

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembebanan Struktur

Pada perencanaan bangunan bertingkat tinggi, komponen struktur direncanakan cukup kuat untuk memikul semua beban kerjanya. Pengertian beban itu sendiri adalah beban-beban baik secara langsung maupun tidak langsung yang mempengaruhi struktur bangunan tersebut. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 pasal 1 hal 7, dicantumkan bahwa pembebanan yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut ini.

1. Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.
2. Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

3. Beban gempa ialah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gayagaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut.
4. Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih tekanan udara.

2.1.1 Kuat Perlu

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

1. $U = 1,4D$ (2-1)
2. $U = 1,2D + 1,6L$ (2-2)
3. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0Ex + 0,3Ey$ (2-3)
4. $U = 1,2D + 1,0L + 1,0Ex - 0,3Ey$ (2-4)
5. $U = 1,2D + 1,0L - 1,0Ex + 0,3Ey$ (2-5)
6. $U = 1,2D + 1,0L - 1,0Ex - 0,3Ey$ (2-6)
7. $U = 1,2D + 1,0L + 0,3Ex + 1Ey$ (2-7)
8. $U = 1,2D + 1,0L + 0,3Ex - 1Ey$ (2-8)
9. $U = 1,2D + 1,0L - 0,3Ex + 1Ey$ (2-9)
10. $U = 1,2D + 1,0L - 0,3Ex - 1Ey$ (2-10)
11. $U = 0,9D + 1,0Ex + 0,3Ey$ (2-11)
12. $U = 0,9D + 1,0Ex - 0,3Ey$ (2-12)

$$13. U = 0,9D - 1,0E_x + 0,3E_y \quad (2-13)$$

$$14. U = 0,9D - 1,0E_x - 0,3E_y \quad (2-14)$$

$$15. U = 0,9D + 0,3E_x + 1,0E_y \quad (2-15)$$

$$16. U = 0,9D + 0,3E_x - 1,0E_y \quad (2-16)$$

$$17. U = 0,9D - 0,3E_x + 1,0E_y \quad (2-17)$$

$$18. U = 0,9D - 0,3E_x - 1,0E_y \quad (2-18)$$

Notasi :

U = kuat perlu

D = beban mati

L = beban hidup

E_x = beban gempa (arah x)

E_y = beban gempa (arah y)

2.1.2 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, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) ditentukan berdasarkan pasal 9.3 SNI 2847 2013

Tabel 2.1 Faktor Reduksi 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 dan pengikat , dan strat, pengikat, daerah pertemuan (<i>nodal</i>), dan daerah tumpuan	0,75

Tabel 2.1 Faktor Reduksi Kekuatan Desain (Lanjutan)

No.	Keterangan	Faktor reduksi (ϕ)
7.	Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman <i>strand</i> 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	0,75 0,75 – 0,9

2.2 Elemen Struktur

Suatu bangunan bertingkat tinggi terbentuk dari elemen-elemen struktur yang bila dipadukan menghasilkan suatu sistem rangka menyeluruh. Elemen-elemen struktur pada perancangan ini meliputi pelat, balok, kolom dan pondasi *bored pile*. Definisi dari elemen-elemen struktur yang menjadi pendukung utama bangunan adalah sebagai berikut ini :

2.2.1 Pelat

Pelat adalah komponen struktur yang merupakan sebuah bidang datar yang lebar dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar. Pelat dianalisa sebagai 2 atau 1 arah saja, tergantung sistem strukturnya. Bila perbandingan antara panjang dan lebar pelat tidak melebihi 2, digunakan penulangan 2 arah (Dipohusodo, 1996).

Jenis jenis pelat terdiri dari (Jumawa, Jimmy S, 2005) :

- a. Pelat satu arah (*one way slab*), ditumpu oleh balok anak yang ditempatkan sejajar satu dengan yang lainnya, dan perhitungan pelat dapat dianggap sebagai balok tipis yang ditumpu oleh banyak tumpuan.

- b. Pelat 2 arah yaitu Pelat yang keempat sisinya ditumpu oleh balok dengan perbandingan $l_y/l_x \leq 2$, perhitungan pelat didasarkan umumnya dilakukan dengan pendekatan dua arah yang tercantum dalam tabel momen pelat dua arah akibat beban terbagi rata.

