

## BAB II LANDASAN TEORI

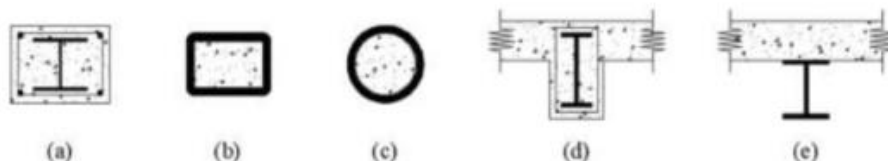
### 2.1 Struktur Komposit

Teknologi dibidang kontruksi akan semakin berkembang dengan tujuan agar mendapatkan sebuah struktur yang kuat, aman dan murah. Struktur yang menggabungkan dua material atau lebih dengan sifat yang berbeda sehingga menciptakan satu komponen disebut struktur komposit. Salah satu bangunan dengan struktur baja komposit yaitu struktur yang terdapat perpaduan antara baja dengan beton. Struktur baja komposit didasarkan atas kemampuan baja yang dapat menahan beban tekan dan tarik dengan baik tetapi harus diwaspadai terhadap bahaya tekuk saat menerima beban tekan. Sedangkan beton yang memiliki perilaku yang menguntungkan apabila mendapat beban tekan dan perilaku yang kurang menguntungkan ketika menerima beban tarik.

#### 2.1.1 Sistem Struktur Komposit

Struktur komposit merupakan struktur dengan dua atau lebih sifat material yang berbeda yang bertujuan untuk membentuk satu kesatuan demi mendapat sifat yang lebih baik seperti halnya penggunaan material beton dengan baja. Dengan digabungkannya kemampuan baja dan beton untuk memperoleh masing-masing keunggulan dari kedua komponen tersebut, sehingga didapatkan suatu konstruksi yang kuat, aman dan murah. Pada umumnya struktur komposit dapat berupa:

- Kolom atau balok dengan profil baja yang terbungkus oleh beton (Gambar 2.1 a dan 2.1 d)
- Kolom atau tiang pancang yang berisi beton (Gambar 2.1 b dan 2.1 c)
- Balok dengan profil baja yang menahan slab beton (Gambar 2.1 e)



**Gambar 2.1** Macam-Macam Struktur Komposit

## 2.1.2 Metode Load Resistance Factor Design (LRFD)

*Load Resistance Factor Design* (LRFD) merupakan metode perencanaan sebuah struktur baja yang berasal dari Amerika. Dalam perhitungannya, metode LRFD dilakukan dengan membandingkan kekuatan struktur dengan beban yang bekerja pada struktur. Kekuatan struktur akan diberi faktor tahanan agar dapat menahan kombinasi beban berfaktor yang bekerja pada struktur.

### 2.1.2.1 Kondisi Batas

Kondisi batas adalah batas kemampuan sebuah struktur agar dapat dipergunakan sesuai fungsi bangunan. Dalam merencanakan harus membuat kondisi batas sangat kecil kemungkinannya. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memilih faktor ketahanan, nilai ketahanan dan kombinasi gaya yang tidak melampaui batas kemampuan sesuai yang telah direncanakan. Dalam merencanakan struktur baja dengan menggunakan metode LRFD, perencanaan difokuskan pada kondisi batas kekuatan yang dapat menjamin keselamatan orang dan barang yang ada dalam bangunan.  $\phi R_n$  berarti tahanan rencana dari sebuah sistem dan komponen struktur bangunan, sedangkan  $\gamma_i Q_i$  berarti beban yang harus dipikul struktur bangunan. Sehingga tahanan harus lebih besar dari beban agar sebuah struktur bangunan aman. Pernyataan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i \times Q_i \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

- $R_n$  = kuat nominal
- $\gamma_i Q_i$  = kuat perlu, saat batas yang paling ekstrim
- $i$  = kondisi yang sedang ditinjau
- $Q_i$  = pengaruh beban nominal
- $\gamma_i$  = faktor beban dari  $Q_i$  yang ditinjau

### 2.1.2.2 Ketentuan LRFD

Berdasarkan SNI 1729-2020, perencanaan LRFD dianggap memenuhi syarat jika kuat perlu ( $R_u$ ) lebih kecil dari kuat rencana ( $\phi R_u$ ). Dengan faktor tahanan

( $\phi$ ) yang sesuai dengan perilaku aksi komponen yang ditinjau dan nilainya juga bervariasi. Konsep tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2.2)$$

Kuat perlu merupakan nilai maksimum dari kombinasi beban yang dicari dengan menganalisis sebuah struktur. Kuat perlu dihitung per elemen struktur hingga mendapatkan analisis struktur secara keseluruhan. Hasil analisis secara keseluruhan ( $R_u$ ) kemudian digunakan untuk mengevaluasi per elemen dan dibandingkan dengan kuat rencana ( $\phi R_n$ ) sesuai gaya internal yang terjadi. Perhitungan per elemen diperlukan sebab perilaku keruntuhannya bisa berbeda-beda. Nilai-nilai tahanan yang digunakan dalam perencanaan sebuah struktur bangunan terdapat pada tabel 2.1:

**Tabel 2.1** Faktor Tahanan

Komponen Struktur	Faktor Tahanan $\phi$
Komponen struktur lentur	0,90
Komponen struktur tekan	0,90
Komponen struktur Tarik	
• Kuat tarik untuk leleh Tarik	0,90
• Kuat tarik untuk keruntuhan Tarik	0,75
Sambungan baut	
• Baut yang memikul geser	0,75
• Baut yang memikul tarik	0,75
• Baut yang memikul kombinasi geser dan Tarik	0,75
• Lapis yang memikul tumpu	0,75
Sambungan las	
• Las tumpul penetrasi penuh	0,90
• Las sudut dan las tumpul penetrasi Sebagian	0,75
• Las Pengisi	0,75

*Sumber: SNI 1729:2020*

## 2.2 Konsep Pembebanan

Setiap bangunan tentunya akan memikul beban baik beban mati, beban hujan, beban gempa, beban hidup, dan beban angin. Untuk pembebanan pada gedung sendiri sudah dijelaskan dalam SNI 1727-2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.

### 2.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati merupakan berat dari semua bagian gedung yang bersifat tetap dan segala unsur tambahan serta peralatan tidak tetap yang terpasang pada gedung.

### 2.2.2 Beban Hidup (*Life Load*)

Merupakan 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. Konsep perencanaan beban hidup berpedoman pada SNI 1727-2020 tabel 4.3-1. Berikut merupakan beban hidup yang direncanakan bekerja pada struktur:

- Beban hidup atap datar dan berbubung sebesar  $0,96 \text{ kN/m}^2$
- Beban hidup ruang operasi dan laboratorium sebesar  $2,87 \text{ kN/m}^2$
- Beban hidup koridor diatas lantai pertama sebesar  $3,83 \text{ kN/m}^2$

### 2.2.3 Beban Hujan

Pada perencanaan sebuah struktur bangunan, diperlukan perencanaan atap agar dapat menahan beban air hujan. Air hujan yang terkumpul pada sistem drainase primer untuk bagian tertutup ditambah dengan beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya. Dengan berpedoman pada SNI 1727-2020 (8.3-1si) maka pembebanan air hujan pada atap gedung dapat dihitung sebagai berikut:

$$R = 0,0098 (d_s + d_h) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

- $R$  = Beban air hujan
- $d_s$  = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (mm)
- $d_h$  = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (mm)

### 2.2.4 Beban Gempa (*Seismic Load*)

Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, yang diartikan bahwa beban gempa di sini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut,

yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut. Tata cara dalam perencanaan ketahanan gedung telah dijelaskan oleh SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung

#### 2.2.4.1 Kategori Resiko Struktur Bangunan

Kategori resiko bangunan sangat dipengaruhi oleh manfaat atau fungsi dari suatu bangunan tersebut. Untuk pemilihan perencanaan ketahanan gempa untuk suatu struktur bangunan gedung dan non gedung dapat dilihat pada tabel 3 dan 4 SNI 1726:2019. Setelah didapatkan kategori resiko, maka selanjutnya ditentukan faktor keutamaan gempa sesuai tabel 2.2:

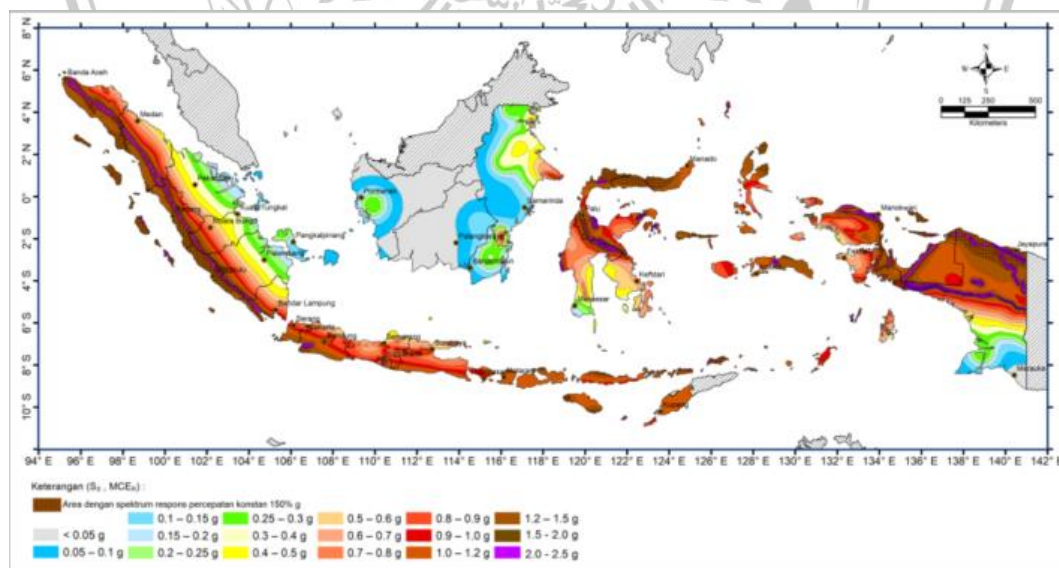
Tabel 2.2 Faktor Tahanan

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

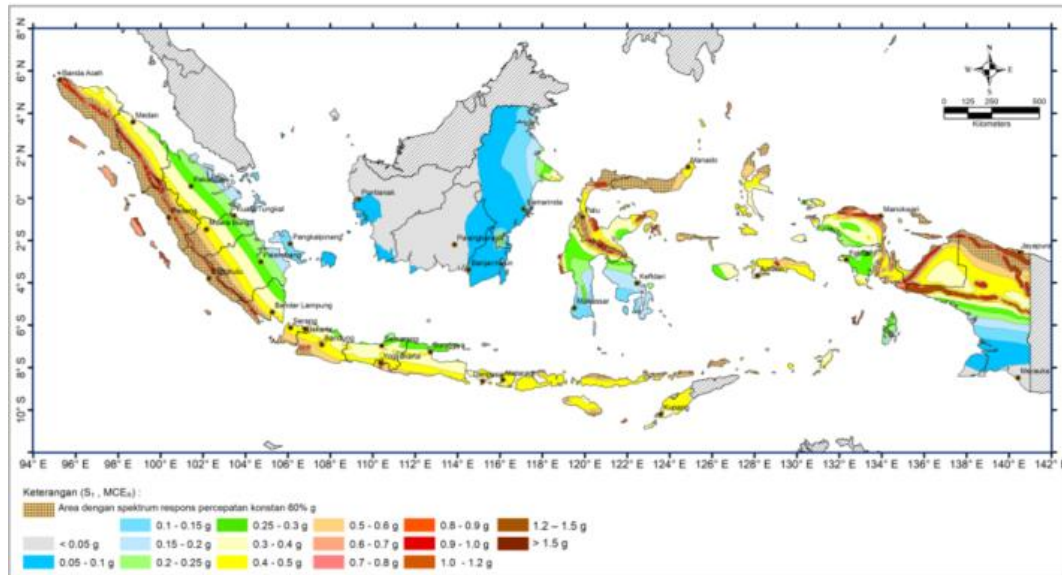
Sumber: SNI 1726:2019

#### 2.2.4.2 Parameter Spektrum Respons

Untuk menentukan parameter gempa sesuai daerah di Indonesia dapat dilihat pada peta gempa. Terdapat dua jenis peta gempa yaitu peta untuk percepatan pada periode pendek ( $S_s$ ) dan periode 1 detik ( $S_1$ ). Berikut adalah peta gempa sesuai dengan pedoman pada SNI 1726:2019 Gambar 15 dan 16:



Gambar 2.2 Parameter Gerak Tanah  $S_s$



**Gambar 2.3** Parameter Gerak Tanah S<sub>1</sub>

*Sumber: SNI 1726:2019*

#### 2.2.4.3 Kelas Situs

Kelas situs ditentukan berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs. Kelas situs tersebut antara lain SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) atau SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik). Untuk menentukan klasifikasi situs dapat dilihat pada SNI 1726:2019 Tabel 5. Jika sifat tanah pada suatu tempat tidak dapat teridentifikasi dengan jelas maka dapat menggunakan kelas situs SE.

