

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Pembebanan

SNI 1726:2012 dan SNI 2847:2013 memberikan kombinasi beban sebagai berikut :

$$1.4D \dots \dots \dots (3-1)$$

$$1.2D + 1.6L \dots \dots \dots (3-2)$$

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D + \rho E_x + 0.3\rho E_y + 1.0L \dots \dots \dots (3-3)$$

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D + \rho E_x - 0.3\rho E_y + 1.0L \dots \dots \dots (3-4)$$

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D - \rho E_x + 0.3\rho E_y + 1.0L \dots \dots \dots (3-5)$$

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D - \rho E_x - 0.3\rho E_y + 1.0L \dots \dots \dots (3-6)$$

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D + 0.3\rho E_x + \rho E_y + 1.0L \dots \dots \dots (3-7)$$

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D + 0.3\rho E_x - \rho E_y + 1.0L \dots \dots \dots (3-8)$$

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D - 0.3\rho E_x + \rho E_y + 1.0L \dots \dots \dots (3-9)$$

$$(1.2 + 0.2S_{DS})D - 0.3\rho E_x - \rho E_y + 1.0L \dots \dots \dots (3-10)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})D + \rho E_x + 0.3\rho E_y \dots \dots \dots (3-11)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})D + \rho E_x - 0.3\rho E_y \dots\dots\dots (3-12)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})D - \rho E_x + 0.3\rho E_y \dots\dots\dots (3-13)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})D - \rho E_x - 0.3\rho E_y \dots\dots\dots (3-14)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})D + 0.3\rho E_x + \rho E_y \dots\dots\dots (3-15)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})D + 0.3\rho E_x - \rho E_y \dots\dots\dots (3-16)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})D - 0.3\rho E_x + \rho E_y \dots\dots\dots (3-17)$$

$$(0.9 - 0.2S_{DS})D - 0.3\rho E_x - \rho E_y \dots\dots\dots (3-18)$$

3.1.1 Kuat Desain

Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari standar ini, yang dikalikan dengan factor reduksi kekuatan (ϕ). **(SNI 2847:2013 pasal 9.3.1)**

Tabel 3.1 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) Desain

No	Keterangan	Faktor Reduksi
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 <i>start</i> pengikat, daerah pertemuan (<i>nodal</i>) dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
7	Penampang lentur dalam komponen struktur pra tarik	
	a. Dimana ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
	b. Dari ujung panjang penyaluran boleh ditingkatkan secara linier dari	0,75 sampai 0,9

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

3.2 Asumsi Desain

Asumsi dasar dalam merencanakan kekuatan komponen struktur untuk beban lentur dan aksial ditentukan dalam SNI 2847:2013 pasal 10.2, diantaranya:

1. Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003
2. Tegangan beton sebesar $0,85f'_c$ diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.
3. Untuk f'_c antara 17 dan 28 MPa, β_1 harus diambil sebesar 0,85. Untuk f'_c diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan 7 MPa diatas 28 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.
4. Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kekuatan f_y harus diambil sebesar E_s , dikalikan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan f_y , tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan f_y .

3.3 Perencanaan Terhadap Gempa

3.3.1 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan.

Tabel 3.2 Kategori Resiko Gedung Pendidikan

Jenis Pemanfaatan	Kategori
<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 	<p style="text-align: center;">IV</p>

Tabel 3.3 Kategori Resiko Gedung Pendidikan Lanjutan

Jenis Pemanfaatan	Kategori
<ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangka penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau mineral atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi bangunan lain masuk ke ala kategory resiko</p>	IV

(Sumber : Tabel 1 SNI 1726:2012)

Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: Tabel 2 SNI 1726:2012)

3.3.2 Definisi Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan data tanah yang didapat dari proses pengumpulan data dimana gedung akan direncanakan. Adapun definisi parameter kelas situs dapat dilihat pada SNI 1726:2012 seperti Tabel 3.4.

Tabel 3.5 Kelas Situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

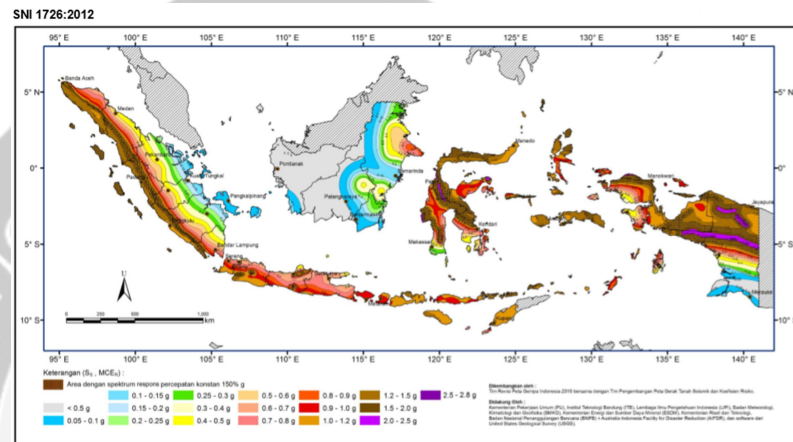
Tabel 3.6 Kelas Situs Lanjutan

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser nialir $\bar{S}_u < 26$ kPa 		
<p>SF (tanah khusus, m yang membutuhkan penyelidikan geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)</p>	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likufaksi, 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 $PI > 75$) <p>Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa</p>		

(SNI 1726:2012)

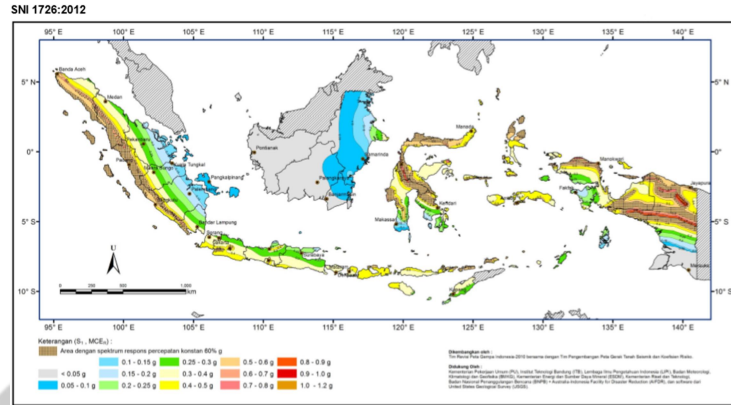
3.3.3 Parameter Respon Spectral

S_s adalah parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen (SNI 1726:2012). Nilai S_s diperoleh dari letak bangunan sesuai dengan peta zona gempa Indonesia pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 S_s (parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan untuk periode pendek 0.2 pendek)

S_l adalah parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen (SNI 1726:2012). Nilai S_l diperoleh dari letak bangunan sesuai dengan peta zona gempa Indonesia pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 S_1 (parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik)

3.3.4 Faktor Amplifikasi Getaran

Tabel 3.7 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

(Sumber: SNI 1726:2012)

Tabel 3.8 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ 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)

3.3.5 Menentukan S_{MS} dan S_{M1}

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_S \dots\dots\dots(3-19)$$

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

3.3.6 Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek S_{DS} , dan pada perioda 1 detik S_{D1} , harus ditentukan melalui persamaan berikut : **(SNI 1726:2017 pasal 6.3)**

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

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

3.3.7 Menentukan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik harus ditetapkan berdasarkan dari parameter nilai percepatan spektral desain perioda pendek S_{DS} dan percepatan spectral desain perioda 1 detik S_{D1} . Nilai yang diambil adalah nilai terbesar dari kedua kategori tersebut yang dapat dilihat pada tabel 3.9 dan 3.10.

