

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perencanaan Beban

Perancangan struktur dalam tugas akhir ini hanya akan menggunakan jenis beban yang telah dijelaskan pada Bab II, yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Berikut adalah kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai dengan SNI 1726:2013 pasal 4.2.2 dan 7.4.2:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2 Perencanaan Beban Gempa

3.2.1 S_{DS} dan S_{DI}

Nilai S_{DS} dan S_{DI} ditentukan berdasarkan web desain spektra Indonesia [http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain spektra indonesia 2011/](http://puskim.pu.go.id//Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011/)

3.2.2 Kategori Risiko

Kategori risiko untuk struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai tabel 3.1, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.5.

Tabel 3.1 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: <ol style="list-style-type: none"> a. Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan b. Fasilitas sementara c. Gudang penyimpanan d. 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: <ol style="list-style-type: none"> a. Perumahan b. Rumah toko dan rumah kantor c. Pasar d. Gedung perkantoran e. Gedung apartemen/rumah susun f. Pusat perbelanjaan/mall g. Bangunan industry h. Fasilitas manufaktur i. Pabrik 	II

Tabel 3.1 (Lanjutan) Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Bioskop b. Gedung pertemuan c. Stadion d. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat e. Fasilitas penitipan anak f. Penjara g. Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Pusat pembangkit listrik biasa b. Fasilitas penanganan air c. Fasilitas penanganan limbah d. 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 dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	III

Tabel 3.1 (Lanjutan) Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: <ol style="list-style-type: none"> a. Bangunan-bangunan monumental b. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan c. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat d. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat e. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya f. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat g. Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat h. 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 	IV

3.2.3 Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektral pada periode pendek sebagai berikut:

Tabel 3.2 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}

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: Tabel 6-SNI 1726:2012, pp. 24)

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik sebagai berikut:

Tabel 3.3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DI}

Nilai S_{DI}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

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

3.2.4 Kombinasi Sistem Perangkai

Menentukan sistem struktur dan parameter struktur berdasarkan kategori desain seismik. Faktor R , Cd , dan Ω_o untuk sistem penahan gaya gempa ditentukan berdasarkan Tabel 9 SNI 1726:2012 halaman 34-37.

3.2.5 Faktor Keutamaan I_e

Faktor keutamaan berdasarkan kategori risiko sebagai berikut:

Tabel 3.4 Faktor Keutamaan Gempa

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

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

3.2.6 Periode Fundamental

Nilai koefisien C_u diambil sebagai berikut:

Tabel 3.5 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode 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, pp. 56)

Nilai koefisien C_t dan x diambil sebagai berikut:

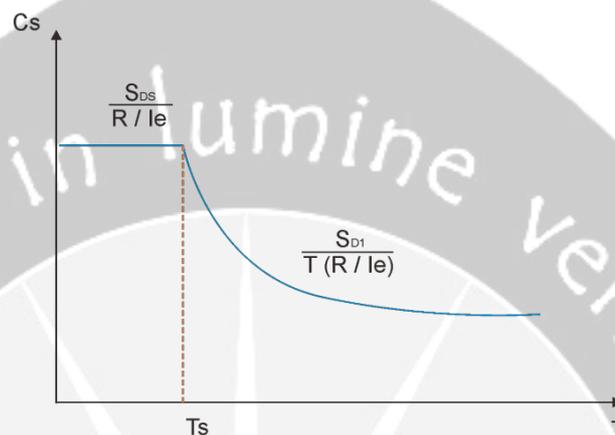
Tabel 3.6 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

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

3.2.7 Faktor Respons Gempa

Kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Spektrum Respons Desain
(Sumber: Gambar 2-SNI 1726:2012, pp. 31)

3.2.8 Berat Efektif Bangunan dan Gaya Geser

Beban geser nominal statik ekuivalen yang terjadi di tingkat dasar dihitung dengan persamaan:

$$V = C_s \times W \quad (3-19)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons gempa

W = berat seismik efektif bangunan

3.3 Kuat Desain

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 9.3, kuat desain dalam suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangannya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal sesuai dengan persyaratan yang ada dan dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ).

Tabel 3.7 Faktor Reduksi Kekuatan ϕ

Keterangan	Faktor reduksi (ϕ)
Penampang terkendali tarik	0,9
Penampang terkendali tekan	
a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0,75
b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
Geser dan torsi	0,75
Tumpuan pada beton	0,65
Daerah angkur pasca tarik	0,85
Model strat dan pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan, dan daerah tumpuan dalam model	0,75
Penampang lentur komponen struktur pra tarik:	
a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75
b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran	0,75 - 0,9

3.4 Perencanaan Struktur Atas

3.4.1 Perencanaan Plat Lantai

1. Plat Satu Arah

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2, tebal minimum pelat satu arah ini hanya berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak menyatu dengan partisi atau konstruksi lain yang berpotensi merusak karena lendutan yang besar, penjelasan mengenai plat satu arah dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 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 tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu-arah	1/16	1/18.5	1/21	1/8
CATATAN:				
Panjang bentang dalam mm				
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan mutu 420 MPa, untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:				
a. Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), W_c diantara 1440 sampai 1840 kg/m ³ , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65-0,0003W_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.				
b. Untuk f_y , selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$				

2. Plat Dua Arah

Pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2, dijelaskan bahwa pelat dengan nilai perbandingan antara bentan panjang terhadap bentang pendek tidak lebih dari 2, maka ditetapkan sebagai pelat dua arah dan nilai tebal minimum pelat harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Untuk pelat tanpa panel drop harus lebih besar dari 125 mm
- Untuk pelat dengan panel drop harus lebih besar dari 100 mm
- Dapat dilihat pada Tabel 3.9

Tabel 3.9 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	ln/33	ln/36	ln/36	ln/36	ln/40	ln/40
420	ln/30	ln/33	ln/33	ln/33	ln/36	ln/36
520	ln/28	ln/31	ln/31	ln/31	ln/34	ln/34

Untuk konstruksi dua arah, ln 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

Untuk f_y antara lain yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier

Panel drop didefinisikan pada pasal 13.2.5

Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior.

