

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Perencanaan Pembebanan Struktur

Dalam melakukan perancangan ini beban-beban yang digunakan antara lain: beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.1.1. Kuat Perlu (U)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan :

U = Kuat perlu (kekuatan struktur minimum yang diperlukan)

D = Beban mati ($D+SD$)

L = Beban hidup

Ex = Beban gempa arah x

Ey = Beban gempa arah y

ρ = Faktor Redundansi

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

3.1.2. Kuat Rencana

Kuat rencana merupakan hasil kali dari kekuatan struktur yang sebenarnya dengan faktor reduksi (ϕ). Nilai-nilai faktor reduksi yang akan digunakan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.3.2, yaitu seperti pada tabel 3.1 :

Tabel 3.1. Faktor reduksi

No	Keterangan	Faktor Reduksi (ϕ)
1.	Penampang Terkendali tarik	0,9
2.	Penampang Terkendali tekan	
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,75
	b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton	0,65
5.	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6.	Model strat pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan (<i>nodal</i>), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75

Tabel 3.1. (lanjutan)

No	Keterangan	Faktor Reduksi (ϕ)
7.	Penampang lentur dalam komponen struktur pra tarik dimana penanaman strand kurang dari panjang penyaluran	
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
	b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier	0,75 sampai 0,9

(Sumber : SNI 2847:2013 pasal 9.3.2)

3.2. Perencanaan Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012

Gempa bumi adalah salah satu pembebanan yang harus diperhitungkan, terutama di daerah pulau jawa yang sering mengalami gempa. Pada saat gempa bumi terjadi, struktur bangunan mengalami getaran dari berbagai arah. Indonesia sendiri telah mengatur peraturan-peraturan dan persyaratan untuk struktur tahan gempa yang tertuang dalam SNI 1726:2012. Berikut ini adalah pemaparan terhadap perencanaan gempa berdasar peraturan tersebut.

1. Gempa Rencana

Menurut SNI 1726:2017, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 Tahun adalah sebesar 2 persen.

2. Kategori risiko struktur bangunan

Kategori risiko ini menentukan seberapa pentingnya bangunan yang akan di bangun sehingga dapat diberikan perlakuan struktur khusus terhadap bangunan yang akan di bangun. Penjelasan mengenai kategori risiko struktur bangunan dijelaskan dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2. Kategori risiko 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, dan 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	III

Tabel 3.2. (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
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.	III
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

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 4.1.2)

3. Nilai Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 4.1.2)

4. Kelas situs

Tahap ini dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik dipermukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs. Definisi tipe kelas situs ditetapkan sesuai tabel 3.4.

Tabel 3.4 Kalsifikasi Situs

Kelas Situs	Vs (M/detik)	N atau Nch	Su (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 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w > 40\%$ 3. Kuat geser niralir $S_u < 25\text{kPa}$		
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 $H > 3\text{m}$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$ Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{ m}$ dengan $S_u < 50\text{kPa}$.		

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 5.3)

5. Menentukan Respon Spektral Desain (MCE_R)

Tahap ini menjelaskan tahap penentuan respon spektrum percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah. Diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi ini meliputi faktor amplifikasi percepatan yang mewakili getaran pada periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi percepatan yang mewakili periode 1 detik (F_v) serta diperlukan nilai periode pada percepatan perioda pendek (S_{MS}) dan nilai perioda pada percepatan 1 detik (S_{M1}). Nilai-nilai tersebut kemudian disesuaikan dengan klasifikasi situs yang ada pada tabel 3.5 dan 3.6 dan di hitung dengan menggunakan persamaan 3-19 dan 3-20.

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

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

Keterangan :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Tabel 3.5 Koefisien situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s			
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b			

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 6.2)

Tabel 3.6 Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode 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				

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 6.2)

6. Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain terbagi menjadi 2 yaitu percepatan spektral desain periode pendek, S_{DS} dan percepatan spektral desain periode 1 detik S_{D1} . Nilai dari percepatan spektral desain ini diperoleh dari persamaan 3-21 dan 3-22.