2.2.2 Balok

Balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban dari pelat lantai ke penyangga yang vertikal. (Nawy, 1990). Balok merupakan elemen struktural yang didesain untuk menahan gaya-gaya yang bekerja secara transversal terhadap sumbunya sehingga mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya. Berdasarkan jenis keruntuhannya, keruntuhan yang terjadi pada balok dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok sebagai berikut ini :

1. Penampang *balanced*.

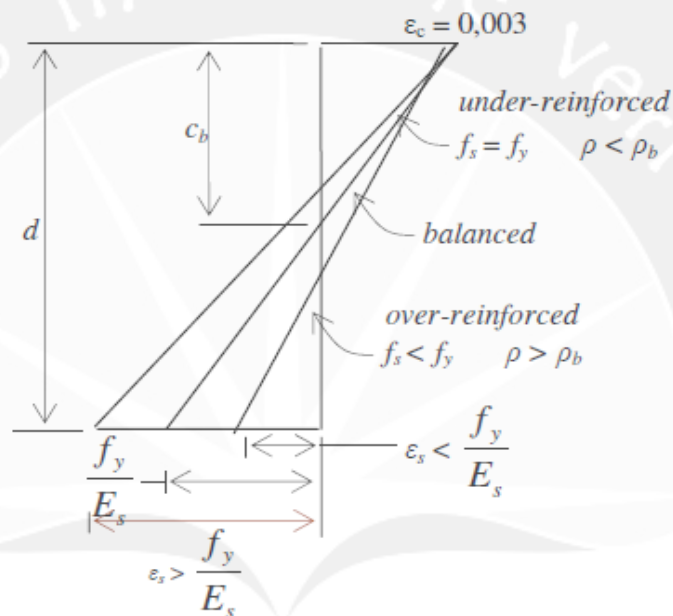
Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada saat serat tepi yang tertekan adalah 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\epsilon_y = f_y/E_s$.

2. Penampang *over-reinforced*.

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja E_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja f_s juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya ϵ_y , kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

3. Penampang *under-reinforced*.

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Tulangan baja ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan ϵ_y . Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok bertulang kurang dari yang diperlukan dibawah kondisi *balanced* (Nawy, 1990).



Gambar 2.1. Distribusi regangan penampang balok

2.2.3 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (total collapse) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

2.2.4 Pondasi

Pondasi adalah komponen struktur pendukung bangunan terbawah, dengan telapak pondasi berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Telapak pondasi harus memenuhi persyaratan untuk mampu dengan aman menebar beban yang diteruskan sedemikian rupa sehingga kapasitas atau daya dukung tanah tidak melampaui. Dasar pondasi harus diletakkan diatas tanah kuat pada kedalaman cukup tertentu, bebas dari lumpur, humus, dan pengaruh perubahan cuaca (Dipohusodo, 1994).

2.3 Perencanaan Gempa Berdasarkan SNI 1726 2012

2.3.1 S_{DS} dan S_{D1}

Nilai S_{DS} dan S_{D1} dapat diperoleh dengan memperhatikan lokasi bangunan yang dirancang pada Gambar 9 dan 10 SNI 1726 2012, atau berdasarkan *web* desain spektra Indonesia ;

http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

2.3.2 Kategori Resiko

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.2 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.5.

Tabel 2.2 Kategori Bangunan Gedung dan Non-Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, 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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 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	III

(dikutip dari Tabel 1 SNI 1726 2012)

Tabel 2.2 Kategori Bangunan Gedung dan Non-Gedung (Lanjutan)

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

(dikutip dari Tabel 1 SNI 1726 2012)

2.3.3 Kategori Desain Seismik

Dalam menentukan nilai KDS dilihat berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan periode satu detik.

Tabel 2.3 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

(dikutip dari Tabel 1 SNI 1726 2012)

Tabel 2.4 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

(dikutip dari Tabel 7 SNI 1726 2012)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik.

Jika $S_1 > 0,75$:

- untuk Kategori Risiko I/II/III: maka KDS E
- untuk Kategori Risiko IV: maka KDS F

2.3.4 Sistem Struktur dan Parameter Struktur

Tabel 2.5 Faktor R , C_d , Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan beban lateral	R	Ω_0	C_d	Batasan sistem struktur dan batasan Tinggis truktur, h_n (m) ^c				
				KDS				
				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

Tabel 2.5 Faktor R , C_d , Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa (Lanjutan)

Sistem penahan beban lateral	R	Ω_o	C_d	Batasan sistem struktur dan batasan Tinggis truktur, h_n (m) ^c				
				KDS				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
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
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 ⁰	3,5	10	10	10	10	10

(dikutip dari Tabel 9 SNI 1726 2012)

2.3.5 Faktor Keutamaan

Fakter keutamaan diperoleh dari tabel berikut :

Tabel 2.6 Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_E)
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

(dikutip dari Tabel 2 SNI 1726 2012)

2.3.6 Periode Fundamental

Periode 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 atas pada periode yang dihitung C_t dari Tabel 3.8.

