

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembebanan Struktur

Dalam merancang struktur bangunan gedung perlu dilakukan perhitungan yang teliti dan benar yang mengacu pada peraturan yang berlaku agar bangunan tersebut dapat aman saat digunakan. Beban-beban tersebut, meliputi :

- a. Beban mati (D) adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektur dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material (SNI 1727,2018).
- b. Beban hidup (L) adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727,2018).
- c. Beban gempa (E) adalah beban yang bekerja pada struktur yang diakibatkan oleh pergerakan tanah karena adanya gempa.
- d. Beban angin (W) adalah beban yang bekerja pada struktur yang disebabkan oleh tekanan-tekanan yang diberikan oleh gerakan arah angin. Beban angin pada setiap struktur bangunan berbeda-beda tergantung pada lokasi bangunan dan ketinggian bangunan tersebut.

2.2 Elemen Struktur

Bangunan bertingkat tinggi terbentuk dari elemen-elemen struktur. Elemen-elemen struktur pada perancangan ini meliputi pelat, balok kolom, dan dinding geser. Definisi dari elemen-elemen struktur tersebut adalah sebagai berikut :

2.2.1 Pelat

Pelat adalah komponen struktur yang merupakan sebuah bidang datar yang lebar dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar. Pelat bisa bertulang 2 atau 1 arah saja, tergantung system strukturnya. Bila perbandingan antara panjang dan lebar pelat tidak melebihi 2, digunakan penulangan 2 arah (**Dipohusodo, 1996**).

Jenis-jenis pelat terdiri dari (**Jumawa, Jimmy S, 2005**) :

- a. Pelat 1 arah (*one way slab*), ditumpu oleh balok anak yang ditempatkan sejajar satu dengan yang lainnya, dan perhitungan pelat dapat dianggap sebagai balok tipis yang ditumpu oleh banyak tumpuan
- b. Pelat 2 arah yaitu pelat yang keempat sisinya ditumpu oleh balok dengan perbandingan $\frac{l_y}{l_x} \leq 2$, perhitungan pelat didasarkan umumnya dilakukan dengan pendekatan dua arah yang tercantum dalam tabel momen pelat dua arah akibat beban terbagi rata.

2.2.2 Balok

Balok merupakan elemen struktur rangka yang berfungsi meneruskan beban-beban dari pelat lantai ke penyangga yang vertikal. Balok merupakan elemen structural yang di desain untuk menahan gaya-gaya yang bekerja secara transversal

terhadap sumbuinya sehingga mengakibatkan momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya (Nawy, 1990).

Pada pasal 9.7.7.1, SNI 2847:2019 menjelaskan untuk balok sepanjang keliling struktur, tulangan integritas struktur harus sesuai :

1. Sekurang-kurangnya seperempat dari tulangan maksimum momen positif, namun tidak kurang dari 2 tulangan atau *strand*, harus menerus.
2. Sekurang-kurangnya seperenam tulangan momen negatif tumpuan, namun tidak kurang dari 2 tulangan atau *strand*, harus menerus.
3. Tulangan longitudinal integritas struktur harus dikelilingi oleh Sengkang tertutup atau Sengkang tertutup sepanjang bentang bersih balok.

Pada tumpuan tidak menerus, tulangan integritas struktur longitudinal harus diangkur untuk menyalurkan f_y pada muka tumpuan.

2.2.3 Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013, Pasal 2.3, komponen struktur umumnya vertikal, digunakan untuk memikul beban tekan aksial, tapi dapat juga memikul momen, geser atau torsi. Kolom yang digunakan sebagai bagian sistem rangka pemikul gaya lateral menahan kombinasi beban aksial, momen dan geser.

Untuk kolom dengan penampang lebih besar dari yang dibutuhkan oleh beban yang dipertimbangkan, diperbolehkan untuk mengelompokkan penampang bruto yang dipakai, kebutuhan tulangan, dan kekuatan desain, diambil dari luas efektif tereduksi, tidak kurang dari setengah total area (SNI 2847:2019, Pasal 10.3.1.2).

2.2.4 Dinding Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019, dinding geser atau dinding structural merupakan dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi geser, momen, dan gaya aksial. Biasanya dinding geser diletakkan di sekeliling lift, tangga atau shaft guna menahan beban lateral tanpa mengganggu penyusunan ruang dalam bangunan.

