

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pembebanan Struktur

Pembebanan yang digunakan dalam perencanaan gedung ini adalah kombinasi dari beban hidup, beban mati, dan beban gempa.

3.1.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan menurut SNI 1725:2012 adalah sebagai berikut

1. $1,4D$ (3-1)
2. $1,2D + 1,6L$ (3-2)
3. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho Ex + 0,3\rho Ey$ (3-3)
4. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + \rho Ex - 0,3\rho Ey$ (3-4)
5. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho Ex + 0,3\rho Ey$ (3-5)
6. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - \rho Ex - 0,3\rho Ey$ (3-6)
7. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3\rho Ex + \rho Ey$ (3-7)
8. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3\rho Ex + \rho Ey$ (3-8)
9. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 0,3\rho Ex - \rho Ey$ (3-9)
10. $(1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L - 0,3\rho Ex - \rho Ey$ (3-10)
11. $(0,9-0,2S_{DS})D + \rho Ex + 0,3\rho Ey$ (3-11)
12. $(0,9-0,2S_{DS})D + \rho Ex - 0,3\rho Ey$ (3-12)
13. $(0,9-0,2S_{DS})D - \rho Ex + 0,3\rho Ey$ (3-13)

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

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

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

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

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

Keterangan

D = beban mati (*dead load*)

L = beban hidup (*live load*)

S_{DS} = parameter percepatan respons desain pada periode pendek

ρ = faktor redundansi

E_x = beban gempa arah horizontal

E_y = beban gempa arah vertikal

Pengecualian:

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3 sampai dengan 10 boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk garasi, ruang pertemuan, dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m².

3.1.2 Kuat Rencana

Menurut SNI 2847-2013 pasal 9.3, kekuatan desain suatu komponen strukturnya sambungannya dengan komponen strukturnya lain dan penampangannya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ

Tabel 3.1 Faktor Reduksi Kekuatan

No	Keterangan	ϕ
1	Penampang terkendali tarik	0,9
2	Penampang terkendali tekan a. Komponen struktur dengan tulangan spiral b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,75 0,65
3	Geser dan torsi	0,75
4	Tumpuan Pada Beton	0,65
5	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6	Model strat dan pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan, dan daerah tumpuan dalam model	0,75
7	Penampang lentur komponen struktur pra tarik a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditinggikan secara linier	0,75 0,75 sampai 0,9

3.1.3 Perencanaan Beban Gempa

1. Gempa Rencana

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 4.1.1 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya sekama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

2. Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismic suatu bangunan dipermukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasi terlebih dahulu berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas.

Tabel 3.2 Klasifikasi Situs

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

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber : Tabel 3 – SNI 1726:2012, hal 17)

3. SDS dan SD1

SDS merupakan parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek (redaman 5 persen) sedangkan SD1 adalah parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik (redaman 5 persen). Nilai SDS dan SD1 dapat ditentukan melalui website desain spektra indonesia yang dimiliki oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan rakyat di http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.

4. Kategori Resiko Struktur Bangunan

Menurut SNI 1726:2012, kategori risiko tiap bangunan berbeda yang diklasifikasikan menurut fungsi bangunan. 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 3.6

Tabel 3.3 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<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, peternakan, 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
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan UGD - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk jompo 	III

Tabel 3.3 (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kedalaman 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 gangguan bahannya melebihi batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</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 bedan 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 atatu material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratakan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat 	IV

Tabel 3.3 (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dang non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori reskko IV	

(Sumber : Tabel 1-SNI 1726:2012, hal 14-15)

5. Kategori Desain Seismik

Kategori desain sesimik ditentukan menggunakan nilai S_{DS} dan S_{DI} berdasarkan Tabel 3.4 dan Tabel 3.5. Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan respons pada perioda pendek sebagai berikut :

Tabel 3.4 Kategori desain seismik berdsarakan parameter resnpons 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
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	C
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

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

Sedangkan kategori deasin seismik bedasarkan percepatan perioda 1 detik :

Tabel 3.5 Kategori desain seismik berdsarakan parameter resnpons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	B
$0,133 \leq S_{DI} < 0,2$	C	C
$0,2 \leq S_{DI}$	D	D

(Sumber : Tabel 7-SNI 1726:2012, hal 25)

6. Sistem Struktur Penahan Gaya Seismik

Menurut SNI 1726:2012, sistem penahan gaya gempa yang terjadi berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing masing nilai , R , C_d , dan Ω_o harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 9 SNI 1726:2012 halaman 34-37.

7. Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Menurut SNI 1726:2012, faktor keutamaan gempa berdasarkan kategori risiko adalah sebagai berikut :

Tabel 3.6 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I dan II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(Sumber : Tabel 2-SNI 1726:2012, hal 15)

8. Periode Fundamental Pendekatan

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

1. Periode fundamental pendekatan minimum (T minimum)

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3-19)$$

Keterangan :

T_a = nilai batas bawah periode bangunan

h_n adalah ketinggian struktur dalam (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel dibawah ini :

Tabel 3.7 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

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

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

2. Periode fundamental pendekatan maksimum (T maksimum)

$$T_a \text{ maksimum} = C_u T_a \quad (3-20)$$

Tabel 3.8 Koefisien untuk batas atas pada perioda 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 : Tabel 14-SNI 1726:2012, hal 56)

Syarat nilai T yang akan digunakan sebagai periode fundamental sebagai

berikut :

- a. $T_{\text{computer}} > T_a \text{ maksimum}$, maka digunakan $T_a \text{ maksimum}$
- b. $T_a \text{ minimum} < T_{\text{computer}} < T_a \text{ maksimum}$, maka digunakan T_{computer}
- c. $T_{\text{computer}} < T_a \text{ minimum}$, maka digunakan $T_a \text{ minimum}$

9. Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-21)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan 3-3 tidak melebihi berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-22)$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3-23)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur didaerah dimana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0,5S_I}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-24)$$

Keterangan :

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

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda 1 detik

R = faktor modifikasi respons dalam Tabel 9 SNI 1726:2012

I_e = faktor keutamaan gempa dalam Tabel 3.5

T = perioda fundamental struktur (detik)

S_I = parameter percepatan spektrum respons maksimum

10. Gaya Dasar Seismik

Gaya dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut

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

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat sesimik efektif

11. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (F_x) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3-26)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \quad (3-27)$$

$$k = 0,5 T + 0,75 \quad (3-28)$$

Keteerangan

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya leteral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (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

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :

1. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
2. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$
3. Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus di tentukan dengan interpolasi dengan linier antara 1 dan 2

3.2 Perencanaan Struktur

Komponen struktur yang akan dirancang dalam perencanaan ini meliputi kolom, balok, pelat, tangga, dan pondasi. Perancangan tersebut mengacu pada SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

3.2.1 Perencanaan Pelat dan Tangga

Pelat ada dua jenis yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah, pembagian ini didasarkan menurut arah momen lentur yang terjadi.

3.2.1.1 Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat yang ditumpu pada kedua sisi yang berhadapan, maka momen lentur terjadi pada satu arah. Tebal minimum yang ditentukan dalam Tabel 3.9 berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar.

Tabel 3.9 Tebal minimum balok non-prategan 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	$l/20$	$l/20$	$l/20$	$l/20$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/20$	$l/20$	$l/20$	$l/20$
<p>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 diatas harus dimodifikasi sebagai berikut :</p> <p>a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), w_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m³ nilai tadi harus dikalikan dengan (1.65 – 0,0003 w_c) tetapi tidak kurang dari 1,09. Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan (0,4 + $f_y/700$)</p>				

3.2.1.2 Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu pada keempat sisinya , maka momen lentur terjadi pada dua arah.Konstruksi dua arah harus mengendalikan tebal minimum pelat atau konstruksi dua arah sesuai dengan Tabel 3.10 dan tidak kurang dari :

1. Tanpa panel drop adalah 125 mm
2. Dengan panel drop adalah 100 mm

Tabel 3.10 Tebal minimum pelat tanpa balok interior

Tegangan leleh, f_y MPa	Tanpa penebalan			Dengan penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
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 pada kasus yang lain.
 Untuk f_y antara nilai diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
 Panel drop didefinisikan dalam pasal 13.2.5 SNI 2847:2013
 Pelat dengan balok diantara kolom-kolomnya di sepanjang tepi eksterior.
 Nilai a_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8

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

1. Untuk a_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus mengikuti syarat Tabel 3.10
2. Untuk a_{fm} lebih besar dari 0,2 tetapi tidak leboj dari 2, h tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-29)$$

Dan tidak boleh kurang dari 125 mm

3. Untuk a_{fm} lebih besar dari 2 ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-30)$$

Dan tidak boleh kurang dari 90 mm

4. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepo harus mempunyai rasio kekakuan a_{fm} tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan pers (3-29) atau (3-30) harus di naikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi tidak menerus.