Tabel 3.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

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

(Sumber: SNI 1726:2012)

Tabel 3.10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter
respons percepatan pada perioda 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
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726:2012)

3.3.8 Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem struktur penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam tabel 9 SNI 1726:2012 halaman 34-37 yang menentukan nilai R , faktor kuat sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_D .

3.3.9 Menentukan Sistem Struktur dan Parameter Struktur

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah sistem rangka ruang dimana komponen komponen struktur balok, kolom, dan sambungan menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi letur, geser, dan aksial. SRPM dapat dikelompokan sebagai berikut :

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB); Suatu sistem rangka yang memenuhi ketentuan-ketentuan SNI beton pasal 1-20 dan 22, serta Pasal 21.1.2 dan 21.2. Sistem rangka ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimal KDS B
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM); Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan detailing pasal 21.1.2 dan 21.1.8 serta 21.3. Sistem ini pada dasarnya memiliki tingkat daktilitas sedang dan dapat digunakan untuk bangunan yang dikenakan maksimum KDS C.
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK); Suatu sistem rangka yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi ketentuan-ketentuan Pasal 21.1.2 hingga 21.1.8, Pasal 21.5 hingga 21.8, serta Pasal 21.11 hingga 21.13. Sistem ini memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk bangunan yang dikenakan KDS D, E atau F.

Sistem struktur yang dipilih harus sesuai dengan batasan dan memperhatikan koefisien dalam jenis sistem struktur sesuai dengan SNI 1726-2012 Pasal 7.2.

3.3.10 Periode Fundamental

Periode fundamental struktur (T), dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam

analisis yang teruji dan tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung C_u . Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung terdapat pada Tabel 3.9

Tabel 3.11 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 1726:2012)

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

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

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur dalam (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan berdasarkan Tabel 3.10.

Tabel 3.12 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan α

Tipe struktur	C_t	α
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan 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	0,8
Rangka beton pemikul momen	0.0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488	0,75

(Sumber: SNI 1726:2012)

3.3.11 Spektrum Respon Desain

Spektrum respons desain mengacu pada beberapa ketentuan berikut:

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

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (3-24)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil 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 berikut:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \dots\dots\dots(3-25)$$

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(3-26)$$

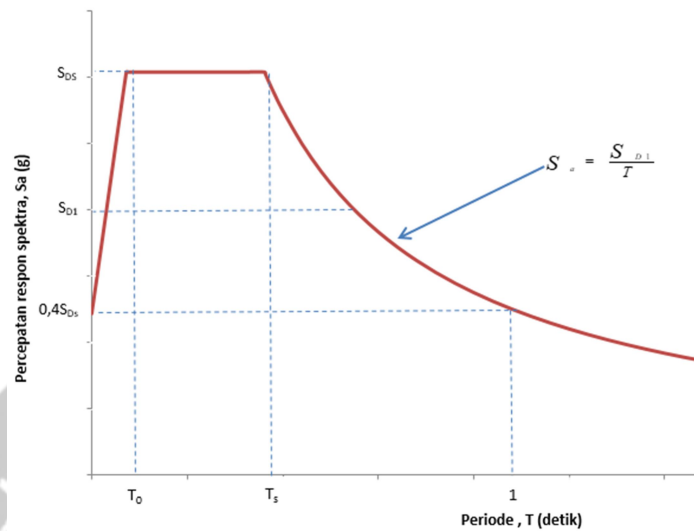
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(3-27)$$

Keterangan:

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

S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode satu detik

T = perioda getar fundamental struktur



Gambar 3.3 Spektrum Respon Desain

3.3.12 Menghitung Koefisien Respon Seismik

Koefisien respons seismik, C_s harus ditentukan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan pada SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (3.28)$$

Keterangan :

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

R = Faktor modifikasi respons yang ditentukan oleh sistem penahan gempa yang dipilih

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan kategori risiko

Nilai C_s yang dihitung sesuai persamaan 3.28 tidak perlu melebihi dari :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots (3.29)$$

C_s tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044.S_{DS}.I_e > 0,01 \dots\dots\dots (3.30)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_I sama dengan atau lebih besar dari $0.6g$, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0.5S_I}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots\dots\dots (3.31)$$

dimana :

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik)

S_I = parameter percepatan spektrum respons maksimum

3.3.13 Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya dasar seismic (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik

3.3.14 Menghitung Distribusi Gaya Vertikal

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

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots(3-30)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(3-31)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

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

h_x dan h_i = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode 0,5 detik atau kurang dari $k=1$, untuk struktur dengan periode dengan 2,5 detik atau lebih, $k=2$, untuk struktur dengan periode 0,5 dan 2,5 detik, harus sebesar 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier 1 dan 2.

3.4 Perencanaan Struktur

3.4.1 Perencanaan Pelat Lantai

3.4.1.1 Perencanaan Tebal Pelat

Dalam merencanakan pelat, terdapat spesifikasi tebal minimum dalam dimensi pelat. Tebal minimum tersebut dapat mempengaruhi jenis pelat, apakah

tergolong pelat dua arah atau pelat satu arah. Pada lantai pracetak, ukuran lebar tidak melebihi 3,7 m.