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

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.19)$$

Keterangan h_n = adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Table 3.7

Tabel 2.7 Nilai parameter periode 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

(dikutip dari Tabel 15 SNI 1726 2012)

Tabel 2.8 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\leq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(dikutip dari Tabel 14 SNI 1726 2012)

2.3.7 Faktor Respons Gempa

Faktor respon gempa dapat diperoleh dengan rumus berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (2-20)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

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

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yg dihitung sesuai persamaan (2-20) tidak perlu melebihi dari persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \frac{R}{I_e}} \quad (2-21)$$

Dengan syarat C_s :

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

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

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

Digunakan C_s terkecil

2.3.8 Gaya Geser Gempa

Gaya geser gempa diperoleh dengan rumus :

$$V = C_s W \quad (2-22)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

2.3.9 Distribusi beban lateral pada setiap lantai

Diperoleh dengan rumus :

$$F_x = C_{vx} V \quad (2-23)$$

$$C_{vx} = \sum_{i=1}^n \frac{W_x h_x^k}{W_i h_i^k} \quad (2-24)$$

$$k = 0,5T + 0,75 \quad (2-25)$$

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 efektif 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

2.4 Perancangan Elemen Struktur

2.4.1 Perancangan Pelat

1. Penentuan jenis pelat

Ada dua jenis pelat yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah

a. Pelat satu arah

Pelat satu arah adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sehingga lenturan hanya timbul dalam satu arah.

b. Pelat dua arah

Pelat dua arah adalah pelat yang di dukung pada empat tepinya, sehingga lenturan yang timbul dua arah.

Bila $L_y/L_x < 2$ menggunakan tabel ;

Bila $L_y/L_x \geq 2$ maka dapat dihitung dengan dianggap sebagai pelat dua arah tau dianggap sebagai struktur pelat satu arah dengan lentur utama pada arah sisi yang terpendek.

2. Tebal Minimum Pelat Satu Arah

Tabel 2.9 Tebal minimum 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	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8

(dikutip dari tabel 9.5a SNI 2847 2013)

Catatan :

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 dimodifikasikan sebagai berikut:

- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, 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 $(0,4 + f_y/700)$.

3. Tulangan susut dan suhu

Tulangan lenturnya terpasang dalam satu arah saja dan menyediakan tulangan susut dan suhu yang arah tegak lurus terhadap tulangan lentur, dengan rasio luas tulangan susut dan suhu maupun tulangan utama sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014 :

- a. Tulangan $f_y = 300$ Mpa, $A_s \text{ min} = 0,0020 bh$
- b. Tulangan $f_y = 400$ Mpa, $A_s \text{ min} = 0,0018 bh$
- c. Tulangan $f_y > 400$ Mpa, $A_s \text{ min} = 0,0028(400/f_y) bh \geq 0,0014 bh$

Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut dan suhu :

- a. Tulangan utama, dipilih nilai terkecil

$$s \leq 3h \text{ (h = tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$
- b. Tulangan susut dan suhu, dipilih nilai terkecil

$$s \leq 3h \text{ (h = tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

2.4.2 Perancangan Balok

Tahapan perencanaan balok dilakukan dengan :

1. Menentukan f'_c dan f_y
2. $\rho = 0,01$
3. Menghitung $R_n = \rho f_y \left(1 - 0,59 \frac{\rho f_y}{f'_c}\right)$

(2-26)

dengan : R_n = koefisien tahanan,
 ρ = rasio tulangan baja,
 f'_c = kuat tekan beton,

f_y = tegangan luluh baja.

4. Menghitung momen kibat beban terfaktor, M_u , ditaksirkan momen akibat berat sendiri balok adalah 10%-20% momen beban total.
5. Menentukan kombinasi b_w dan d dengan persamaan :

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{0,9R_n b_w}} \quad (2-27)$$

Keterangan :

b_w = lebar penampang balok

d = tinggi efektif balok

6. Menentukan nilai h (tinggi balok), pembulatan keatas kelipatan 50 mm dengan memperhatikan :
 - a. Tinggi balok minimum yang disyaratkan agar lendutan tidak diperiksa
 - b. Bila $h_{\text{aktual}} < h_{\text{min}}$ balok, lendutan perlu diperiksa sesuai dengan tabel 8 SNI 2847 2013
 - c. $b_w \geq 0,3 h$ atau $b_w \geq 250$ mm (Pasal 21.5.1.3 SNI 2847 2013)
7. Menghitung kembali M_u dengan memasukkan berat sendiri balok di dapat M_u baru.
8. Menentukan tulangan lentur geser