3.2.1.3 Perancangan Pelat

Dalam Perencanaan pelat tahapan pekerjaan yang dikerjakan adalah sebagai berikut:

1. Mengitung pembebanan pelat yang dirancang dengan beban hidup dan beban mati sesuai dengan SNI 1727:2013. Menentukan momen pada pelat dengan bantuan tabel PBI 1971.
2. Menentukan tebal pelat sesuai dengan syarat tabel 3.9 dan tabel 3.10
3. Menghitung penulangan pelat arah-y dan arah-x dengan rumus sebagai berikut

$$R_n = \frac{M_l}{0,9 \cdot b \cdot d^2} \quad (3-31)$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 f'c}} \right) \quad (3-32)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,75 \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \quad (3-33)$$

$$A_s = \rho \cdot b_w \cdot d \quad (3-34)$$

Keterangan :

ρ = rasio A_s terhadap $b d$

d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik

b_w = lebar dihitung per 1 meter panjang

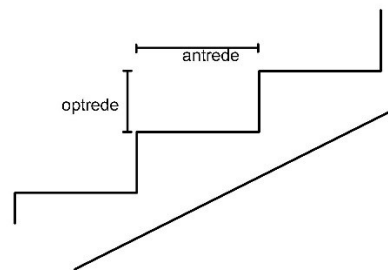
A_s = luas tulangan tarik

4. Menentukan spasi antar tulangan :

$$S = \frac{b \cdot A_s}{A_s} \quad (3-35)$$

3.2.1.4 Perancangan Tangga

Dalam perancangan tangga tahapan yang dikerjakan dimulai dengan menentukan optrede dan antrede dan dilanjutkan seperti tahapan perancangan pelat, namun dalam perhitungan momen digunakan perhitungan menggunakan analisis struktur dengan beban hidup dan beban mati.



Gambar 3.1 Antrede dan optrede tangga

3.2.2 Perencanaan Balok

Tampang balok dikategorikan berdasarkan kondisi regangan yang terjadi, berikut kondisiampang balok tersebut:

1. Regangan Seimbang

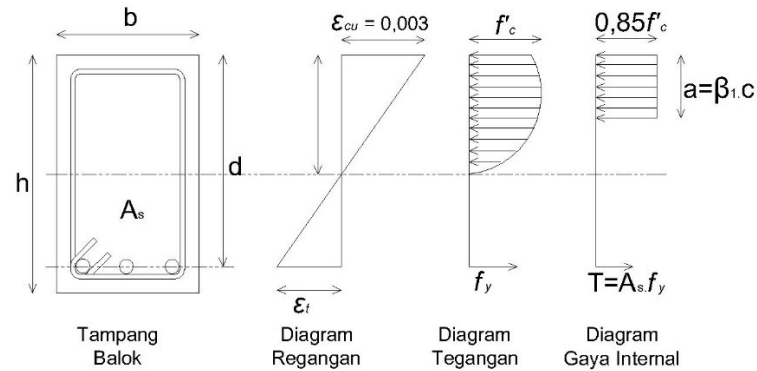
Kondisi regangan seimbang terjadi ketika pada suatu penampang yang memiliki tulangan baja tarik mencapai regangan luluh (ε_y), sedangkan beton yang tertekan mencapai regangan ultimitnya sebesar $\varepsilon_{cu}=0,003$. Penampang ini disebut penampang seimbang .

2. Tampang terkendali tekan

Kondisi terkendali tekan ini terjadi apabila regangan Tarik terluar sama dengan atau kurang dari batasan regang yang diizinkan ($\varepsilon_t \leq \varepsilon_y$), sedangkan beton mencapai regangan ultimitnya (ε_{cu}) sebesar 0,003. Keruntuhan yang terjadi bersifat getas.

3. Tampang terkendali tarik

Kondisi terkendali tarik terjadi ketika regangan baja mencapai 0,005 atau lebih ($\varepsilon_t \geq 0,005$), yang terjadi ketika beton mencapai regangan ultimitnya (ε_{cu}) sebesar 0,003. Keruntuhan yang terjadi bersifat daktail.



Gambar 3.2. Diagram kesetimbangan tegangan regangan

3.2.2.1 Dimensi Balok

Dimensi balok dapat di gunakan menurut tabel 3.9 sebagai tinggi minimum, dan lebar balok dapat diambil $1/2 - 2/3$ dari tinggi balok.