1. Pelat Dua Arah

Dimensi tebal minimum untuk pelat dengan rasio bentang panjang dan bentang pendek tidak lebih dari 2, dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi persyaratan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3 antara lain :

- a. Untuk α_{fm} sama atau lebih kecil dari 0,2 menggunakan Tabel 3.11

Tabel 3.13 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, f_y MPa ^b	Tanpa penebalan ^c			Dengan penebalan ^c		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^d		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ^d	
280	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
420	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

*Untuk konstruksi dua arah, l_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.

b.Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

c.Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5

d.Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai a_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8

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

- b. Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 dan tidak lebih besar dari 2,0 tebal pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0.2)} \geq 125mm \dots\dots\dots(3.32)$$

(SNI 2847:2013, Persamaan 9-12)

- c. Untuk α_{fm} lebih besar dari 2, ketebalan minimum pelat harus memenuhi persyaratan berikut :

$$h = \frac{l_n \left(0.8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta} \geq 90mm \dots\dots\dots(3.33)$$

(SNI 2847:2013, Persamaan 9-13)

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_f tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan pada persamaan 3.32 atau 3.33 harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus.

Dimana :

α_{fm} adalah nilai rata - rata dari α_f untuk semua balok pada tepi dari suatu panel, dengan rumus sebagai berikut.

$$\alpha_{fm} = \frac{E.balok \times I.balok}{E.pelat \times I.pelat} \dots\dots\dots (3.34)$$

β adalah rasio bentang panjang terhadap bentang pendek, dengan rumus sebagai berikut:

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} \leq 2 \text{ (pelat 2 arah)} \dots\dots\dots (3.35)$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} > 2 \text{ (pelat 1 arah)} \dots\dots\dots (3.36)$$

Dengan:

L_y = Bentang panjang

L_x = Bentang pendek

2. Pelat Satu Arah

Apabila jenis pelat yang digunakan adalah pelat satu arah, maka tebal minimum ditentukan berdasarkan rumus dari SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 dengan Tabel 3.12 sebagai berikut:

Tabel 3.14 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Dua Tumpuan	Satu Ujung Menerus	Dua Ujung Menerus	Kantiever
$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{20}$

Keterangan :

l = Panjang bentang (mm)

Bila $f_y \neq 420$ MPa maka nilai di atas dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$

3.4.1.2 Perencanaan Pelat Lantai

Momen lentur akibat beban terfaktor (w_u) digunakan seperti pada persamaan kombinasi 3.2 dengan dikalikan oleh koefisien momen pelat satu arah atau 2 arah

1. Pelat satu arah

Koefisien momen pelat satu arah terdapat pada sub pasal 8.3.3 SNI 2847:2013

Tabel 3.15 Koefisien Pendekatan pada Pelat Satu Arah

Momen positif	
Bentang ujung	
Ujung tak menerus tak terkekang	$w_u l_n^2 / 11$
Ujung tak menerus menyatu dengan tumpuan	$w_u l_n^2 / 14$
Bentang Interior	$w_u l_n^2 / 16$
Momen negatif pada muka eksterior tumpuan interior pertama	
Dua bentang	$w_u l_n^2 / 9$
Lebih dari dua bentang	$w_u l_n^2 / 10$
Momen negatif pada muka lainnya tumpuan interior	$w_u l_n^2 / 11$
Momen negatif pada muka dari semua tumpuan untuk	$w_u l_n^2 / 12$
Slab dengan bentang tidak melebihi 3m dan balok dimana rasio jumlah kekakuan balok melebihi 8 pada masing-masing ujung bentang	
Momen negatif pada muka interior dari tumpuan eksterior untuk komponen struktur yang dibangun menyatu dengan tumpuan	
Dimana tumpuan adalah balok tepi (<i>spandrel</i>)	$w_u l_n^2 / 24$
Dimana tumpuan adalah kolom	$w_u l_n^2 / 16$
Geser pada komponen struktur ujung pada muka dari pendukung interior pertama	$1,15 w_u l_n^2$
	$/ 2$
Geser pada muka dari semua tumpuan lainnya	$w_u l_n^2 / 2$

(Sumber: Pasal 8.3.3 SNI 2847:2013)

3.4.1.3 Pemeriksaan Gaya Geser Beton

Gaya geser beton (V_c) dapat dihitung dengan persamaan sub pasal 11.2.1.1 SNI 2847:2013 seperti pada persamaan (3-37)

$$V_c = 0.17\sqrt{f'_c} b_w d \dots\dots\dots(3-37)$$

Gaya geser akibat beban terfaktor menggunakan persamaan berikut:

$$V_c = \frac{1.15 W_u L_n}{2} \dots\dots\dots(3-38)$$

Gaya geser perlu diperiksa terhadap gaya geser akibat beban terfaktor, agar beton mampu menahan gaya geser, seperti pada persamaan berikut:

$$V_c \geq V_u \dots\dots\dots(3-39)$$

Apabila tidak memenuhi maka diperlukan perbesaran penampang.

Keterangan:

- λ = faktor mekanis tereduksi dari beton ringan dengan beton normal (beton normal nilai $\lambda=1,0$)
- b_w = lebar per meter
- d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal

3.4.1.4 Penentuan Kebutuhan Tulangan

Pasal 13.3 SNI 2847:2013 menjelaskan bahwa syarat luas tulangan pelat ditentukan dari momen-momen pada penampang kritis. Kebutuhan tulangan perlu dilakukan perhitungan rasio penulangan (ρ)

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \left(\frac{M_u}{\phi b d} \right)}{0.85 f'_c}} \right) \dots\dots\dots(3-40)$$

$$A_s = \rho b d \dots\dots\dots(3-41)$$

Jarak tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dua kali tebal pelat. Nilai persamaan (3-41) dibatasi dengan nilai rasio tulangan minimum pada perencanaan tulangan susut dan suhu.

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1. Pada lantai pracetak, pelat atap satu arah dan pracetak satu arah yang tidak disambung secara mekanis maka persyaratan SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1 dalam arah tegak lurus tulangan lentur boleh diabaikan. Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:

- 1) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir Mutu 280 atau 350.....0,0020
- 2) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las Mutu 420.....0,0018
- 3) Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen..... $0.0018 \left(\frac{420}{f_y} \right)$
- 4) Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan spasi tidak lebih jauh dari lima kali tebal pelat atau tidak lebih jauh dari 450 mm.

3.4.2 Perencanaan Tangga

3.4.2.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Perencanaan tangga didesain dengan mengasumsikan perletakan yang digunakan adalah sendi – rol. Perencanaan ruang tangga perlu memperhatikan beberapa hal, antara lain lebar bordes, tinggi *optrede* (O_p) antara 150 – 200 mm, *antrede* (A_n) antara 280 – 300 mm.