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{V}_z$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{60}$	$\bar{\sigma}_v$ (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	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{\sigma}_v < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Sumber: SNI 1726:2019

#### 2.2.4.4 Spektrum Respons Desain

Menurut SNI 1726: 2019 pasal 6.3, parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek  $S_{Ds}$  dan periode 1 detik  $S_{D1}$  harus ditetapkan dengan rumus yaitu

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

$S_{Ds}$  = Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek

$S_{D1}$  = Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1,0 detik

#### 2.2.4.5 Kategori Desain Gempa

Dalam merencanakan struktur bangunan harus ditetapkan kategori desain seismiknya. Hal ini agar bangunan lebih aman saat terjadi gempa. Pedoman yang digunakan untuk menentukan kategori desain seismik yaitu SNI 1726:2019 pada tabel 2.4:

**Tabel 2.4** Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan Periode 1 Detik ( $S_{D1}$ )

Nilai $S_{DS}$	Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
		I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

#### 2.2.4.6 Sistem Struktur Penahan Gaya Gempa

Dalam menentukan sistem penahan gaya gempa dapat dipilih berdasarkan material dan kategori resiko yang diizinkan. Dikarenakan tiap jenis pemikul gaya gempa memiliki besaran faktor dan faktor pembesaran nilai defleksi yang berbeda. Berikut merupakan salah satu batasan sistem struktur yang dipakai pada tugas akhir ini berdasarkan SNI 1726:2019 tabel berikut:

**Tabel 2.5** Faktor R, Cd, dan  $\Omega_0$  Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons,	Faktor kuat lebih sistem,	Faktor pembesaran defleksi,	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
	$R^a$	$\Omega_0^b$	$C_d^f$	B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>1</sup>
C. Sistem Rangka Pemikul Momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5/2	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber: SNI 1726:2019

Keterangan:

TB = Tidak dibatasi

#### 2.2.4.7 Penentuan Periode Fundamental

Dalam menentukan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:



$h_n$  = Ketinggian struktur, di atas sampai tingkat tertinggi struktur (m)

$C_t$  = Koefisien seismic perioda

$X$  = Ditentukan pada tabel 2.7

**Tabel 2.6** Koefisien  $C_u$

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
0,1	1,6
$\leq 0,1$	1,7

*Sumber: SNI 1726:2019*

**Tabel 2.7** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka dapat menahan 100% gaya seismik yang dipersyaratkan dan tidak dihubungkan atau dilingkupi oleh komponen struktur yang lebih kaku dan akan menahan rangka agar tidak mengalami defleksi bilamana terkena gaya seismik:		
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Seluruh sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

*Sumber: SNI 1726:2019*

#### 2.2.4.8 Gaya Geser Dasar Gempa

Besarnya gaya geser dasar gempa ( $V$ ) dapat diperoleh dengan persamaan:

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

$C_s$  = Koefisien respons seismik

$W$  = Berat seismik efektif

#### 2.2.4.9 Koefisien Respon Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1.1, koefisien respon gempa ( $C_s$ ) dapat diperoleh dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan respons spektral periode pendek

$R$  = Faktor modifikasi respon

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan tidak boleh melebihi berikut:

**Untuk  $T \leq L$**

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (2.8)$$

**Untuk  $T > L$**

$$C_s = \frac{S_{D1} T L}{T^2 \left( \frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Nilai  $C_s$  harus lebih besar dari

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left( \frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

Di mana  $I_e$  dan  $R$  sesuai dengan definisi dalam 0

$S_{D1}$  = Parameter percepatan respons spektral periode 1,0 detik

$T$  = Periode fundamental struktur (detik)

$S_1$  = Parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

#### 2.2.4.10 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.3, gaya lateral gempa ( $F_x$ ) dapat diperoleh dengan persamaan:

$$F_x = C_{VX} \times V \dots \dots \dots (2.11)$$

$$C_{VX} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_x h_x^k} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = Gaya lateral desain total geser di dasar struktur (kN)

$W_1$  dan  $W_x$  = Berat efektif total struktur pada tingkat yang ditinjau

$h_1$  dan  $h_x$  = Tinggi dasar struktur sampai tingkat yang ditinjau

$k$  = Eksponen pada periode struktur

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

– jika  $T \geq 2,5$  detik, maka  $k = 2$

– jika  $T$  antara 0,5-2,5 detik, maka dilakukan interpolasi linier

### 2.2.5 Beban Kombinasi

SNI 1727-2020 menjelaskan perhitungan kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lainnya. Rumus untuk kombinasi pembebanan dasar ialah:

- 1)  $1,4D$
- 2)  $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- 3)  $1,2D + 1,6 (L_r + R) + 0,5 (L_r + R)$
- 4)  $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r + R)$
- 5)  $1,2D + 1,0E + L + 0,25$
- 6)  $0,9D + 1,0W$
- 7)  $0,9D + 1,0E$

Keterangan:

D = beban mati

E = beban gempa

L = beban hidup

$L_r$  = beban hidup atap

R = beban hujan

W = beban angin

Pengaruh dari beban gempa (E) pada kombinasi beban harus ditentukan sebagai berikut:

- Pada kombinasi beban gempa, E ditentukan sebagai berikut:

$$E = E_h + E_v$$

atau

$$E = E_h - E_v$$

Keterangan:

E = Pengaruh beban gempa

$E_h$  = Pengaruh beban gempa horizontal

$E_v$  = Pengaruh beban gempa vertikal

- Pada pengaruh beban gempa horizontal, nilai  $E_h$  harus ditentukan dengan persamaan:

$$E_h = \rho Q_E$$

Keterangan:

$Q_E$  = Pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau  $F_p$

$\rho$  = Faktor redundansi

- Pada pengaruh beban gempa vertikal, nilai  $E_v$  harus ditentukan dengan persamaan:

$$E_v = 0,2S_{DS}D$$

Keterangan:

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

D = Pengaruh beban mati

- Sehingga kombinasi pembebanan yang digunakan ialah:

$$(1,2+0,2S_{DS}) D + L \pm 0,3E_{hx} \pm 1,0E_{hy}$$

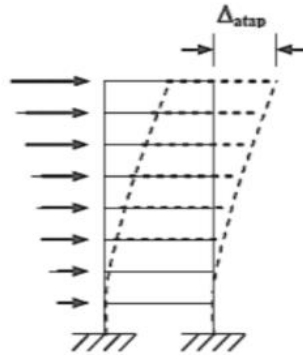
$$(0,9+0,2S_{DS}) D + L \pm 0,3E_{hx} \pm 1,0E_{hy}$$

### 2.3 Perencanaan Stabilitas Struktur

Dalam merencanakan stabilitas struktur maka perlu mengkombinasikan analisa dalam menentukan kuat perlu penampang dan desain, agar struktur memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban. Untuk menganalisa stabilitas struktur

bisa dilakukan 3 cara, antara lain metode desain analisis langsung, metode panjang efektif, serta metode analisis orde pertama.

### 2.3.1 Drfit Ratio



Gambar 2.4 Drift Ratio

*Drift ratio* merupakan rasio dari defleksi maksimum pada bagian ujung atas bangunan dengan total tinggi bangunan. Sebelum mendapatkan *drift ratio* perlu dilakukan kontrol terhadap nilai *storey drift* sesuai SNI 1726:2019. Batas *drift ratio* sebesar 0,0025 dan dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{c_d \times \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta \alpha \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\text{Drift Ratio} = \frac{\Delta_{top}}{H} \leq 0,0025 \dots \dots \dots (2.13)$$

### 2.3.2 Simpangan Antar Tingkat

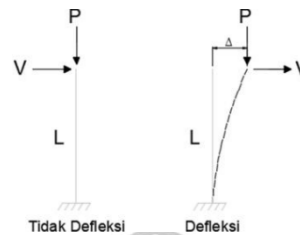
Penentuan simpangan antar tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada tingkat teratas dengan tingkat dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.12, batasan simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi simpangan *drift* antar tingkat ijin ( $\Delta_a$ ) dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2.8 Simpangan Antar Tingkat Izin,  $\Delta_a$

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025 $h_{sx}$	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$

*Sumber: SNI 1726:2019*

### 2.3.3 Efek P-Delta



**Gambar 2.5** Efek *P-Delta*

Efek P-delta ( $P-\Delta$ ) merupakan analisa orde kedua dimana ketika kolom yang menerima gaya aksial dan gaya lateral maka akan terjadi defleksi pada ujung kolom. Defleksi ujung kolom ini menyebabkan berubahnya titik awal dan dengan demikian akan ada tambahan momen lentur.

Pengaruh P-Delta diatur dalam SNI 1726-2019 pasal 7.8.7, tinjauan ini diperlukan ketika bangunan memiliki simpangan lateral yang cukup besar atau pada bangunan dengan ketinggian di atas 10 lantai atau 40 meter. Pengaruh P-Delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak diisyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ )  $\leq 0,10$ . Koefisien stabilitas ditinjau sebagai berikut dengan batasan maksimal koefisien stabilitas ( $\theta$  max):

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \times C_d} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

$P_x$  = Beban desain vertikal total pada tingkat di atas (kN)

$\Delta$  = simpangan antar lantai (mm)

$V_x$  = Gaya geser seismik total tingkat yang ditinjau (kN)

$h_{sx}$  = Tinggi antar tingkat yang ditinjau (mm)

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

$\beta$  = Rasio kebutuhan terhadap kapasitas geser yang ditinjau = 1,0

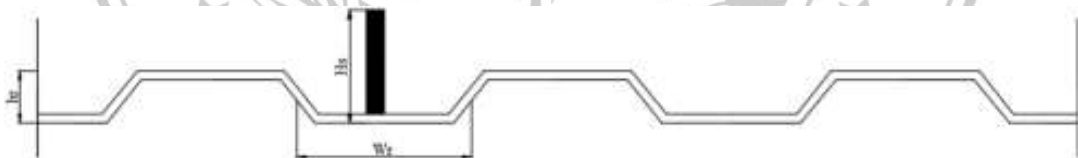
## 2.4 Perencanaan Struktur

### 2.4.1 Perencanaan Pelat Lantai Komposit Menggunakan *Floor Deck*

Dek baja gelombang dapat digunakan sebagai bekisting pelat beton serta sebagai tulangan pelat beton. Penggunaan dek baja juga dapat dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok sebelum beton mulai mengeras. Arah dari gelombang dek baja biasanya diletakkan tegak lurus dengan balok penopangnya. Dalam pemasangannya di lapangan, dek baja dipasang pada arah bentang pendek balok. Pada struktur komposit, biasanya digunakan pelat satu arah.

Persyaratan dek baja gelombang dan penghubung gesernya agar dapat digunakan pada komponen struktur komposit dapat dilihat pada SNI 1729:2020 pasal I3.2c yaitu:

- Tinggi maksimum dek baja ( $h_r$ ) kurang dari 75 mm. Lebar rata-rata minimum dari dek gelombang ( $w_r$ ) harus lebih besar dari 50 mm, tetapi tidak boleh diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dari dek baja.
- Pelat beton disambungkan dengan balok baja menggunakan angkur *steel headed stud*, kemudian di las pada dek atau penampang melintang baja.
- Tebal pelat di atas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm.
- Dek baja harus diangkurkan ke semua komponen struktur pendukung pada spasi tidak lebih dari 460 mm.



**Gambar 2.6** Penampang Melintang Dek Baja Gelombang

Dalam merencanakan pelat atap yang menggunakan *floor deck* maka tulangan positif perannya akan digantikan dengan *floor deck*. Besarnya nilai momen kapasitas *floor deck* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = A_s \times f_y \left( d_{eff} - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c \times b} \dots \dots \dots (2.17)$$

Langkah pertama dalam perencanaan tulangan lapis atas, ialah harus menentukan rasio tulangan minimum. Berdasarkan SNI 2487:2019 pasal 9.6.1.2, nilai rasio tulangan minimum diambil yang terbesar antara dua persamaan berikut:

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \dots\dots\dots(2.18)$$

Atau

$$\rho_{\min 2} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \dots\dots\dots(2.22)$$

$$A_s = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan didapatkannya rasio tulangan maka dihitung luas tulangan yang dibutuhkan ( $A_s$  teoritis) kemudian akan didapatkan tulangan aktualnya sesuai pada table 2.6.

Tabel 2.9 Tabel Tulangan Penampang

Diameter Batang (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )					
	Jarak Spasi p.k.p (mm)					
	50	100	150	200	250	300
6	565.5	282.7	188.5	141.1	113.1	94.2
8	1005.3	502.7	335.1	251.3	201.1	167.6
9	1272.3	636.2	424.1	318.1	254.5	212.1
10	1570.8	785.4	523.6	392.7	314.2	261.8
12	2261.9	1131.0	754.0	565.5	452.4	377.9
13	2654.6	1327.3	884.9	663.7	530.9	442.4

Kontrol lendutan diambil dengan berdasarkan pelat yang mempunyai bentang dan momen paling besar. Tetapi sebelum itu, dilakukan pemeriksaan terhadap tinggi minimum balok agar mengetahui batas lendutan yang diizinkan. Dengan berpedoman pada SNI 2847:2019 pasal 9.3.1, tinggi minimum balok harus dikalikan dengan nilai sesuai tabel 2.7. Berikut adalah persamaan untuk mencari nilai  $H_{\min}$ :



$$H_{min} = \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \times h \dots\dots\dots(2.24)$$

**Tabel 2.10** Tinggi Minimum Balok Non-Prategang

Kondisi Perlekatan	Tinggi Minimum ( <i>h</i> )
Perlekatan sederhana	$\ell / 16$
Menerus satu sisi	$\ell / 18,5$
Menerus dua sisi	$\ell / 21$
Kantilever	$\ell / 8$

Sumber: SNI 2847:2019

Kontrol lendutan yang diperhitungkan berdasarkan pada tabel di atas tidak boleh melebihi batasan sesuai penjelasan berikut:

**Tabel 2.11** Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Jenis komponen struktur	Kondisi	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak menumpu atau tidak dijadikan satu dengan komponen nonstruktural yang memiliki kemungkinan akan rusak jika terjadi lendutan yang besar	Lendutan seketika karena $L_r$ dan $R$ maksimum	$l / 180$
Lantai	Memiliki kemungkinan akan rusak jika terjadi lendutan yang besar	Lendutan seketika karena $L$ (beban hidup)	$l / 360$
Atap atau lantai	Menumpu atau dijadikan satu dengan komponen nonstruktural Tidak akan rusak jika terjadi lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural yaitu jumlah dari lendutan jangka panjang akibat semua beban tetap dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup	$l / 480$  $l / 240$

Sumber: SNI 2847:2019

Apabila dek baja dipasangkan secara tegak lurus terhadap balok penopangnya, maka kuat nominal penghubung geser jenis paku direduksi dengan suatu faktor. Faktor reduksi tersebut dapat diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \left( \frac{w_r}{h_r} \right) \left( \left( \frac{H_s}{h_r} - 1,0 \right) \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan:

$r_s$  = Faktor reduksi

$N_r$  = Jumlah penghubung geser jenis paku pada setiap gelombang

$H_s$  = Tinggi penghubung geser jenis paku  $\leq (h_r + 75 \text{ mm})$

$h_r$  = Tinggi nominal gelombang dek baja

$w_r$  = Lebar efektif gelombang dek baja

## 2.4.2 Perencanaan Balok Komposit

Struktur lentur (struktur balok) adalah bagian struktur yang menahan beban secara tegak lurus terhadap sumbu memanjangnya. Pada saat balok memikul momen lentur yang besar, maka balok akan mengalami tekuk pada arah lateral. Sehingga diperlukan pengaku pada balok untuk mencegah terjadinya tekuk lateral.