3.2.2.2 Tulangan Longitudinal

Perhitungan penulainan dimulai dengan menentukan momen dan geser yang terjadi pada tumpuan balok dan ditengah bentang balok. Perhitungan momen di bantu menggunakan *software ETABS*. Dilanjutkan dengan perhitungan tulangan.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi.b.d^2} \quad (3-36)$$

$$\rho = \frac{0,85.f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0,85.f'c}} \right) \quad (3-37)$$

$$A_s = \rho.b_w.d \quad (3-38)$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.5 luas tulangan minimum ditentukan melalui persamaan berikut:

$$A_s = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d \quad (3-39)$$

Dan tidak lebih kecil dari:

$$A_s = 1,4 \cdot b_w \frac{d}{f_y} \quad (3-40)$$

Keterangan:

- A_s = luas tulangan tarik longitudinal
- b_w = lebar kolom
- d = jarak dari serat tekan terjauh ke tulangan longitudinal
- f_y = kuat leleh tulangan baja

3.2.2.3 Tulangan Transversal

Dalam perhitungan sengkang digunakan rumus sesuai pasal 11.2.1.1 SNI 2847:2013:

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

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

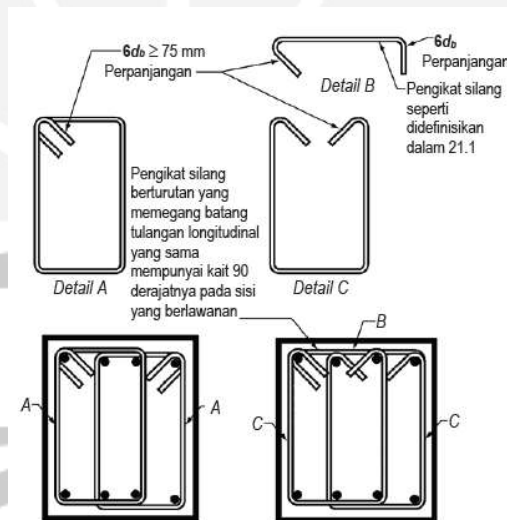
$$S = \frac{A_v \cdot f_{ys} \cdot d}{V_s} \quad (3-43)$$

Keterangan:

- V_c = Kekuatan geser nominal yang disediakan beton
- V_s = Kekuatan geser nominal yang disediakan tulangan geser
- V_u = gaya geser terfaktor
- F_{ys} = kekuatan leleh tulangan transversal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.3.4. tulangan geser atau sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ dan sengkang pertama harus berjarak tidak lebih 50 mm dari muka komponen struktur penumpu, dan spasi sebagai berikut :

1. $d/4$
2. $8d$ tulangan longitudinal terkecil
3. $24d$ sengkang
4. 300 mm



Gambar 3.3 Contoh-contoh sengkang tertutup saling tumpang dan ilustrasi batasan pada spasi horizontal maximum batang tulangan longitudinal yang ditumpu

(sumber : Gambar S21.5.3 SNI 2847:2013,hal 188)

3.2.3 Kolom

3.2.3.1 Kelangsingan Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 10.10.1 pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Untuk komponen struktur yekan yang tidak dibresing

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 22 \quad (3-44)$$

2. Untuk komponen struktur tekan yang dibresing

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 34 - 23 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-45)$$

Keterangan:

k = faktor panjang efektif untuk komponen struktur

l_u = panjang tak tertumpu komponen struktur tekan

M_1 = momen ujung terfaktor terkecil pada komponen struktur tekan

M_2 = momen ujung terfaktor terbesar pada komponen struktur tekan

3.2.3.2 Kuat Lentur

Menurut SNI 2847:2013 kuat lentur kolom harus memenuhi persamaan :

$$\sum M_{nc} \leq \sum M_{nb} \quad (3-46)$$

Keterangan

$\sum M_{nc}$ = jumlah kuat lentur nominal kolom yang merangka kedalam joint

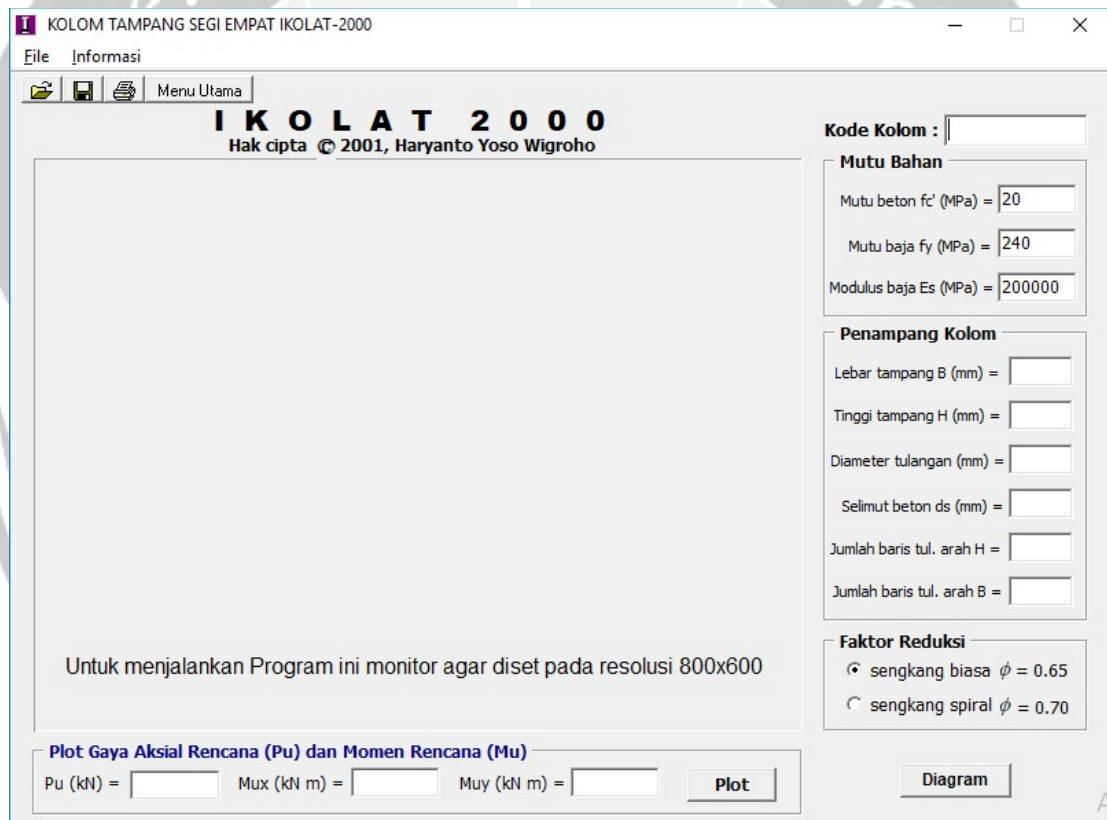
$\sum M_{nb}$ = jumlah kuat lentur nominal balok yang merangka kedalam joint

3.2.3.3 Tulangan Longitudinal

Perencanaan tulangan dilakukan dengan menentukan gaya-gaya yang bekerja pada kolom dengan bantuan *software ETABS*. Setelah itu dilakukan penentuan rasio penulangan dengan bantuan diagram interaksi seperti pada gambar 3.1. Berdasarkan pasal 21.6.3.1 SNI 2847:2013 luas tulangan memanjang A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ atau lebih dari $0,06 A_g$. Dan berdasarkan pasal 21.6.3.2 SNI 2847:2013 pada kolom dengan sengkang tertutup bulat jumlah tulangan longitudinal minimum 6.

3.2.3.4 IKOLAT 2000

Gaya-gaya yang bekerja pada kolom merupakan kombinasi momen lentur dan gaya aksial. Dengan adanya gaya aksial penyelesaian keseimbangan menjadi sulit diselesaikan. Untuk memudahkan perencanaan kolom umumnya digunakan aplikasi untuk membantu pengecekan keamanan kolom yaitu IKOLAT 2000



Gambar 3.4 Aplikasi IKOLAT 2000

3.2.3.5 Tulangan Transversal

Luas penampang total tulangan sengkang persegi, A_{sh} , tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \cdot b_c \cdot f'c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3-47)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s \cdot b_c \cdot f'c}{f_{yt}} \quad (3-48)$$

Keterangan

A_{sh} = luas penampang total tulangan transversal dalam spasi dan tegak lurus terhadap dimensi b_c

A_{ch} = luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal

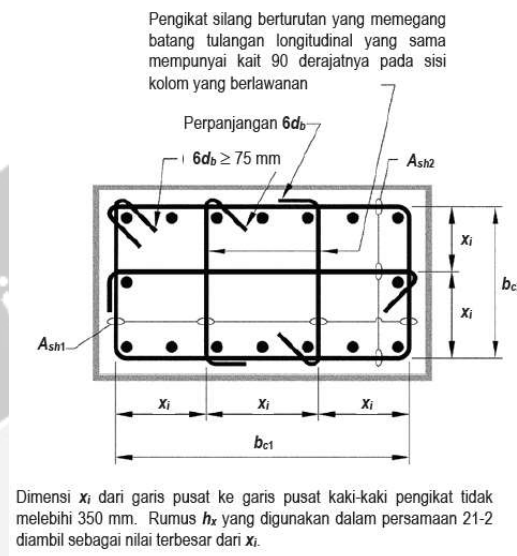
b_c = dimensi penampang inti komponen struktur yang diukur ketepi luar tulangan transversal yang membentuk luas A_{sh}

f_{yt} = kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan

Spasi tulangan berdasarkan pasal 21.6.4.3 SNI 2847:2013 sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh lebih kecil dari

1. $1/4$ dimensi komponen struktur
2. 6 d batang tulangan longitudinal terkecil
3. $S_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$

Dengan $100 \text{ mm} \leq S_o \leq 150 \text{ mm}$



Gambar 3.5 Contoh tulangan transversal pada kolom
(sumber: Gambar S21.6.4.2 SNI 2847:2013, hal 192)

3.2.4 Perencanaan Fondasi

Perencanaan fondasi digunakan untuk bangunan bertingkat ini adalah fondasi *bored pile*. Berikut langkah langkah perencanaan pondasi *bored pile*:

1. Menghitung daya dukung fondasi *bored pile*

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3-49)$$

$$Q_s = f L P \quad (3-50)$$

$$Q_p = q_p A_b \quad (3-51)$$

Keterangan

Q_u = daya dukung terfaktor fondasi

Q_s = daya dukung pondasi yang diberikan oleh *point bearing*

Q_p = daya dukung pondasi oleh friksi pada selimut

f = gaya gesek yang terjadi pada tiang

L = panjang tiang

A_b = luas alas tiang

2. Kelompok tiang

Jumlah tiang (n) dihitung dengan persamaan:

$$n = \frac{N}{P_{i.tiang}} \quad (3-52)$$

Keterangan :

N = beban normal

P_i = daya dukung 1 tiang

Untuk menghitung efisiensi kelompok tiang dapat digunakan rumus *Converse-Labarre* sebagai berikut:

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right) \quad (3-53)$$

Keterangan :

η = beban normal

m = jumlah deret tiang

n = jumlah tiang setiap deret

θ = arc tan (d/s)

s = jarak antar tiang

d = diameter tiang

3. Menghitung kontrol reaksi tiang

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_y \cdot X}{\sum x^2} + \frac{M_x \cdot Y}{\sum y^2} \quad (3-54)$$

Keterangan:

P_{max} = beban maksimum yang diterima tiang

n = jumlah tiang dalam satu *pile cap*

$\sum V$ = jumlah total beban normal

M_x = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu x

M_y = momen yang bekerja pada tiang tegak lurus sumbu y

X = absis tiang terhadap titik berat kelompok tiang

Y = ordinat tiang terhadap titik berat kelompok tiang

$\sum x^2$ = jumlah kuadrat absis tiang
 $\sum y^2$ = jumlah kuadrat ordinat tiang

4. Mengecek geser satu arah *pile cap*

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-55)$$

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

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b_o \cdot d \quad (3-57)$$

$$V_u = \sum P_u \quad (3-58)$$

Atau

$$V_u = Q_u \cdot q \cdot L \quad (3-59)$$

$$Q_u = \frac{P_u}{A_p} \quad (3-60)$$

$$q = \frac{1}{2} \text{ lebar pilecap} - \frac{1}{2} h \text{ kolom} - d \quad (3-61)$$

Keterangan

V_u = gaya geser terfaktor penampang
 V_n = kekuatan geser nominal
 V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton
 P_u = beban terfaktor pada pondasi tiang
 b_o = penampang kritis
 A_p = luas *pilecap*
 L = lebar *pilecap*
 d = tinggi efektif

5. Mengecek geser dua arah *pile cap*

$$V_u < \phi V_n \quad (3-62)$$

$$\phi V_n = \phi V_c \quad (3-63)$$

Nilai kuat geser beton diambil terkecil dari :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{6} \quad (3-64)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_o d \quad (3-65)$$

$$V_c = \left(\frac{a_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{12} \quad (3-66)$$

Keterangan

- V_u = gaya geser terfaktor penampang
- V_n = kekuatan geser nominal
- V_c = kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton
- β_c = rasio dimensi panjang
- b_o = penampang kritis
- A_p = luas *pilecap*
- ϕ = faktor reduksi kekuatan
- d = tinggi efektif