Syarat kenyamanan tangga:

$$600 < (20 + A) < 650 \dots\dots\dots(3-42)$$

Jumlah anak tangga:

$$n_{tg} = \left(\frac{h_{lt}}{O} \right) - 1 \dots\dots\dots(3-43)$$

Lebar tangga:

$$l_{tg} = \left(\frac{h_{lt}}{2O} - 1 \right) A \dots\dots\dots(3-44)$$

Sudut kemiringan tangga:

$$\tan \alpha = \frac{O}{A} \dots\dots\dots(3-45)$$

Keterangan:

h_{lt} = tinggi anak tangga

O = *optrede*

A = *antrede*

n_{tg} = jumlah anak tangga

l_{tg} = lebar tangga

3.4.2.2 Perencanaan Beban dan Penulangan Tangga

Beban tangga antara lain beban hidup dan beban mati. Beban mati dalam hal ini beton pelat tangga dan anak tangga. Menentukan beban mati dan beban hidup yang akan bekerja pada injakan dan plat bordes. Setelah dilakukan analisis pembebanan pada kedua elemen tersebut, akan diperoleh momen maksimum dan reaksi yang bekerja pada kedua perletakan atau tumpuan sederhana. Dari perolehan momen maksimum di tengah bentang, perhitungan selanjutnya adalah penulangan utama dan penulangan sekunder pada injakan dan plat bordes.

3.4.3 Perencanaan Balok

3.4.3.1 Perencanaan Dimensi Balok

Perencanaan balok anak mengikuti peraturan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2

a. Perencanaan Tinggi Balok Anak

Perencanaan tinggi balok menggunakan Tabel 3.17

Tabel 3.16 Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu

Arah bila Lentutan Tidak Dihitung

Tebal minum, 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 lentutan yang besar			
Pelat masif satu arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$

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

b. Perencanaan Lebar Balok Anak

$$b = \frac{2}{3} \times h \dots\dots\dots(3-46)$$

3.4.3.2 Perencanaan Tulangan Balok

a. Perhitungan tulangan lentur balok

Balok merupakan komponen struktur yang terkena beban lentur. Perhitungan penulangan lentur untuk komponen balok harus memenuhi ketentuan SRPMK yang tercantum dalam SNI 2847-2013 Pasal 21.3.2. Tahapan dalam merencanakan tulangan lentur adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data d, f_y, f'_c , dan M_u .
2. Menentukan harga β_1 untuk $f'_c > 28 \text{ MPa}$ sesuai peraturan SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7.3 berikut:

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{f'_c - 28}{7} 0.05 \geq 0.65 \dots\dots\dots(3-46)$$

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut: (SNI 2847:2013, Lampiran B(8.4.2))

$$\rho_b = \frac{0.85 \beta_1 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(3-47)$$

$$\rho_{\max} < 0.025 \text{ (SNI 03-2847:2013, Pasal (21.5.2.1))}$$

$$\rho_{\max} < 0.75 \rho_b \text{ (SNI 2847:2013, Lampiran B (10.3.3))}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \text{ (SNI 2847:2013, Pasal 10.5.1)}$$

Dari kedua harga ρ_{\min} tersebut, diambil harga terbesar sebagai yang menentukan

4. Menentukan k berdasarkan SNI 2847:2013, Pasal 9.3

$$k = \frac{M_n}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (3-48)$$

5. Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0.85 f'_c}} \right) \dots\dots\dots(3-49)$$

Periksa apakah $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$. Apabila $\rho < \rho_{\min}$ maka dimensi balok diperkecil atau digunakan penulangan $\rho = \rho_{\min}$. Apabila $\rho > \rho_{\max}$, maka dimensi balok diperbesar atau digunakan tulangan rangkap.

6. Merencanakan balok tulangan tunggal

a. Menentukan luas (A_s) dari ρ yang didapat

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} \dots\dots\dots(3-50)$$

b. Menentukan jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2} \dots\dots\dots(3-51)$$

c. Menghitung jarak tulangan

$$X = \frac{b - n \times \phi L - 2 \times d_s - 2 \times \phi S}{n - 1} \dots\dots\dots(3-52)$$

Keterangan :

ϕL = Diameter tulangan longitudinal

d_s = Tebal selimut beton

$\emptyset S$ = Diameter sengkang

b = Dimensi lebar balok

n = Jumlah tulangan longitudinal

X = Jarak antar tulangan

7. Merencanakan balok tulangan rangkap

a. Menentukan A_{s1}

$$A_{s1} = 0.9 \times \rho_{maks} \times b \times d \dots\dots\dots(3-53)$$

b. Menghitung tegangan tekan

$$a = \frac{A_{s1} f_y}{0.85 f'_c b} \dots\dots\dots(3-54)$$

c. Menghitung M_{n1}

$$M_n = 0.85 f'_c ab \left(d - \frac{a}{w} \right) + A'_s f'_s (d - d') \dots\dots\dots(3-55)$$

d. Menghitung M_{n2}

$$M_{n2} = \frac{M_u}{0.9} - M_{n1} \dots\dots\dots(3-56)$$

e. Menghitung tegangan tulangan tekan

$$c = \frac{a}{\beta_1} \dots\dots\dots(3-57)$$

$$\varepsilon'_s = \frac{c - d'_s}{c} \times 0.003 \dots\dots\dots(3-58)$$

f. Menghitung luas tulangan tekan

$$A'_s = \frac{M_{n2}}{f'_s (d - d'_s)} \dots\dots\dots(3-59)$$

Nilai $f'_s = f_y$ jika tulangan tekan sudah leleh ($\epsilon'_s \geq \epsilon_y$), jika belum leleh nilai f'_s dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$f'_s = E_s \epsilon'_s \dots\dots\dots(3-60)$$

g. Menghitung luas tulangan tarik

$$A_{s2} = \frac{A'_s f'_s}{f_y} \dots\dots\dots(3-61)$$

Bila tulangan tekan luluh maka $A_{s2} = A'_s$

Menentukan luas total tulangan tarik

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \dots\dots\dots(3-62)$$

h. Menentukan luas total tulangan yang digunakan

$$n = \frac{A'_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2} \dots\dots\dots(3-63)$$

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2} \dots\dots\dots(3-64)$$

i. Menghitung jarak tulangan

Perhitungan jarak tulangan rangkap mengikuti persamaan (3-52).

b. Perhitungan tulangan geser balok

1. Penulangan Geser pada Daerah Tumpuan

Sub pasal 21.6.5.2 SNI 2847:2013 menyatakan bahwa pada daerah sendi plastis $V_c=0$. Untuk pemasangan tulangan geser pada daerah sendi plastis (sepanjang $2h$ dari muka kolom), dilakukan analisis perhitungan sebagai berikut:

a.) Menghitung momen ujung pada tiap tumpuan

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \dots\dots\dots(3-64)$$

$$M_{pr} = A_s \times (1.25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (3-65)$$

b.) Menghitung Gaya Geser Total

$$V_e = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{l_n} \dots\dots\dots(3-66)$$