2.3 Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Suatu Gempa dapat menyebabkan gaya-gaya lateral kepada struktur bangunan, prinsip dasar dari desain gedung tahan Gempa adalah memastikan bahwa massa gedung memiliki lokasi proporsional satu sama lain (**Schodek, tahun 1992**).

Lingkaran dan bujursangkar merupakan bentuk desain tahan Gempa denah bangunan sederhana yang diharapkan, sedangkan bentuk desain denah yang sulit dipakai untuk bangunan tahan Gempa seperti bentuk H, bentuk L, dan bentuk T. Dan juga denah bangunan yang sangat panjang lebih dihindari walaupun bentuk bangunannya proporsional. Berikut pemahaman dasar perencanaan bangunan tahan Gempa :

1. Jika Gempa ringan, struktu dan fungsi bangunan harus kuat, tetap berjalan, dan tidak terdapat kerusakan pada elemen struktur dan nonstruktur bangunan.

2. Jika Gempa moderat atau medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktur, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktur.
3. Jika Gempa besar, kerusakan pada elemen struktur dan nonstruktur dibolehkan terjadi, tetapi bangunan tidak boleh sampai runtuh sehingga dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

2.4 Perencanaan Beban

Beban yang diperhitungkan dalam perancangan struktur antara lain Beban Mati (SD , DL), Beban Hidup (LL), Beban Gempa (E_x dan E_y), yang sesuai dengan SNI 1726:2019 pada pasal 4.2 dan pasal 7.4. :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan :

- U = kuat perlu
- D = beban mati (*dead load*)
- L = beban hidup (*live load*)
- S_{DS} = parameter percepatan respons desain pada periode pendek
- ρ = faktor redundansi
- E_x = beban gempa arah horizontal
- E_y = beban gempa arah vertikal

2.5 Perencanaan Beban Gempa

Perencanaan beban gempa untuk bangunan gedung mengacu pada SNI 1726:2019, dan parameter yang digunakan adalah, :

2.5.1 S_{DS} dan S_{D1}

Nilai parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) dan parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik (S_{D1}) ditentukan berdasarkan web desain spektra Indonesia

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

2.5.2 Kategori Risiko

Kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.1, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2.4.

Tabel 2.1 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: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan dan Non Gedung (Lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - 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"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan dan Non Gedung (Lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat 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 - 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 material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber SNI 1726:2019, pasal 4.1.2)

2.5.3 Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respon spectral pada periode pendek sebagai berikut:

Tabel 2.2 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 SNI 1726:2019, pasal 6.5)

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

Tabel 2.3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DI}

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

(Sumber SNI 1726:2019, pasal 6.5)

2.5.4 Kombinasi Sistem Perangkai

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 12 SNI 1726:2019 atau kombinasi system seperti dalam 7.2.2, 7.2.3 dan 7.2.4. Koefisien modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih system, Ω_0 , dan koefisien defleksi, C_d , untuk system penahan gaya gempa ditentukan berdasarkan Tabel 12 SNI 1726:2019 halaman 49-51.

2.5.5 Faktor Keutamaan I_e

Faktor keutamaan berdasarkan kategori risiko sebagai berikut:

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: Tabel 4-SNI 1726:2019)

2.5.6 Periode Fundamental

Nilai koefisien C_u diambil sebagai berikut:

Tabel 2.5 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spectral 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 17-SNI 1726:2019, pp. 72)

Nilai koefisien C_t dan x ditentukan dalam SNI 1726:2019 pada tabel 18 halaman 72 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Nilai Parameter Periode 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	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 system struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber SNI 1726:2019, pasal 7.8.2.1)

2.5.7 Faktor Respons Gempa

Koefisien respons seismik, C_s , yang diperoleh dari pengembangan kurva respons spektrum:

$$C_s = S_{DS}/(R/I_e) \quad (2-19)$$

$$C_s = S_{D1}/[T(R/I_e)] \quad (2-20)$$

$$T_s = S_{D1}/S_{DS} \quad (2-21)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044S_{DS}I_e \geq 0,01 \quad (2-22)$$

Untuk $S_I \geq 0,6g$, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,5S_I/(R/I_e) \quad (2-23)$$

Nilai C_s yang dipakai adalah yang terbesar.