Dalam pelaksanaan pembangunan struktur komposit (khususnya komponen struktur lentur), secara umum dibedakan pada ada atau tidaknya perancah (tumpuan sementara). Jika perancah tidak digunakan (unshored) maka profil baja berfungsi sebagai penumpu bekisting dari pelat beton selama belum mengeras. Sehingga pada tahap ini, balok baja harus mampu menopang berat sendiri, berat bekisting pelat, serta berat beton yang belum mengeras. Setelah pelat beton mengeras maka komponen struktur komposit akan menopang semua beban layan. Beban layan meliputi beban mati dan hidup.

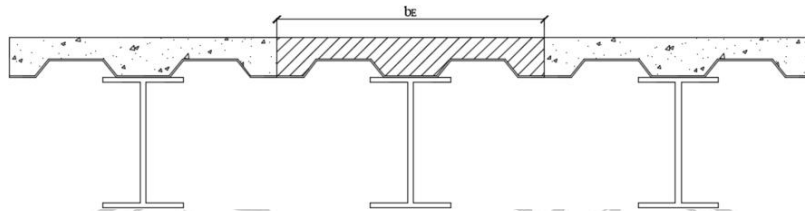
Sedangkan jika dalam pelaksanaan menggunakan perancah (shored) selama pelat belum mengeras, maka perancah tersebut yang akan menopang berat profil baja, bekisting pelat, serta pelat beton yang belum mengeras. Dengan menggunakan perancah ini dapat mengurangi tegangan yang ditimbulkan oleh profil baja dalam konstruksi. Kemudian setelah pelat beton sudah mengeras dan perancah bisa dilepas, maka komponen struktur komposit akan menopang semua beban layan.

### 2.4.2.1 Lebar Efektif

Dalam perencanaan sebuah struktur bangunan penting memperhitungkan lebar efektif. Terutama pada sebuah desain yang memiliki distribusi tegangan yang tidak seragam. Dengan perpedoman pada SNI 1729:2020 pasal I3.1 yang menyatakan bahwa lebar efektif pelat beton dapat diambil dari jumlah lebar efektif

untuk setiap sisi sumbu balok, sehingga lebar efektif balok dapat menggunakan pernyataan:

- $b_E \leq \frac{1}{8}$  bentang balok, jarak as ke as tumpuan
- $b_E \leq \frac{1}{2}$  jarak antar sumbu yang berdekatan
- $b_E \leq$  jarak ke tepi slab



Gambar 2.7 Lebar Efektif Balok

#### 2.4.2.2 Kuat Lentur Nominal

##### 1. Kuat Lentur Positif

Kuat lentur positif rencana ( $\phi_b M_n$ ) dan kuat lentur positif yang diizinkan ( $M_n / \Omega_b$ ) harus diperhitungkan untuk keadaan batas leleh sesuai pedoman pada SNI 1729:2020 pasal I3.2a sebagai berikut:

- Untuk  $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$   
 $M_n$  harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit untuk keadaan batas leleh (momen plastis)
- Untuk  $\frac{h}{t_w} > 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$   
 $M_n$  harus ditentukan dari superposisi tegangan elastis, dengan memperhitungkan efek penopangan, untuk keadaan batas leleh (momen leleh).

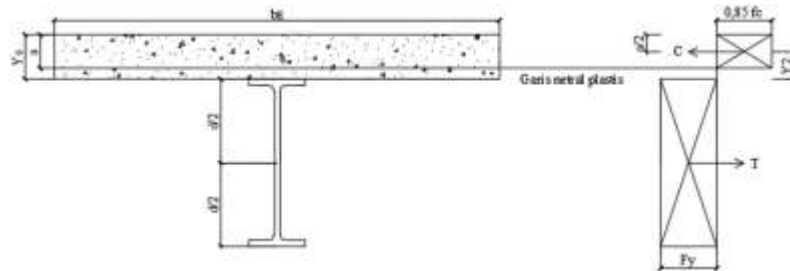
Dalam menghitung momen plastis sebuah balok komposit, harus dicari posisi sumbu netral plastis dimana tergantung pada proporsi C dan T, dengan nilai resultan gaya tekan dan tarik sebagai berikut:

$$C = 0,85 f'_c \times A_c \dots\dots\dots(2.26)$$

$$T = f_y \times A_s \dots\dots\dots(2.27)$$

Terdapat 3 kondisi distribusi tegangan plastis yang kemungkinan terjadi yaitu:

**A. Jika  $T \leq C$  sumbu netral elastis di dalam pelat beton**



**Gambar 2.8** Distribusi Tegangan Elastis Kondisi a

Apabila volume pelat beton relatif besar, profil baja akan mengalami leleh terlebih dahulu ketika terjadi momen lentur. Tinggi blok tegangan tekan pada pelat beton ( $a$ ) dapat dihitung sebagai berikut:

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' \times b_e} \dots \dots \dots (2.28)$$

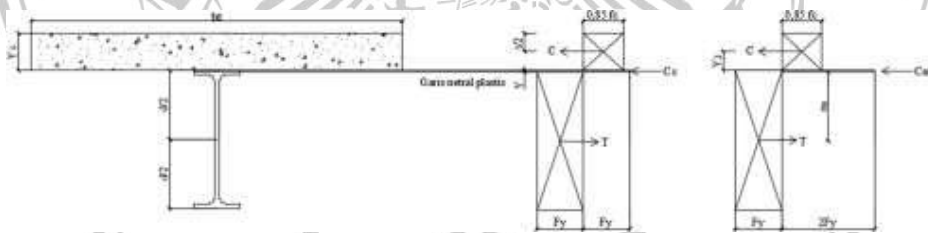
Asumsi benar jika  $a < t_c$  jika menggunakan dek baja, atau  $a < t$  pelat beton solid.

$$Y_c = h_r + t_c \dots \dots \dots (2.29)$$

$$Y_2 = Y_c - \frac{1}{2} a \dots \dots \dots (2.30)$$

$$M_n = M_p = F_y \times A_s \times \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \dots \dots \dots (2.31)$$

**B. Jika  $T > C$  sumbu netral elastis di baja (pelat sayap)**



**Gambar 2.9** Distribusi Tegangan Elastis Kondisi b

Kondisi ini terjadi apabila luasan pelat beton relatif lebih kecil dibanding momen tarik profil baja. Oleh karena itu, ketika terjadi momen positif maka profil baja juga masih mengalami desak. Itu terjadi jika  $t_f > y > 0$  yang dihitung dengan rumusan berikut:

$$T = F_y \times A_s \dots \dots \dots (2.32)$$

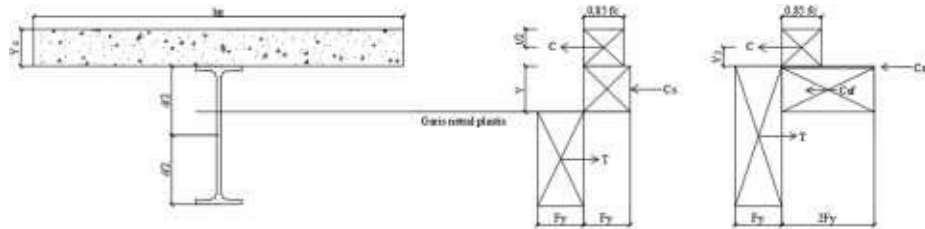
$$C = 0,85 f_c' \times b_E \times t_c \dots \dots \dots (2.33)$$

$$v = \frac{T - C}{b_f \times F_y} \leq t_f \dots \dots \dots (2.34)$$

$$C_{sm} = 2F_y \times y \dots\dots\dots(2.35)$$

$$M_n = M_p = C \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + C_{sm} (d - y) \frac{1}{2} \dots\dots\dots(2.36)$$

**C. Jika T > C sumbu netral palstis di baja (pelat badan)**



**Gambar 2.10** Distribusi Tegangan Plastis Kondisi c

Jika  $y > t_f$  maka kondisi ini yang mungkin terjadi karena luas pelat beton relatif lebih kecil dibanding luas profil baja. Untuk keseimbangan gaya, akibatnya bagian pelat badan dari profil baja juga masih mengalami tekan. Kondisi ini dapat terjadi jika  $T - C - C_{sf} > 0$ . Adapun nilai-nilainya dihitung sebagai berikut:

$$T = F_y + A_s \dots\dots\dots(2.37)$$

$$C = 0,85f_c' \times b_E \times t_c \dots\dots\dots(2.38)$$

$$C_{sf} = b_f \times t_f \times 2F_y \dots\dots\dots(2.39)$$

$$v = \frac{T - C - C_{sf}}{b_f \times F_y} \leq t_f \dots\dots\dots(2.40)$$

$$C_{sm} = 2F_y \times y \times t_w \dots\dots\dots(2.41)$$

$$y_f = \frac{1}{2} (d - t_f) \dots\dots\dots(2.42)$$

$$y_w = \frac{1}{2} (d + y) - t_f \dots\dots\dots(2.43)$$

$$M_n = M_p = C \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + (C_{sf} \times y_f) + (C_{sw} \times y_w) \dots\dots\dots(2.44)$$

**2. Kuat Lentur Negatif**

Pada umumnya suatu komponen struktur komposit yang dapat didesain ada pada daerah momen positif, sedangkan pada daerah momen negatif menggunakan komponen struktur non komposit. Tetapi pada peraturan SNI 1729:2020 pasal I3.2b telah diperbolehkan menggunakan struktur komposit pada daerah momen negatif dengan syarat sebuah struktur memenuhi kriteria berikut:

- Balok baja termasuk penampang kompak yang memiliki pengaku

- Pelat dengan balok baja disambung menggunakan angkur kanal baja pada daerah momen negatifnya
- Tulangan pelat yang sejajar dengan balok baja disalurkan pada lebar efektif pelat

Tulangan yang diletakkan sejajar dengan sumbu longitudinal balok baja dan terletak pada pelat beton yang memiliki lebar efektif ( $b_E$ ) dapat digunakan sebagai bagian dari penampang komposit efektif. Hal ini dapat digunakan pada daerah momen positif maupun negatif. Namun pada daerah momen positif, tulangan hanya memberikan kontribusi yang sedikit. Hal yang sebaliknya terjadi pada pelat beton, di daerah momen negatif pelat beton berada dalam keadaan tarik, padahal beton tidak memiliki kemampuan yang cukup dalam menahan gaya tarik, sehingga pada daerah momen negatif pelat beton dapat diabaikan.