Dengan diasumsikan, bahwa beton tidak menahan gaya geser, sehingga $V_c=0$ dan $V_n=V_e$ maksimum.

c.) Perhitungan tulangan geser yang diperlukan

$$V_s = \frac{V_n}{\phi} - V_c \dots\dots\dots(3-67)$$

$$V_{smaks} = 0.66 \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(3-68)$$

Cek $V_s < V_s$ maks

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \dots\dots\dots(3-69)$$

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \dots\dots\dots(3-70)$$

Dengan syarat jarak sengkang maksimum

$$S \text{ maks} \leq \frac{d}{2} \text{ bila } V_s \leq 0.33 \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(3-71)$$

$$S \text{ maks} \leq \frac{d}{4} \text{ bila } V_s > 0.33 \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(3-72)$$

Berdasarkan SNI 2847:2013, Pasal 21.5.3.2, Jarak tulangan sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari syarat berikut:

$$S < d/4$$

$$S < 6 \text{ kali diameter tulangan longitudinal}$$

$$S < 150 \text{ mm Penulangan Geser Lapangan}$$

2. Untuk pemasangan tulangan geser di luar sendi plastis (di luar 2h), terdapat analisis perhitungan sebagai berikut:

$$V_c = 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \dots\dots\dots(3-73)$$

$$\phi V_c = 0.75 \times \frac{1}{6} \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \dots\dots\dots(3-74)$$

Cek kondisi:

$$V_u \leq 0.5\phi V_c$$

$$0.5\phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$$

$$\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{smin})$$

Menghitung kuat geser sengkang yang diperlukan dengan menggunakan persamaan (3-67). Cek kuat geser sengkang $V_s < V_s$ maks dengan perhitungan V_s maks sesuai dengan persamaan (3-68). Perhitungan luas penampang sengkang dihitung menggunakan persamaan (3-69). Kebutuhan spasi sengkang dihitung menggunakan persamaan (3-70). Dengan syarat jarak sengkang maksimum dihitung menggunakan persamaan (3-71) dan (3-72).

3.4.4 Perencanaan Kolom

3.4.4.1 Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam perencanaan awal dimensi kolom dilakukan dengan memperhitungkan beban aksial maksimal yang berasal dari beban-beban yang dipikul oleh kolom. Dengan kombinasi seperti pada perencanaan balok, maka diperoleh beban aksial maksimum (P_{maks}). (SNI 2847:2013 Sub Pasal 10.3.6.2)

$$\phi P_{maks} = 0,80 \cdot \phi [0,85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] \dots \dots \dots (3-78)$$

Dengan :

- A_{st} = Luas Tulangan
- A_g = Luas Bruto Kolom (b x h)
- f'_c = Kuat Tekan Beton
- f_y = Tegangan Leleh Baja

3.4.4.2 Penulangan Kolom

Penulangan kolom dilakukan untuk menahan adanya momen lentur, geser, dan torsi yang disyaratkan sesuai SNI 2847:2013, pasal 10 dan 11. Berikut langkah-langkah perhitungan analisis penulangan kolom:

1. Perencanaan tulangan memanjang kolom

a.) Kontrol rasio tulangan longitudinal kolom

$$0.01 A_g \leq A_{st} \leq 0.06 A_g \dots\dots\dots(3-79)$$

(SNI 2847:2013, pasal 21.6.3.1)

b.) Kontrol kapasitas beban aksial

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

$$\text{Cek, } \phi P_{maks} > P_{maks}$$

2. Kuat lentur

Momen minimal dirancang minimum 20% lebih besar dibanding momen balok disuatu hubungan balok kolom untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 21.6.2.2 disyaratkan bahwa:

$$\sum M_{nc} \geq (1.2) \sum M_{nb} \dots\dots\dots(3-81)$$

Keterangan:

ΣMnc = momen kapasitas kolom

ΣMnb = momen kapasitas balok

3. Penentuan daerah sendi plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1 panjang l_0 , harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$l_0 \geq h_{kolom}$$

$$l_0 \geq \frac{1}{6} \times l_n$$

$$l_0 \geq 450mm$$

Dimana s tidak boleh melebihi batasan berikut:

$$s < \frac{1}{4} \text{ dimensi kolom minimum}$$

$$s < 6 \text{ diameter tulangan longitudinal}$$

$$s < 100 + \frac{350 - h}{3}$$

4. Perhitungan pengekanan kolom di daerah sendi plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 21.6.4.4 luas penampang total tulangan sengkang persegi A_{sh} , tidak boleh kurang dari batasan berikut:

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s \times b_c \times f'_c}{f_{yt}} \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right) \dots\dots\dots(3-80)$$

$$A_{sh} = 0.9 \frac{s \times b_c \times f'_c}{f_{yt}} \dots\dots\dots(3-81)$$

Keterangan:

s = jarak tulangan transversal

b_c = dimensi potongan melintang dari inti kolom, yang diukur dari pusat ke pusat dari tulangan pengekang (mm)

A_g = luasan penampang kolom (mm)

A_{ch} = luasan penampang kolom diukur dari daerah tulangan transversal (mm)

f_{yt} = kuat leleh tulangan transversal (Mpa)

5. Menghitung kebutuhan tulangan geser

Gaya geser yang bekerja pada kolom (V_u) ditentukan dari besarnya M_{pr+} dan M_{pr-} terhadap balok yang menyatu dengan kolom tersebut

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \dots\dots\dots(3-82)$$

$$M_{pr} = A_s \times (1.25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(3-83)$$

$$V_e = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{Ln} \dots\dots\dots(3-84)$$

Besarnya V_u harus dikomparasikan dengan nilai V_c , yakni gaya geser yang diperoleh dari M_{pr} kolom yang diperoleh dengan program bantu pcaColumn. Karena dimensi dan penulangan kolom atas dan bawah memiliki nilai yang sama sehingga diperoleh perumusan sebagai berikut:

$$V_e = \frac{2 \times M_{pr}}{Ln} \dots\dots\dots(3-85)$$

Cek $V_e > V_u$

Berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 21.6.5.2 nilai V_c diasumsikan 0, apabila memenuhi persyaratan berikut:

$$50\%V_e > V_u$$

$$P_u < \frac{A_g \times f'_c}{10}$$

Apabila tidak memenuhi persyaratan di atas, maka $V_c \neq 0$, sehingga berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 11.2.1.2 untuk komponen struktur yang terkena beban aksial berlaku persyaratan berikut:

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times s \times d \dots\dots\dots(3-86)$$

Besarnya V_s ditentukan berdasarkan A_{sh} terpasang :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} \dots\dots\dots(3-87)$$