2.5.8 Berat Efektif Bangunan dan Gaya Geser

Beban geser dasar seismik, V , dihitung sesuai dengan persamaan:

$$V = C_s \times W \quad (2-24)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

2.6 Kuat Desain

Berdasarkan SNI “2847:2019” pasal “21.2”, tahanan desain suatu elemen, sambungannya ke elemen lain dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser dan torsi, harus diambil pada tahanan nominal yang dihitung sesuai dengan persyaratan yang ditentukan dan dikalikan dengan faktor reduksi tahanan (ϕ).

Tabel 2.7 Faktor Reduksi Kekuatan ϕ

Gaya atau Elemen Struktur		Faktor Reduksi (ϕ)
a	Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65-0,90
b	Geser	0,75
c	Torsi	0,75
d	Tumpu (<i>bearing</i>)	0,65
e	Zona angkur pascatarik (<i>post-tension</i>)	0,85
f	<i>Bracket</i> dan korbél	0,75
g	<i>Strut, ties</i> , zona nodal, dan daerah tumpuan yang dirancang dengan <i>strut-and-tie</i>	0,75
h	Komponen sambungan beton pracetak terkontrol leleh oleh elemen baja dalam tarik	0,9

Tabel 2.7 Faktor Reduksi Kekuatan ϕ (Lanjutan)

Gaya atau Elemen Struktur		Faktor Reduksi (ϕ)
i	Beton polos	0,6
j	Angkur dalam elemen beton	0,45-0,75

(Sumber SNI 2847:2019, pasal 21.2)

2.7 Perencanaan Struktur Beton Bertulangan

Untuk menjalankan fungsi struktur bangunan dengan baik dan dapat menahan beban dengan aman, diperlukan perencanaan. Tujuan utama dari perencanaan adalah penentuan bentuk umum dan dimensi yang khusus dari bangunan yang ingin dirancang.

Bentuk dan dimensi suatu struktur pastinya akan berpengaruh apabila adanya gaya-gaya yang bekerja dan adanya faktor mekanis yang diketahui, Faktor utama dari perilaku struktur antara lain distribusi besarnya beban yang tidak dirancang dengan baik sehingga dapat menyebabkan struktur menjadi runtuh ataupun deformasi (lendutan dan bisa jadi jadi melebarnya retakan) pada saat struktur menjalankan fungsi nya (Winter dan Nilson, 1993). Menurut Winter dan Nilson (1993), dasar mekanika untuk beton bertulang sebagai berikut:

1. Gaya-gaya dalam,

Pada setiap penampang batang, diwajibkan untuk seimbang terhadap beban-beban luar yang nantinya bertumpu pada penampang tersebut, Hal yang perlu diperhatikan adalah momen lentur, gaya-gaya geser, dan tegangan-tegangan normal dan geser

2. Satuan tarik dan tekan tegangan yang terjadi pada saat tulangan di dalam beton harus sama dengan regangan beton yang mengelilinginya.
3. Bidang penampang batang akan tetap menjadi bidang ketika berlangsungnya pembebanan.
4. Pada bagian beton yang ditarik, nilai kekuatan tarik beton lebih kecil bila dibandingkan kekuatannya.

Menurut Wang Chu-Kia dan Salmon (1990), dalam menyelesaikan pekerjaan dalam pembuatan struktur beton bertulang, dapat dilakukan dua hal yaitu desain (perancangan) dan analisis (pemeriksaan). Beberapa metode penyelesaiannya meliputi:

1. Metode tegangan kerja (*working stress method*)

Adanya perencanaan suatu struktur sehingga tenaga yang diakibatkan oleh beban layanan (*service load*) atau beban kerja yang dihitung secara mekanika tidak melampaui suatu nilai izin yang telah ditetapkan lebih dahulu ($f_{yang\ terjadi} \leq f_{izin}$).