1. Tulangan Lentur

Untuk daerah tarik tumpuan diambil nilai $M_u = M_n$. Sesuai SNI pasal 21.5.2.2 SNI 2847 2013, kekuatan momen positif pada muka join harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif (pada daerah desak tumpuan $M_u = 0,5M_u$ baru). Baik kekuatan momen negatif atau positif

pada setiap penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan (pada daerah tarik maupun desak lapangan $M_u = 0,25 M_u$ baru).

$$R_{n\text{perlu}} = \sqrt{\frac{M_{u\text{baru}}}{0,9b_w d^2}} \quad (2-28)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 f' c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f' c}}\right) \quad (2-29)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{atau,} \quad \rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f' c}}{f_y} \quad (2-30)$$

Khusus balok induk $\rho \leq 0,025$ (Pasal 21.5.2.1 SNI 2847 2013)

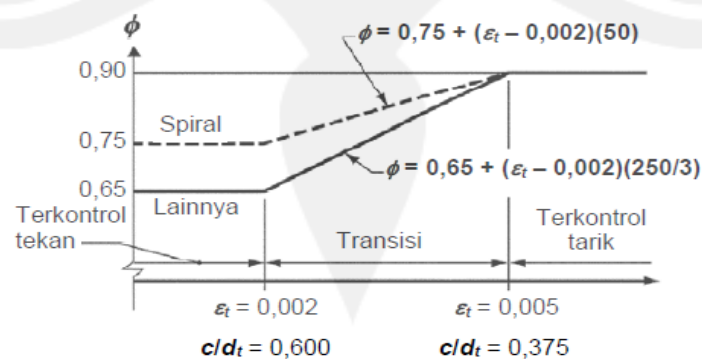
$$\text{Luas tulangan yang diperlukan } A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} b_w d \quad (2-31)$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{luas tulangan}} \quad (\text{pembulatan keatas}) \quad (2-32)$$

$$\text{Menentukan } a \text{ dan } c : a = \frac{A_s f_y}{0,85 f' c b_w} \text{ dan } c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\text{Menghitung } \varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d_t - c}{c} \right) \quad (2-33)$$

Syarat $\phi M_n \geq M_u$



Gambar 2.2 Variasi ϕ

(dikutip dari pasal 9.3 SNI 2847 2013)

b. Tulangan geser

Langkah awal dalam menentukan tulangan geser balok adalah mencari gaya geser gempa (V_e). 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. Diasumsikan bahwa momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} bekerja pada muka-muka tumpuan, dan komponen struktur tersebut dibebani dengan beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya.

Nilai kuat lentur maksimum tulangan dapat dihitung dengan :

$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y (d - 0,59 \frac{A_s 1,25 f_y}{f'_c b_w}) \quad (2-34)$$

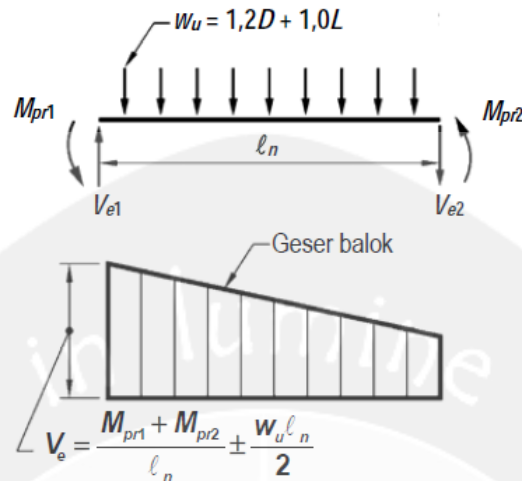
Gaya geser akibat gempa dihitung dengan

$$V = \frac{M_{pr1} M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2} \quad (2-35)$$

Keterangan :

M_{pr} = kuat lentur maksimum tulangan,

A_s = luas tulangan baja yang digunakan.



Gambar 2.3 Gaya Geser Desain

(dikutip dari pasal 21.6.2.2 SNI 2847 2013)

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

- a. Gaya geser ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai dengan 21.6.5.1, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o .
- b. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u , termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 10$

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

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (2-36)$$

Dengan $\lambda = 1$ untuk beton normal.

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

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2-37)$$

Dengan nilai $V_s \text{ maks} = \frac{2}{3} \sqrt{f'c} b_w d \quad (2-38)$

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

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \quad (2-39)$$

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

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 tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang bentang komponen struktur.