Cek $\phi(V_c + V_s) > V_u$

Berdasarkan SNI 2847:2013, Pasal 21.6.4.5, Sisa panjang kolom di luar sendi plastis (l_0) harus dipasang Jarak tulangan sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari syarat berikut:

$$s < \frac{d}{2}$$

$s < 6$ diameter tulangan longitudinal

$$s < 150 \text{ mm}$$

6. Menghitung panjang lewatan pada sambungan tulangan kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013, pasal 12.2.3 untuk tulangan $\geq D22$, maka :

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_1 \times \psi_2}{1.7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \right) db \dots\dots\dots(3-88)$$

Keterangan:

$\psi_1 = 1$ (tidak berada di atas lapisan beton setebal 300 mm)

$\psi_1 = 1$ (tidak dilapisi epoksi)

$\lambda = 1$ (beton berat normal)

3.4.5 Perencanaan Dinding Geser

3.4.5.1 Perhitungan Kuat Geser

$$V_c = 0.27 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times h \times d + \frac{N_u \times d}{4 \times l_w} \dots\dots\dots(3-89)$$

$$V_c = 0.5 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} + \frac{l_w \times \lambda \times \sqrt{f'_c} + 0.2 \frac{N_u}{l_w \times h}}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \dots\dots\dots(3-90)$$

SNI 2847:2013 Pasal 11.9.6

Keterangan:

l_w = Panjang keseluruhan dinding

N_u = gaya aksial (positif untuk tekan dan negatif untuk tarik)

h = tebal dinding

d = $0.8 l_w$ (SNI 2847-2013 Pasal 11.9.4)

$V_u < 0.5\phi V_c$, maka tulangan yang dibutuhkan sesuai dengan ketentuan pada

SNI 2847:2013 Pasal 14

$V_u < 0.5\phi V_c$, maka tulangan geser untuk dinding geser disesuaikan dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9, dengan V_s sesuai dengan persamaan (3-87)

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s)$$

Berikut ketentuan-ketentuan khusus untuk dinding geser penahan gempa

a.) Apabila menggunakan paling sedikit dua tirai tulangan, maka

$$V_u > 0.17A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(3-91)$$

SNI 2847:2013 Pasa 21.9.2.2

Keterangan

A_{cv} = Luas netto yang dibatasi oleh panjang dan tebal penampang dinding

b.) Cek batas kuat geser

$$V_u > \phi 0.66A_{cv}\sqrt{f'_c} \dots\dots\dots(3-92)$$

SNI 2847:2013 Pasal 21.9.4.4

$$V_u = \phi A_{cv}(\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y) \dots\dots\dots(3-93)$$

SNI 2847:2013 Pasal 21.9.4.1

Keterangan:

$$\alpha_c = 0.17-0.25 \text{ untuk } \frac{hw}{lw} = 1.5 - 2.0$$

3.4.5.2 Analisis Boundary Element

a.) Dinding geser harus diberikan *boundary element* apabila

$$C > \frac{l_w}{600 \frac{\delta_u}{h_w}} \dots\dots\dots(3-94)$$

$$\text{Dengan } \frac{\delta_u}{h_w} > 0.007$$

SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.2

b.) Rasio *boundary element* harus memenuhi persyaratan berikut

$$\rho_s = 0.12 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \dots\dots\dots(3-95)$$

$$\rho_{\text{terpasang}} = \left(\frac{A_s}{b \times d} \right) \dots\dots\dots(3-96)$$

$$\rho_{\text{terpasang}} > \rho_s$$

SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.4

c.) Luas penampang tulangan sengkang harus memenuhi persamaan (3-80) dan (3-81). SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.4 (b)

- d.) Spasi tulangan untuk boundary element, harus memenuhi persyaratan berikut: Luas penampang tulangan sengkang harus memenuhi persamaan berikut:

$$s < \frac{1}{4} \text{ dimensi kolom minimum}$$

$$s < 6 \text{ diameter tulangan longitudinal}$$

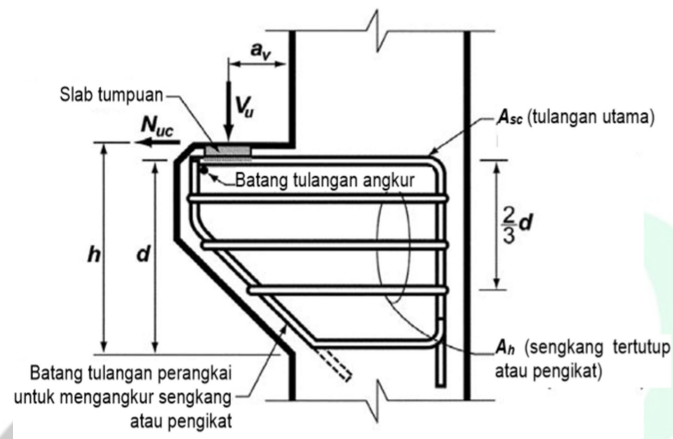
$$s < 100 + \frac{350 - h}{3}$$

SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.3

3.5 Perencanaan Sambungan

3.5.1 Sambungan Balok Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratanyang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek.



Gambar 3.4 Geometri Konsol Pendek

1. Penulangan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok anak diletakan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk tersebut tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Untuk dapat menggunakan SNI 2847:2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{A_v}{d} < 1$$

$$N_{uc} \geq 0.2V_u$$

- a) Nilai kuat geser, V_n , untuk beton normal harus memenuhi: (SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1)

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(3-97)$$

dan tidak boleh melebihi: (SNI 2847:2013 Pasal 11.8.3.2)

$$0.2 \times f'_c \times b_w \times d \dots\dots\dots(3-98)$$

$$(3.3 + 0.08 f'_c) b_w d \dots\dots\dots(3-99)$$

$$11 \times b_w \times d \dots\dots\dots(3-100)$$

- b) Luas tulangan geser friksi menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \dots\dots\dots(3-101)$$

- c) Perhitungan tulangan lentur

- Perhitungan momen ultimate di muka tumpuan harus sesuai dengan rumus: (SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4)

$$M_u = V_u a_v + N_{uc} (h - d) \dots\dots\dots(3-102)$$

- Perhitungan A_f harus mengikuti persyaratan: nilai terbesar dari

$$\frac{M_u}{0.85 \times \phi \times f_y \times d} \dots\dots\dots(3-103)$$

$$\rho \times b \times d \dots\dots\dots(3-104)$$

- Perhitungan A_n (SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4)

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} \dots\dots\dots(3-105)$$

- Luas tulangan lentur yang digunakan harus memenuhi persyaratan:
nilai terbesar dari

$$A_{sc} = A_f + A_n \dots\dots\dots(3-106)$$

$$A_{sc} = \left(\frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) \dots\dots\dots(3-107)$$

SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc\min} = 0.04 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \times b \times d \dots\dots\dots(3-108)$$

SNI 2847:2013 pasal 11.8.5

- Luas total tulangan sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$A_n = 0.5(A_{sc} - A_n) \dots\dots\dots(3-109)$$

SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

- Luas pelat landasan harus sesuai dengan rumus:

$$A_l = \frac{V_u}{0.85 \times \phi \times f'_c} \dots\dots\dots(3-110)$$

2. Panjang Penyaluran pada Sambungan Balok Kolom

- a) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan harus memenuhi persyaratan:

$$l_{dc} \geq \left(\frac{0.24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db \dots\dots\dots(3-111)$$

$$l_{dc} \geq (0 / 043 f_y) db \dots\dots\dots(3-112)$$

SNI 2847:2013 Pasal 12.3.2

- b) Panjang penyaluran kait standar dalam tarik harus memenuhi persyaratan :

$$l_{dh} \geq 8 db$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

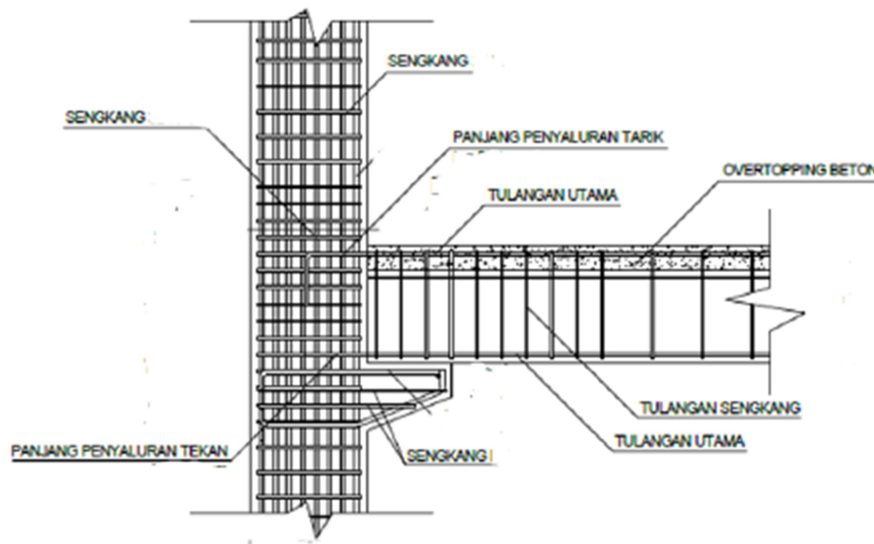
$$l_{dh} \geq \left(0.24 \frac{\psi_e f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) db$$

SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1

Dimana:

$$\psi_e = 1 \text{ (beton normal)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$



Gambar 3.5 Sambungan Balok Kolom

3.5.2 Sambungan Balok Induk-Balok Anak

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok anak diletakan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk tersebut tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Untuk dapat menggunakan SNI 2847:2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{A_v}{d} < 1$$

$$N_{uc} \geq 0.2V_u$$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah sesuai dengan persamaan (3-97)

Dimana :

N_{uc} = Gaya tarik horizontal terfaktor

\emptyset = 0.75 (SNI 2847:2013 sub pasal 11.8.3.1)

a) Menentukan Luas Tulangan Geser

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser V_n tidak boleh diambil lebih besar daripada persamaan (3-98) sampai dengan persamaan (3-100) dengan luas tulangan geser friksi dihitung menggunakan persamaan (3-101):

Dimana :

$\mu = 1.4$ untuk beton yang dicor monolit (SNI 2847:2013 pasal 11.6)

b) Perhitungan Tulangan Lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4, akan digunakan N_{uc} minimum. Langkah-langkah dalam merencanakan tulangan lentur seperti berikut :

- Perhitungan momen ultimate di muka tumpuan harus sesuai dengan rumus pada persamaan (3-102): (SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4)
- Menentukan k sesuai persamaan (3-48) berdasarkan SNI 2847:2013, Pasal 9.3
- Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan sesuai dengan persamaan (3-49)

- Menentukan luas (A_f) dan luas (A_n)

$$\rho = \frac{A_f}{b \times d} \dots\dots\dots(3-$$

113)

$$A_f = \frac{M_u}{\phi \times f_y \times d} \dots\dots\dots(3-114)$$

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} \dots\dots\dots(3-115)$$

Dimana

A_f = Luas tulangan dalam korbel yang menahan momen terfaktor

A_n = Luas tulangan dalam korbel yang menahan gaya tarik

c) Pemilihan tulangan yang digunakan

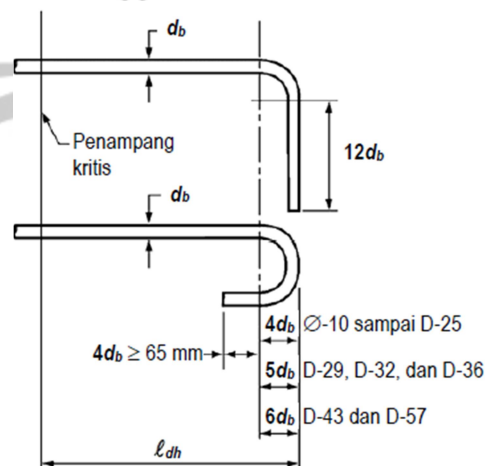
Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5 luas tulangan tarik utama (A_{sc}) diambil yang terbesar dari syarat pada persamaan (3-106) dan (3-107). Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.5 A_{sc} tidak boleh kurang dari persamaan (3-108) dan jumlah tulangan dihitung seperti persamaan (3-51). Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari persamaan (3-109). Perhitungan jumlah tulangan menggunakan persamaan (3-51) dan dipasang sepanjang (2/3)d. (SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4)

d) Penyaluran tulangan

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan ini memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok anak, terutama tulangan pada bagian atas yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke bawah. Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:

1. Panjang penyaluran dalam kondisi tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1 panjang penyaluran dalam kondisi tarik dengan kait standar harus ditentukan sebagai berikut:



