

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Pembebanan

Dalam perancangan bangunan gedung, perencanaan pembebanan merupakan suatu komponen yang sangat penting, beban-beban yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung antara lain beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.1.1 Kuat Perlu

Kuat perlu dihitung berdasarkan kombinasi beban sesuai dengan SNI 2847 2013 dan SNI 1726 2012, berikut kombinasi kuat perlu yang digunakan :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

U = kuat perlu

D = beban mati

L = beban hidup

E_x = beban gempa (arah x)

E_y = beban gempa (arah y)

ρ = faktor redundansi

3.1.2 Kuat Rencana

Menurut SNI 2847-2013, 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 yang dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ . Faktor reduksi kekuatan ϕ menurut SNI 2847-2013 dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor Reduksi (ϕ) Kekuatan Desain

No	Keterangan	Faktor Reduksi (ϕ)
1	Penampang terkendali tarik	0.9
2	Penampang terkendali tekan a. Komponen struktur dengan tulangan spiral b. Komponen struktur bertulang lainnya	0.75 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 pratarik dimana penanaman strand kurang dari panjang penyaluran a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier dari	0.75 0.75 - 0,9

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

3.2 Perencanaan Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

3.2.1 Gempa Rencana

Berdasarkan pasal 4.1.1 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen. Akibat adanya pengaruh gempa rencana, apabila terjadi gempa dan bangunan sudah diambang keruntuhan maka struktur gedung secara keseluruhan masih dapat berdiri.

3.2.2 Menentukan Parameter S_s dan S_l

Parameter percepatan terpetakan untuk periode pendek S_s dan periode satu detik S_l ditentukan melalui *website* desain spektra Indonesia (<http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/>)

3.2.3 Menentukan Koefisien F_a dan F_v

Penentuan koefisien F_a dan F_v berdasarkan nilai parameter percepatan terpetakan untuk periode pendek dan periode satu detik. Koefisien didapat dengan cara interpolasi linier dari tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 3.2 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (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 ^b				

(Sumber: Tabel 4 SNI 1726:2013, hal 22)

Tabel 3.3 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode satu detik, T=1 detik, S_l				
	$S_l \leq 0,1$	$S_l = 0,2$	$S_l = 0,3$	$S_l = 0,4$	$S_l \geq 0,5$
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 ^b				

(Sumber: Tabel 5 SNI 1726:2013,hal 22)

3.2.4 Menentukan S_{MS} dan S_{MI}

Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode satu detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

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

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

Keterangan:

S_S = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_I = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode satu detik

F_a = faktor amplifikasi periode pendek

F_I = faktor amplifikasi periode satu detik

3.2.5 Menentukan S_{DS} dan S_{DI}

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode satu detik, S_{DI} dapat ditentukan dengan rumus di bawah:

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

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3-22)$$

Keterangan:

S_{MS} = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

3.2.6 Kategori Resiko Struktur Bangunan

Setiap jenis pemanfaatan bangunan gedung dan non gedung memiliki kategori resiko tertentu. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung sesuai tabel 3.4 terhadap beban pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.5

Tabel 3.4 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III

Lanjutan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko 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"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko 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</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 disyaratkan untuk beroperasi pada saatkeadaan darurat <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, hal 14)

3.2.7 Faktor Keutamaan

Dalam perencanaan gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor pengali berdasarkan kategori resiko gedung untuk menyesuaikan periode ulang gempa. Berikut ini merupakan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 4.1.2

Tabel 3.5 Faktor keutamaan gempa

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

(Sumber: SNI 1726:2012, hal 15)

3.2.7 Kategori Desain Seismik (KDS)

Struktur perlu memiliki suatu kategori desain seismik berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, baik pada periode pendek (S_{Ds}) maupun pada periode 1 detik (S_{D1}).

Tabel 3.6 Kategori desain seismik pada periode pendek (S_{Ds})

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

(Sumber : Tabel 6- SNI 1726: 2012, hal 24)

Tabel 3.7 Kategori desain seismik pada periode 1 detik (SDI).