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-22)$$

Menurut SNI 1726:2012, bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 1 dan mengikuti ketentuan 1 sampai dengan 3 :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan 3-23;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-23)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ;
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan 3-24:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-24)$$

Keterangan:

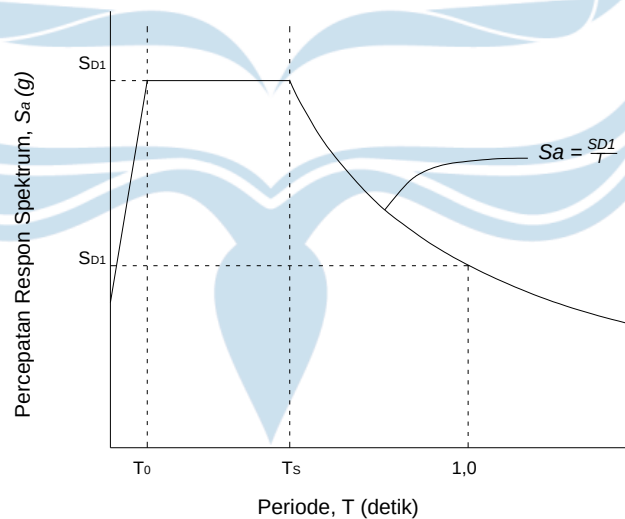
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

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

T = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 3.1 Respon Spektrum Desain

7. Menentukan Kategori Desain Seismik

Suatu Struktur harus memiliki suatu kategori desain seismik. Kategori desain seismik ini menentukan persyaratan-persyaratan minimum yang harus dimiliki suatu gedung dalam perancangannya. Penentuan kategori desain seismik dipilih berdasarkan ketentuan pada tabel 3.7 dan 3.8 :

Tabel 3.7 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

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 6.5)

Tabel 3.8 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
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C*	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726:2012, pasal 6.5)

8. Menentukan Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji.

$$T_a = C_t h^x \quad (3-25)$$

Keterangan :

Syarat : $T_a < T_c < C_u T_a$

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

Tabel 3.9 Nilai Parameter perioda pendekatan C_t dan x

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

(Sumber : SNI 1726 pasal 7.8.2)

Tabel 3.10 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

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

(Sumber : SNI 1726 pasal 7.8.2)

Syarat penggunaan nilai T yang akan digunakan sebagai periode

fundamental sebagai berikut :

Jika $T_c > T_a C_u$ gunakan $T = T_a C_u$

Jika $T_a < T_c < T_a C_u$ gunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ gunakan $T = T_a$

9. Menentukan Koefisien Respons Gempa

Nilai koefisien respon gempa, C_s dihitung dengan persamaan 3-26 :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3-26)$$

Nilai C_s yang dihitung tidak melebihi persamaan 3-27 :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (3-27)$$

C_s yang dihitung nilainya harus melebihi nilai persamaan 3-28 :

$$C_s = 0.44 \times S_{DS} \times I_e \geq 0.01 \quad (3-28)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain

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

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 4.1.2

10. Menentukan gaya geser gempa

$$V = C_s W \quad (3-29)$$

Keterangan :

C_s = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif

11. Menentukan Distribusi Gaya Lateral Tiap Lantai

$$F_i = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} V \quad (3-30)$$

Keterangan :

Bila $T \leq 0,5$ detik maka $k=1,0$

Bila $0,5 \text{ detik} < T < 2,5 \text{ detik}$ maka $k= 0,5T + 0,75$

Bila $T \geq 2,5$ detik maka $k=2,0$

12. Menentukan kontrol simpangan antar lantai

Nilai simpangan antar lantai dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta_M = \frac{C_d}{I_e} \times \delta_{max} \quad (3-31)$$

δ_{max} = perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis

3.3. Perencanaan Atap

1. Pembebanan atap

Sesuai dengan SNI 1729:2015, pembebanan pada atap digunakan sebagai berikut :

$$U = 1,4 D \quad (3-32)$$

$$U = 1,2 D + 1,3 W + 0,5 (La \text{ atau } H) \quad (3-33)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (La \text{ atau } H) + 0,8 W \quad (3-34)$$