Gambar 3.6 Detail Batang Tulangan dengan Kait Standar

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$\ell_{dh} \geq 150mm$$

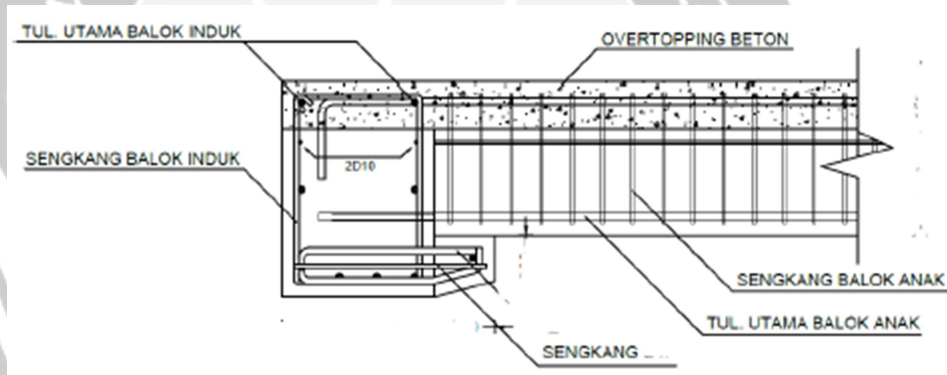
Untuk tulangan ulir ℓ_{dh} harus dihitung dengan persamaan berikut

$$\ell_{dh} = (0.24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) db \dots\dots\dots(3-116)$$

Dimana:

$$\psi_e = 1 \text{ (beton normal)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$



Gambar 3.7 Sambungan Balok Induk Balok Anak

3.5.3 Sambungan Balok-Pelat

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan yang muncul di atas balok. Selanjutnya tulangan pelat pracetak dihubungkan dengan panjang penyaluran kepada tulangan atas balok.

- a.) Panjang penyaluran tulangan pelat dalam kondisi tarik harus memenuhi persyaratan pada persamaan (3-116).

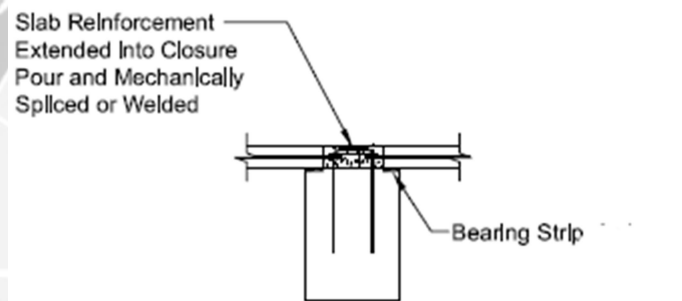
dengan:

ψ_e : faktor lokasi penulangan = 1

λ : faktor beton normal = 1

SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1

- b.) Panjang penyaluran tulangan pelat dalam kondisi tekan harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847:2013 Pasal 12.3.2, yaitu sesuai persamaan (3-111) dan (3-112).



Gambar 3.8 Sambungan Balok Plat

(Sumber : *PCI Design Handbook 6th Edition*)

3.6 Pengangkatan Elemen Pracetak

3.6.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

Pemasangan pelat pracetak harus memperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkatan dalam proses transportasi kondisi yang demikian menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak. Pada proses pengangkatan dapat

menggunakan bantuan balok angkat yang memiliki kegunaan untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini: (*PCI Handbook 6th Edition*)

a. Empat titik angkat

$$+M_x = -M_y = 0.0107wa^2b \dots\dots\dots(3-117)$$

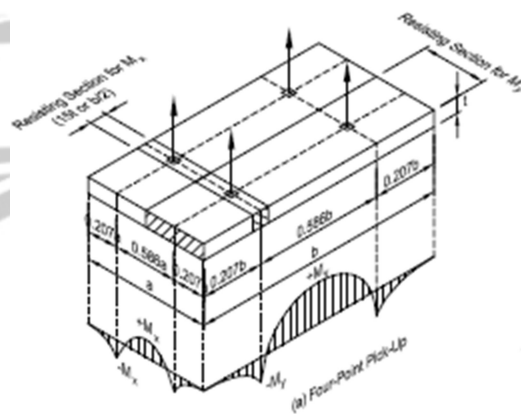
$$+M_y = -M_x = 0.0107wab^2 \dots\dots\dots(3-118)$$

Dimana:

w = *weight per unit area*

M_x = ditahan oleh penumpang dengan lebar terkecil dan $15t$ atau $b/2$

M_y = ditahan oleh penumpang dengan lebar $a/2$



Gambar 3.9 Posisi Titik Angkat Pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber : PCI Design Handbook 6th Edition Precast and Prestressed Concrete)

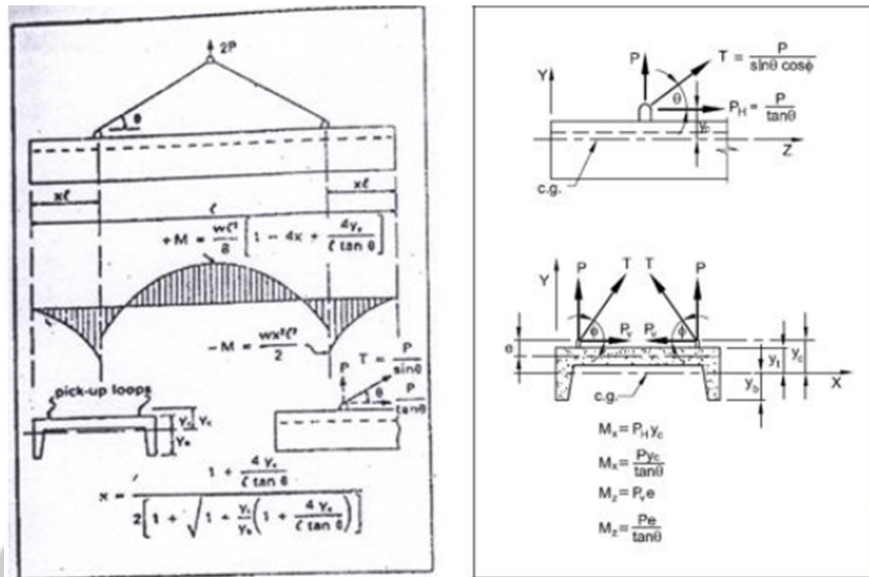
3.6.2 Pengangkatan Balok Pracetak

Kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya. Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah beban dari berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat balok. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \tan \theta} \right) \dots \dots \dots (3-121)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{8} \dots \dots \dots (3-122)$$

Pada saat pengangkatan balok pracetak, balok harus didesain sedemikian rupa agar tidak terjadi kerusakan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok dari kerusakan. Titik pengangkatan balok dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.10 Bidang Momen Balok Pracetak
(Sumber : *PCI Design Handbook Fourth Edition*)

Tabel 3.18 Angka Pengali Beban Statis Ekuivalen untuk Menghitung Gaya
Pangkatan dan Gaya Dinamis

Pangkatan dari bekisting	1.7
Pangkatan ke tempat penyimpanan	1.2
Transportasi	1.5
Pemasangan	1.2

(Sumber : *PCI Design Handbook Fourth Edition*)