2. Metode rencana kekuatan (*strength design method*)

Suatu struktur didesain sedemikian rupa sehingga tercapainya kekuatan yang diharapkan pada saat beban terfaktor bekerja (salah satu contohnya yaitu beban yang mengancam keruntuhan).

$$\begin{array}{l} \text{Kekuatan desain} \\ \text{(kekuatan yang tersedia dalam} \\ \text{komponen struktur)} \end{array} \geq \begin{array}{l} \text{Kekuatan yang diperlukan untuk} \\ \text{memikul beban terfaktor} \end{array}$$

Sedangkan menurut Nilson, A.H, dkk., (2010) komponen struktur akan aman, bila memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Momen} & = & \frac{\phi M_n}{(\text{Kuat momen desain})} \geq \frac{M_u}{(\text{Momen terfaktor})} \\
 \text{Gaya geser} & = & \frac{\phi V_n}{(\text{Kuat geser desain})} \geq \frac{V_u}{(\text{Gaya geser terfaktor})} \\
 \text{Gaya aksial} & = & \frac{\phi P_n}{(\text{Kuat aksial desain})} \geq \frac{P_u}{(\text{Gaya aksial terfaktor})}
 \end{array}$$

2.8 Perencanaan Struktur Atas

2.8.1 Perencanaan Plat Lantai

1. Plat Satu Arah

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.3.1.1, untuk pelat solid non prategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 3.8.

Tabel 2.8 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

Kondisi tumpuan	h Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

Catatan :

Angka pada tabel diatas ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa. Untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada tabel 3.8 harus dikalikan $(0,4+f_y / 700)$. Untuk pelat nonprategang yang terbuat dari baton ringan dengan w_c berkisar antara 1440 hingga 1840 kg/m^3 , harus dikalikan dengan nilai terbesar dari $(1,65-0,0003w_c$ dan 1,09).

2. Plat Dua Arah

Pada SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1, dijelaskan untuk pelat nonprategang tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya yang memiliki rasio bentang panjang terhadap bentang pendek maksimum 2, ketebalan pelat keseluruhan h tidak boleh kurang dari batasan Tabel 3.9, dan memiliki nilai terkecil dari persyaratan berikut:

- a. Untuk pelat tanpa panel drop > 125 mm
- b. Untuk pelat dengan panel drop > 100 mm
- c. Dapat dilihat pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior (mm)

f_y , MPa	Tanpa <i>drop panel</i>			Dengan <i>drop panel</i>		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
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	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

- l_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm)
- Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear
- Panel drop didefinisikan pada pasal 8.2.4
- Pelat dengan balok di antara kolom sepanjang tepi eksterior. Pelat eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika a_f kurang dari 0,8

Untuk pelat nonprategang dengan balok di antara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di antara Tumpuan pada semua sisinya

a_{fm}	h minimum, mm		
$a_{fm} \leq 0,2$	Tabel 3.9 berlaku	(a)	
$0,2 < a_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(a_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)

Tabel 2.10 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di antara Tumpuan pada semua sisinya (Lanjutan)

a_{fm}	h minimum, mm		
$a_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

(Sumber SNI 2847:2019, pasal 8.3.1.2)

Pada pelat tepi yang tidak menerus, harus disediakan balok tepi dengan $a_f \geq 0,80$, atau ketebalan minimum harus memenuhi (b) dan (d), dan harus diperbesar paling sedikit 10 persen pada panel tepi yang tidak menerus.

2.8.1.1 Perencanaan Penulangan Pelat Lantai

Ada beberapa tahapan pekerjaan dalam perencanaan pelat lantai yang dikerjakan, sebagai berikut:

1. Pembebanan pelat yang dirancangan dihitung dengan beban hidup dan beban mati berdasarkan SNI 1727:2018. Menentukan momen pada pelat dengan bantuan Tabel PBI 1971.

$$M_u = 0,001 w_u l_x x \quad (2-25)$$

Keterangan:

M_u = momen terfaktor
 w_u = beban per-satuan luas
 l_x = bentang terpendek pelat
 x = koefisien momen

2. Penentuan tebal pelat sesuai dengan yang disyaratkan Tabel 2.8 dan Tabel 2.9
3. Perhitungan penulangan pelat arah-y dan arah-x dengan rumus sebagai berikut:

$$R_n = \frac{M_l}{0,9.b.d^2} \quad (2-26)$$

$$\rho = \frac{0,85f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.R_n}{0,85f'c}} \right) \quad (2-27)$$

$$\rho_{max} = \frac{0,75.0,85.f'c.\beta}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \quad (2-28)$$

$$A_s = \rho . b_w . d \quad (2-29)$$

Keterangan:

