

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Pembebanan

Karakteristik penting dari elemen struktur adalah kekuatan yang sesungguhnya yakni, daya pikul beban dengan masih mempunyai faktor keamanan yang besar untuk semua beban yang bekerja pada struktur bangunan, selama usia hidup stuktur tersebut. Perencanaan pembebanan yang digunakan adalah kombinasi dari beban mati, beban hidup dan beban gempa.

3.1.1 Kuat perlu

Kuat perlu (U) adalah kekuatan komponen struktur menahan beban terfaktor dengan berbagai kombinasi. Penentuan kuat perlu dari yang digunakan didasarkan pada SNI 1726:2012.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan :

U = Kuat perlu

D = Beban mati

L = Beban hidup

E_x = Beban gempa arah x

E_y = Beban gempa arah y

ρ = Faktor redudansi

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

3.1.2 Kuat rencana

SNI 2847:2013 pasal 9.3.1 menyatakan, kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan 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 (ϕ).

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	0,75
	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	
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
	b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier	0,75 sampai 0,9

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

3.2 Perencanaan Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

Pada saat gempa, struktur bangunan mengalami getaran gempa dari lapisan tanah di bawah dasar bangunan secara acak dalam berbagai arah. Berbagai peraturan perencanaan bangunan terhadap beban gempa termasuk pedoman perencanaan yang berlaku di Indonesia, menetapkan suatu taraf beban gempa rencana yang menjamin suatu struktur bangunan agar tidak rusak karena gempa. Berikut ini perencanaan terhadap gempa berdasarkan 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 resiko struktur bangunan

Kategori resiko untuk struktur bangunan gedung dan non gedung dijelaskan sesuai tabel 3.2

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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
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"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko, I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <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

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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<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"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan UGD - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <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"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <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</p>	III

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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	<p>III</p>
<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 saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	<p>IV</p>

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 4.1.2)

Setiap kategori resiko memiliki faktor keutamaan gempa. Berikut ini tabel

3.3 nilai faktor keutamaan per kategori resiko struktur bangunan :

Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	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

Prosedur klasifikasi bertujuan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik dipermukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs. Defenisi tipe kelas situs ditetapkan 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	≥ 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)
<i>SE</i> (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 $\bar{S}_u < 25$ kPa		
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasigeoteknik 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 $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

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

Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan tabel 3.4 dan diperhitungkan terhadap tanah lapisan 30 m paling atas (kedalaman 30 meter).

Profil tanah yang mengandung beberapa lapisan tanah dan/atau batuan yang nyata berbeda perlu dibagi menjadi beberapa lapisan. Pembagian tersebut dimulai dengan lapisan tanah paling atas dan diikuti lapisan dibawahnya (SNI 1726:2012 pasal 5.4).

3.2.4 Parameter percepatan terpetakan

Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_S) dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_I) ditentukan melalui *website* desain spektra Indonesia.

<http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/>

3.2.5 Koefisien situs dan parameter respons spektral percepatan gempa

Penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v), yang nilainya dapat diperoleh dari tabel 3.5 dan 3.6. Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 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 percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek.
- S_I = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 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 ^b				

(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_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 SNI 1726:2012, pasal 6.2)

Catatan :

- a. Untuk nilai-nilai antara S_l dapat dilakukan interpolasi linier
- b. SS = Situs yang memerlukan investigasi spesifik dan analisis respon spesifik

3.2.6 Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral untuk perioda pendek, S_{DS} dan perioda 1,0 detik, S_{DI} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

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

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

Keterangan :

- S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek
 S_{MS} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan dengan kelas situs
 S_{DI} = Parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik
 S_{MI} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan dengan kelas situs

3.2.7 Kategori desain seismik (KDS)

Penentuan kategori desain seismik berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{DI} sesuai tabel 3.7 dan 3.8 dengan memperhatikan kategori resiko pemanfaatan atau fungsi bangunana tabel 3.3

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 Periode 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)

3.2.8 Sistem struktur

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam tabel 9. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan tabel 9. Koefisien modifikasi respon yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d , sebagaimana ditunjukkan tabel 9 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tinggi desain (SNI 1726:2012, pasal 7.2.1).