Jika tulangan yang dipasang pada pelat beton hendak diperhitungkan kontribusinya pada penampang komposit, maka gaya yang timbul pada tulangan harus ditransfer oleh penghubung geser. Kuat nominal yang timbul pada tulangan dapat dihitung dengan rumus:

$$T_{sr} = A_{sr} \times F_{ysr} \dots\dots\dots(2.45)$$

Gaya tekan maksimum profil baja ialah:

$$C_{maks} = A_s \times F_y \dots\dots\dots(2.46)$$

Karena  $C_{maks} > T_{sr}$ , maka sumbu netral plastis akan jatuh pada profil baja dan kesetimbangan gaya dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$T_{sr} + T_s = C_{maks} - T_s \dots\dots\dots(2.47)$$

$$2T_{sr} = C_{maks} - T_s \dots\dots\dots(2.48)$$

$$T_s = \frac{C_{maks} - T_{sr}}{2} \dots\dots\dots(2.49)$$

Gaya pada sayap,  $T_f = b_f \cdot t_f \cdot F_y$

Gaya pada sayap,  $T_w = T_s - T_f$

Jarak sumbu netral dari tepi bawah flens adalah:

$$a_w = \frac{T_w}{f_y b_f} \dots\dots\dots(2.50)$$

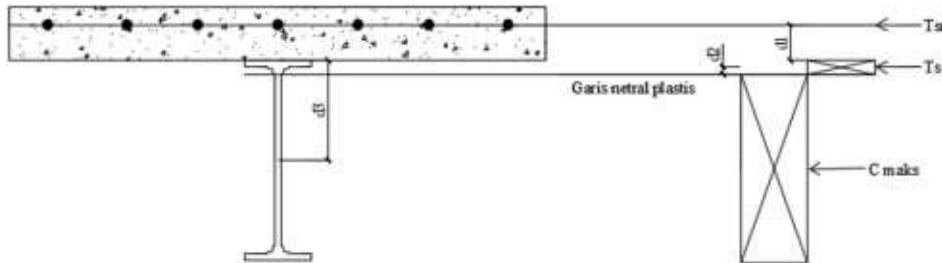
Menentukan jarak gaya yang bekerja dari *centroid*:

$$d_1 = Y_c \frac{T_c}{2} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$d_2 = \frac{a_w}{2} \dots\dots\dots(2.52)$$

$$d_3 = \frac{1}{2}d \dots\dots\dots(2.53)$$

$$M_n = T_{sr}(d_1 + d_2) + C_{maks}(d_3 - d_2) \dots\dots\dots(2.54)$$



**Gambar 2.11** Distribusi Tegangan Akibat Momen Negatif

**3. Kuat Geser Nominal**

Dengan berpedoman pada SNI 1729:2020 pasal G2, untuk memperhitungkan kuat geser nominal dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(2.55)$$

$$V_n = 0,6F_y \times A_w \times C_{v1} \dots\dots\dots(2.56)$$

Keterangan:

$V_n$  = Kuat geser nominal (N)

$\phi_v$  = Faktor tahanan untuk geser (0,90)

$A_w$  = Luas badan ( $mm^2$ )

$C_{v1}$  = 1,0

**2.4.2.3 Angkur Baja Stand Berkepala**

Dengan berpedoman pada SNI 1729:2020 pasal I8, diameter angkur baja stad berkepala (*steel headed stud*) harus kurang dari 19 mm dan juga tidak boleh lebih besar dari 2,5 kali ketebalan logam dasar. Serta panjang dari angkur *steel headed stud* harus lebih besar empat kali dari diameter batang dihitung dari dasar angkur *steel headed stud* pada bagian atas kepala batang setelah pemasangan.

Kuat geser nominal satu angkur yang ditanamkan pada pelat beton maupun pelat komposit dengan dek baja dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_n = A_{sa} \sqrt{f_c^1 \times E_c} \leq R_g \times R_p \times A_{sa} \times F_u \dots\dots\dots(2.57)$$

Keterangan:

$A_{sa}$  = Luas penampang dari angkur baja ( $\text{mm}^2$ )

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

$F_u$  = Kuat tarik minimum (MPa)

**Tabel 2.12** Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Kondisi	$R_g$	$R_p$
Dek diorientasikan sejajar dengan profil baja		
$\frac{w_r}{h_r} \geq 1,5$	1,00	0,75
$\frac{w_r}{h_r} < 1,5$	0,85	0,75
Dek diorientasikan tegak lurus dengan profil baja		
Jumlah angkur <i>steel headed stud</i> yang mempunyai rusuk dek sama		
1	1,00	0,60
2	0,85	0,60
3 atau lebih	0,70	0,60

Keterangan :  
 $w_r$  = Tinggi rusuk nominal (mm)  
 $h_r$  = Lebar rata-rata rusuk (mm)

*Sumber: SNI 1729:2020*

Kekuatan geser nominal satu angkur kanal canai panas yang ditanamkan pada pelat beton dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_n = 0,3 (t_w + 0,5t_w) \times l_a \times \sqrt{f_c^1 \times E_c} \dots\dots\dots(2.58)$$

Keterangan:

$l_a$  = Panjang angkur (mm)

$t_f$  = Ketebalan dari sayap angkur (mm)

$t_w$  = Ketebalan dari badan angkur (mm)

Dengan pengelasan kanal ke sayap balok agar dapat meningkatkan kekuatan dari angkur kanal tetapi harus memperhitungkan juga eksentrisitas pada konektor.

Jumlah angkur baja yang diperlukan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$V' = F_y \times A_s \dots\dots\dots(2.59)$$

$$N = \frac{V}{Q_n} \dots\dots\dots(2.60)$$

Keterangan:

$N$  = Jumlah angkur yang dibutuhkan

$V'$  = Gaya geser horizontal



$Q_n$  = Kuat geser nominal satu buah angkur konektor (N)

### 2.4.3 Perencanaan Kolom

Struktur kolom adalah bagian struktur yang menahan beban aksial tekan dan lentur secara bersamaan. Dengan kemampuannya yang dapat memikul momen seperti balok dan memikul aksial tekan seperti elemen tekan maka kolom disebut juga sebagai *beam-column*. (Yudha Lesmana, 2021)

#### 2.4.3.1 Panjang Efektif

Dalam memprediksi kekuatan kolom terdapat cara sederhana yang efektif yaitu memperhitungkan panjang efektif kolom. Panjang efektif ditentukan dengan mencari korelasi bentuk tekuk yang berkesesuaian dengan konsep Euler. Konsep Euler adalah konsep dasar dalam merencanakan struktur tekan. Adapun persamaan beban tekuk kritis yang dirumuskan oleh Euler, dimana faktor panjang efektif diperhitungkan yaitu:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \times EI}{(KL)^2} \dots \dots \dots (2.61)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas (MPa)

I = Inersia penampang ( $\text{mm}^4$ )

K = Nilai kekakuan struktur batang tekan (kN/m)

L = Panjang struktur tekan (m)

Panjang efektif ( $L_c$ ) adalah nilai kekakuan sebuah batang tekan dalam perencanaan struktur. Panjang efektif digunakan untuk menghitung kelangsingan sebuah struktur. Dalam merencanakan panjang efektif dapat diperoleh berdasarkan pedoman SNI 1729:2020 pasal E2 yaitu:

$$L_c = K \times L \dots \dots \dots (2.62)$$

Keterangan:

$L_c$  = Panjang efektif batang tekan (mm)

L = Panjang batang tekan (mm)

K = Faktor panjang efektif

Nilai kelangsingan efektif dibatasi tidak lebih dari 200. Hal ini sesuai dengan pedoman SNI 1729:2020 pasal E2. Adapun persamaan dapat dilihat dan dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{L_c}{r} \leq 200 \dots\dots\dots(2.63)$$

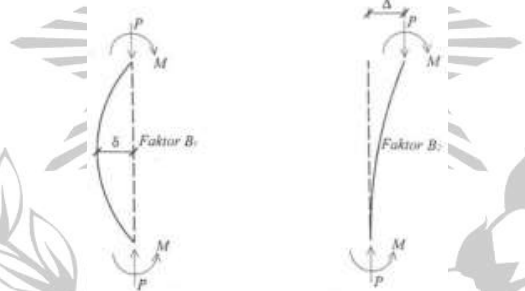
$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots(2.64)$$

Fenomena tekuk						
Nilai k (teoritis)	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai k (ideal)	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Arti simbol	Perletakkan Rol		Perletakkan Jepit		Perletakkan Sendi	
			Ujung bebas			

**Gambar 2.12** Nilai K Untuk Batang Tekan

Sumber: *Handbook Analisa Dan Desain Struktur Baja - Edisi Pertama 2021, Yudha Lesmana*

Nilai panjang efektif tidak mudah untuk dievaluasi dilapangan, untuk itu diperlukan penyederhanaan dari sebuah struktur tekan dilapangan. Dalam hal ini, struktur tekan dibedakan menjadi 2 kategori yaitu:



(a) Kolom tidak bergoyang (b) Kolom bergoyang

**Gambar 2.13** Analisa Struktur Kolom

Sumber: *Handbook Analisa Dan Desain Struktur Baja - Edisi Pertama 2021, Yudha Lesmana*

**1. Rangka Tidak Bergoyang:  $0,5 \leq K \leq 1,0$**

Kolom tak bergoyang memiliki ujung yang tetap tidak ada perpindahan, seperti pada Gambar 2.14 a. Kondisi ini terjadi pada struktur kolom yang menerima beban gravitasi tanpa ada pengaruh beban lateral (gempa atau angin). Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk kolom tak bergoyang berdasarkan SNI 1729:2020 lampiran 8.2.1:

$$M_r = B_1 \times M_{n1} \dots\dots\dots(2.65)$$

$$P_r = P_{nt} \dots\dots\dots(2.66)$$

Adapun parameter faktor pembesaran momen ( $B_1$ ) adalah:

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{e1}}} \dots\dots\dots(2.67)$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(L_{c1})^2} \dots\dots\dots(2.68)$$

Keterangan:

$M_r$  = Momen lentur perlu orde kedua (N-mm)

$M_{nt}$  = Momen perlu dari hasil analisa struktur elastis linear (N-mm)

$P_r$  = Gaya aksial perlu orde kedua (N)

$P_{nt}$  = Gaya aksial dari hasil analisa struktur elastis linear (N)

$C_m$  = Koefisien untuk kolom tak bergoyang

$P_{e1}$  = Kekuatan tekuk kritis (N)

$L_{c1}$  = Panjang efektif dibidang lentur (mm)

$\alpha$  = 1,0

## 2. Rangka Bergoyang: $1,0 \leq K \leq \infty$

Kolom bergoyang memiliki perpindahan pada ujungnya, seperti pada Gambar 2.14b. Kondisi ini terjadi pada struktur kolom yang menerima beban gravitasi dan beban lateral (gempa atau angin). Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk kolom bergoyang berdasarkan SNI 1729:2020 lampiran 8.2:

$$M_r = (B_1 \times M_{nt}) + (B_2 \times M_{lt}) \dots\dots\dots(2.69)$$

$$P_r = P_{nt} + (B_2 \times P_{lt}) \dots\dots\dots(2.70)$$

Adapun parameter faktor pembesaran momen ( $B_2$ ) adalah:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{story}}{P_{e story}}} \geq 1 \dots\dots\dots(2.71)$$

$$P_{e story} = R_M \frac{HL}{\Delta H} \dots\dots\dots(2.72)$$

$$R_M = 1 - 0,15 \frac{P_{mf}}{P_{story}} \dots\dots\dots(2.73)$$

Keterangan:

$P_{story}$  = Total beban vertikal dari semua kolom pada tingkat yang ditinjau (N)

$P_{e story}$  = Kekuatan tekuk kritis elastis pada tingkat yang ditinjau sesuai arah perpindahan (N)

- $R_m$  = Faktor yang memperhitungkan efek P- $\Delta$   
 $H$  = Gaya geser pada ujung kolom (N)  
 $L$  = Tinggi tingkat (mm)  
 $\Delta H$  = Drift antar tingkat hasil analisa  
 $P_{mf}$  = Total beban vertikal pada kolom yang ditinjau (N)  
 $\alpha$  = 1,0

### 2.4.3.2 Kuat Tekan Nominal Pada Elemen Kolom

Tekuk global adalah sebuah kondisi tekuk yang dipengaruhi kelangsingan dan bentuk penampangnya. Tekuk global biasanya terjadi pada penampang tidak langsing. Untuk menentukan jenis penampang langsing atau tidak langsing, dilakukan evaluasi rasio lebar-tebal ( $b/t$ ) penampang terhadap nilai batas rasio ( $\lambda_r$ ) sesuai dengan SNI 1729:2020 tabel B4.1a. Jika nilai rasio lebar-tebal kurang dari nilai batas rasio maka dikategorikan penampang tidak langsing, dan jika sebaliknya maka dikatakan sebagai penampang langsing. Tekuk global dibagi menjadi 3 yaitu tekuk lentur, tekuk torsi, dan kombinasi tekuk torsi lentur. Ketiga tekuk ini akan dibahas sesuai pedoman SNI 1729:2020 pasal E3 dan E4.

#### 1. Tekuk Lentur

Tekuk lentur terjadi pada penampang tekan yang tidak langsing. Untuk mencegah tekuk lentur maka perlu diketahui berapa nilai kuat tekan nominal. Adapun persamaan untuk mencari kuat tekan nominal adalah:

$$\phi_c P_n \geq P_u \dots\dots\dots (2.74)$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g \dots\dots\dots (2.75)$$

Adapun persamaan untuk mencari nilai tegangan kritis adalah sebagai berikut:

- Jika  $\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  atau  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$ , maka nilai  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \left( 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y \dots\dots\dots (2.76)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{L_c}{r} \right)^2} \dots\dots\dots (2.77)$$

- Jika  $\frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  atau  $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$ , maka nilai  $F_{cr}$ :

$$F_{cr} = 0,877F_y \dots \dots \dots (2.78)$$

Keterangan:

- $P_n$  = Kuat tekan nominal pada kondisi tekuk lentur (N)
- $F_{cr}$  = Tegangan kritis pada batang tekan kondisi tekuk lentur (MPa)
- $A_g$  = Luasan utuh penampang batang tekan (mm<sup>2</sup>)
- $\phi_g$  = Faktor reduksi kuat tekan (0,90)
- $F_y$  = Tegangan leleh minimum (Mpa)
- $F_e$  = Tegangan tekuk elastis (Mpa)

**2. Tekuk Torsi dan Tekuk Torsi Lentur**

Tekuk torsi dan tekuk kombinasi torsi lentur ini dikhususkan untuk penampang tidak langsing yang memiliki struktur asimetris dan simetris tunggal, struktur simetris ganda, struktur silang. Dan juga siku tunggal dengan  $\frac{b}{t} > 0,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ .

Adapun persamaan untuk mencari kuat tekan nominal adalah sebagai berikut:

$$\phi_c P_n \geq P_u \dots \dots \dots (2.79)$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g \dots \dots \dots (2.80)$$

Untuk nilai tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) menggunakan persamaan diatas. Dan untuk mencari nilai tegangan tekuk elastis torsi atau torsi lentur ( $F_e$ ) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Pada struktur simetris tunggal yang mengalami torsi terhadap pusat geser:

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 EC_w}{L_c z^2} + GJ \right) \cdot \frac{1}{I_x + I_y} \dots \dots \dots (2.81)$$

- Pada struktur simetris tunggal yang mengalami torsi terhadap pusat geser adalah sumbu simetri:

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} \cdot F_{ez} \cdot H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right) \dots \dots \dots (2.82)$$

- Pada struktur asimetris yang mengalami torsi terhadap pusat geser:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2(F_e - F_{ey}) \left( \frac{X_0}{r_0} \right)^2 - F_e^2(F_e - F_{ey}) \left( \frac{X_0}{r_0} \right)^2 = 0 \dots \dots \dots (2.83)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{r_x}\right)^2} \dots\dots\dots (2.84)$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{r_y}\right)^2} \dots\dots\dots (2.85)$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{L_{cz}^2} + GJ\right) \cdot \frac{1}{A_g r_0^2} \dots\dots\dots (2.86)$$

### 3. Interaksi Lentur dan Gaya (Balok-Kolom)

Struktur yang elemen batangnya akan menerima kombinasi dari gaya aksial dan momen maka harus direncanakan menggunakan perhitungan batang portal (balok kolom). Pada dasarnya dalam perencanaan batang portal dapat ditinjau pada kuat tekan dan kuat lenturnya. Dari tinjauan kuat tekan disebabkan ada gaya aksial, dan kuat lentur disebabkan ada gaya lentur. Sehingga nantinya dihubungkan dengan persamaan interaksi antara kuat tekan dan kuat lentur. Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal H1 yang menyatakan interaksi lentur dan gaya tekan pada struktur simetris ganda dan komponen struktur simetris tunggal yang melentur terhadap sumbu geometris (x atau y) dibatasi oleh persamaan:

- Jika  $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$  , maka:  $\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.87)$

- Jika  $\frac{P_r}{2P_c} < 0,2$  , maka:  $\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.88)$

Keterangan:

$P_r$  = Kekuatan aksial perlu (N)

$P_c$  = Kekuatan aksial design (N)

$M_r$  = Kekuatan lentur perlu (N-mm)

$M_c$  = Kekuatan lentur design (N-mm)

#### 2.4.4 Perencanaan Sambungan

Pemilihan jenis dan detail sambungan merupakan faktor penting dalam perencanaan konstruksi baja. Sambungan biasanya memiliki jumlah yang relatif banyak serta bervariasi. Sistem sambungan pada struktur baja memiliki keistimewaan jika dibanding struktur beton. Pada umumnya pada struktur beton akan dilakukan pengecoran di lapangan. Sedangkan pada struktur baja berbentuk elemen-elemen lepas, dimana saat sampai di lapangan harus dirakit dengan

sambungan terlebih dahulu. Oleh sebab itu, sebuah sambungan pada struktur baja yang dipilih akan berpengaruh pada biaya, kekuatan, cara serta waktu pelaksanaan dilapangan.

Menurut Yudha Lesmana (2021), salah satu sambungan pada struktur baja yang digunakan adalah sambungan baut. Meskipun sambungan baut saat ini sudah banyak banyak digunakan, tetap harus memperhatikan kelebihan dan kegagalan yang dimiliki sambungan baut. Adapun kelebihan yang dimiliki sambungan baut antara lain:

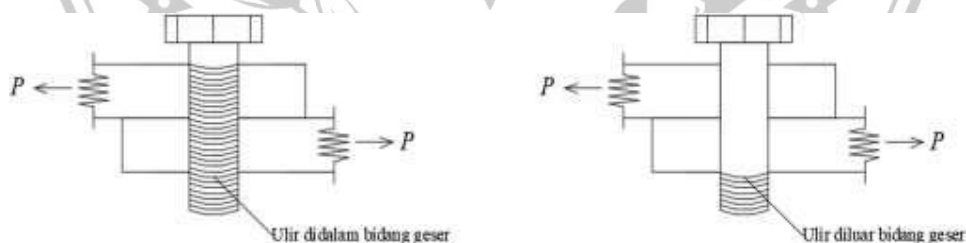
- Pemasangannya lebih mudah, cepat, dan tidak diperlukan keahlian khusus untuk pemasangannya
- Jika dibandingkan dengan sambungan las, untuk upah pekerja harganya lebih ekonomis
- Harga peralatan untuk pemasangan sambungan baut relatif lebih murah

Dengan berpedoman pada SNI 1729:2020 tabel J3.2, kuat nominal pengencang baut pada bagian ulir adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.13** Tabel Nominal Baut

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, $F_t$ (MPa)	Kekuatan Geser Nominal, $F_{nv}$ (MPa)
Baut A307	310	186
Baut A325 (ulir berada di bidang geser)	620	372
Baut A325 (ulir berada di luar bidang geser)	620	469
Baut A490 (ulir berada di bidang geser)	780	469

Sumber: SNI 1729:2020



**Gambar 2.14** Kondisi Bagian Ulir Baut Dalam Sambungan

Sumber: *Handbook Analisa Dan Desain Struktur Baja - Edisi Pertama 2021, Yudha Lesmana*

Dalam menganalisa kekuatan baut harus diperhatikan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan. Dengan gaya-gaya yang diterima oleh baut, maka

secara tidak langsung mempengaruhi tipe sebuah sambungan. Adapun kekuatan baut dianalisa berdasarkan pada SNI 1729:2020 pasal J3.

#### 2.4.4.1 Sambungan Baut Tipe Geser

Sambungan baut tipe geser harus menggunakan baut dengan mutu yang tinggi, sebab hal ini akan berpengaruh pada kekuatan dan kekakuan sebuah sambungan. Pada perencanaan sambungan yang menggunakan baut, perlu diperhitungkan gaya-gaya yang akan bekerja. Gaya ini akan dipakai sebagai acuan untuk mendapatkan berapa jumlah baut yang diperlukan agar membuat sebuah struktur baja yang aman tetapi tetap ekonomis.

##### A. Mekanisme Slip Kritis

Pada saat elemen tidak terbebani maka baut tidak akan mengalami selip, sehingga saat seperti itu kritis selip yang sedang bekerja. Tapi sebaliknya, saat elemen dibebani maka baut akan mengalami selip, dimana saat seperti itu tumpu yang sedang bekerja. Sehingga sambungan kritis selip (*critical slip*) direncanakan agar dapat mencegah selip pada sambungan. Sistem sambungan ini biasanya digunakan untuk mengatasi saat terjadi beban dinamik atau beban bolak balik, seperti pada jembatan dan mesin industri. Jika hal itu berlangsung secara terus-menerus pada waktu lama, maka struktur dapat berisiko tinggi mengalami kerusakan atau keruntuhan pada saat kondisi tegangan elastis. Persamaan yang digunakan untuk keadaan batas selip berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J3.8 adalah sebagai berikut:

$$R_n = \mu \times D_u \times h_f \times T_b \times n_s \dots\dots\dots(2.89)$$

Keterangan:

$\mu$  = Koefisien selip rata-rata (0,30 untuk kelas A; 0,50 untuk kelas B)

$D_u$  = Rasio rata-rata pratarik baut (1,13)

$h_f$  = Faktor untuk pengisi

- 1,00 untuk satu pengisi bagian-bagian yang disambung

- 0,85 untuk lebih dari satu pengisi bagian-bagian yang disambung

$T_b$  = Gaya tarik minimum (kN)

$n_s$  = Jumlah selip yang diijinkan, lihat tabel 2.11 (kN)



- $\phi$  = - 1,00 untuk lubang ukuran standar dan slot pendek yang tegak lurus terhadap arah beban
- 0,85 untuk lubang ukuran berlebih dan slot pendek yang paralel terhadap arah beban
- 0,70 untuk lubang slot panjang

**Tabel 2.14** Pratarik Baut minimum (kN)

Ukuran Baut, mm	Kelompok A (Baut A325M)	Kelompok B (Baut A490M)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

Sumber: SNI 1729:2020

**B. Mekanisme Tumpu**

Kekuatan tumpu (*bearing strength*) terjadi saat kritis selip mengalami kegagalan, hal ini ditandai dengan terjadinya selip. Kekuatan tumpu adalah pada saat baut menumpu pada profil baja atau pelat sambungan, sehingga diperlukan analisa terhadap profil baja atau pelat sambungan yang menjadi tumpuan. Kekuatan tumpu dipengaruhi oleh posisi dan jarak antar baut. Pada umumnya jumlah baut yang diperlukan relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan menggunakan mekanisme kritis selip. Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan kuat tumpu baut berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J3.10.

**A. Kuat Tumpu**

Dalam perhitungan kuat tumpu pada sambungan perlu mempertimbangkan pengaruh deformasi. Jika besarnya deformasi memengaruhi kinerja dari struktur dan diperlukan pembatasan ketahanan struktur, maka dapat menggunakan rumus:

$$R_n = 1,2 l_c \times t \times F_u \leq 2,4 d \times t \times F_u \dots\dots\dots(2.90)$$

Jika besarnya deformasi tidak memengaruhi fungsinya, maka nilai minimum kuat tumpuan dapat menggunakan rumus:

$$R_n = 1,5 l_c \times t \times F_u \leq 3,0 d \times t \times F_u \dots\dots\dots(2.91)$$

Untuk kekuatan tumpuan yang terdapat lubang baut tipe slot panjang searah slotnya tegak lurus terhadap arah gaya, sehingga gaya kekuatan berkurang dan bisa dihitung menggunakan rumus:

$$R_n = 1,0 l_c \times t \times F_u \leq 2,0 d \times t \times F_u \dots\dots\dots(2.92)$$

### B. Kuat Geser Baut

Kekuatan tarik atau geser yang direncanakan ( $\phi R_n$ ) pada sambungan baut yang dikencangkan harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas keruntuhan tarik dan keruntuhan geser. Dengan berpedoman pada SNI 1729:2020 pasal J3.6, berikut adalah persamaan untuk keadaan batas diatas:

$$R_n = F_n \times A_b \dots\dots\dots(2.93)$$

Keterangan:

$F_n$  = Tegangan tarik nominal, lihat tabel 2.12 (MPa)

$A_b$  = Luas baut (mm<sup>2</sup>)

$\phi$  = 0,75

**Tabel 2.15** Kekuatan Nominal Pengencang dan Bagian Berulir (MPa)

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, $F_n$ (Mpa)	Kekuatan Geser Nominal pada Sambungan Tipe Tumpu, $F_{nv}$ (Mpa)
Baut A307	310	186
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di bidang geser	620	372
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di luar bidang geser	620	469
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir ada di bidang geser	780	469
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir ada di luar bidang geser	780	579
Baut kelompok C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di bidang geser	1040	620
Baut kelompok C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di luar bidang geser	1040	779

Lanjutan Tabel 2.15

Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir ada di bidang geser	$0,75F_u$	$0,45F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir ada di luar bidang geser	$0,75F_u$	$0,563F_u$

Sumber: SNI 1729:2020

### C. Kuat Geser Balok

Analisa geser blok (*block shear*) dilakukan agar pada bagian lubang baut tidak mengalami geser sehingga terjadi kegagalan. *Block shear* sangat dipengaruhi oleh posisi dan jarak antar baut. Jika dibandingkan dengan mekanisme tumpu yang jumlah bautnya relatif sedikit, maka kebalikannya untuk sambungan ini yaitu jumlah baut yang dipakai relatif banyak. Dengan penempatan baut secara bekerlompok, maka saat terjadi keruntuhan blok dapat berakibat pada satu kelompok. Berikut adalah persamaan untuk kekuatan desain pada saat keadaan batas keruntuhan *block shear* berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J4.3:

$$R_n = (0,60 F_u \times A_{nv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt}) \leq (0,60 F_y \times A_{gv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt}) \quad (2.94)$$

Keterangan:

- $U_{bs}$  = 1,0 jika tegangan tarik seragam  
 0,5 jika tegangan tarik tidak seragam
- $A$  = Luasan neto yang mengalami gaya geser ( $\text{mm}^2$ )
- $\phi$  = 0,75

### D. Perhitungan Jarak Antar Baut

Dalam pemasangan baut harus diperhatikan jarak antara baut satu dengan yang lainnya. Hal ini agar baut dapat memikul beban sesuai dengan kekuatannya dan mempermudah saat pemasangan. Pedoman untuk menentukan jarak antar baut menggunakan SNI 1729:2020. Adapun penjelasan tersebut ialah:

- Spasi minimum

Dengan berpedoman pada SNI 1729:2020 pasal J3.3, jarak as ke as antar lubang baut tidak boleh kurang dari  $2^{2/3}$  kali diameter nominal ( $d$ ) dan jarak bersih antar lubang baut tidak boleh kurang dari  $d$ . Pada saat

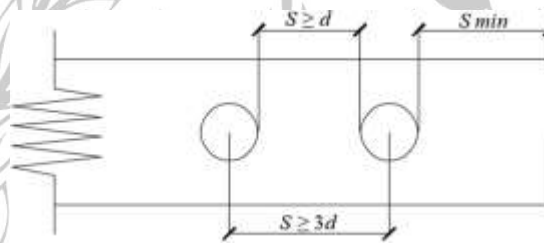
dilapangan, jarak  $2\frac{2}{3}$  lebih sering dibulatkan menjadi 3, sehingga untuk jarak as ke as dapat digunakan  $S \geq 3d$

- Jarak tepi minimum

Jarak pusat lubang baut ke tepi sambungan tidak bisa kurang dari nilai yang sudah ditetapkan pada SNI 1729:2020 tabel J3.3 dan J3.3M. Hal ini agar posisi baut tidak terlalu dekat dengan tepi yang bisa menyebabkan sobek pada profil baja.

- Spasi maksimum

Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J3.5, jarak maksimum dari pusat lubang baut ke tepi yang terdekat pada bagian yang tersambung harus 12 kali ketebalan dari bagian yang disambung, namun tidak boleh lebih dari 150 mm.