2.4.3 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 non-prategang dengan tulangan sengkang berdasarkan pasal 10.3.6.2 SNI 2847 2013 :

$$\phi_{Pn \text{ maks}} = 0,8 \phi [0,85 f_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-40)$$

Dengan nilai $\phi = 0,65$

Kelangsingan kolom

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

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (2-41)$$

Keterangan :

k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

r = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan

l_u = panjang bersih komponen struktur tekan

Kuat Lentur

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

$$\sum M_e \geq \sum M_g \quad (2-42)$$

Dengan :

$\sum M_e$ = 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 menyumbang kepada $\sum_{nb}$ jika tulangan slab disalurkan pada penampang kriris untuk lentur.

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 :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-43)$$

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.

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-44)$$

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 :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-45)$$

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 :

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_w d \quad (2-46)$$

dan

$$V_s = \left(\frac{A_v f_y d}{s} \right) \quad (2-47)$$

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

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 :

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s_{bc} f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (2-48)$$

$$A_{sh} = 0,9 \frac{s_{bc} f'_c}{f_{yt}} \quad (2-49)$$

Keterangan :

A_{sh} = luas total penampang sengkang tertutup persegi

A_g = luas bruto penampang

A_{ch} = luas penampang dari sisi luar kesisi 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. $S_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$

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

2.4.4 Hubungan Kolom Balok

Faktor penting dalam menentukan kuat geser nominal hubungan balok kolom adalah luas efektif dari hubungan balok kolom. Hubungan balok kolom yang dikekang oleh ke empat sisinya, maka kapasitas atau kuat geser nominal hubungan balok kolom sesuai SNI 2847 2013 adalah sebesar $1,7A_s\sqrt{f'_c}$ dan balok kolom yang terkekang di dua sisi berlawanan adalah $1,25A_s\sqrt{f'_c}$

2.4.5 Perancangan Pondasi

Daya dukung pondasi bore pile diperoleh dari penjumlahan tahanan ujung dan tahanan selimut tiang.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2-50)$$

$$Q_s = f L p \quad (2-51)$$

Daya dukung tiang dinyatakan dengan

$$Q_p = q_p A \quad (2-52)$$

Keterangan :

Q_u = daya dukung ultimit tiang

Q_s = daya dukung ultimit selimut tiang

Q_p = daya dukung ultimit ujung tiang

q_p = tahanan ujung persatuan luas

A = luas penampang tiang bor

p = keliling panjang tiang

L = panjang tiang

F = gesekan selimut tiang persatuan luas.

Bored pile disatukan dalam kelompok dengan menggunakan poer. Untuk menentukan jumlah tiang dalam kelompok tiang digunakan :

$$\text{Jumlah tiang} = \frac{V}{P_1 \text{ tiang}}$$

Untuk jarak antar kelompok tiang digunakan :

$$2,5D \geq S \geq 3D \quad (2-53)$$

Untuk jarak tiang ke tepi digunakan

$$S \leq D \quad (2-54)$$

Perencanaan *Pile Cap*

1. Kontrol terhadap geser satu arah :

$$V_u = \phi V_n \quad (2-55)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-56)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b_0 d \quad (2-57)$$

$$V_u = \Sigma P_u \quad (2-58)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A} \quad (2-59)$$

$$q = \frac{1}{2} \text{ lebar poer} - \frac{1}{2} h_{\text{kolom}} - d \quad (2-60)$$

Keterangan :

V_u = gaya geser total terfaktor

P_u = daya dukung tiang

b_o = penampang kritis

A = Luas poer

d = tinggi efektif

2. Kontrol terhadap geser dua arah :

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (2-61)$$

$$V_u = \phi V_n \quad (2-62)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'c} b_o d \quad (2-63)$$

$$V_u < \phi V_c \quad (2-64)$$

Keterangan :

$B = d + \text{lebar kolom}$

β = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom

3. Kontrol perpindahan kolom pada pondasi :

$\phi P_k > \text{gaya aksial rencana}$

$$\phi P_k = 0,7 \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot A_{\text{kolom}} \quad (2-65)$$

Deengan : A_{kolom} = luas penampang kolom

4. Kontrol beban tiang :

Kontrol beban yang diterima satu tiang dalam kelompok tiang adalah :

$$P = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x y}{\sum y^2} \quad (2-66)$$

Keterangan :

P = beban maksimum yang diterima tiang

$\sum v$ = jumlah total beban normal

n = jumlah tiang dalam satu poer

M_x = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam poer

M_y = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu y yang bekerja pada pondasi, diperhitungkan terhadap pusat berat seluruh tiang yang terdapat dalam poer,

x = absis tiang pancang terhadap titik berat kolom tiang

y = ordinat tiang pancang terhadap titik berat kolom tiang

Σx^2 = jumlah kuadrat absis tiang pancang

Σy^2 = jumlah kuadrat ordinat tiang pancang.