Nilai α_{fm} untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8

Untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum h ditentukan sebagai berikut:

- Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2; harus memenuhi Tabel 3.9
- Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0 h tidak boleh kurang dari persamaan berikut:

$$h = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \quad (3-20)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm

- c. Untuk α_{fm} lebih besar 2,0; ketebalan pelat minimum ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} \quad (3-21)$$

dan tidak kurang dari 90 mm

- d. Pada tepi yang tidak menerus, balok tepi harus mempunyai rasio kekakuan α_{ft} tidak kurang dari 0,8 atau sebagai alternatif ketebalan minimum yang ditentukan pers (3-20) dan (3-21) harus dinaikan paling tidak 10 persen pada panel dengan tepi yang tidak menerus

3.4.2 Perencanaan Balok

1. Penentuan Dimensi Balok

Tinggi balok minimum dapat diambil sesuai dengan Tabel 3.8, sedangkan untuk lebar balok diambil kurang lebih setengah dari tinggi balok.

2. Penulangan Balok

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.5 disebutkan bahwa luas tulangan minimum ditentukan melalui persamaan berikut:

$$A_{s,\min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad (3-22)$$

dan tidak lebih kecil dari:

$$A_{s,\min} = 1,4b_w \frac{d}{f_y} \quad (3-23)$$

Keterangan:

A_s = luas tulangan tarik longitudinal non-prategang

b_w = lebar badan

d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan longitudinal

f_y = kuat leleh baja tulangan

Penulangan geser mengikuti SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 dimana disebutkan bahwa sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang minimal diambil yang terkecil dari:

- a. $d/4$
- b. enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- c. 150 mm

Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempu pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak lebih dari $d/2$ di sepanjang komponen struktur.

3.4.3 Perencanaan Kolom

1. Pengaruh Kelangsingan Kolom

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

- a. Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-bresing

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22 \quad (3-24)$$

- b. Untuk komponen struktur tekan yang di-bresing

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12(M_1 - M_2) \leq 40 \quad (3-25)$$

Bila pengaruh kelangsingan tidak diabaikan maka desain komponen struktur tekan harus didasarkan pada gaya dan momen terfaktor sebesar $0.70 I_g$

Keterangan:

k = faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan

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

2. Kekuatan Lentur Kolom

SNI 2847:2013 pada pasal 21.6.2 menyebutkan bahwa kuat lentur kolom harus lebih besar dari kuat lentur balok sebesar 20 persen.

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad (3-26)$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint

$\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint

3. Desain Beban Aksial

Beban nominal yang dapat diterima suatu kolom ditentukan dalam SNI 2847:2013 pasal 10.3.6.1 dan 10.3.6.2 melalui persamaan berikut:

- a. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral yang memenuhi pasal 7.10.4 atau komponen struktur komposit

$$\phi P_{n,max} = 0,85\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-27)$$

- b. Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat yang memenuhi pasal 7.10.5

$$\phi P_{n,max} = 0,80\phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (3-28)$$

Keterangan:

ϕ = faktor reduksi kekuatan

f'_c = kekuatan tekan beton yang disyaratkan

A_g = luas bruto penampang beton

A_{st} = luas total tulangan longitudinal non-prategang

4. Perencanaan Tulangan Transversal

Disebutkan dalam SNI 2847:2013 pasal 11.2 bahwa kekuatan geser beton diperhitungkan dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-29)$$

b. Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-30)$$

Apabila nilai V_c melebihi ϕV_c maka tulangan geser harus diperhitungkan dengan mengikuti SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.2 dan 11.4.7.9, dengan persamaan:

$$V_s = \left(\frac{A_v f_{yt} d}{s} \right) \quad (3-31)$$

dan V_s tidak boleh diambil lebih besar dari

$$0,66 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3-32)$$

Dalam pasal 11.4.6.3 disyaratkan pula bahwa luasan tulangan geser minimum ditentukan dengan persyaratan berikut:

$$A_{v,\min} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (3-33)$$

dan tidak boleh kurang dari

$$A_{v,\min} = \frac{0,35 b_w s}{f_y} \quad (3-34)$$

Keterangan:

V_c = kekuatan geser nominal beton

λ = faktor modifikasi properti beton ringan

N_u = gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang

V_s = kekuatan geser nominal tulangan geser

s = spasi pusat ke pusat tulangan

A_v = luas tulangan geser berspasi

Untuk komponen struktur tekan, spasi tulangan transversal tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil

c. s_0 , dengan persamaan

$$s_0 = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (3-35)$$

Adapun syarat minimum luasan sengkang untuk bentuk persegi tidak boleh kurang dari persamaan berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \right] \quad (3-36)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \quad (3-37)$$

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 ke tepi luar tulangan transversal yang membentuk luas A_{sh}

f_{yt} = kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan