

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Elemen Struktur

3.1.1. Kuat Perlu

Kuat perlu dihitung berdasarkan kombinasi beban sesuai dengan SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012, berikut kombinasi kuat perlu yang digunakan:

$$1. 1,4D \quad (2-1)$$

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

$$3. (1,2+0,2SDS)D + 1,0L + 1,3Ex + 0,39Ey \quad (2-3)$$

$$4. (1,2+0,2SDS)D + 1,0L + 1,3Ex - 0,39Ey \quad (2-4)$$

$$5. (1,2+0,2SDS)D + 1,0L - 1,3Ex + 0,39Ey \quad (2-5)$$

$$6. (1,2+0,2SDS)D + 1,0L - 1,3Ex - 0,39Ey \quad (2-6)$$

$$7. (1,2+0,2SDS)D + 1,0L + 0,39Ex + 1,3Ey \quad (2-7)$$

$$8. (1,2+0,2SDS)D + 1,0L - 0,39Ex + 1,3Ey \quad (2-8)$$

$$9. (1,2+0,2SDS)D + 1,0L + 0,39Ex - 1,3Ey \quad (2-9)$$

$$10. (1,2+0,2SDS)D + 1,0L - 0,39Ex - 1,3Ey \quad (2-10)$$

$$11. (0,9+0,2SDS)D + 1,3Ex + 0,39Ey \quad (2-11)$$

$$12. (0,9+0,2SDS)D + 1,3Ex - 0,39Ey \quad (2-12)$$

$$13. (0,9+0,2SDS)D - 1,3Ex + 0,39Ey \quad (2-13)$$

$$14. (0,9+0,2SDS)D - 1,3E_x - 0,39 E_y \quad (2-14)$$

$$15. (0,9+0,2SDS)D + 0,39E_x + 1,3E_y \quad (2-15)$$

$$16. (0,9+0,2SDS)D - 0,39E_x + 1,3E_y \quad (2-16)$$

$$17. (0,9+0,2SDS)D + 0,39E_x - 1,3E_y \quad (2-17)$$

$$18. (0,9+0,2SDS)D - 0,39E_x - 1,3E_y \quad (2-18)$$

3.1.2. Kuat Desain

Kuat desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kuat nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan (ϕ) berdasarkan pasal 9.3 SNI 2847:2013.

Tabel 3.1. Faktor Reduksi Kekuatan Desain

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 dan pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan, dan daerah tumpuan dalam model	0,75
7.	Penampang lentur komponen struktur pra tarik:	
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	0,75

No	Keterangan	Faktor reduksi (ϕ)
7.	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)

3.2. Perencanaan Gempa berdasarkan SNI 1726:2012

3.2.1. S_{DS} dan S_{D1}

Nilai S_{DS} dan S_{D1} ditentukan berdasarkan web desain spektra Indonesia

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

3.2.2. Kategori Risiko

Kategori resiko untuk struktur bangunan gedung dan non gedung dijelaskan sesuai tabel 3.2, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan I_e menurut tabel 3.5

Tabel 3.2 Kategori 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

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

Tabel 3.2 (Lanjutan) Kategori Bangunan Gedung dan Non-Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
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 UGD - Fasilitas penitipan anak - Penjara - 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 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

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

Tabel 3.2 (Lanjutan) Kategori Bangunan Gedung dan Non-Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
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: Tabel 1-SNI 1726:2012, halaman 14-15)

3.2.3. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik ditentukan berdasarkan parameter percepatan respons spektral pada periode pendek seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.3. KDS 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, halaman 24)

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

Tabel 3.4 KDS Berdasarkan SD_1

	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD_1 \leq 0,167$	A	A
$0,067 \leq SD_1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD_1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S$	D	D

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

3.2.4. Kombinasi Sistem Perangkai

Faktor R , C_d , 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 resiko adalah sebagai berikut:

Tabel 3.5. 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, halaman 15)

3.2.6. Periode Fundamental

Nilai koefisien C_u diambil sebagai berikut:

Tabel 3.6. Koefisien untuk Batas Atas pada Periode 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: Tabel 14-SNI 1726:2012, halaman 56)