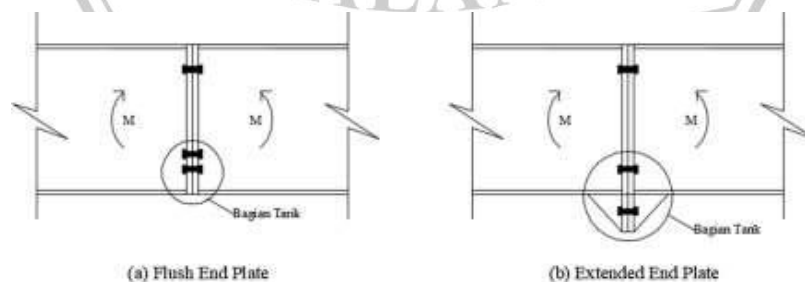


**Gambar 2.15** Jarak Antar Baut

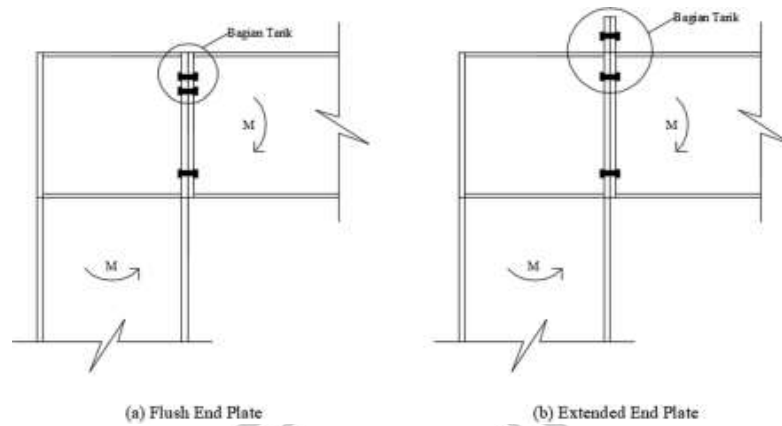
Sumber: *Handbook Analisa Dan Desain Struktur Baja - Edisi Pertama 2021, Yudha Lesmana*

#### 2.4.4.2 Sambungan *End Plate*

Sambungan baut tipe tarik mempunyai jumlah baut yang relatif sedikit dengan ditambahkan pelat khusus yang dilas pada ujungnya atau sering disebut dengan sambungan *end plate*. Sambungan *end plate* dapat dipasang untuk balok dengan balok, kolom dengan balok, dan pelat dengan kolom.



**Gambar 2.16** Sambungan *End Plate* Pada Balok



Gambar 2.17 Sambungan *End Plate* Pada Portal

1. Kapasitas Pelat Ujung

Kekuatan pada pelat ujung dan baut tarik sangat mempengaruhi kinerja sambungan *end plate*. Untuk memperhitungkan kekuatan maksimal pada pelat ujung maka dapat menggunakan teori garis leleh (*yield line theory*) sebab sudah terbukti keakuratannya.

a. *Flush End Plate* Polos

Kekuatan sambungan *end plate* terhadap kondisi batas saat terjadi leleh pada pelat ujung dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[ \frac{b_f}{2} \left( \frac{h-p_t}{p_f} + \frac{h-p_{t2}}{u} \right) + 2(p_f + p_b + u) \left( \frac{h-p_t}{p_f} \right) \right] \dots\dots\dots (2.95)$$

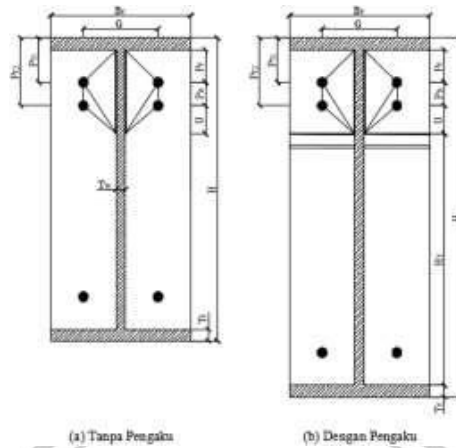
Apabila  $M_u = \phi M_{pl}$  maka tebal pelat minimum dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$u = \frac{1}{2} \sqrt{b_f g \left( \frac{h-p_{t2}}{h-p_t} \right)} \dots\dots\dots (2.96)$$

$$t_p \geq \left[ \frac{\frac{M_u}{\phi F_{py}}}{\frac{b_f}{2} \left( \frac{h-p_t}{p_f} + \frac{h-p_{t2}}{u} \right) + 2(p_f + p_b + u) \left( \frac{h-p_t}{p_f} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.97)$$

Keterangan:

- $F_{py}$  = Tegangan leleh baja pada pelat ujung
- $M_{pl}$  = Kapasitas momen plastis pada pelat ujung
- $M_u$  = Momen batas pada sambungan *end plate*
- $\phi$  = Ketuntuhan lentur karena leleh (0,90)



Gambar 2.18 Pola Garis Leleh Pelat Tipe *Flush End*

**b. *Flush End Plate Menggunakan Pengaku***

Kekuatan sambungan *end plate* terhadap kondisi batas saat terjadi leleh padapelat ujung dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

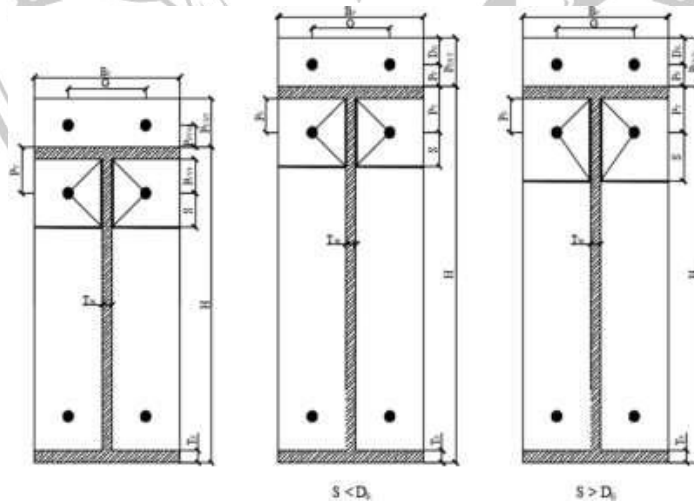
$$AA = (h - p_t) \left[ \frac{b_f}{2b_f} + \frac{2}{g} (p_f + p_b) \right] \dots\dots\dots (2.98)$$

$$BB = 1,25 (h - p_{t2}) \left[ \frac{b_f}{2} \left( \frac{1}{p_f} + \frac{1}{2h_t} \right) + \frac{g}{10p_s} + \frac{2}{g} \left( \frac{p_b}{5} + p_s \right) \right] \dots\dots\dots (2.99)$$

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left( AA + \frac{1}{2} b_f + BB \right) \dots\dots\dots (2.100)$$

Apabila  $M_u = \phi M_{pl}$  maka tebal pelat minimum dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$t_p \geq \left[ \frac{\frac{M_u}{\phi F_{py}}}{AA + \frac{1}{2} b_f + BB} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.101)$$



Gambar 2.19 Pola Keruntuhan Berdasarkan Garis Leleh Pelat Tipe *Extended End Plate*

**c. Extended End Plate Polos**

Kekuatan sambungan *end plate* terhadap kondisi batas saat terjadi leleh pada pelat ujung dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[ \left( \frac{b_f}{2} \left( \frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + (p_{f,i} + s) \frac{2}{g} \right) + (h - p_t) + \frac{b_f}{2} \left( \frac{h}{p_{f,o}} + \frac{1}{2} \right) \right] \dots (2.102)$$

Apabila,  $s = \frac{1}{2} (b_f \times g)^{1/2}$  dan  $M_u = \phi M_{pl}$  maka tebal pelat perlu dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$t_p \geq \left[ \frac{\frac{M_u}{\phi F_{py}}}{\left( \frac{b_f}{2} \left( \frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + (p_{f,i} + s) \frac{2}{g} \right) + (h - p_t) + \frac{b_f}{2} \left( \frac{h}{p_{f,o}} + \frac{1}{2} \right)} \right]^{1/2} \dots (2.103)$$

**d. Extended End Plate Menggunakan Pengaku**

- Apabila  $s < d_e$ , maka kekuatan sambungan *end plate* terhadap kondisi batas saat terjadi leleh pada pelat dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[ \left( \frac{b_f}{2} \left( \frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right) [(h - p_t) + (h + p_t)] \right] \dots (2.104)$$

Apabila,  $s = \frac{1}{2} (b_f \times g)^{1/2}$  dan  $M_u = \phi M_{pl}$  maka tebal pelat perlu dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$t_p \geq \left[ \frac{\frac{M_u}{\phi F_{py}}}{\left[ \left( \frac{b_f}{2} \left( \frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right) [(h - p_t) + (h + p_t)] \right]} \right]^{1/2} \dots (2.105)$$

- Apabila  $s > d_e$ , maka kekuatan sambungan *end plate* terhadap kondisi batas saat terjadi leleh pada pelat dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[ \left( \frac{b_f}{2} \left( \frac{1}{p_f} + \frac{1}{2s} \right) + (p_f + d_e) \frac{2}{g} \right) [(h - p_t) + (h + p_f)] \right] \dots (2.106)$$

Apabila,  $s = \frac{1}{2} (b_f \times g)^{1/2}$  dan  $M_u = \phi M_{pl}$  maka tebal pelat perlu dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$t_p \geq \left[ \frac{\frac{M_u}{\phi F_{py}}}{\left[ \left( \frac{b_f}{2} \left( \frac{1}{p_f} + \frac{1}{2s} \right) + (p_f + d_e) \frac{2}{g} \right) [(h - p_t) + (h + p_f)] \right]} \right]^{1/2} \dots (2.107)$$

**e. Kapasitas Baut**

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa kekuatan pada pelat ujung dan baut tarik sangat mempengaruhi kinerja sambungan end plate. Pada pelat ujung yang mengalami deformasi maka akan terjadi efek prying yaitu terdapat penambahan gaya tarik pada baut. Apabila deformasinya relatif kecil maka dapat diabaikan. Berikut adalah kekuatan sambungan pada baut tanpa ada efek prying:

$$p_t = A_b \times F_{nt} \dots\dots\dots (2.108)$$

$$M_{np} = 2p_t(d_1 + d_2) \dots\dots\dots (2.109)$$

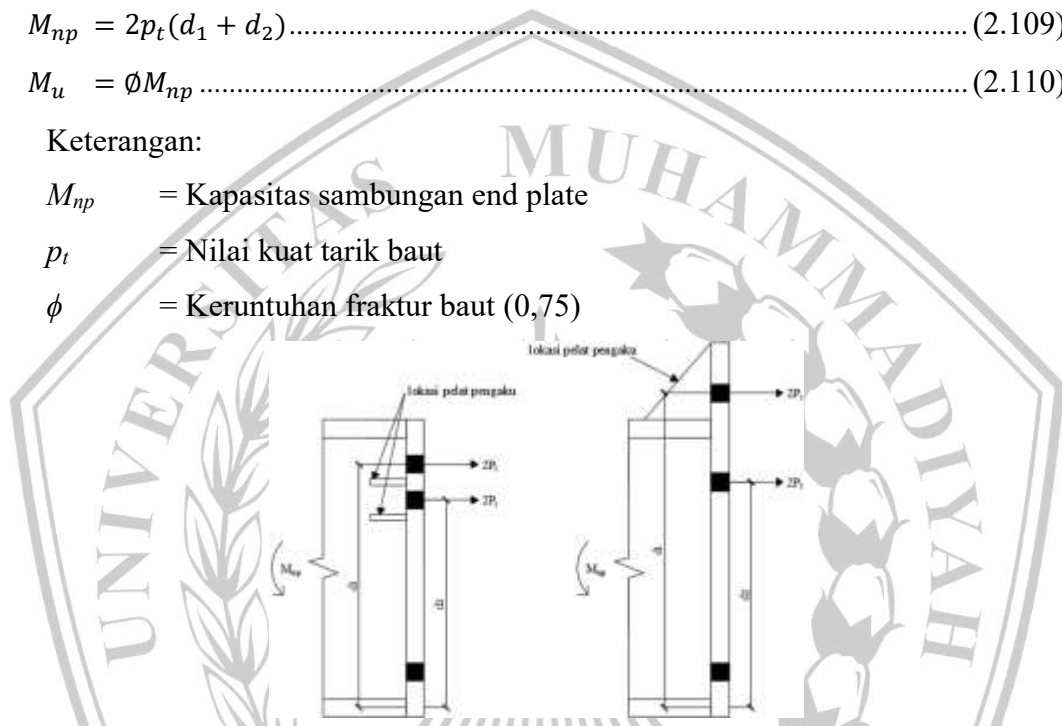
$$M_u = \phi M_{np} \dots\dots\dots (2.110)$$

Keterangan:

$M_{np}$  = Kapasitas sambungan end plate

$p_t$  = Nilai kuat tarik baut

$\phi$  = Keruntuhan fraktur baut (0,75)



Gambar 2.20 Momen Kopel Baut Terhadap Sayap Tekan

### 2.4.4.3 Sambungan Balok-Kolom

#### 1. Bolted Unstiffened End Plate (BUPE) Connection

Sambungan BUPE merupakan sambungan yang harus didesain sedemikian rupa, sehingga dapat terjadi leleh pada kombinasi balok lentur dengan panel zone atau hanya pada balok lentur saja. Pada bagian pelat ujung, baut, dan sambungan las harus didesain dengan sedemikian rupa sehingga pada elemen-elemen tersebut tidak terjadi leleh. Berikut merupakan langkah-langkah perencanaan sambungan BUPE:

$$M_f < 2T_{ub}(d_0 + d_1) \dots\dots\dots (2.111)$$

$$T_{ub} = A_b \times F_{nt} \dots\dots\dots (2.112)$$



Keterangan:

