

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan

Beban-beban yang akan di berikan pada struktur meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa.

3.1.1 Kuat Perlu

Berdasarkan SNI 2847-2013 dan SNI 1726-2012 didapatkan kombinasi-kombinasi pembebanan untuk bangunan gedung, berikut adalah kombinasi yang digunakan:

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

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

$$3. (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho \cdot Ex + 0,3 \cdot \rho \cdot Ey \quad (3-3)$$

$$4. (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho \cdot Ex - 0,3 \cdot \rho \cdot Ey \quad (3-4)$$

$$5. (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho \cdot Ex + 0,3 \cdot \rho \cdot Ey \quad (3-5)$$

$$6. (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho \cdot Ex - 0,3 \cdot \rho \cdot Ey \quad (3-6)$$

$$7. (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3 \cdot \rho \cdot Ex + \rho \cdot Ey \quad (3-7)$$

$$8. (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \cdot \rho \cdot Ex + \rho \cdot Ey \quad (3-8)$$

$$9. (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3 \cdot \rho \cdot Ex - \rho \cdot Ey \quad (3-9)$$

$$10. (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3 \cdot \rho \cdot Ex - \rho \cdot Ey \quad (3-10)$$

$$11. (0,9-0,2S_{DS})D + \rho \cdot Ex + 0,3 \cdot \rho \cdot Ey \quad (3-11)$$

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

D = beban mati

L = beban hidup

E_x = beban gempa (arah x)

E_y = beban gempa (arah y).

ρ = faktor redundansi

Berdasarkan pasal 7.3.4.2. untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana ρ diijinkan diambil sebesar 1,0.

3.1.2 Kuat Desain

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.3.1 kuat desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan

penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus di ambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi standart ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) dalam pasal 9.3.2, 9.3.4, dan 9.3.5. dapat di lihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Faktor Reduksi Kekuatan Desain
(Sumber : SNI 2847-2013)

No.	Keterangan	Faktor reduksi (ϕ)
1.	Penampang terkendali Tarik	0,9
2.	Penampang terkendali tekan	0,75
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	
	b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton	0,65
5.	Daerah angkur pasca Tarik	0,85
6.	Model strat dan pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan, dan daerah tumpuan dalam model	0,75
7.	Penampang lentur komponen struktur pra tarik:	0,75
	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 sampai 0,9

3.2 Perencanaan Gempa

3.2.1 Menentukan S_s dan S_l

Struktur yang di rancang harus di tetapkan percepatan batuan dasar pada perioda pendek 0,2 detik (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik

(S_I) dengan dasar peta gerak tanah seismik. Nilai S_S dan S_I ditentukan dari web

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

3.2.2 Menentukan kelas situs tanah dan koefisien F_a dan F_v

Wilayah yang akan di bangun struktur gedung juga berpengaruh terhadap kelas situs. Setiap wilayah memiliki klasifikasi kelas situs sendiri-sendiri dari A s.d F (berdasarkan tabel 3 SNI 1726-2012). Dalam menentukan koefisien situs F_a yaitu berdasarkan pada nilai S_s dengan menghubungkan pada tabel 4 SNI 1726-2012. Sedangkan untuk koefisien F_v yaitu berdasarkan pada nilai S_I dengan menghubungkan pada tabel 5 SNI 1726-2012. Dapat dilihat pada tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 3.2. Koefisien situs, F_a
(Sumber : SNI 1726-2012)

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				

Tabel 3.3. Koefisien situs, F_v
(Sumber : SNI 1726-2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

3.2.3 Menentukan S_{MS} dan S_{M1}

Parameter spectrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan rumus sebagai berikut ini:

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

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3 - 20)$$

Keterangan:

S_s = Parameter *respons spectral* percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_1 = Parameter *respons spectral* percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

F_a = Koefisien situs sesuai dengan (SNI 1726:2012 Tabel 4)

F_v = Koefisien situs sesuai dengan (SNI 1726:2012 Tabel 5)

3.2.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

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

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

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

3.2.5 Menentukan kategori resiko (Risk Category) dan kategori desain seismik (KDS)

Menentukan kategori resiko harus berdasarkan pada jenis pemanfaatan gedung struktur itu sendiri. Gedung yang akan di bangun meliputi gedung perkantoran, gedung sekolah, atau gedung apartement seperti pada tabel 1 SNI 1726-2012. Untuk menentukan KDS harus berdasarkan nilai S_{DS} untuk percepatan pada perioda pendek dan S_{DI} untuk percepatan pada perioda 1 detik dengan menghubungkan pada tabel 6 dan 7 SNI 1726-2012. Dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kategori Bangunan Gedung dan Non-Gedung
(Sumber: SNI 1726-2012)