Nilai koefisien C_t dan α diambil sebagai berikut:

Tabel 3.7. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan α

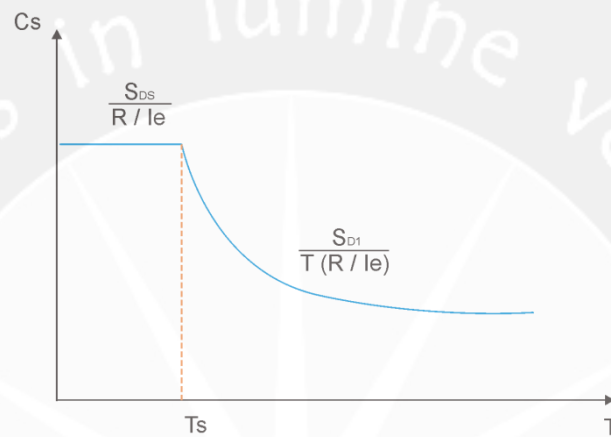
	C_t	α
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja denan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja denan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75

Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75
-------------------------------	---------------------	------

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

3.2.7. Faktor Respons Gempa

Kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2 SNI 1726:2012, halaman 31.



Gambar 3.1. Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726:2012 halaman 31)

3.3 Perencanaan Struktur berdasarkan SNI 2847:2013

3.3.1 Balok

Menurut SNI 2847, pasal 21.5 menjelaskan perencanaan elemen struktur balok adalah sebagai berikut:

1. Gaya aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , tidak boleh melebihi

$$\frac{A_g f'_c}{10}$$

2. Bentang bersih untuk komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari yang lebih kecil 0,3h dan 250 mm.

Tulangan longitudinal

1. Untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari

$$A_{s_{min}} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

tetapi tidak kurang dari $1,4b_w d/f_y$, dan rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

2. Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung lewatan tidak

boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan jika:

- a. Dalam joint;
- b. Dalam jarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka joint; dan
- c. Bila analisis menunjukkan pelelehan lentur diakibatkan oleh perpindahan lateral inelastis rangka.

Tulangan Tranversal

Menurut pasal 21.5.3.2 SNI 2847:2013, sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

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

Persyaratan Kekuatan Geser

Pada peraturan beton SNI 03-2847-2013 pasal 21.5.4 membahas tentang kekuatan geser, sebagai berikut:

- a. Gaya Desain

Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen

struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.

Keterangan:

M_{pr} = Kekuatan lentur yang mungkin terjadi pada komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25f_y$ dan faktor reduksi kekuatan, (ϕ) sebesar 1.0, N.mm.

b. Tulangan Tranversal

Untuk menentukan tulangan transversal pada balok baik pada daerah tumpuan maupun lapangan, perlu ditinjau terlebih dahulu kekuatan beton dan tulangan untuk menahan gaya geser yang terjadi dengan menggunakan persamaan :

1. Sesuai ketentuan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 pada daerah tumpuan kemampuan beton untuk menahan geser diasumsikan 0, maka $V_c = 0$, sedangkan pada daerah lapangan nilai V_c dan V_s maksimum dapat diperhitungkan sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1 yaitu :

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot w \cdot d \quad \text{dan} \quad V_{s_{maks}} = 0,66 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot w \cdot d$$

Sesuai dengan ketentuan bahwa nilai $V_s < V_{s \text{ maksimum}}$, dimana nilai V_s didapatkan dari rumus :

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c$$

2. Spasi tulangan geser sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.2 dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Menurut pasal yang sama yaitu pasal 21.5.3.2 SNI 2847:2013, spasi sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d / 4$
- b) $6 \cdot \text{diameter tulangan lentur terkecil}$
- c) 150 mm

3.3.2 Kolom

Menurut SNI 2847:2013, pasal 21.6 perencanaan elemen struktur kolom adalah berikut :

- a. Dimensi penampang terpendek, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.
- b. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Menurut pasal 23.4.2.2 SNI 2847:2013, kekuatan lentur kolom harus memenuhi persamaan berikut:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah momen nominal balok yang bertemu di join

$\sum M_{nb}$ = jumlah momen nominal kolom yang bertemu di join

Kelangsingan Kolom

Berdasarkan SNI 2847 pasal 10.10.1, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasus berikut:

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

$$\frac{k_{lu}}{r} \leq 22$$

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

$$\frac{k_{lu}}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M1}{M2} \right) \leq 40$$

Dimana M1/M2 adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda.