3.2.9 Periode fundamental

Periode fundamental struktur (T) untuk arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Nilai T tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a). Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 Periode fundamental pendekatan T_a , dalam detik, harus dari persamaan berikut :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-23)$$

Keterangan :

- T_a = Periode fundamental struktur (detik)
 h_n = Ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tinggi struktur, dan koefisien C_t , dan x ditentukan dari 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 Periode 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 ^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: SNI 1726:2012, pasal 7.8.2)

3.2.10 Spektrum respons desain

Berdasarkan pada SNI 1726:2012 pasal 6.4, bila spektrum respons desain yang diperlukan oleh tata cara dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 3.1 dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-24)$$

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 :

$$S_a = \left(\frac{S_{DI}}{T_0} \right) \quad (3-25)$$

Keterangan :

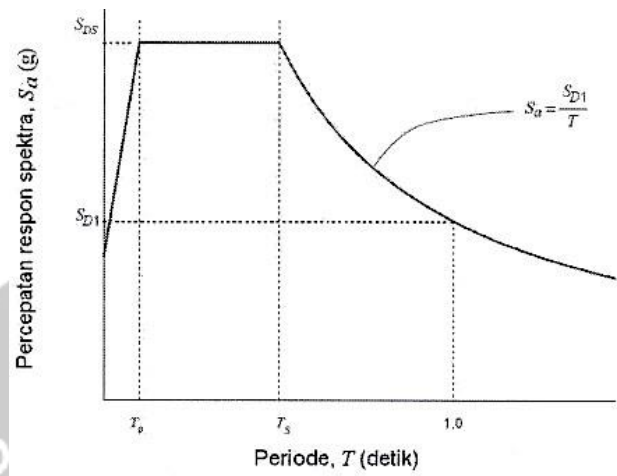
S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{DI} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \left(\frac{S_{DI}}{S_{DS}} \right) \quad (3-26)$$

$$T_s = \left(\frac{S_{DI}}{S_{DS}} \right) \quad (3-27)$$



Gambar 3.1 Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726:2012 pasal 6.4)

3.2.11 Perhitungan koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan sesuai persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-28)$$

Keterangan :

- S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
- R = Faktor modifikasi respons
- I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan diatas tidak perlu melebihi :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-29)$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-30)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dengan S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g, maka C_s harus diambil sebesar :

$$C_s = \frac{0,5 S_I}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-31)$$

Keterangan :

- S_{DI} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode 1,0 detik
 T = Periode fundamental struktur
 S_I = Parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

3.2.12 Geser dasar seismik

Gaya dasar seismik (V) ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s W \quad (3-32)$$

Keterangan :

- C_s = Koefisien respons seismik
 W = Berat seismik efektif

3.2.13 Distribusi gaya gempa lateral

Gaya gempa lateral (F_x) (KN) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \quad (3-33)$$

Dengan,

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{n=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-34)$$

Keterangan :

- C_{vx} = Faktor distribusi vertikal
 V = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, (KN)
 w_i dan w_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
 h_i dan h_x = Tinggi dari dasar samapai tingkat i atau x (m)
 k = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :
 untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
 untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
 untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

3.3 Perencanaan Struktur Beton Bertulang

Maksud utama perencanaan adalah menentukan bentuk umum dan dimensi-dimensi khusus dari suatu struktur bangunan sehingga, struktur tersebut dapat menjalankan fungsinya dengan baik dan dapat memikul beban dengan aman.