2. Desain gording

Desain pada gording dilakukan berdasarkan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Pemeriksaan dilakukan terhadap penampang dengan persamaan berikut :

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \quad (3-35)$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \quad (3-36)$$

Dengan :

$\lambda \leq \lambda_p$, maka penampang kompak

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, maka penampang tidak kompak

$\lambda > \lambda_r$, maka penampang langsing

3. Perencanaan Batang Kuda-kuda

a. Batang Tekan

Batang tekan pada kuda-kuda harus memenuhi persamaan berikut ini

$$\phi N_n \geq N_u \quad (3-37)$$

Kuat tekan nominal batang dihitung dengan persamaan berikut :

$$N_n = A_g \times \frac{f_y}{\omega} \quad (3-38)$$

Dengan :

$$\omega = 1 \text{ bila } \lambda_c \leq 0.25$$

$$\omega = \frac{1.43}{1.6 - \lambda_c} \text{ bila } 0.25 < \lambda_c \leq 1.2$$

$$\omega = \frac{1}{1.25 \times \lambda_c^2} \text{ bila } \lambda_c \geq 1.2$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{\pi \times r_{\min}} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

b. Batang Tekan

Batang tarik pada kuda-kuda harus memenuhi persamaan berikut ini :

$$\phi N_n \geq N_u \quad (3-39)$$

Kuat tarik nominal batang dihitung dengan persamaan berikut :

$$N_n = A_g \times f_y \quad ; \phi = 0.9 \quad (3-40)$$

$$N_n = A_e \times f_u \quad ; \phi = 0.75 \quad (3-41)$$

3.4. Perencanaan Komponen Struktur

Perencanaan struktur meliputi beberapa komponen yaitu pelat lantai, balok, kolom, tangga, dinding geser dan fondasi. Perencanaan struktur ini mengikuti aturan perencanaan struktur yang tersusun dalam SNI 2847:2013.

3.4.1. Perencanaan Pelat

Perencanaan pelat terbagi menjadi dua jenis yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).

1. Penulangan pelat satu arah

Pelat satu arah adalah pelat yang didukung oleh balok pada keempat tepinya dengan perbandingan $L_y/L_x > 2$ (L_y bentang panjang dan L_x bentang

pendek) sehingga lenturan utama terjadi pada arah sisi yang pendek atau pelat yang didukung oleh balok pada dua tepi yang berhadapan sehingga lenturan hanya terjadi pada arah yang tegak lurus dukungan tersebut.

Pada pelat satu arah penulangan tulangan lentur dipasang pada arah tegak lurus dukungan/ tumpuan atau sesuai dengan arah lenturan. Perhitungan tebal dari pelat satu arah mengikuti acuan dari SNI 2847:2013 pasal 9.5.2 seperti berikut :

Tabel 3.11 Tebal minimum balok non-prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

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

(Sumber : SNI 2847:2013 pasal 9.5.2)

2. Penulangan pelat dua arah

Pelat dua arah adalah pelat yang didukung oleh balok pada keempat tepinya dengan perbandingan $L_y/L_x \leq 2$, sehingga lenturan akan terjadi pada dua arah yang saling tegak lurus. Momen lentur pada pelat dua arah terjadi di duar arah yaitu serah dengan bentang panjang (L_y) dan bentang pendek (L_x), maka tulangan pokok di pasang pada dua arah yang saling tegak lurus.

3.4.2. Perencanaan Pelat Berusuk Dua Arah

Perencanaan terhadap pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimumnya, h , harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a. Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan tabel 9.5.3.2 pada SNI 2847:2013.

- b. Untuk α_{fm} yang lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0 h tidak boleh kurang dari

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3-30)$$

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

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3-31)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasui kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan pada persamaan (b) atau (c) harus dinaikkan paling tidak 10 persen pada panel tepi menerus.
- e. Bagian l_n dalam (b) dan (c) adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang diukur muka ke muka balok. Bagian β dalam (b) dan (c) adalah rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap pendek pelat.