Nilai SDS	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDI < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SDI < 0,133$	B	B
$0,133 \leq SDI < 0,20$	C	C
$0,20 \leq SDI$	D	D

(Sumber : Tabel 6- SNI 1726: 2012, hal 24)

3.2.8 Struktur Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu orthogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel 9 SNI 1726: 2012, hal 34-37

Tabel 3.8 Faktor R , C_d , Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan beban lateral	R	Ω_0	C_d	Batasan system struktur dan batasan Tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
Sistem Rangka Pemikul Momen								
1. Rangka baja pemikul momen Khusus	8	3	5,5	TB	TB	48	48	30
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen Menengah	4,5	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen Biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB

Lanjutan

6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	2	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5	10	10	10	10	10

(Sumber : tabel 9 SNI 1726: 2012, hal 34-37)

3.2.9 Periode Fundamental

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 perioda fundamental pendekatan

(T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

1. Periode Fundamental Pendekatan minimum (T minimum)

$$T_{a\min} = C_t h_n^x \quad (3-23)$$

Keterangan

T_a = perioda fundamental struktur (detik)

h_n = ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t dan x merupakan nilai koefisien ditentukan dari Table 3.9

Tabel 3.9 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan X

Tipe struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Sumber : Tabel 15-SNI 1726:2012, hal 56)

2. Periode Fundamental Pendekatan Maksimum (T maksimum)

$$T_{a\max} = C_u T_a \quad (3-24)$$

Tabel 3.10 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, SD1	Koefisien C_u
$\leq 0,4$	1,4
0,3	dan gambar kurva 1,4
0,2	1,5
0,15	1,6

(Sumber: SNI 1726:2012, hal 56)

3.2.10 Desain Respons Spektrum

Spektrum respons desain mengacu pada beberapa ketentuan berikut:

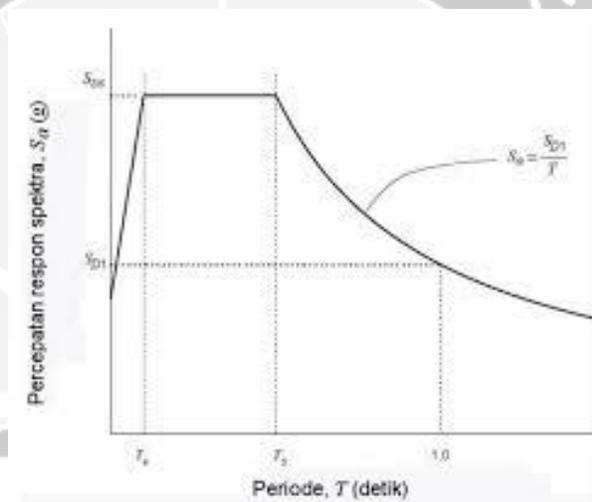
1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain

(S_a) harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{Ds} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-25)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari 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 :

$$S_a = \frac{S_{Ds}}{T} \quad (3-26)$$



Gambar 3.1 Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726:2012 pasal 6.4)

Keterangan:

S_{Ds} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad (3-27)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \quad (3-28)$$

3.2.11 Koefisien Respons Gempa

Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan melalui persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-29)$$

Keterangan:

S_{Ds} = parameter percepatan spektrum respons pada perioda 1,0 detik

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Selanjutnya, nilai C_s tidak boleh melebihi

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-30)$$

Dengan syarat C_s :

$$C_s \text{ min} = 0,044 S_{Ds} I_e$$

$$C_s \text{ min} = 0,01$$

$$C_s \text{ min} = \frac{0,5S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{hanya untuk } S_1 \geq 0,6 \text{ g})$$

Digunakan C_s terkecil

3.2.12 Gaya Geser Gempa

Gaya geser gempa (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (3-31)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

3.2.13 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Distribusi beban lateral per lantai (F_x) dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} V \quad (3-32)$$

Dengan nilai C_{vx} Adalah

$$C_{vx} = \sum_{i=1}^n \frac{w_x h_x^k}{w_i h_i^k} \quad (3-33)$$

$$k = 0,5T + 0,75 \quad (3-34)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (W) (kN)

w_i dan w_x = bagian berat seismik efekti total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur :

untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang,

$$k=1$$

untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau kurang,

$$k=2$$

untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

3.3 Perancangan Elemen Struktur

3.3.1 Perancangan Pelat

3.3.1.1 Pelat Satu Arah

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.5.2 perencanaan tebal pelat satu arah harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\frac{l_y}{l_x} > 2 \quad (3-35)$$

Keterangan:

l_y = bentang terpanjang pelat.

l_x = bentang arah tegak lurus bentang terpanjang pelat.

Tabel 3.11 Tebal minimum pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Tebal minimum, h				
	Tertumpu Sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
Komponen Struktur	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat massif satu arah	l/20	l/24	l/28	l/10

Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
Catatan: - Panjang bentang dalam mm - Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan dengan mutu 420 Mpa. - Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut: - Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (w_c) di antara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09 - Untuk f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $0,4 + f_y/700$				

(Sumber: Tabel 9.5(a) SNI 2847:201, hal 67)

3.3.1.2 Pelat Dua Arah

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2 perencanaan tebal pelat dua arah harus memenuhi syarat rasio bentang panjang terhadap bentang pendek tidak lebih dari 2. Penentuan tebal minimum pelat dua arah harus memenuhi ketentuan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3 sebagai berikut:

- Untuk α_{fm} yang sama atau lebih dari 0,2, menggunakan tabel 3.12.
- Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari:

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

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-37)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Keterangan:

h = tinggi minimum pelat

l_n = bentang bersih terbesar pelat

β = rasio antara bentang bersih terbesar dan bentang bersih terpendek pelat

α_{fm} = nilai rata-rata rasio kekauan balok terhadap pelat

f_y = tegangan leleh (MPa)

Tabel 3.12 Tebal minimum pelat tanpa balok interior*

Tegangan leleh, f_y MPa ^b	Tanpa penebalan ^c			Dengan penebalan ^c		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^d		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^d	
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.
^bUntuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
^cPanel drop didefinisikan dalam 13.2.5
^dPelat dengan balok di antara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(Sumber: Tabel 9.5(c) SNI 2847:2013, hal 72)

Pasal 13.3 SNI 2847:2013 menjelaskan bahwa syarat luas tulangan pelat ditentukan dari momen-momen pada penampang kritis. Jarak tulangan pada

penampang kritis tidak boleh melebihi dua kali tebal pelat. Pada pelat diperlukan tulangan susut dan suhu. Tulangan untuk tegangan susut dan suhu harus tegak lurus terhadap tulangan lentur. Pasal 7.12.2.1 SNI 2847:2013 menerangkan luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:

- a. Tulangan ulir f_y 280 atau 350 MPa, $A_s \text{ min} = 0,0020 bh$
- b. Tulangan ulir atau tulangan kawat las $f_y = 420$ MPa, $A_s \text{ min} = 0,0018 bh$
- c. Tulangan ulir $f_y > 420$ MPa, $A_s \text{ min} = 0,0018(420/f_y) bh$

Syarat tulangan susut dan suhu, tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau tidak lebih dari 450 mm.

3.3.2 Perancangan Tangga

Beberapa langkah yang dilakukan dalam merancang tangga adalah (Wigroho, 2008):

- a. Menentukan denah ruang tangga

Hal-hal yang diperhatikan dalam merencanakan ruang tangga, antara lain lebar bordes, tinggi oprade (Op) antara 150 – 200 mm, antrede (An) antara 280– 300 mm.

$$\text{Jumlah anak tangga } n = \frac{H}{Op} \quad (3-38)$$

$$\text{Sudut kemiringan tangga } \alpha = \tan^{-1} \frac{Op}{An} \quad (3-39)$$

Keterangan:

H = tinggi lantai

Op = optrede

An = antrede

n = jumlah anak tangga

b. Merencanakan beban tangga

Beban tangga dapat berupa beban gravitasi, antara lain beban hidup dan beban mati. Tebal pelat tangga mempengaruhi beban mati yang bekerja pada tangga

c. Merencanakan penulangan tangga

Penulangan pada tangga mencakup tulangan memanjang, tulangan susut dan suhu.

3.3.3 Perancangan Balok

Tahapan perencanaan balok dilakukan dengan :

1. Menentukan dimensi balok

Menurut Kusuma dan Vis (1993) ukuran balok cukup diperkirakan dengan:

$$h = \frac{1}{15}l \sim \frac{1}{10}l$$

$$b = \frac{1}{2}h \sim \frac{2}{3}h$$

2. Perhitungan tulangan longitudinal balok

Pada perencanaan tulangan lentur, momen lentur akibat beban terfaktor diperoleh dari hasil analisis struktur dari bantuan program ETABS.

Koefisien tahanan didefinisikan dengan persamaan:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \quad (3-40)$$

Rasio tulangan dibutuhkan pada komponen struktur lentur adalah :

$$\rho_{perlu} = \frac{0,8 f' c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,8 f' c}} \right) \quad (3-41)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau,} \quad \rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f' c}}{f_y} \quad (3-42)$$

$$\rho_{max} = 0,025 \quad \text{Pasal 21.5.2.1 SNI 2847 2013} \quad (3-43)$$

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan } A_{s\ perlu} = \rho_{perlu} b d \quad (3-39)$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_{s\ perlu}}{\text{luas 1 tulangan}} \quad (\text{pembulatan keatas}) \quad (3-40)$$

$$\text{Menentukan } a \text{ dan } c : a = \frac{A_s f_y}{0,85 f' c b_w} \quad \text{dan} \quad c = \frac{a}{\beta_1} \quad (3-41)$$

$$\text{Menghitung } \varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d_t - c}{c} \right) \quad (3-42)$$

Periksa syarat $\phi M_n \geq M_u$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-43)$$

3. Perhitungan tulangan geser balok

Berdasarkan pasal 21.5.4.1 SNI 2847 2013 menyatakan bahwa gaya geser rencana V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka muka join.

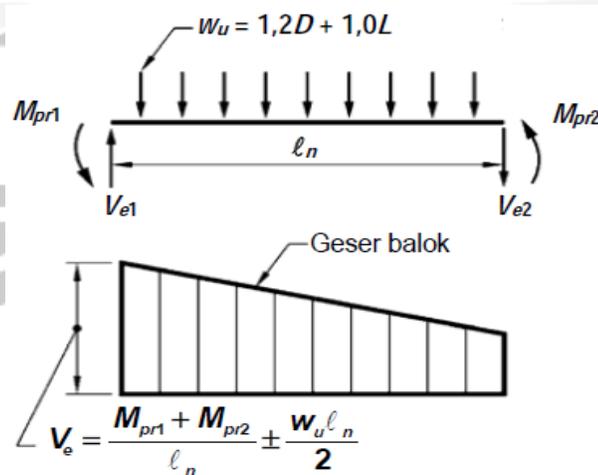
Nilai kuat lentur maksimum tulangan dapat dihitung dengan

$$a_{pr} = \frac{A_s \cdot 1,25 \cdot f_y}{0,85 \cdot b \cdot f'_c}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \quad (3-44)$$

Gaya geser akibat gempa dihitung dengan

$$V = \frac{M_{pr1} M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2} \quad (3-45)$$



Gambar 3.2 Geser desain

(Sumber: SNI 2847:2013 pasal 21.6)

Pasal 21.5.3.2 SNI 2847 2013 menyatakan bahwa kuat geser beton ($V_c=0$) apabila tinjauan pada muka-muka joint (daerah tumpuan). Apabila tinjauan di tengah bentang (daerah lapangan) maka V_c dihitung dengan menggunakan persamaan

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'c}b.d \quad (3-46)$$

Dengan $\lambda = 1$ untuk beton normal.

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

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-47)$$

Dengan nilai $V_s \max = \frac{2}{3}\sqrt{f'c}b.d \quad (3-48)$

Spasi tulangan geser sesuai pasal 11.4.7.2 SNI 2847 2013 dihitung dengan persamaan:

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (3-49)$$

Menurut pasal 21.5.3.2 SNI 2847: 2013, sengkang tertutup pertama harus ditempatkan ≤ 50 mm dari muka komponen struktur. Spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a. $d/4$
- b. 6 kali diameter batang tulangan lentur utama
- c. 150 mm

3.3.4 Perancangan Kolom

Estimasi dimensi kolom ditentukan berdasarkan beban aksial yang bekerja diatas kolom tersebut. Beban yang bekerja meliputi beban mati dan hidup balok, pelat, serta berat dari lantai di atas kolom tersebut. Untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang berdasarkan pasal 10.3.6.2 SNI 2847 2013 :

$$\phi P_n \text{ maks} = 0,8 \phi [0,85 f_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-50)$$

Dengan nilai $\phi = 0,65$

3.3.4.1 Kelangsingan kolom

Berdasarkan pasal 10.10.1 SNI 2847:2013 pengaruh kelangsingan pada komponen struktur yang ditahan terhadap goyangan samping dapat diabaikan jika :

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (3-51)$$

Sedangkan pengaruh kelangsingan pada komponen struktur yang tidak ditahan terhadap goyangan samping dapat diabaikan jika :

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-52)$$

Keterangan :

k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

r = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan

l_u = panjang bersih komponen struktur tekan

M₁, M₂ = momen ujung terfaktor kolom yang posisinya berlawanan

3.3.4.2 Kuat Lentur

Kuat lentur yang dirancang harus memiliki kekuatan untuk menahan momen balok yang bekerja pada kedua arah. Momen yang dirancang harus lebih besar dibanding momen balok disuatu hubungan balok kolom untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral.

Bersasarkan Pasal 21.6.2.2 SNI 2847: 2013, kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (3-53)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok kolom. Kuat lentur nominal harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, yang sesuai dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur nominal terkecil.

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka pada hubungan balok kolom.

3.3.4.3 Gaya Geser Rencana

Berdasarkan SNI 21.5.4.1 SNI 2847 2013 gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari kuat momen maksimum M_{pr} dari setiap ujung komponen struktur yang bertemu dengan balok kolom.

Menurut pasal 11.1 SNI 2847 2013 tentang perencanaan penampang geser harus memenuhi :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-54)$$

Dimana V_c adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton yang dihitung, dan V_s = adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser yang dihitung.

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-55)$$

Dimana V_c = adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton yang dihitung sesuai dengan, dan V_s = adalah kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser yang dihitung.

Sesuai pasal 11.2.1.2 SNI 2847 2013 perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persyaratan berikut :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-56)$$

Keterangan:

v_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton

V_s = kuat geser yang nominal disediakan oleh tulangan geser

Sesuai 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 :

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{1,4A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (2-57)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2-58)$$

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

3.3.4.4 Tulangan Transversal Kolom

Ujung ujung kolom perlu cukup pengekangan untuk menjamin daktilitas apabila terjadi pembentukan sendi plastis. Perlu juga tulangan transversal untuk mencegah pertama kegagalan geser sebelum penampang mencapai kapasitas lentur dan kedua tulangan menekuk.

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

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s_{bc} f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (2-59)$$

$$A_{sh} = 0,9 \frac{s_{bc} f'c}{f_{yt}} \quad (2-60)$$

Keterangan :

A_{sh} = luas total penampang sengkang tertutup persegi

A_g = luas bruto penampang

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

h_c = dimensi penampang kiri kolom diukur dari sumbu ke sumbu tulangan pengekang

s = spasi tulangan

f_{yh} = tegangan leleh baja tulangan transversal

$f'c$ = kuat tekan beton

Sesuai Pasal 21.6.4.3 SNI 2847 2013, 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

$$c. S_0 = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (2-61)$$

dengan Nilai S_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm

3.3.5 Joint Rangka Momen Khusus

Berdasarkan pasal 21.7 SNI 284:2013 terdapat beberapa persyaratan umum untuk joint rangka momen kusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa:

1. Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur $1,25 f_y$
2. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui join balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar

Berdasarkan pasal 21.7.4.1. SNI 2847:2013 V_n joint diambil sebagai yang lebih besar dari nilai di bawah ini:

- a. Untuk joint yang dikekang oleh balok-balok pada semua empat muka

$$1,7 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j \quad (2-62)$$

- b. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan

$$1,2 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j \quad (2-63)$$

- c. Untuk kasus lainnya

$$1,2 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j \quad (2-63)$$