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko 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 risiko 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
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap	

<p>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 kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</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 	IV

<p>atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</p> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	
---	--

3.2.6 Faktor Keutamaan Gempa

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda di ijin untuk di gunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda di gunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus di kenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 9 SNI 1726-2012 halaman 34-37. Serta pengaruh terhadapnya harus dilakukan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2 (SNI 1726-2013 Hal 15). Dapat dilihat pada tabel 3.5

Tabel 3.5. Faktor Keutamaan Gempa
(Sumber: SNI 1726-2012)

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

3.2.7 Periode Fundamental

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

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

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur (m)

C_t = koefisien (SNI 1726:2013 Tabel 15 Hal 56)

x = koefisien (SNI 1726:2013 Tabel 15 Hal 56)

Tabel 3.6. Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x
(Sumber: SNI 1726-2012)

	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya gempa yang disyaratkan dan tidak 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 denan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja denan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

3.2.8 Koefisien Respons Gempa

Koefisien respons seismik (C_s) di tentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3 - 24)$$

Keterangan:

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

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung tidak boleh melebihi persamaan berikut ini:

$$C_{s \text{ maks}} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3 - 25)$$

C_s harus tidak kurang dari persamaan berikut ini:

$$C_{s \text{ min}} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3 - 26)$$

Untuk struktur yang berlokasi didaerah dimana S_I , sama dengan atau lebih dari 0,6 g, maka C_s harus tidak kurang dari hasil persamaan berikut ini:

$$C_{s \text{ min}} = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3 - 27)$$

Keterangan:

S_{D1} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = Periode fundamental struktur (detik)

S_I = Parameter percepatan spektrum respons maksimum

3.2.9 Perencanaan Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar sismik ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$V = C_s \cdot W \quad (3 - 28)$$

Keterangan

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik aktif

3.2.10 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral, F_x (kN) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$F_x = C_{vx} V \quad (3 - 29)$$

Dimana,

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3 - 30)$$

Keterangan

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kN

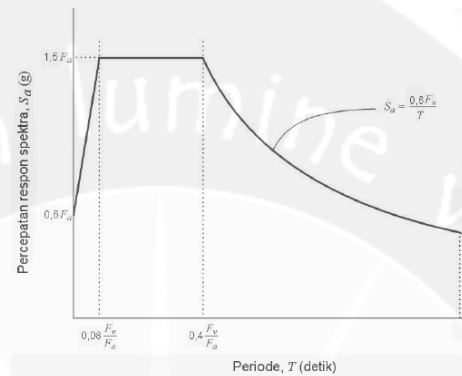
w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x .

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i dan x , dinyatakan dalam meter (m).

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut: untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$ 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.

3.2.11 Faktor Respons Gempa

Kurva spektrum respons desain harus ditentukan guna untuk analisis permodelan pada Etabs mengenai gempa. Dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Spektrum Respons Desain
(Sumber: SNI 1726-2012)

3.3 Perancangan Komponen Struktur Rangka Momen Khusus

3.3.1 Pelat lantai

3.3.1.1 Perencanaan pelat satu arah

Tebal minimum pelat satu arah

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.5.2 perencanaan tebal pelat satu arah (pelat yang di dukung pada kedua tepi berhadapan) harus memenuhi syarat sebagai berikut:

Syarat pelat satu arah

$$\frac{l_y}{l_x} > 2 \quad (3 - 31)$$

Keterangan:

l_y = bentang terpanjang pelat.

l_x = bentang arah tegak lurus bentang terpanjang pelat.

Tabel 3.7 Tinggi minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak di hitung.

(Sumber: SNI 2847-2013)

Komponen Struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak di hubungkan 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 dalam mm.				
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus di modifikasi sebagai berikut:				
(a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), W_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus di kalikan dengan $(1,65-0,0003 W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.				
(b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$				

3.3.1.2 Perencanaan pelat dua arah

Tebal minimum pelat dua arah

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 perencanaan tebal pelat dua arah harus memenuhi syarat sebagai berikut:

Syarat pelat dua arah

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2 \quad (3 - 32)$$

Rasio kekakuan lentur penampang

$$\alpha_f = \frac{E_c \cdot I_c \text{ balok}}{E_c \cdot I_c \text{ pelat}} \quad (3 - 33)$$

Keterangan:

E_c = modulus elastisitas beton.

I_c = momen inersia beton

Rata-rata rasio kekakuan pelat

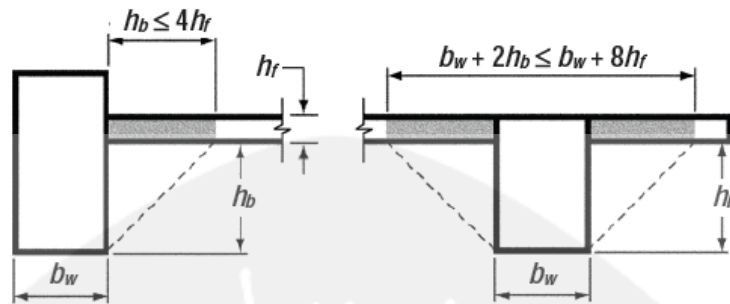
$$\alpha_{fm} = \frac{\sum \alpha_f}{n} \quad (3 - 34)$$

Keterangan:

α_{fm} = nilai rata-rata α_f .

Sistem slab pelat

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 13.2.4 untuk konstruksi monolit atau komposit penuh, suatu balok mencangkup bagian slab pada setiap sisi balok yang membentang dengan jarak yang sama dengan proyeksi balok diatas atau dibawah slab tersebut, yang mana yang lebih besar, tetapi tidak lebih besar dari empat kali tebal slab. Dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Contoh bagian slab yang disertakan dengan balok
(sumber: SNI 2847-2013)

Menghitung h_{\min} pelat

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- (a) Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3 - 35)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

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

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

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

Menghitung momen lentur akibat beban terfaktor (M_u)

Untuk pelat dua arah, momen lentur akibat beban terfaktor (M_u) dapat di hitung dengan menggunakan bantuan tabel koefisien momen.

$$M_u = 0,001.W_u.l_x^2.k \quad (3 - 37)$$

Nilai k didapat dari tabel koefisien momen (terlampir).

Keterangan:

W_u = beban terfaktor

l_x = bentang terpendek pelat.

Menghitung gaya geser akibat beban terfaktor (V_u)

Gaya geser akibat beban terfaktor dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_u = \frac{1,15.w_u.l_n}{2} \quad (3 - 38)$$

Periksa gaya geser beton

Agar pelat rencana mampu menahan gaya geser akibat beban terfaktor maka harus diperiksa dengan persamaan dibawah ini:

$$\phi V_c \geq V_u \quad (3 - 39)$$

Spasi maksimum tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2013 jarak spasi tulangan susut tidak boleh melebihi persamaan sebagai berikut:

$$s_{maks} = 5.h \quad (3 - 40)$$

atau

$$s_{maks} \leq 450mm \quad (3 - 41)$$

3.3.2 Balok

3.3.2.1 Estimasi dimensi balok

Menentukan ukuran (b)

Dalam menentukan ukuran penampang balok, pada umumnya di lakukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$b = \frac{1}{2}h - \frac{2}{3}h \quad (3 - 42)$$

Keterangan:

h = tinggi balok rencana

Menghitung tinggi balok (h)

Dalam menentukan tinggi balok (h) harus memperhatikan bentang dari balok tersebut (L) sesuai dengan peraturan beton. Dapat dilihat pada tabel 3.8.

Tabel 3.8 Tinggi minimum balok.
(Sumber: SNI 2847-2013)

2 tumpuan sederhana	1 ujung menerus	2 ujung menerus	kantilever
L/16	L/18,5	L/21	L/8

Dengan di tentukan nilai h_{min} maka dapat di peroleh nilai h_{pakai} dengan di ambil ukuran lebih besar dari h_{min} ($h_{min} < h_{pakai}$), atau dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$h_{pakai} = \frac{1}{10}L - \frac{1}{15}L \quad (3 - 43)$$

3.3.2.2 Desain tulangan balok

A. Perhitungan tulangan longitudinal

Penentuan M_u

Besarnya Momen lentur akibat beban terfaktor (M_u) di peroleh dari permodelan struktur pada *ETABS version 9*.

Menghitung rasio A_s terhadap bd (ρ_{perlu} , dan ρ_{min})

$$R_{n\ perlu} = \frac{M_u}{\phi \cdot b_w \cdot d^2} \quad (3 - 44)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right) \quad (3 - 45)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3 - 46a)$$

Atau

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \cdot fy} \quad (3 - 46b)$$

Dari persamaan (3 – 46a) dan (3 – 46b) di ambil nilai terbesar sebagai syarat tulangan minimum balok.

Hitung rasio penulangan maksimum (ρ_{\max})

$$\rho_{\max} = 0,025 \quad \text{Pasal 21.5.2.1} \quad (3 - 47)$$

dan

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{f'c - 28}{7} \cdot 0,05 \geq 0,65 \quad (3 - 48)$$

$$\rho_{\max} = 0,429 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{fy} \quad (3 - 49)$$

Keterangan:

$f'c$ = kuat tekan beton.

fy = kuat leleh tulangan.

Menentukan luas tulangan Tarik longitudinal (A_s)

$$A_s = \rho \cdot b_w \cdot d \quad (3 - 50)$$

Keterangan:

ρ = rasio A_s terhadap b_d .

b_w = lebar badan.

d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal.

Menentukan jumlah tulangan longitudinal.

$$\text{Jumlah tulangan} = A_s / \text{luas 1 tulangan} \quad (3 - 51)$$

Dari persamaan di atas, di dapat jumlah tulangan longitudinal untuk balok.

B. Perhitungan tulangan geser.

Penentuan V_u

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2 gaya geser harus di tentukan dari peninjauan gaya statik pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Persamaan yang di pakai untuk menghitung gaya geser adalah sebagai berikut:

$$a = \frac{A_s(1,25 \cdot f_y)}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (3 - 52)$$

$$M_{pr} = A_s(1,25 \cdot f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3 - 53)$$

$$V_g = \frac{W_u \cdot \ell_n}{2} \quad (3 - 54)$$

$$V_u = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{\ell_n} \pm V_g \quad (3 - 55)$$

Keterangan:

W_u = Beban terfaktor per satuan panjang balok.

ℓ_n = panjang bentang bersih yang di ukur muka ke muka tumpuan.

M_{pr} = kekuatan lentur komponen struktur yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan.

V_g = gaya geser terfaktor akibat beban gravitasi.

Kuat geser beton

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

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3 - 56)$$

Keterangan:

λ = faktor mekanis tereduksi dari beton ringan dengan beton normal

(beton normal nilai $\lambda = 1,0$).

b_w = lebar badan.

d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal.

Menghitung spasi sengkang

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3 - 57)$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.9 V_s tidak boleh di ambil lebih besar dari persamaan di bawah ini:

$$V_{smaks} = 0,66\sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-58)$$

Dari hasil perhitungan V_s di atas dapat ditentukan spasi sengkang dengan persamaan sebagai berikut:

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (3-59)$$

Keterangan:

A_v = Luas penampang kaki sengkang vertikal.

Jarak maksimal sengkang

Berdasarkan peraturan beton pasal 21.5.3.2, sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu.

Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. $d/4$;
- b. enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan kulit longitudinal; dan
- c. 150 mm.

3.3.3 Kolom

3.3.3.1 Estimasi dimensi kolom

Penentuan pembebanan untuk struktur gedung

Pembebanan ini meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa. Beban-beban yang akan di bebaskan pada struktur gedung tersebut harus di tentukan secara detail agar struktur kolom yang di rancang kuat dan aman.

Beban aksial terfaktor

$$P_u = 1,2N_d + 1,6N_l \quad (3 - 60)$$

Keterangan:

N_d = Beban mati.

N_l = Beban hidup.

Kekuatan aksial nominal penampang

Untuk kolom dengan pengikat sengkang:

$$P_n = 0,8\{0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \quad (3 - 61a)$$

Untuk kolom dengan pengikat spiral:

$$P_n = 0,85\{0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \quad (3 - 61b)$$

Syarat untuk menentukan dimensi kolom

Pada kondisi kritis kuat rencana di ambil sama dengan kuat perlu:

$$\phi P_n = P_u \quad (3 - 62)$$

Untuk kolom pengikat sengkang: $\phi = 0,65$, sedangkan untuk kolom dengan pengikat spiral $\phi = 0,70$

Penentuan dimensi kolom

Dari persamaan (3 – 61a) atau (3 – 61b) didapatkan nilai A_g . Dari hasil akar nilai A_g di dapatkan dimensi kolom tersebut.

3.3.3.2 Desain tulangan kolom

A. Perhitungan tulangan longitudinal

Gaya aksial gravitasi terfaktor

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.13.4.2 komponen struktur dengan gaya aksial gravitasi terfaktor tidak melebihi persamaan sebagai berikut:

$$\frac{A_g \cdot f'_c}{10} \quad (3 - 63)$$

Tetapi berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.1 gaya aksial gravitasi terfaktor tidak boleh kurang dari persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1,4 \cdot b_w \cdot d}{f_y} \quad (3 - 64)$$

Cek rasio dimensi penampang

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.1.2 rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

$$\frac{b}{h} > 0,4 \quad (3 - 65)$$

Penentuan M_u dan P_u

Besarnya Momen lentur dan beban aksial akibat beban terfaktor (M_u dan P_u) di peroleh dari permodelan struktur pada *ETABS version 9*.

Nilai panjang efektif (k)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.10.7.2 untuk mencari nilai panjang efektif (k) perlu di cari faktor kekangan ujung kolom yang di tinjau meliputi ujung atas (ψ_a) dan ujung bawah (ψ_b) pada kolom.

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{E.I_k}{I_k} \right)}{\sum \left(\frac{E.I_b}{I_b} \right)} \quad (3 - 66)$$

Dari SNI 2847-2013 gambar S10.10.1.1 di dapatkan nilai faktor panjang efektif (k).

Keterangan:

E = Modulus elastisitas beton.

I = Momen inersia penampang.

Cek kelangsingan kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013 pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasus berikut:

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 22 \quad \text{untuk portal bergoyang (3 - 67a)}$$

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \quad \text{untuk portal tidak bergoyang (3 - 67b)}$$

Keterangan:

k = faktor panjang efektif.

l_u = tinggi bersih kolom.

r = radius girasi kolom

M_1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil.

M_2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar.

Menghitung momen statis terfaktor total

Bila nilai $M_{u2} > M_{u3}$:

$$M_{o2} = M_{u2} + M_{u3} \left(\frac{b}{h} \right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \quad (3-68a)$$

Bila nilai $M_{u2} < M_{u3}$:

$$M_{o3} = M_{u3} + M_{u2} \left(\frac{h}{b} \right) \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \quad (3-68b)$$

Keterangan:

b = lebar muka tekan komponen struktur (mm).

h = tebal muka tekan komponen struktur (mm).

β = rasio dimensi (untuk desain nilai β dapat diambil sebesar 0,65).

Menentukan jumlah tulangan

Kemudian dengan menggunakan diagram interaksi kolom (PCACOL) sehingga di peroleh rasio penulangan (ρ) sebesar lebih dari atau sama dengan 1%

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.3.1 luas tulangan A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ atau lebih dari $0,06 A_g$.

Cek diagram interaksi kolom:

$$0,01.A_g \leq A_{st} \leq 0,06.A_g \quad (3 - 69)$$

Persyaratan “strong columns weak beams”

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2 kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (3 - 70)$$

B. Perhitungan tulangan transversal.

Penentuan V_u

Besarnya Gaya geser akibat beban terfaktor (V_u) di peroleh dari permodelan struktur pada *ETABS version 9*.

Kuat geser beton

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1 kuat geser harus di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

- (a) Untuk komponen struktur yang di kenai geser dan lentur saja,

$$V_c = 0,17.\lambda\sqrt{f'c}.b_w.d \quad (3 - 71)$$

(b) Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad (3 - 72)$$

Keterangan:

N_u = gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang.

Kuat geser nominal

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.2 bila digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur, V_s di hitung dengan menggunakan persamaan:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (3 - 73)$$

Dan V_s tidak boleh di ambil lebih besar dari:

$$V_s \leq 0,66 \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad (3 - 74)$$

Keterangan:

A_v = luas tulangan geser.

Tegangan geser nominal

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 11.1.1 tegangan geser nominal dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_n = V_c + V_s \quad (3 - 75)$$

Perencanaan penampang terhadap geser harus memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3 - 76)$$

Syarat spasi sengkang

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.1 tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang l_o dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. panjang l_o tidak boleh kurang dari sebagai berikut:

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

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.3 spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari sebagai berikut:

- a. Seperempat dimensi komponen struuktur minimum;
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan
- c. S_o seperti di definisikan pada persamaan sebagai berikut:

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (3 - 77)$$

Keterangan:

S_o = spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang l_o

Nilai S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu di ambil kurang dari 100 mm.