Sesuai dengan pasal 10.10.5.2 SNI beton 2847:2013 bahwa suatu tingkat dianggap sebagai portal tak bergoyang apabila :

$$Q = \frac{\sum Pu \cdot \Delta_o}{Vu \cdot lc} \leq 0,05$$

Dimana Q adalah indeks stabilitas, $\sum P$ adalah total beban vertical pada kolom di lantai tersebut, V_u adalah gaya geser yang disebabkan oleh beban terfaktor, l_c adalah tinggi lantai, serta Δ_o adalah defleksi pada orde kesatu.

Tulangan Memanjang

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

Tulangan Tranversal

Tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang l_o dari muka *joint* dan pada kedua sisi sembarang penampang dimana pelelehan lentur terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari a, b, dan c:

- a. Tinggi komponen struktur pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi;
- b. 1/6 bentang bersih komponen stuktur; dan
- c. 450 mm.

Spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil, berikut ketentuannya:

- a. 1/4 dimensi komponen struktur minimum;
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan
- c. S_o , seperti didefinisikan pada persamaan berikut:

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

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

Jumlah tulangan transversal yang disyaratkan dalam (a) atau (b) harus disediakan kecuali bila jumlah yang lebih besar disyaratkan pada SNI 2847, pasal 21.6.5.

- a. Rasio tulangan spiral atau sengkang bulat, ρ_s , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan sebagai berikut:

$$\rho_s = 0,12 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right)$$

dan tidak boleh kurang dari pers. Berikut:

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

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

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

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}}$$

Penentuan tulangan transversal diluar l_o

Berdasarkan pasal 11.2.1.2 SNI 2847:2013 untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial

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

Analisis Kolom dengan metode Beban Berlawanan Bresler

Analisis kolom biaksial dilakukan dengan menggunakan salah satu metode yaitu metode Beban Berlawanan Bresler, melalui persamaan sebagai berikut :

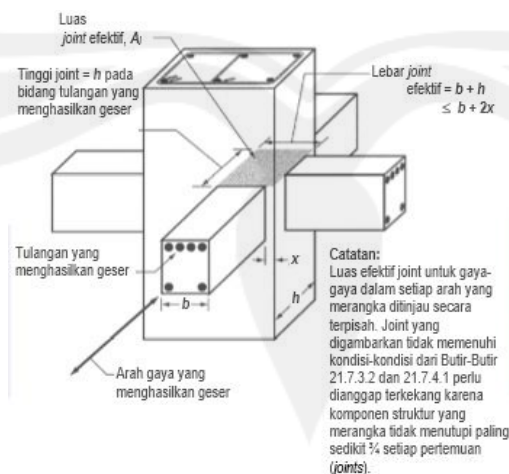
$$\frac{1}{\phi P_n} = \frac{1}{\phi P_{nx}} + \frac{1}{\phi P_{ny}} - \frac{1}{\phi P_{no}}$$

Hubungan Balok Kolom

Sebagaimana dijelaskan pada pasal 21.7.4.1 SNI 2847:2013, bahwa V_n join tidak boleh melebihi dari yang ditetapkan dibawah ini :

1. $1,7 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j$ (untuk join yang terkekang balok pada keempat sisi)
2. $1,2 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j$ (untuk join yang terkekang balok pada dua atau tiga sisi)
3. $1,0 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_j$ (untuk khusus lainnya)

A_j merupakan luas penampang efektif pada suatu join yang dihitung dari tinggi join dan lebar join efektif



Gambar 3.2 Luas Join Efektif

(Sumber : SNI 2847:2013 pasal 21.7.4.1)