Suatu struktur mempunyai bentuk dan dimensi tertentu dan akan berperilaku apabila padanya dikerjakan gaya-gaya atau pengaruh-pengaruh mekanis yang diketahui, hal utama dari perilaku struktur yaitu, besar beban dengan distribusi tertentu yang dapat menyebabkan runtuhnya struktur dan deformasi, seperti lendutan-lendutan yang terjadi dan melebarnya retak-retak yang akan diderita oleh struktur apabila dibebani pada saat menjalankan fungsinya (Winter dan Nilson., 1993).

Dasar mekanika beton bertulang menurut Winter dan Nilson., (1993) dapat diperinci sebagai berikut :

1. Gaya-gaya dalam, seperti momen lentur, gaya-gaya geser, dan tegangan-tegangan normal dan geser, pada setiap penampang batang harus seimbang terhadap beban-beban luar yang bekerja pada penampang tersebut.
2. Regangan yang terjadi pada tulangan di dalam beton untuk setiap satu satuan tarik dan tekan harus sama dengan regangan beton yang mengelilinginya.
3. Penampang-penampang batang yang berupa bidang akan tetap bidang sebelum dan sesudah berlangsungnya pembebanan.
4. Berdasarkan kenyataan bahwa harga kekuatan tarik beton lebih kecil bila dibandingkan kekuatannya, beton yang terdapat pada bagian yang tertarik.

Penyelesaian pekerjaan dalam struktur beton bertulang dapat dibedakan menjadi dua, yaitu desain (perancangan) dan analisis (pemeriksaan). Walaupun kedua problem tersebut berdasarkan prinsip yang sama, tetapi mempunyai langkah penyelesaian yang berbeda menurut Wang Chu-Kia dan Salmon.,(1990)

1. Metode tegangan kerja (*working stress method*)

Suatu struktur direncanakan sehingga tenaga yang diakibatkan oleh aksi dari beban layan (*service load*) atau juga beban kerja yang dihitung secara mekanika tidak melampaui suatu harga izin yang telah ditetapkan lebih dahulu, ($f_{\text{yang terjadi}} \leq f_{\text{izin}}$).

2. Metode rencana kekuatan (*strength design method*)

Suatu struktur diproporsikan sedemikian sehingga mencapai kekuatannya pada saat bekerjanya beban terfaktor (beban yang mengancam keruntuhan).

Kekuatan desain
 (kekuatan yang tersedia dalam komponen struktur) \geq Kekuatan yang diperlukan untuk memikul beban berfaktor

Sedangkan menurut Nilson, A.H, dkk.,(2010)

Komponen struktur akan aman, bila memenuhi syarat sebagai berikut :

Momen	=	ϕM_n (Kuat momen desain)	\geq	M_u (Momen terfaktor)
Gaya geser	=	ϕV_n (Kuat geser desain)	\geq	V_u (Gaya geser terfaktor)
Gaya aksial	=	ϕP_n (Kuat aksial desain)	\geq	P_u (Gaya aksial terfaktor)

3.3.1 Balok

Balok merupakan salah satu komponen struktur yang mempunyai fungsi utama untuk mendukung pengaruh lentur, maupun gaya geser yang terjadi.

3.3.1.1 Penentuan dimensi balok

Setelah melakukan perencanaan beban terfaktor yang nantinya akan pada balok. Penentuan dimensi balok didasarkan pada persyaratan yang berlaku yaitu menggunakan komponen struktur rangka pemikul momen khusus yang diproporsikan untuk menahan lentur sebagai akibat dari gaya-gaya yang bekerja pada balok, dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , tidak boleh

melebihi $\frac{A_g f'_c}{10}$

2. Bentang bersih untuk komponen struktur, l_n , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
4. Lebar komponen struktur, b_w tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, c_2 , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari :
 - a. Lebar komponen struktur penumpu, c_2 dan
 - b. 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu, c_1 .

3.3.1.2 Tulangan longitudinal

Tulangan longitudinal atau tulangan memanjang pada balok difungsikan untuk menahan momen lentur yang terjadi. Langkah-langkah dalam menghitung tulangan longitudinal :

1. Menentukan momen lentur akibat beban berfaktor (M_u), dapat diperoleh dengan bantuan *software* (ETABS)
2. Perhitungan rasio penulangan ρ

$$R_{n\text{ perlu}} = \frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot (d)^2} \quad (3-35)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \quad (3-36)$$

3. Menentukan ρ min dan ρ maks

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3-37)$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4.f_y} \quad (3-38)$$

Persamaan (3-37) dan (3-38) diambil nilai terbesar

4. Penentuan luas tulangan perlu dan jumlah tulangan

$$A_{s,perlu} = \rho_{perlu} b_w d^2 \quad (3-39)$$

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

5. Periksa syarat

$$\phi M_n \geq M_u \quad (3-41)$$

3.3.1.3 Tulangan transversal

Perencanaan geser pada balok V_e harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka *joint* (tumpuan). Dan diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} bekerja pada kedua *joint*, yang mana komponen struktur tersebut juga dibebani dengan beban grafitasi terfaktor di sepanjang bentangnya (SNI 2847:2013, pasal 21.5.4.1)

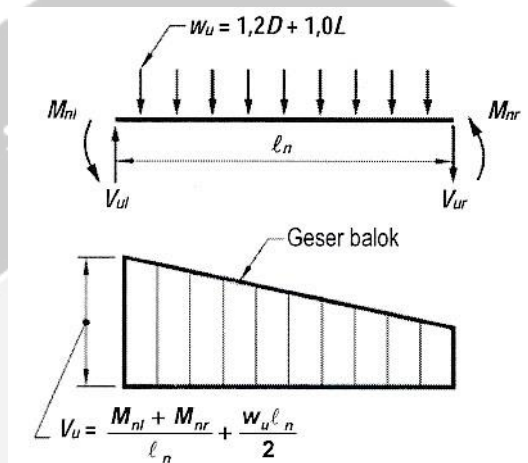
Kekuatan lentur komponen struktur (M_{pr}), dengan atau tanpa beban aksial. Yang diasumsikan tegangan tulangan tarik sebesar $1,25f_y$ dengan faktor reduksi kekuatan $\phi = 1.0$ N.mm

$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s 1,25 f_y}{f'_c b_w} \right) \quad (3-42)$$

Gaya geser rencana (V_e) ditentukan dengan persamaan berikut :

$$V_e = \frac{M_{pr1} M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{w_u l_n}{2} \quad (3-43)$$

Dengan gambar ilustrasi sebagai berikut :



Gambar 3.2 Geser Desain Untuk Balok

(Sumber: Gambar S21.5.4 SNI 2847:2013)

Menurut (SNI 2847:2013, pasal 21.5.4.2) tulangan transversal dimaksud untuk menahan geser dengan asumsi $V_c = 0$ bila :

- Gaya geser karena gempa sesuai dengan (SNI 2847:2013, pasal 21.5.4.1) mewakili setengah atau lebih kuat geser maksimum yang direncanakan sepanjang bentang.
- Gaya aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh dari gempa kurang dari $A_g f'_c / 20$

Bila kedua persyaratan diatas tidak memenuhi maka kuat geser balok dihitung dengan persamaan :

Hitungan kuat geser beton (SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.1)

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-44)$$

Untuk beton nominal $\lambda = 1,0$

Hitungan kuat geser sengkang dengan rumus :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-45)$$

Yang mana nilai

$$V_{s maks} \leq 0,66 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-46)$$

Jika nilai, V_s , pada persamaan (3-45) lebih besar dari $V_{s maks}$ persamaan (3-46) maka, dimensi balok harus diperbesar.

Hitung spasi sengkang dengan rumus :

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-47)$$

Kontrol untuk spasi sengkang maksimum (SNI 2847:2013, pasal 11.4.5)

$$s_{maks} = \frac{1}{2} d \quad \text{Bila,} \quad V_s \leq 0,33 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-48)$$

3.3.2 Kolom

Kolom adalah salah satu elemen struktur bangunan yang berfungsi untuk memikul beban rencana sebesar mungkin dalam aksial tekan. Selain gaya aksial tekan kolom juga selalu mengalami lentur (Schodek., 1999)

3.3.2.1 Perencanaan dimensi kolom

Perencanaan kekuatan kolom untuk mendukung beban lentur dan aksial tekan. Menurut (SNI 2847:2013, pasal 10.3.6) desain untuk beban aksial, ϕP_n , tidak boleh lebih besar dari, $\phi P_{n, maks}$, dan dihitung dengan persamaan :

$$\phi P_{maks} = 0,85 \cdot \phi [0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (3-49)$$

Persamaan di atas untuk komponen struktur non-prategang menggunakan tulangan spiral.

$$\phi P_{maks} = 0,80 \cdot \phi [0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \quad (3-50)$$

Persamaan di atas untuk komponen struktur non-prategang menggunakan tulangan pengikat.

Pemeriksaan kelangsingan kolom (SNI 2847:2013, pasal 10.10.1)

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-1)$$

Untuk portal bergoyang

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-52)$$

Untuk portal tidak bergoyang

Keterangan :

- k = Faktor panjang efektif komponen struktur tekan
- l = Panjang bersih komponen struktur tekan
- r = Radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan
- M_1 = Momen ujung terfaktor yang lebih terkecil
- M_2 = Momen ujung terfaktor yang terbesar

Persyaratan struktur rangka momen khusus yang mengalami lentur dan aksil (SNI 2847:2013, pasal 21.6) sebagai berikut :

3.3.2.2 Kuat lentur

- a. Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.

- b. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.
- c. Kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan

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

Keterangan :

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

$\sum M_{nb}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

3.3.2.3 Tulangan longitudinal

Berdasarkan (SNI 2847:2013, pasal 21.6.3), Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak kurang dari, $0,01A_g$, atau lebih dari $0,06A_g$. Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah tulangan memanjang minimum 6.

3.3.2.4 Tulangan transversal

Berdasarkan (SNI 2847:2013, pasal 21.6.4) sebagai berikut, tulangan transversal kolom berupa tulangan spiral atau tulangan sengkang tertutup. Harus dipasang sepanjang l_o dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sembarang penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari :

- a. Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur seperti terjadi
- b. Seperenam bentang bersih komponen struktur ; dan
- c. 450 mm

Berdasarkan (SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4) jumlah tulangan transversal :

- a. Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat, ρ_s , tidak boleh kurang dari persamaan berikut :

$$\rho_s = 0,12 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \quad (3-54)$$

- b. Luas penampang total tulangan sengkang persegi, A_{sh} , tidak boleh kurang dari persamaan berikut :

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

$$A_{sh} = 0,9 \frac{s_{bc} f'_c}{f_{yt}} \quad (3-56)$$

Berdasarkan (SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.3) spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil :

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil ; dan
- S_o seperti persamaan :

$$s_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (3-57)$$

Nilai s_0 boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

3.3.2.5 Tulangan geser

Langkah perhitungan tulangan geser kolom :

Hitungan kuat geser beton (SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.2)

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-58)$$

Dengan N_u = gaya tekan aksial, A_g = luas penampang bruto kolom, dan beton nominal $\lambda = 1,0$

Besaran $\frac{N_u}{A_g}$ harus dinyatakan dalam MPa

Hitungan kuat geser sengkang dengan rumus :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-59)$$

Hitung spasi sengkang dengan rumus :

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-60)$$

3.3.3 Pelat

Pelat lantai beton bertulang dibedakan menjadi macam yakni, pelat yang ditumpu pada ke dua sisi yang berlawanan (pelat satu arah) dan pelat yang ditumpu pada keempat sisinya (pelat dua arah), penentuan ini berdasarkan kemampuannya menyalurkan gaya akibat beban hidup dan mati. Untuk menentukan pilihan desain pelat lantai menggunakan sistem satu arah atau dua arah ditentukan berdasarkan

perbandingan antara panjang dan lebar pelat, $\frac{l_y}{l_x} \leq 2$ apa bila perbandingan ini

lebih dari dua maka, pelat dapat dianggap sebagai pelat dua arah.

