi$ boleh ditingkatkan secara linier	

(Sumber : SNI 2847:2013 subpasal 9.3.2.1 – 9.3.2.7)

### **3.2 Perencanaan Terhadap Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012**

Gempa mengakibatkan struktur mengalami getaran yang bersumber dari lapisan tanah yang didudukinya. Getaran yang dialami oleh bangunan terjadi secara acak dan dalam berbagai arah, yang mengakibatkan sebuah struktur kemungkinan mengalami resiko kerusakan. Dalam perancangan suatu bangunan, ditetapkan pedoman atau standar yang harus dipenuhi oleh bangunan tersebut agar mampu menahan beban yang terjadi akibat gempa.

Berikut adalah pedoman/syarat untuk struktur bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726:2012:

### 3.2.1 Gempa Rencana

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat sebesar 2 persen selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

### 3.2.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Faktor keutamaan dan kategori risiko struktur bangunan dijelaskan sesuai dalam tabel 3.2 dan tabel 3.3:

Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko, I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II

Tabel 3.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung Pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>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.</p>	III

Tabel 3.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- 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 disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 4.1.2)

Kategori risiko memiliki faktor keutamaan gempa yang berbeda. Berikut merupakan tabel 3.3 nilai faktor keutamaan tiap kategori risiko :

Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 4.1.2)

### 3.2.3 Kelas Situs

Klasifikasi kelas situs memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Berikut ketentuan kelas situs sesuai tabel 3.4 :

Tabel 3.4 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Tabel 3.4 Klasifikasi Situs (Lanjutan)

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25\text{kPa}$		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3\text{m}$ ) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{m}$ dengan $\bar{S}_u < 50\text{kPa}$		

**CATATAN:** N/A = tidak dapat dipakai  
 (Sumber : SNI 1726:2012, pasal 5.3)

Keterangan :

$\bar{v}_s$  = Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata

$\bar{N}$  atau  $\bar{N}_{ch}$  = Tahanan Penetrasi standar rata-rata dan tahanan penetrasi standar rata-rata tanah non-kohesif

$\bar{S}_u$  = Kuat geser niralir rata-rata

### 3.2.4 Parameter Percepatan Terpetakan

Untuk mendapatkan data parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek ( $S_s$ ) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik ( $S_I$ ) dapat diperoleh dari situs/*website* Desain Spektra Indonesia.

[http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)

### 3.2.5 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa

Untuk penentuan 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 spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{MI}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3-19)$$

$$S_{MI} = F_v S_I \quad (3-20)$$

Keterangan:

$S_s$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek;

$S_I$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Tabel 3.5 Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter respons spektral 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
SF	SS <sup>b</sup>				

(Sumber SNI 1726:2012, pasal 6.2)

Tabel 3.6 Koefisien Situs,  $F_v$ 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan Pada perioda pendek, $T = 1$ detik, $S_1$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	1,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

(Sumber SNI 1726:2012, pasal 6.2)

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara  $S_I$  dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

### 3.2.6 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-21)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-22)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan respons spectral pada perioda pendek

$S_{MS}$  = Parameter percepatan respons spectral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan dengan kelas situs

$S_{D1}$  = Parameter percepatan respons spectral pada perioda 1 detik

$S_{M1}$  = Parameter percepatan respons spectral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan dengan kelas situs

### 3.2.7 Spektrum Respons Desain

Menurut SNI 1726:2012 spektrum respons desain dapat ditentukan dengan ketentuan dibawah ini:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-23)$$

2. Untuk perioda lebih besardari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ ;
3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3-24)$$

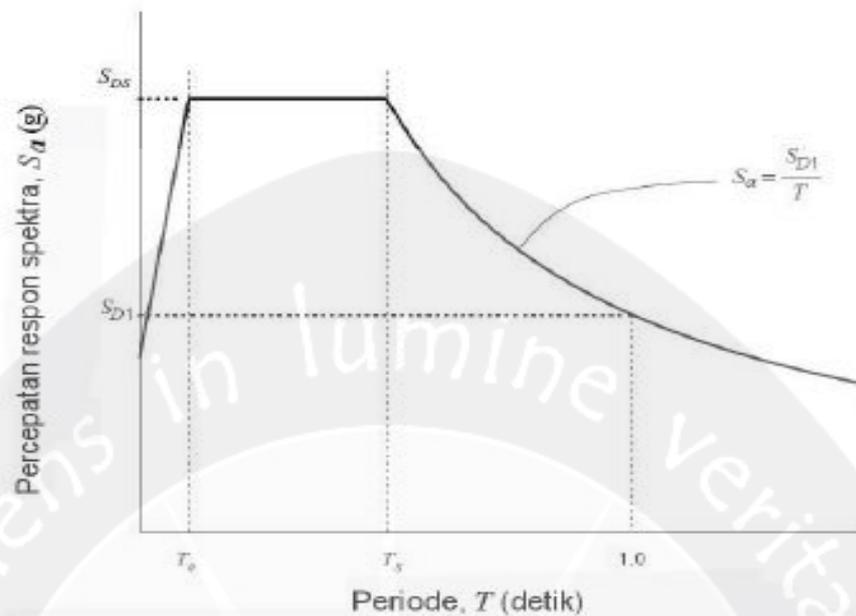
Keterangan:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan respons spectral pada perioda pendek;

$S_{D1}$  = Parameter percepatan respons spectral pada perioda 1 detik;

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 3.1 Spektrum respons desain

(Sumber: SNI 1726:2012 pasal 6.4)

### 3.2.8 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dapat ditentukan berdasarkan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  sesuai dengan tabel berikut:

Tabel 3.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 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	B
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	C
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 6.5)

Tabel 3.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

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

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 6.5)

### 3.2.9 Pemodelan Struktur

Menurut SNI 1726:2012 pemodelan 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:

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

### 3.2.10 Prodesur Gaya Lateral Ekivalen

Perancangan suatu bangunan gedung perlu diperhatikan gaya-gaya lateral yang terjadi pada suatu bangunan akibat adanya gempa yang terjadi. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8 dijelaskan prosedur-prosedur untuk menghitung gaya lateral ekivalen sebagai berikut:

#### a. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik,  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (3-25)$$

Keterangan:

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat seismik efektif

Dimana, koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-26)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam tentang perioda pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

#### b. Penentuan perioda

Perioda fundamentalstruktur,  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan

dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dan periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1. sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur,  $T_a$ , dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-27)$$

Keterangan:

$h_n$  adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan pada tabel 3.10

Tabel 3.9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 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, pasal 7.8.2)

Tabel 3.10 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 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:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

(Sumber: SNI 1726:2012, pasal 7.8.2)

### 3.3 Perencanaan Elemen Struktur

#### 3.3.1 Perencanaan Pelat

Struktur pelat memiliki 2 jenis pelat yaitu, pelat satu arah dan pelat dua arah. Dimana pelat satu arah ialah pelat yang didukung pada kedua tepi yang berhadapan, sehingga lenturan yang timbul hanya dalam satu arah saja, sedangkan pelat dua arah ialah pelat yang didukung pada keempat tepinya, sehingga lenturan yang timbul dalam dua arah. Untuk menentukan pilihan jenis pelat lantai yang akan digunakan perlu dihitung perbandingan antara panjang ( $l_x$ ) dan lebar ( $l_y$ ) pelat. Apabila hasil perbandingannya  $l_y/l_x < 2$  maka termasuk dalam jenis pelat satu arah, sedangkan apabila hasil perbandingan  $l_y/l_x \geq 2$  maka dapat dihitung dengan dianggap sebagai pelat dua arah.

### 3.3.1.1 Pelat Satu Arah

Tabel 3.11 Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitng

Komponen struktur	Tebal minimum, $h$			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	$l / 20$	$l / 24$	$l / 28$	$l / 10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l / 16$	$l / 18,5$	$l / 21$	$l / 8$
<p><b>CATATAN:</b>            Panjang bentang dalam mm.            Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut:</p> <p>a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), <math>w_0</math>, di antara 1440 sampai 1840 <math>\text{kg/m}^3</math>, nilai tadi harus dikalikan dengan <math>(1,65-0,000w_c)</math> tetapi tidak kurang dari 1,09.</p> <p>c. Untuk <math>f_y</math> selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan <math>(0,4+f_y/700)</math></p>				

(Sumber: Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013, pasal 9.5)

### 3.3.1.2 Pelat Dua Arah

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2 diatur ketentuan untuk pelat dua arah, dimana untuk pelat tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan tabel 3.12.

Tabel 3.12 Tebal minimum pelat tanpa balok interior\*

Tegangan leleh, $f_y$ MPa <sup>b</sup>	Tanpa penebalan <sup>c</sup>			Dengan penebalan <sup>c</sup>		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>d</sup>		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>d</sup>	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

Untuk konstruksi dua arah,  $l_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.

†Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

‡Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5

§Pelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai  $\alpha_f$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(Sumber: Tabel 9.5(c) SNI 2847:2013)

Untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya,  $h$ , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk  $\alpha_{fm}$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus memenuhi tabel 3.12;
2. Untuk  $\alpha_{fm}$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 0,2,  $h$  tidak boleh kurang dari persamaan berikut:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-28)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

3. Untuk  $\alpha_{fm}$  lebih besar 0,2, ketebalan pelat minimum ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{\ln\left(0,8\left|1 + \frac{f_y}{1400}\right.\right)}{36+9\beta} \quad (3-29)$$

dan tidak kurang dari 90 mm;

4. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan  $\alpha_f$  tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan dengan persamaan (3-28) dan (3-29) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

### 3.3.2 Perancangan Balok

Proses desain balok adalah memperhatikan bagaimana sebuah penampang elemen struktur yang mampu menahan atau memikul momen maksimum yang terjadi. Berdasarkan Herlian (2017), dalam merancang balok ada beberapa langkah yang digunakan yaitu:

1. Menentukan  $f'_c$  dan  $f_y$  tulangan baja dan dimensi yang akan digunakan.
2.  $M_u$  diperoleh dari hasil bantuan program ETABS
3. Menentukan  $d_{asumsi}$
4. Menghitung nilai  $R_n$
5. Menghitung  $\rho_{perlu}$  yang dipakai sesuai dengan syarat  $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{maks}$
6. Menghitung  $A_s$  dan jumlah tulangan
7. Cek jarak bersih antar tulangan, menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih besar dari 25 mm
8. Menghitung  $d_{aktual}$  dan  $A_{saktual}$

9. Menghitung  $a$ ,  $c$ , dan  $\epsilon_t$

10. Menghitung  $\phi Mn$

### 3.3.2.1 Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.2, untuk daerah tarik tumpuan diambil nilai  $M_u = M_n$ . Untuk daerah desak tumpuan  $M_u = 0,5M_u$  dari ETABS. Pada daerah tarik maupun desak lapangan  $M_u = 0,25M_u$  dari ETABS.

$$R_{nperlu} = \frac{M_u}{0,9bwd^2} \quad (3-30)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,8f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,8f_c}} \right) \quad (3-31)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3-32)$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \quad (3-33)$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1 rasio tulangan  $\rho$  tidak boleh melebihi 0,025.

Luas tulangan yang diperlukan

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \times b_w \times d \quad (3-34)$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{A_{sperlu}}{\text{luas 1 tulangan}} \quad (\text{pembulatan keatas}) \quad (3-35)$$

Menentukan a dan c

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f' c b_w} \quad (3-36)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (3-37)$$

dimana untuk  $f'c > 28$  MPa,  $\beta_1$  menggunakan persamaan dibawah:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7}(f'c-28) \quad (3-38)$$

Menghitung  $\varepsilon_t =$

$$\varepsilon_t = 0,003 \left( \frac{d_t - c}{c} \right) \quad (3-38)$$

Memeriksa syarat  $\phi M_n$  (momen desain)  $\geq M_u$  (momen terfaktor)

### 3.3.2.2 Tulangan Geser

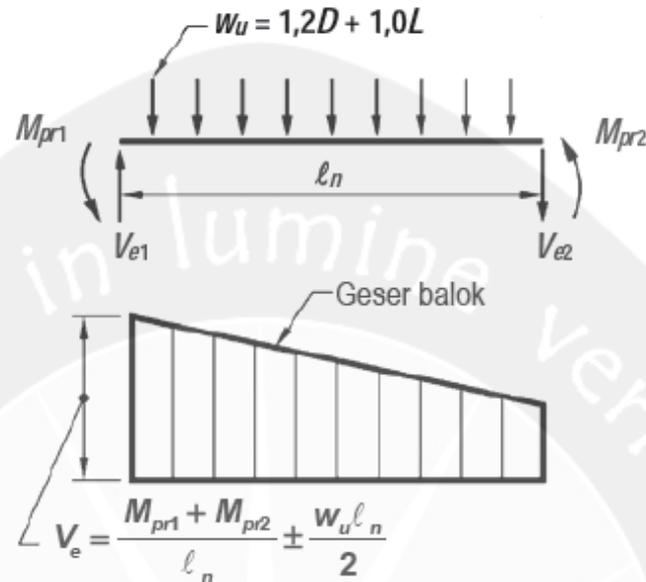
Menurut pasal 21.5.4.1 SNI 2847:2013, gaya geser desain ( $V_e$ ) harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin,  $M_{pr}$ , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributary terfaktor sepanjang bentangnya.

Nilai kuat lentur maksimum tulangan:

$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y \left( d - 0,59 \frac{A_s 1,25 f_y}{f' c b_w} \right) \quad (3-39)$$

Gaya geser akibat gempa dihitung dengan persamaan:

$$V_e = \frac{M_{pr1}M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2} \quad (3-40)$$



Gambar 3.2 Gaya Geser Desain  
(Sumber: SNI 2847:2013 gambar S21.5.4)

SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.2 menjelaskan bahwa pada daerah sendi plastis,  $V_c = 0$ , bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:

- Gaya geser ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai 21.6.5.1, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $l_o$ ;
- Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , termasuk pengaruh gempa kurang dari  $Agf'c/10$ .

Jika kontribusi geser dari beton  $\neq 0$ , dalam SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1 menetapkan persemaian kuat geser beton untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur sebagai berikut:

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-41)$$

Dengan  $\lambda = 1$  untuk beton normal.

Kuat geser nominal yang harus ditahan oleh tulangan geser dihitung dengan persamaan:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-42)$$

Dengan nilai  $V_s$  maksimal:

$$V_s \max = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-43)$$

Spasi tulangan geser dihitung menggunakan persamaan:

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (3-44)$$

Pada pasal 21.5.3.2 SNI 2847:2013, sengkang tertutup pertama harus ditempatkan  $\leq 50$ mm dari muka komponen struktur. Spasi sengkang tidak melebihi syarat dibawah ini:

- a.  $d/4$
- b. 6 kali diameter batang tulangan lentur utama
- c. 150 mm
- d. Sedangkan menurut pasal 11.4.5.1 SNI 2847:2013, pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi  $\leq d/2$  pada komponen struktur.

### 3.3.3 Perancangan Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang memiliki kapasitas pikul-beban tekan yang bergantung pada panjang relatif dan karakteristik dimensional penampang melintang elemen tersebut (khususnya dimensi terkecil dari penampang melintang), selain juga bergantung pada sifat material yang digunakan (Schodek,1998). SNI 2847:2013 pasal 10.3.6.2 Untuk komponen struktur non-

prategang dengan tulangan pengikat dapat ditentukan desain beban aksial dengan persamaan:

$$\phi P_n \text{ maks} = 0,8 \phi [0,85 \phi f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-45)$$

dengan nilai  $\phi = 0,65$

### 3.3.3.1 Kelangsingan Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.10.1, untuk komponen struktur tekan yang bergoyang, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan jika:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-46)$$

Keterangan:

$k$  = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

$r$  = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan

$l_u$  = panjang bersih komponen struktur tekan

### 3.3.3.2 Kuat lentur

Dalam perancangan kolom, kuat lentur yang dirancang harus memiliki kekuatan untuk menahan momen balok yang bekerja pada kedua arah. Momen minimum dirancang 20% lebih besar daripada momen balok disuatu hubungan balok kolom untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Pada pasal 21.6.2.2 SNI 2847:2013, terdapat persamaan:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (3-47)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$  = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus

dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$  = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint. Pada konstruksi balok-T, bilamana slab dalam kondisi tarik akibat momen-momen di muka joint, tulangan slab dalam lebar slab efektif yang didefinisikan dalam 8.12 harus diasumsikan menyambung kepada  $\sum M_{nb}$  jika tulangan slab disalurkan pada penampang kritis untuk lentur.

### 3.3.3.3 Gaya Geser Rencana

Gaya geser desain,  $V_e$ , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka joint. Maka  $V_e$  harus ditentukan dari kuat momen maksimum  $M_{pr}$  dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu balok dan kolom (SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.1).

Pasal 11.1 SNI 2847:2013 menjelaskan bahwa tentang perencanaan penampang geser harus memenuhi:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-48)$$

Dimana  $V_u$  adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $V_n$  adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan:

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-49)$$

Keterangan:

$V_c$  = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton

$V_s$  = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser

Sesuai dengan pasal 11.2.1.2 SNI 2847:2013, kuat geser yang disediakan oleh beton untuk komponen struktur yang dibebani gaya tekan aksial ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{Nu}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-50)$$

dan

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3-51)$$

Keterangan:

$A_v$  = luas tulangan geser

$V_s$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

$A_g$  = luas bruto penampang kolom

$N_u$  = beban aksial terfaktor yang terjadi

$b_w$  = lebar balok

$f_y$  = tegangan leleh baja

$f'_c$  = kuat tekan beton

#### 3.3.3.4 Tulangan Transversal Kolom

Untuk menjamin daktilitas apabila terjadi pembentukan sendi plastis, maka ujung-ujung kolom perlu cukup pengekanan. Tulangan transversal juga diperlukan untuk mencegah kegagalan geser (Herlian, 2017).

Menurut pasal 21.6.4.4 SNI 2847:2013, luas penampang total tulangan sengkang persegi ditentukan:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{S_b c f'_c}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3-52)$$

$$A_{sh} = 0,9 \frac{S_b c f'_c}{f_{yt}} \quad (3-53)$$

Keterangan:

$A_{sh}$  = luas total penampang sengkang tertutup persegi

$A_g$  = luas bruto penampang

$A_{ch}$  = luas penampang dari sisi luar kesisi tulangan transversal

$b_c$  = dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas  $A_{sh}$

$s$  = spasi tulangan

$f_{yh}$  = tegangan leleh baja tulangan transversal

$f'_c$  = kuat tekan beton

SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3 menjelaskan, spasi tulangan transversal sepanjang panjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum;
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan

$$c. \quad s_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (3-54)$$

dengan nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.