$M_f$  = Momen rencana (kNm)

$T_{ub}$  = Gaya tarik yang terjadi (N)

$d_0$  = Jarak baut paling atas dengan sayap profil bagian bawah (mm)

$d_1$  = Jarak baut sayap paling atas dengan sayap profil bagian bawah (mm)

$A_b$  = Luas Baut (mm<sup>2</sup>)

$F_{nt}$  = Kuat tarik nominal (MPa)

Ukuran baut yang sesuai diperlukan agar tidak terjadi kegagalan geser. Untuk memastikan, luas baut ( $A_b$ ) harus memenuhi:

$$A_b \geq \frac{\frac{2M_f}{L-d_c} + V_g}{3F_v} \dots\dots\dots (2.113)$$

Keterangan:

$d_c$  = Lebar badan profil (mm)

$V_g$  = Gaya geser nominal (kN)

$F_v$  = Kuat geser nominal (MPa)

Menentukan tebal pelat ujung minimum berdasarkan lentur dengan persamaan:

$$s = \sqrt{b_p \times g} \dots\dots\dots (2.114)$$

$$t_p = \sqrt{\frac{M_f}{0,8 F_{yp} \left\{ d_b - P_i \left[ \frac{b_p}{2} \left( \frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right] + \frac{b_p}{2} \left( \frac{d_b + 1}{p_f} + \frac{1}{2} \right) \right\}}} \dots\dots\dots (2.115)$$

Keterangan:

$B_p$  = Lebar pelat sambung (mm)

$f_{yp}$  = Mutu pelat yang digunakan (MPa)

$d_b$  = Tinggi badan profil (mm)

$P_i$  = Jarak bagian atas sayap profil dengan baut di bawahnya (mm)

$P_f$  = Jarak bagian atas sayap profil dengan baut di atasnya (mm)

Menentukan tebal pelat ujung minimum berdasarkan geser dengan persamaan:

$$t_p = \frac{M_f}{1,1 f_{yp} \times b_p (d_b - t_{bf})} \dots\dots\dots (2.116)$$

Menentukan kebutuhan pengaku panel zone, pengaku tidak diperlukan apabila memenuhi persyaratan:

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \dots\dots\dots(2.117)$$

Keterangan:

$b_{bf}$  = Ukuran sayap profil (mm)

$t_{bf}$  = Ukuran tebal profil (mm)

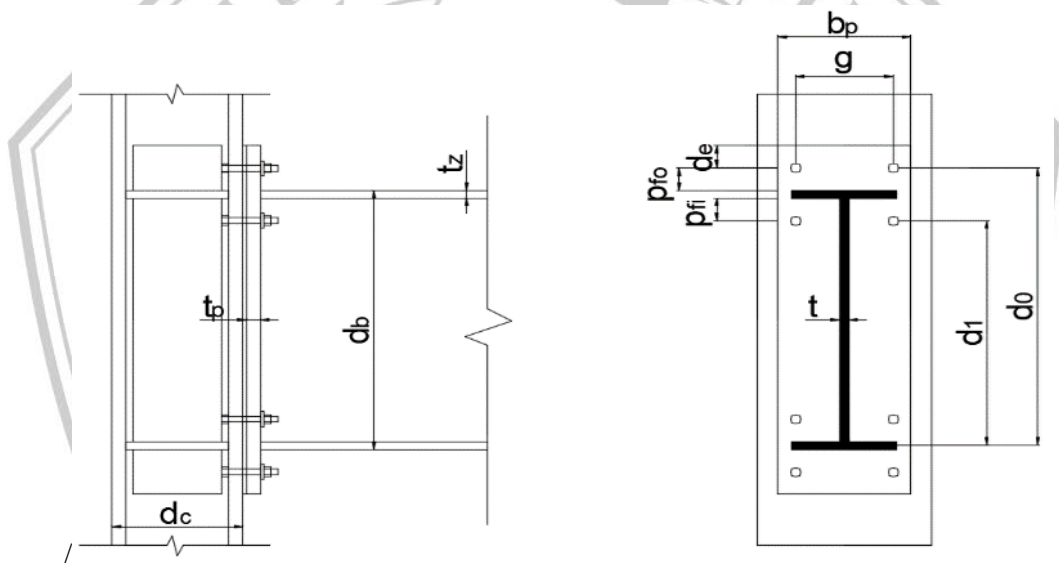
$f_{yb}$  = Mutu pelat yang digunakan (MPa)

Apabila persamaan di atas tidak terpenuhi, maka tebal pelat pengaku dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_2 \geq \frac{d_2 - w_2}{90} \dots\dots\dots(2.118)$$

$d_2$  = Tinggi badan profil (mm)

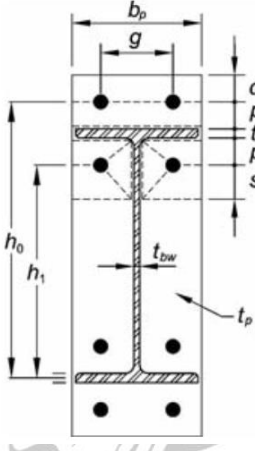
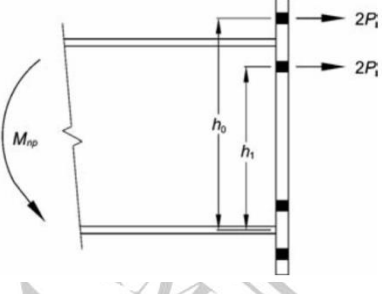
$w_2$  = Lebar badan profil (mm)



**Gambar 2. 21** Konfigurasi Sambungan BUEP

Sumber: SNI 7972-2020

**Tabel 2.16** Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang Tanpa Pengaku Dengan Empat Baut

Geometri Pelat Ujung dan Pola Garis Leleh	Model Gaya Baut
<p style="text-align: center;"><b>Leleh</b></p> 	

Sumber: SNI 7972-2020 pasal 6.8.1 tabel 6.2

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{p_{fi}} - \frac{1}{2} \right) + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s)] \right] \dots\dots\dots (2.119)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \dots\dots\dots (2.120)$$

Jika  $p_{fi} > s$ , maka digunakan  $p_{fi} = s$

**2. Stiffened End Plate Connention**

Perencanaan sambungan ini harus didesain sedemikian rupa, sehingga dapat terjadi leleh pada kombinasi balok lentur dengan panel zone atau hanya pada balok lentur saja. Berikut merupakan langkah-langkah dalam perencanaan *stiffened end plate connention*:

$$M_f = M_{pr} + V_u \times S_h \dots\dots\dots (2.121)$$

$$M_{pr} = C_{pr} \times Z_x \times R_y \times f_y \dots\dots\dots (2.122)$$

$$C_{pr} = \frac{f_y + f_u}{2 \times f_y} < 1,2 \dots\dots\dots (2.123)$$

$$V_u = 2 \times \frac{M_{pr}}{L_h} \pm V_{gravitasi} \dots\dots\dots (2.124)$$

**a. Desain bagian balok**

Berikut merupakan langkah-langkah perencanaan desain sambungan pada bagian balok:

Panjang pelat pengaku pelat ujung

$$L_{st} = \frac{H_{st}}{\tan 30} \dots\dots\dots(2.125)$$

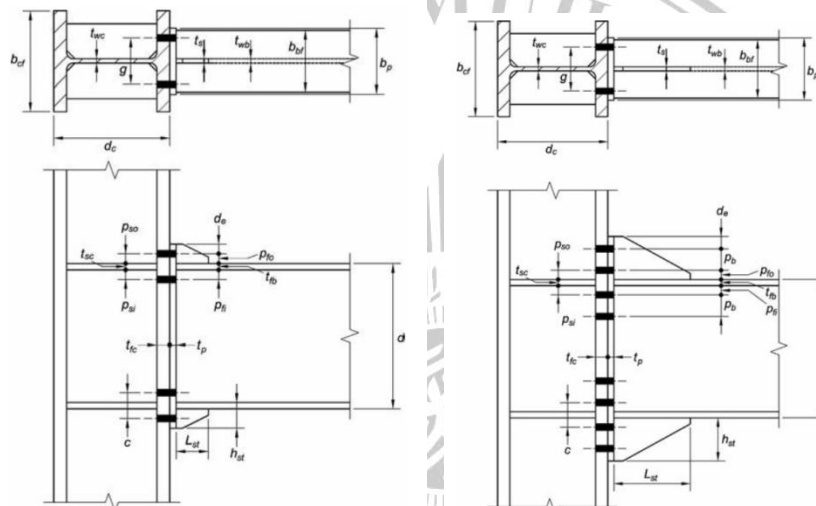
$$S_h = t_p + L_{st} \dots\dots\dots(2.126)$$

Desain ketebalan pengaku pelat ujung

$$T_s > t_{bw} \frac{f_{yb}}{f_{ys}} \dots\dots\dots(2.127)$$

Pemeriksaan tekuk pada pengaku pelat ujung

$$\frac{h_{st}}{t_s} < 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_{ys}}} \dots\dots\dots(2.128)$$



Gambar 2.22 Stiffened End Plate Connection 4Es dan 8Es

Sumber: SNI 7972-2020

**Tabel 2.17** Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang Dengan Pengaku Dengan Empat Baut

Geometri Pelat Ujung dan Pola Garis Leleh		Model Gaya Baut
Kasus 1 ( $d_e \leq s$ )	Kasus 2 ( $d_e > s$ )	

Sumber: SNI 7972-2020 pasal 6.8.1 tabel 6.3

**Untuk kasus 1 ( $d_e \leq s$ )**

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(d_e + p_{fo})] \dots (2.129)$$

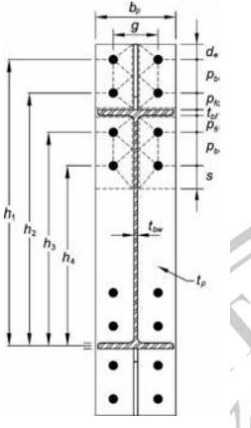
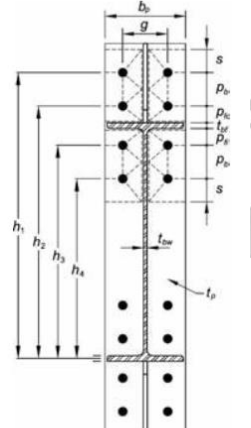
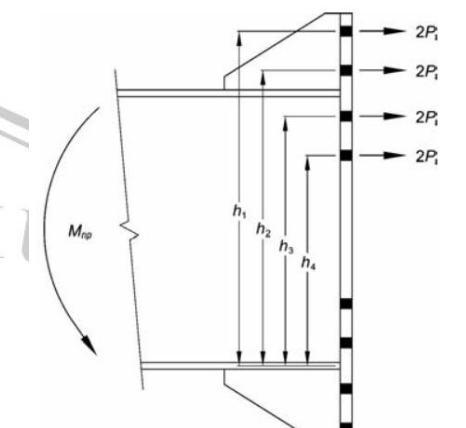
**Untuk kasus 2 ( $d_e > s$ )**

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(s + p_{fo})] \dots (2.130)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \dots (2.131)$$

Jika  $p_{fi} > s$ , maka digunakan  $p_{fi} = s$

**Tabel 2.18** Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang Dengan Pengaku Dengan Delapan Baut

Geometri Pelat Ujung dan Pola Garis Leleh		Model Gaya Baut
Kasus 1 ( $d_e \leq s$ )	Kasus 2 ( $d_e > s$ )	
		

Sumber: SNI 7972-2020 pasal 6.8.1 tabel 6.4

**Untuk kasus 1 ( $d_e \leq s$ )**

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left( \frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left( \frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left( \frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 \left( d_e + \frac{3p_b}{4} \right) + h_2 \left( p_{fo} + \frac{p_b}{4} \right) + h_3 \left( p_{fi} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_4 \left( s + \frac{p_b}{4} \right) \right] + g \dots\dots\dots (2.132)$$

**Untuk kasus 2 ( $d_e > s$ )**

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{s} \right) + h_2 \left( \frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left( \frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left( \frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 \left( s + \frac{3p_b}{4} \right) + h_2 \left( p_{fo} + \frac{p_b}{4} \right) + h_3 \left( p_{fi} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_4 \left( s + \frac{p_b}{4} \right) \right] + g \dots\dots\dots (2.134)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \dots\dots\dots (2.135)$$

Jika  $p_{fi} > s$ , maka digunakan  $p_{fi} = s$

Keterangan:

$F_{up}$  = Ukuran sayap profil (mm)

$A_n$  = Luas neto pelat ujung

=  $t_p \left[ b_p - 2 \left( d_b + \frac{1}{8} \right) \right]$ , bila lubang-lubang standar digunakan, in<sup>2</sup>

=  $t_p \left[ b_p - 2(d_b + 3) \right]$ , bila lubang-lubang standar digunakan, mm<sup>2</sup>

$d_b$  = Diameter baut (mm)