3.4.3. Perencanaan Balok

1. Perencanaan Dimensi Balok

Ukuran tinggi balok (h) diambil sebesar $\frac{1}{10}L$ sampai $\frac{1}{16}L$, dengan nilai L merupakan panjang bentang balok dan nilai lebar balok (b) diambil sebesar $\frac{1}{2}h$ sampai $\frac{2}{3}L$.

2. Perencanaan Tulangan Longitudinal Balok

Perencanaan tulangan dilakukan dengan nilai momen akibat beban terfaktor (M_u) yang diperoleh dari analisa struktur melalui bantuan program komputer.

Koefisien Tahanan dihitung dengan menggunakan persamaan 3-42 :

$$R_n = \frac{M_u}{(\phi \times b \times d^2)} \quad (3-42)$$

Luas tulangan yang direncanakan dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (3-43)$$

$$\rho = \frac{0.85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f_c'}} \right) \quad (3-44)$$

Menurut SNI 2847-2013 pasal 12.5.1. nilai ρ tidak boleh kurang dari :

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \times f_y} \quad (3-45)$$

dan besarnya nilai ρ tidak perlu lebih besar dari :

$$\rho_{max} = \frac{(0.85 \times f_c' \times \beta_1)}{f_y} \times 0.429 \quad (3-46)$$

Luas tulangan yang telah dihitung kemudian digunakan untuk menghitung jumlah tulangan yang akan digunakan dengan persamaan 3-1 :

$$n = \frac{A_s}{\text{Luas 1 tulangan}} \quad (3-47)$$

Kemudian periksa nilai momen nominal balok $\phi Mn \geq Mu$ dengan persamaan berikut :

$$a = \frac{A_s \times f_y}{(0.85 \times f_c' \times b)} \quad (3-48)$$

$$Mn = A_{s_{\text{aktual}}} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-49)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (3-50)$$

$$\varepsilon_t = \left(\frac{d - c}{c} \right) \times 0.003 \quad (3-51)$$

Bila nilai $\varepsilon_t > 0.005$ maka penampang terkendali tarik dan nilai ϕ diambil sebesar 0.9. Bila $\varepsilon_t < 0.005$ maka penampang terkendali tekan dan nilai ϕ diambil sebesar 0.65.

3. Perencanaan Tulangan Tranversal Balok

Pada SNI 2847:2013 pasal 11.1.1., perhitungan terhadap geser penampang harus memenuhi persamaan :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3-52)$$

Nilai kuat geser nominal stuktur dihitung dari :

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-53)$$

Dengan :

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur beton non-pratekan atau beton pada komponen strukutr pratekan.

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

SNI 2847-2013 pasal 11.2.1 menjelaskan bahwa kuat geser beton untuk komponen struktur yang hanya dibebani oleh geser dan lentur sebagai berikut ini :

$$V_c = 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad (3-54)$$

Tulangan geser perlu dipasang jika :

$$\frac{V_u}{\phi} \geq V_c + V_s \quad (3-55)$$

Jika diperlukan adanya tulangan geser maka kuat geser nomonal yang harus bisa ditahan oleh tulangan geser di hitung dengan persamaan berikut :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3-56)$$

Tetapi nilai V_s tidak boleh melebihi nilai V_s maksimum yang di hitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{smax} = 0.66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad (3-57)$$

Spasi tulangan geser dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \quad (3-58)$$

Spasi tulangan geser yang dihitung harus memenuhi persamaan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2 dimana spasi sengkang pada daerah $2h$ dari tumpuan memenuhi persyaratan berikut :

- a. $d/4$
- b. delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

Sedangkan spasi sengkang pada sepanjang bentang balok dipasang tidak lebih dari $d/2$.