- ρ = rasio A_s terhadap $b d$
 d = jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan Tarik
 b_w = lebar dihitung per 1 meter Panjang
 A_s = luas tulangan Tarik

4. Menentukan spasi antar tulangan:

$$S = \frac{b.A_s}{A_s} \quad (2-30)$$

2.8.2 Perencanaan Balok

Tampang balok dikategorikan berdasarkan kondisi regangan yang terjadi berikut kondisi tampang balok tersebut:

3. Regangan Seimbang

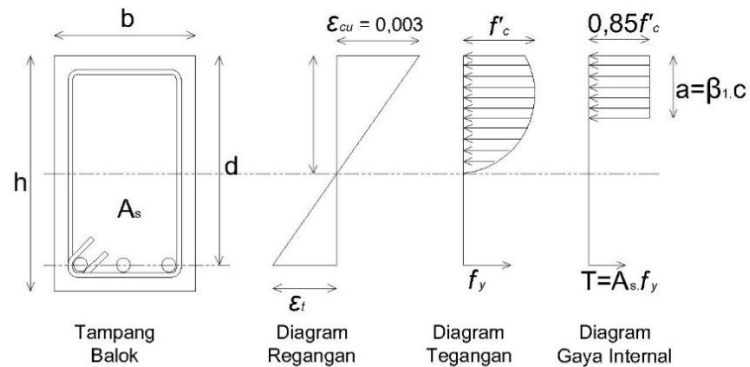
Kondisi regangan seimbang terjadi ketika pada suatu penampang yang memiliki tulangan baja Tarik mencapai regangan luluh (ϵ_y), sedangkan beton yang tertekan, regangan ultimitnya tercapai sebesar $\epsilon_{cu}=0,003$.

4. Tampang terkendali tekan

Kondisi terkendali tekan terjadi apabila regangan tarik terluar sama dengan atau kurang dari syarat izin batasan regangan ($\epsilon_t \leq \epsilon_y$), sedangkan beton mencapai regangan ultimitnya (ϵ_{cu}) sebesar 0,003. Keruntuhan yang terjadi bersifat getas.

5. Tampang terkendali tarik

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



Gambar 2.1 Diagram Kesetimbangan Tegangan Regangan

2.8.2.1 Dimensi Balok

Tinggi balok minimum dapat diambil berdasarkan Tabel 2.8, sedangkan untuk lebar balok diambil kurang lebih setengah dari tinggi balok.

2.8.2.2 Penulangan Longitudinal

Perencanaan penulangan dilakukan dengan menentukan momen dan gaya geser yang terjadi pada tumpuan balok dan didaerah lapangan balok. Perhitungan momen di bantu menggunakan *software ETABS*. Dilanjutkan dengan perhitungan tulangan.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \quad (2-31)$$

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

$$A_s = \rho \cdot b_w \cdot d \quad (2-32)$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 9.6.1.2, dijelaskan bahwa luas tulangan minimum harus lebih besar dari persamaan berikut :

$$A_{s(\min)} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w d \quad (2-34)$$

$$A_{s(\min)} = \frac{1,4b_w d}{f_y} \quad (2-35)$$

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

2.8.2.3 Tulangan Tansversal

Dalam perhitungan Sengkang digunakan rumus sesuai pasal

22.5.5.1 SNI 2847:2019:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad (2-36)$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (2-37)$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_{ys} \cdot d}{V_s} \quad (2-38)$$