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.4 jumlah tulangan transversal harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat, ρ_s tidak boleh kurang dari yang di syaratkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho_{s \min} = 0,12 \cdot \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \quad (3 - 78)$$

Dan tidak boleh kurang dari persamaan sebagai berikut:

$$\rho_{s \min} = 0,45 \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \cdot \frac{f'_c}{f_y} \quad (3 - 79)$$

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

$$A_{sh \min} = 0,3 \cdot \frac{s b_c \cdot f'_c}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3 - 80)$$

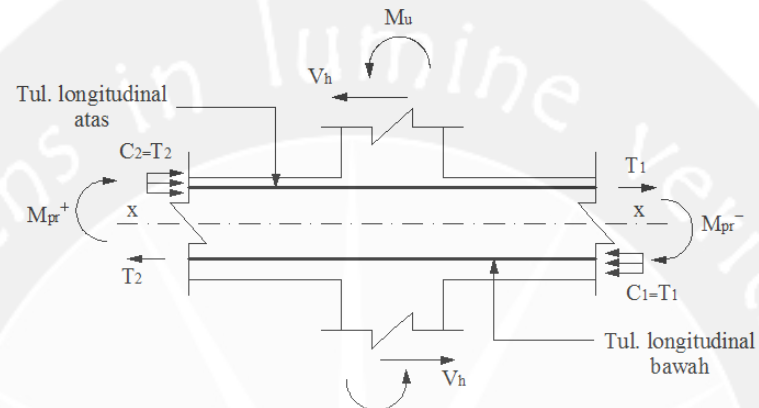
dan

$$A_{sh \min} = 0,09 \cdot \frac{s b_c \cdot f'_c}{f_y} \quad (3 - 81)$$

3.3.4 Hubungan balok kolom

3.3.4.1 Perencanaan hubungan balok kolom

Gambar analisa geser dari hubungan balok kolom



Gambar 3.3 Analisa geser hubungan balok kolom
(sumber: SNI 2847-2013)

Gaya geser tulangan longitudinal hubungan balok kolom

Persamaan tulangan longitudinal balok (atas) sebagai berikut:

$$T_1 = A_{s1} \cdot 1,25 \cdot f_y \quad (3 - 82)$$

Persamaan tulangan longitudinal balok (bawah) sebagai berikut:

$$T_2 = A_{s2} \cdot 1,25 \cdot f_y \quad (3 - 83)$$

Gaya geser kolom

Menghitung M_u dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_u = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{2} \quad (3 - 84)$$

Sehingga,

$$V_h = \frac{Mu}{L_n/2} \quad (3 - 85)$$

Menghitung gaya geser di potongan x-x

Gaya geser yang mungkin banyak terjadi pada potongan x-x yaitu terletak pada ($\frac{1}{2} \cdot h_{\text{balok}}$).

$$V_{x-x} = T_1 + T_2 - V_h \quad (3 - 86)$$

Hubungan balok kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.7.4.1 untuk beton berat normal, V_n joint tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai yang ditetapkan sebagai berikut:

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

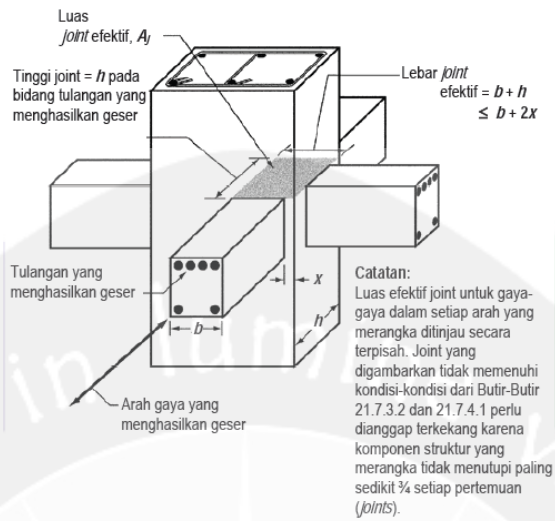
$$1,7 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j \quad (3 - 87)$$

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

$$1,2 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j \quad (3 - 88)$$

- c. Untuk kasus-kasus lainnya:

$$1,0 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j \quad (3 - 89)$$



Gambar 3.4 Luas joint efektif
(sumber: SNI 2847-2013)