3.4.4. Perencanaan Kolom

1. Perencanaan Dimensi Kolom

Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral atau komponen struktur komposit, perhitungan dilakukan menggunakan rumus pada SNI 2847:2013 pasal 10.3.6 :

$$\phi P_{n(max)} = 0,85\phi \left[0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \right] \quad (3-59)$$

2. Kelangsingan kolom

Pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan terhadap kasus-kasus berikut :

- a. Untuk komponen struktur tekan yang tidak di bresing (*braced*) terhadap goyangan menyamping :

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-60)$$

- b. Untuk komponen struktur tekan yang di bresing (*braced*) terhadap goyangan menyamping :

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-61)$$

Keterangan :

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

3. Tulangan Longitudinal

Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$. Pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal minial 6 batang.

4. Pengecekan terhadap kuat lentur kolom

Kekuatan kolom yang telah dihitung harus diperiksa kekuatan lentur minimumnya sesuai dengan persamaan pada SNI 2847:2013 berikut :

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \sum M_{nb} \quad (3-62)$$

5. Pengecekan terhadap gaya geser kolom

Pada SNI 2847:2013 pasal 11.1.1., perhitungan terhadap geser penampang harus memenuhi persamaan :

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

Nilai kuat geser nominal struktur dihitung dari :

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

Dengan :

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton untuk komponen struktur beton non-pratekan atau beton pada komponen struktur pratekan.

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

SNI 2847-2013 pasal 11.2.1 menjelaskan bahwa kuat geser beton untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial :

$$V_c = 0.17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \quad (3-65)$$

Kekuatan geser nominal yang disumbangkan oleh sengkang dihitung dengan persamaan :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{S} \quad (3-66)$$

6. Tulangan Transversal

Tulangan transversal yang diisyaratkan dalam SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.2 sampai 21.6.4.4 harus dipasang sepanjang l_o dari setiap muka joint pada kedua sisi seberang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

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

3.4.5. Perencanaan Dinding Geser

1. Perhitungan penulangan dinding geser

Dinding geser merupakan bagian struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya lateral dan meningkatkan kekakuan struktur. Pada SNI 2847:2013 pasal 21.9.2 menjelaskan bahwa dua tirai tulangan harus digunakan apabila gaya geser persamaan berikut :

$$V_u > 0.17 \times A_{cv} \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \quad (3-67)$$

Rasio tulangan (ρ) yang digunakan untuk dinding struktur tidak boleh kurang dari 0.0025 dan spasi tulangan tidak melebihi 450 mm.

2. Perhitungan kuat geser dinding geser

Pada SNI 2847:2013 dijelaskan bahwa V_n dinding geser tidak boleh melebihi :

$$V_n = A_{cv} \times (\alpha_c \times \lambda \times \sqrt{f_c'} + \rho_t \times f_y) \quad (3-68)$$

Dimana nilai koefisien α_c :

$$\frac{hw}{lw} \geq 2 \text{ ,maka } \alpha_c = 0.17 \quad (3-69)$$

$$\frac{hw}{lw} \leq 1.5 \text{ ,maka } \alpha_c = 0.25 \quad (3-70)$$

Dengan :

α_c = koefisien yang menentukan konstribusi relatif kekuatan beton terhadap dinding nominal

hw = tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas

lw = panjang seluruh dinding

A_{cp} = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton

3.5. Perencanaan Fondasi *Boredpile*

1. Perencanaan Daya dukung *Boredpile*

Daya dukung ultimit (Q_{ult}) *boredpile* diperoleh dari data penyelidikan tanah dan besarnya daya dukung ultimit untuk satu tiang dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$Q = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (3-71)$$

Dengan :

Q = Daya dukung 1 tiang

SF = angka aman

2. Menghitung jarak antar tiang

Jarak antar tiang *boredpile* diambil sebesar

$$2.5D \leq S \leq 3D \quad (3-72)$$

Dengan :

D = diameter *bored pile*

S = jarak antar tiang

3. Menghitung jumlah tiang

$$n = \frac{N}{Q} \quad (3-73)$$

Dengan :