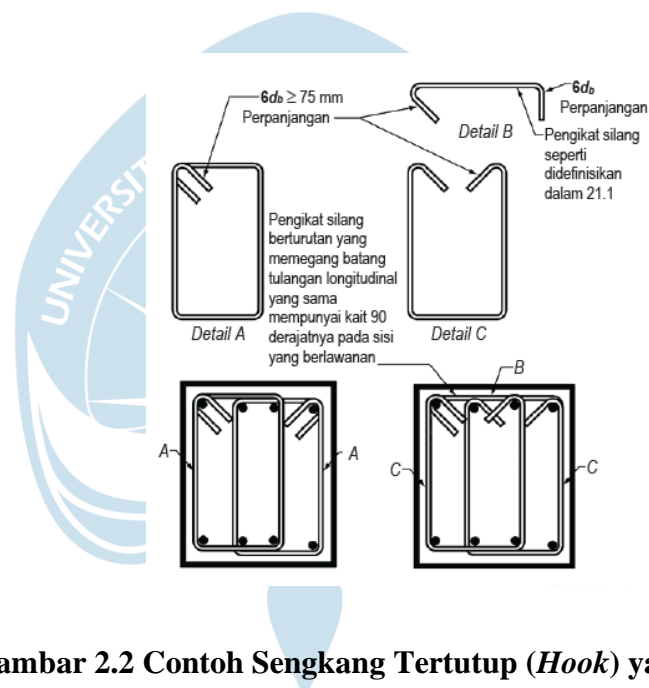
Keterangan:

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

Penulangan geser mengikuti SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4 dimana disebutkan bahwa Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari permukaan komponen struktur penumpu. Spasi Sengkang minimal tidak boleh lebih dari nilai terkecil dari:

- a. $d/4$
- b. $6 \times D$ 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.



Gambar 2.2 Contoh Sengkang Tertutup (*Hook*) yang Dipasang Bertumpuk dan Ilustrasi Batasan Maksimum Spasi Horizontal Penumpu Batang Longitudinal

(Sumber: Gambar R18.6.4 SNI 2847:2019, hal 381)

2.8.3 Perencanaan Kolom

2.8.3.1 Pengaruh Kelangsingan Kolom

Menurut SNI 2847:2019 pasal 6.2.5 pengaruh kelangsingan dapat diabaikan jika persamaan berikut terpenuhi :

- a. Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan samping

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 22 \quad (2-39)$$

- b. Untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan samping

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 34 + 12\left(\frac{M_1}{M_2}\right) \leq 40 \quad (2-40)$$

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

2.8.3.2 Kekuatan Lentur Kolom

SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.3 menyebutkan bahwa kuat lentur kolom harus lebih besar dari kuat lentur balok sebesar 20 persen.

$$\sum M_{nc} \geq 1,2M_{nb} \quad (2-41)$$

Keterangan:

- ΣM_{nc} = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint
- ΣM_{nb} = jumlah kekuatan lentur balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint

2.8.3.4 Tulangan Longitudinal

Perencanaan tulangan dilakukan dengan menentukan gaya-gaya yang bekerja pada kolom dengan bantuan *software ETABS*. Setelah itu dilakukan penentuan rasio penulangan dengan bantuan diagram interaksi. Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan memanjang A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01 A_g$ dan tidak lebih dari $0,06 A_g$. Dan berdasarkan pasal 18.7.4.2 SNI 2847:2019 pada kolom-kolom dengan sengkang bundar, jumlah batang tulangan longitudinal minimal harus 6.

2.8.3.5 Tulangan Transversal

Disebutkan dalam SNI 2847:2019 pasal 22.5.5.1 bahwa kekuatan geser beton diperhitungkan dengan persamaan :

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

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \quad (2-42)$$

- b. Untuk komponen struktur yang dikenai tekan aksial

$$V_c = 0,17\left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right)\lambda\sqrt{f'_c}b_wd \quad (2-43)$$

Apabila nilai V_c melebihi ϕV_c maka tulangan geser harus diperhitungkan dengan mengikuti SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.5.3, dengan persamaan:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2-44)$$

dan V_s tidak boleh diambil lebih besar dari

$$0,06\sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-45)$$

Dalam pasal 10.6.2.2 disyaratkan pula bahwa luasan tulangan geser minimum harus lebih besar dari :

$$A_{v(\min)} = 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_y} \quad (2-46)$$

$$A_{v(\min)} = \frac{0,35 b_w s}{f_y} \quad (2-47)$$

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

$$s_0 = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3}\right) \quad (2-48)$$

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

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s b_c f'c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \right] \quad (2-49)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s b_c f'c}{f_{yt}} \quad (2-50)$$

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