3.3.3.1 Pelat satu arah

Tabel 3.11 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Tebal Minimum, h				
Komponen Struktur	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	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
Catatan : Panjang bentang l 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: (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_0 , di antara 1440 sampai 1840 kg/m ² , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65-0,000w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09. (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$				

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

3.3.3.2 Pelat dua arah

SNI 2847:2013, pasal 9.5.3.2, rasio bentangan panjang pelat tanpa balok interior dan pendek tidak melebihi 2, sehingga tebal minimum pelat harus memenuhi ketentuan pada tabel 3.12 dan tidak boleh kurang dari :

- a. Tanpa panel drop 125 mm
- b. Dengan panel drop 100 mm

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.

†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 α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

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

SNI 2847:2013, pasal 9.5.3.3, Penentuan tebal minimum h pelat dua arah harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Untuk α_{fm} yang sama atau lebih dari 0,2, menggunakan tabel 3.11
- Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-61)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

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

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-62)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

- d. Pada tepi yang tidak menerus, rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan Pers. (3-61) atau (3-62) harus dinaikan 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

3.3.4 Dinding geser

Dasar-dasar perencanaan dinding geser, sama dengan bentuk umum yang digunakan pada balok

$$V_u \leq \phi V_n \quad (3-63)$$

Dimana, Kuat geser nominal menggunakan persamaan berikut :

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-64)$$

Dan tidak boleh diambil lebih besar dari $0,83\sqrt{f'_c}hd$

Kuat geser beton untuk dinding yang mengalami tekan vertikal :

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}hd \quad (3-65)$$

Kuat geser beton untuk dinding yang mengalami tarik vertikal :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{0,29 N_u}{A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-66)$$

Nilai V_c dapat diperoleh berdasarkan persamaan dibawah ini, dengan mengambil nilai terkecil :

$$V_c = 0,27\lambda\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \quad (3-67)$$

atau

$$V_c = \left[0,005\lambda\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(0,1\lambda\sqrt{f'_c} + 0,2\frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u - \frac{l_w}{2}}{V_u}} \right] hd \quad (3-68)$$

Desain tulangan geser untuk dinding (SNI 2847:2013, pasal 11.9.9)

Kuat geser tulangan dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3-69)$$

Dengan syarat, spasi tulangan geser horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari $l_w/5$, $3h$, dan 450 mm serta, geser vertikal $l_w/3$, $3h$, dan 450 mm.

Rasio luas tulangan geser vertikal terhadap luas beton bruto penampang horizontal tidak kurang dari yang paling besar dari :

$$\rho_l = 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_t - 0,0025) \quad (3-70)$$

Keterangan :

- h = Tebal dinding
- l_w = Panjang keseluruhan dinding
- N_u = Beban aksial untuk tekan (positif) dan untuk tarik (negatif)
- d = Jarak d harus diambil sama dengan $0,8 l_w$
- A_v = Luas tulangan geser horizontal dalam spasi s

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9 tentang dinding struktural khusus, rasio tulangan badan terdistribusi, ρ_l dan ρ_t bahwa :

- a. Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton (ρ_l) harus (SNI 2847:2013 pasal 14.3.2)
1. 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 Mpa; atau
 2. 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
 3. 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari \emptyset -16
- b. Rasio minimum luas tulangan horisontal terhadap luas beton bruto (ρ_t) harus (SNI 2847:2013 pasal 14.3.3)
1. 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 Mpa; atau
 2. 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
 3. 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari \emptyset -16.