N = beban normal

4. Kontrol terhadap reaksi tiang

Reaksi terhadap beban yang akan diterima oleh satu tiang dalam suatu kelompok tiang dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$P_{max} = \frac{\sum Pu}{n} + \frac{My \times X}{ny \times \sum X^2} + \frac{Mx \times Y}{nx \times \sum Y^2} \quad (3-74)$$

Dengan :

P_{max} = beban maksimum satu tiang

$\sum P_u$ = beban normal yang terjadi pada tiang

n = jumlah bored pile yang digunakan

M_x = momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x

M_y = momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y

$\sum X^2$ = jumlah kuadrat absis tiang

$\sum Y^2$ = jumlah kuadrat ordinat tiang

5. Kontrol terhadap geser satu arah

Gaya geser terfaktor yang bekerja pada penampang kritis dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_u = \sigma \times l_p \times G' \quad (3-75)$$

Sedangkan kuat geser yang dimiliki beton adalah

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_p \times d \quad (3-76)$$

Periksa kuat geser beton terhadap kuat geser terfaktor

$$\phi V_c \geq V_u \quad (3-77)$$

Dengan :

V_u = Gaya geser terfaktor satu arah yang terjadi

V_n = Kuat geser nominal fondasi

V_c = Kuat geser yang dimiliki beton

σ = tegangan tanah yang terjadi

l = panjang fondasi

G' = Daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser satu arah

b_p = lebar fondasi

d = Tebal efektif fondasi

6. Kontrol terhadap geser dua arah

Gaya geser terfaktor yang bekerja pada penampang kritis dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_u = \sigma_u \times (A_{pc} - B'^2) \quad (3-78)$$

Sedangkan kuat geser yang dimiliki beton dihitung dengan persamaan berikut dan dicari nilai terkecilnya

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \left(\frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{6}\right) \quad (3-79)$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s \times d}{b_o} + 2\right) \times \left(\frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{12}\right) \quad (3-80)$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d \quad (3-81)$$

Periksa kuat geser beton terhadap kuat geser terfaktor

$$\phi V_c \geq V_u \quad (3-82)$$

Dengan :

V_u = Gaya geser terfaktor dua arah yang terjadi

V_n = Kuat geser nominal fondasi

V_c = Kuat geser yang dimiliki beton

σ = tegangan tanah yang terjadi

l = panjang fondasi

B' = Lebar penampang kritis fondasi

b_p = lebar fondasi

d = Tebal efektif fondasi

α_s = 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi dan 20 untuk kolom sudut

7. Perencanaan tulangan fondasi

Tulangan pada fondasi bored pile direncanakan menggunakan persamaan berikut :

$$\phi P_n = 0.85 \times \phi \times (0.85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + (f_y \times A_{st})) \quad (3-83)$$

8. Menentukan gaya horizontal tiang

Dalam analisis gaya horizontal, tiang dibedakan menjadi 2 jenis sesuai dengan model ikatannya dengan *pile cap*. Tiang dibedakan menjadi 2 yaitu tiang ujung jepit dan ujung bebas. Tiang ujung jepit adalah tiang yang ujung atasnya tertanam minimal 60cm pada pilecap. Jika ujung atas tiang yang tertanam kurang dari 60 cm maka termasuk ujung bebas.

Perhitungan tiang dalam tanah granuler (pasir) dihitung menggunakan *metode broms* pada buku Analisis dan Perancangan Fondasi, Hardiyatmo H.C. perhitungan dibagi menjadi dua jenis yaitu terhadap tiang dengan tahanan ujung bebas dan tahanan ujung jepit

a. Tahanan ujung bebas

Pada tiang pendek, momen dianggap berotasi pada ujung tiang, sehingga nilai H_u dapat dihitung dengan persamaan 3-65 :

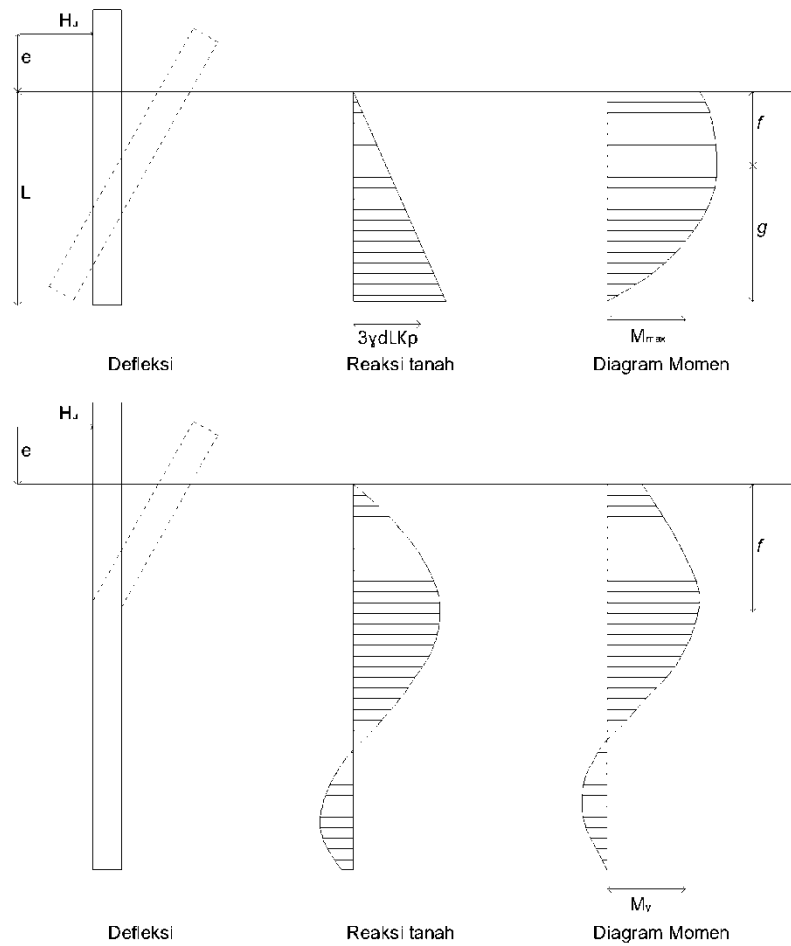
$$H_u = \frac{(1/2)\gamma dL^3 K_p}{e + L} \quad (3-84)$$

Momen maksimum terjadi pada titik f , nilai f dan Momen maksimum dihitung melalui persamaan 3-66 dan 3-67:

$$f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{dK_p \gamma}} \quad (3-85)$$

$$M_{\max} = H_u (e + 2f/3) \quad (3-86)$$

Jika diperoleh nilai $M_y < M_{\max}$, maka tiang termasuk tiang panjang. Maka nilai H_u dihitung kembali dengan menggunakan persamaan 3-85 dan 3-86 dengan menganggap $M_y = M_{\max}$



Gambar 3.2. Keruntuhan Tiang ujung bebas dalam tanah granuler

a) Tiang pendek b) Tiang panjang

b. Tahanan ujung jepit

Pada tiang pendek keruntuhan yang terjadi berupa translasi, beban lateral ultimit dapat dinyatakan dengan persamaan 3-87 :

$$H_u = (3/2) \gamma d L^2 K_p \quad (3-87)$$

Momen yang terjadi pada kepala tiang dihitung dengan persamaan 3-88 :

$$M_{\max} = (2/3) H_u L = \gamma d L^3 K_p \quad (3-88)$$

Jika nilai $M_{\max} > M_y$, maka keruntuhan tiang diharapkan terjadi seperti gambar 5.b. Nilai keseimbangan tiang horizontal dihitung dengan persamaan 3-89 :

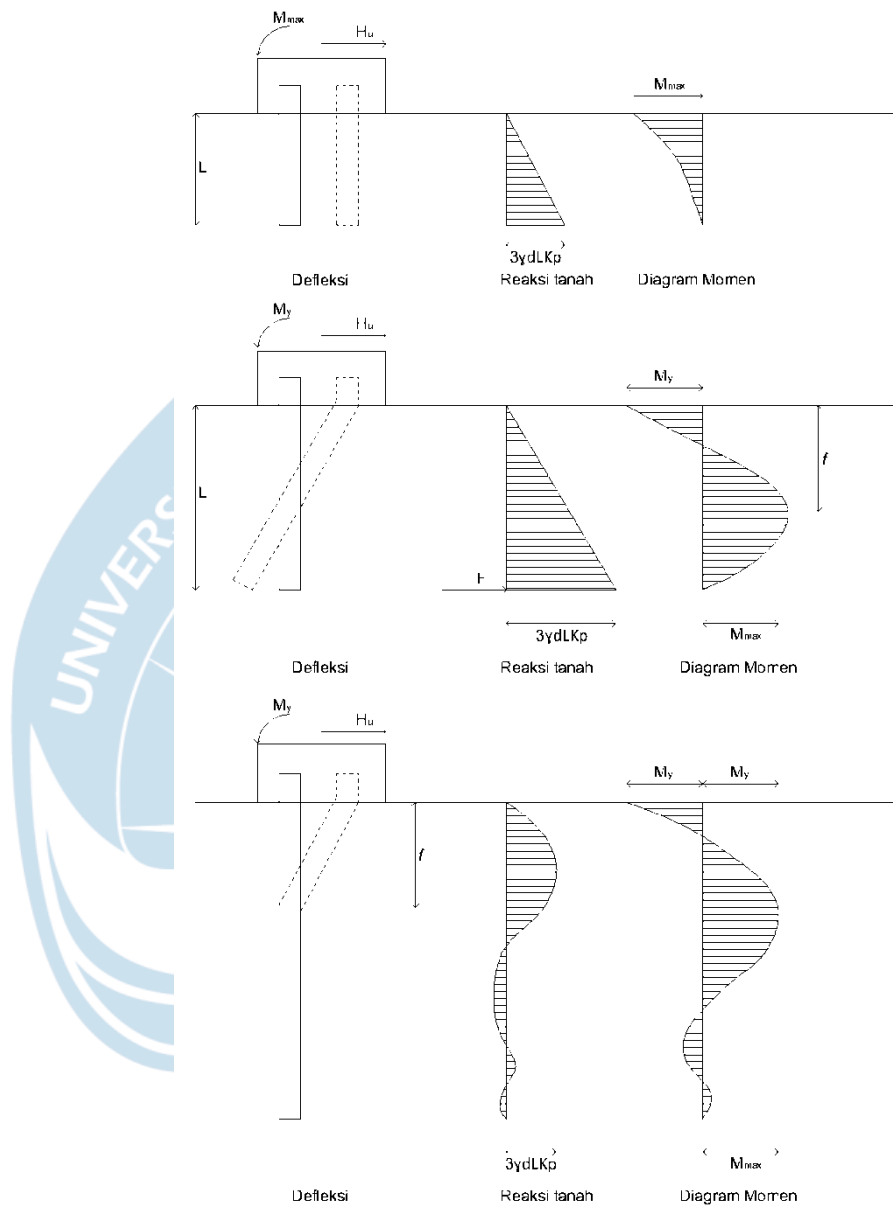
$$F = (3/2)\gamma dL^2 K_p - H_u \quad (3-89)$$

Momen pada tiang di hitung kembali dengan substitusi nilai F pada persamaan 3-89, maka diperoleh persamaan 3-90 :

$$M_y = (1/2)\gamma dL^3 K_p - H_u L \quad (3-90)$$

Apabila tiang mencapai nilai momen maksimum pada dua titik, maka nilai H_u dihitung dengan persamaan 3-91 :

$$H_u = \frac{2M_y}{e + 2f/3} \quad (3-91)$$



Gambar 3.3. Keruntuhan Tiang ujung jepit dalam tanah granuler

a) Tiang pendek b) Tiang sedang c) Tiang Panjang