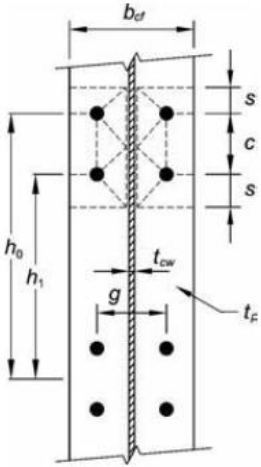
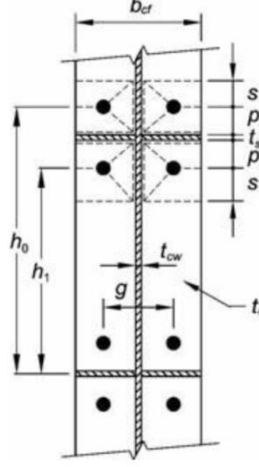
**b. Desain bagian kolom**

Berikut merupakan langkah-langkah perencanaan desain sambungan pada bagian kolom:

Pemeriksaan ketebalan sayap kolom

$$t_{cf\ min} = \sqrt{\frac{1,11M_f}{1 \times f_{yc} \times Y_c}} < t_{cf} \dots\dots\dots (2.136)$$

**Tabel 2.19** Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang Dengan Empat Baut

Geometri Sayap Kolom Tanpa Pengaku dan Pola Garis Leleh	Geometri Sayap Kolom Dengan Pengaku dan Pola Garis Leleh
	

Sumber: SNI 7972-2020 pasal 6.8.2 tabel 6.5

**Untuk Sayap Kolom Tanpa Pengaku**

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 \left( s + \frac{3c}{4} \right) h_0 \left( s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{4} \right] + \frac{g}{2} \dots\dots\dots (2.137)$$

**Untuk Sayap Kolom Diperkaku**

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{si}} \right) + h_0 \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{so}} \right) \right] + \frac{2}{g} \dots\dots\dots (2.138)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g} \dots\dots\dots (2.139)$$

Jika  $p_{si} > s$ , maka digunakan  $p_{si} = s$

Pemeriksaan kekuatan desain lentur sayap kolom

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d \times f_{yc} \times Y_c \times t_{cf}^2 \dots\dots\dots (2.140)$$

Pemeriksaan kekuatan pelelehan badan kolom tanpa pengaku

$$f_{fu} \leq \phi_d R_n \dots \dots \dots (2.141)$$

$$R_n = C_t (6k_c + t_{bf} + 2t_p) f_{yc} \times t_{cw} \dots \dots \dots (2.142)$$

Keterangan:

$C_t$  = 0,5 jika jarak dari kolom bagian atas ke muka bagian atas sayap balok kurang dari tinggi penampang kolom dan 1,0 untuk kasus lain

$f_{yc}$  = Tegangan leleh kolom (MPa)

$k_c$  = Jarak dari muka terluar sayap kolom ke ujung penebalan badan (mm)

$t_{cw}$  = Tebal badan kolom (mm)

Pemeriksaan kekuatan tekuk badan kolom tanpa pengaku

$$f_{fu} \leq \phi R_n \dots \dots \dots (2.143)$$

Keterangan:

$\phi$  = 0,75

bila  $f_{fu} \geq d_c/2$  dari ujung kolom, maka:

$$R_n = \frac{24t_{cw}^3 \sqrt{E f_{yc}}}{h} \dots \dots \dots (2.144)$$

bila  $f_{fu} < d_c/2$  dari ujung kolom, maka:

$$R_n = \frac{12t_{cw}^3 \sqrt{E f_{yc}}}{h} \dots \dots \dots (2.145)$$

Keterangan:

$h$  = Jarak bersih antar sayap dikurangi radius sudut untuk profil gilas (mm)

Pemeriksaan kekuatan lipat badan kolom tanpa pengaku

$$f_{fu} \leq \phi R_n \dots \dots \dots (2.146)$$

Keterangan:

$\phi$  = 0,75

bila  $f_{fu} \geq d_c/2$  dari ujung kolom, maka:

$$R_n = 0,80 t_{cw}^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d_c} \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1,5} \right] \frac{\sqrt{E f_{yc} t_{cf}}}{t_{cw}} \dots \dots \dots (2.147)$$

bila  $f_{fu} < d_c/2$  dari ujung kolom, maka:

– Untuk  $N/d_c \leq 0,2$

$$R_n = 0,40 t_{cw}^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d_c} \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1,5} \right] \frac{\sqrt{E f_{yc} t_{cf}}}{t_{cw}} \dots \dots \dots (2.148)$$



– Untuk  $N/d_c > 0,2$

$$R_n = 0,40t_{cw}^2 \left[ 1 + \left( \frac{4N}{d_c} - 0,2 \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1,5} \right] \frac{\sqrt{E f_{yc} t_{cf}}}{t_{cw}} \dots\dots\dots (2.149)$$

Keterangan

$$N = b_f + 2w + 2t_p \text{ (mm)}$$

$d_c$  = tinggi penampang kolom keseluruhan (mm)

$t_p$  = tebal pelat ujung (mm)

### 3. Bolted Flange Plate (BFP) Connention

Dalam perencanaan BFP, disarankan ketebalan *panel zone* tidak melebihi kekuatan dari *panel zone*. Jika ketebalan *zona panel* lebih dari 1,5 kali yang dibutuhkan, disarankan untuk menggunakan kombinasi ukuran balok dan kolom yang berbeda. Berikut merupakan langkah-langkah perencanaan sambungan BFP:

Menentukan ketebalan minimum *flens* pelat yang diperlukan:

$$t_{pl} = \frac{d_b - \sqrt{d_b^2 - \frac{4,4 M_{yf}}{f_y \times b_p}}}{2} \dots\dots\dots (2.150)$$

Untuk mencegah kegagalan penampang neto dan kegagalan perpanjangan lubang baut, maka sebuah baut harus memenuhi persamaan:

$$1,2 M_{yf} < M_{fail} \dots\dots\dots (2.151)$$

Keterangan

$M_{yf}$  = Momen di ujung kolom saat terjadi leleh pada sayap balok (N-mm)

$M_{fail}$  = Momen di ujung kolom pada saat terjadi kegagalan (N-mm)

Menentukan  $M_{fail}$  untuk kegagalan geser baut:

$$M_{fail \text{ bolt}} = 2N \times A_b \times F_v \text{ bolt} \times d_b \times L_{TF1} \dots\dots\dots (2.152)$$

$$L_{TF1} = \frac{L - d_c}{L - d_c - (2S_1 + S_3)} \dots\dots\dots (2.153)$$

Keterangan

$F_v \text{ bolt}$  = Kekuatan geser nominal baut (N)

$L_{TF1}$  = Rasio panjang untuk meneruskan momen dari pusat baut ke ujung kolom

$S_1$  = Jarak profil kolom ke baut pertama (mm)

Menentukan  $M_{fail}$  untuk patah penempang netto pelat sayap:

$$M_{fail\ yf} = 0,85F_{u-pl} \times [b_p - 2(d_{bt\ bolt} + 0,062)] \times t_{pl} \times (d_{bl} + t_{pl}) \times L_{TF2} \dots\dots\dots (2.154)$$

$$L_{TF2} = \frac{L-d_c}{L-d_c-2S_1} \dots\dots\dots (2.155)$$

Keterangan

$d_{bt}$  = Diameter baut (mm)

$L_{TF2}$  = Rasio panjang untuk meneruskan momen pada lubang baut yang paling dekat dengan ujung kolom

Menentukan  $M_{fail}$  muka kolom untuk patah penampang netto dari sayap balok:

$$M_{fail\ yf} = F_{u-b} \times [Z_b - 2(d_{bt\ hole} + 0,062)] \times t_{fb} \times (d_b + t_{fb}) \times L_{TF3} \dots\dots\dots (2.156)$$

$$L_{TF3} = \frac{L-d_c}{L-d_c-(2S_1+S_3)} \dots\dots\dots (2.157)$$

Keterangan

$d_{bt\ hole}$  = Diameter lubang baut (mm)

$L_{TF3}$  = Rasio untuk meneruskan momen dari lubang baut terjauh dari ujung kolom ke ujung kolom

Menentukan  $M_{fail}$  muka kolom untuk pemanjangan lubang baut:

$$M_{fail} = T_n \times \left( d_b + \frac{t_{pl-t} + t_{pl-b}}{2} \right) \times L_{TF1} \dots\dots\dots (2.158)$$

Dimana nilai  $T_n$  diambil yang terkecil dari persamaan berikut:

$$T_n = 2,4F_{u-b} (S_3 + S_1 - c) \times t_{fb} \dots\dots\dots (2.159)$$

$$T_n = 2,4F_{u-b} (S_3 + S_4) \times t_{pl} \dots\dots\dots (2.160)$$

Keterangan

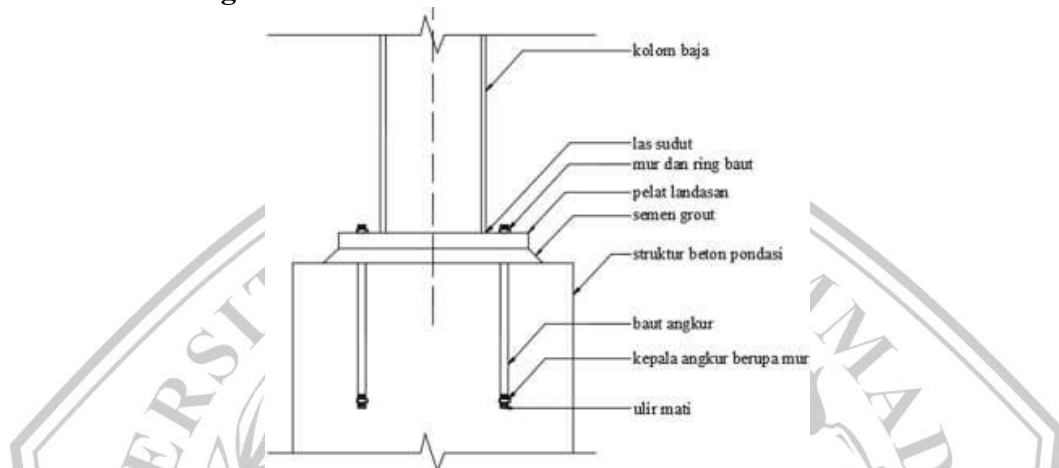
$t_{PL-t}$  = Tebal pelat bagian atas (mm)

$t_{PL-b}$  = Tebal pelat bagian bawah (mm)

Memeriksa geser blok untuk memastikan bahwa momen pada ujung kolom sesuai dengan syarat sambungan pada langkah 6. Pada desain pelat tunggal, sambungan *shear-tab* yang dibaut cukup untuk menahan geser yang diberikan

$$V_{web} = \frac{2M_f}{L-d_c} + V_g \dots\dots\dots (2.161)$$

#### 2.4.4.4 Sambungan Base Plate



Gambar 2.23 Konfigurasi *Base Plate* kolom

Pada umumnya struktur yang menggunakan baja hanya dipakai pada struktur atas, sedangkan untuk struktur bawahnya (pondasi) menggunakan beton. Untuk menghubungkan pondasi dan struktur atas baja digunakan sambungan *base plate* (pelat landasan). Prinsip dari pelat landasan yang dibuat untuk mentransfer gaya atau momen dari struktur baja yang memiliki kekuatan relatif besar kepada struktur beton (pondasi) tanpa mengakibatkan kerusakan sebab beban akan terbagi rata ke pelat landasan. Cara menghubungkan pelat landasan ke kolom baja yaitu dengan cara dilas. Diperlukan juga baut ankur yang berjumlah minimal 2 buah untuk mengantisipasi apabila terjadi momen tak terduga yang kemungkinan akan terjadi selama masa konstruksi.

#### 1. Kuat Tumpu Beton

Dalam perencanaan kuat tumpu didasarkan pada kuat tumpu nominal ( $P_p$ ) dan rasio tahanan ( $\phi = 0,65$ ). Nilai kuat tumpu nominal tergantung pada luasan beton tumpuan yang tersedia. Apabila luas beton sama dengan luas pelat landasan maka persamaan untuk kuat tumpu nominal adalah sebagai berikut:

$$P_p = 0,85f_c' \times A_1 \dots\dots\dots (2.162)$$

Atau dalam format tegangan tumpu nominal, maka:

$$f_{p maks} = \phi_c \times 0,85f'_c \dots\dots\dots (2.163)$$

Apabila luas beton tumpuan lebih besar dari luas pelat landasan, maka kuat tumpu beton dapat ditingkatkan hingga dua kalinya. Adapun persamaan untuk kuat tumpu nominal adalah sebagai berikut:

$$P_p = 0,85f'_c \times A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7f'_c \times A_1 \dots\dots\dots (2.164)$$

$$f_{p maks} = \phi_c \times 0,85f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7f'_c \dots\dots\dots (2.165)$$

Keterangan:

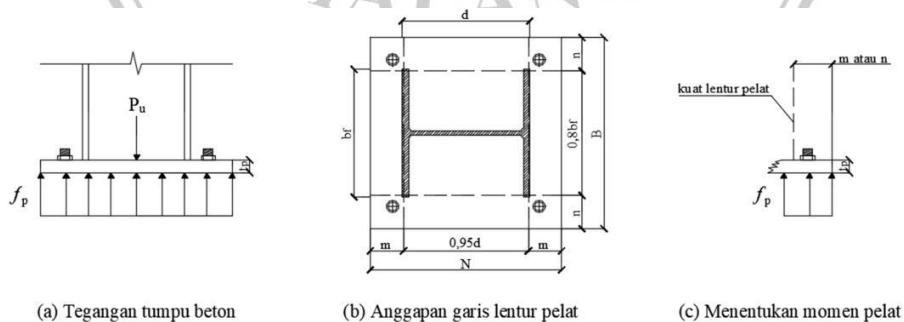
- $f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)
- $A_1$  = Luas beton yang dibebani (mm<sup>2</sup>)
- $A_2$  = Luas bawah piramida terpancung yang luas atas adalah  $A_1$ , dimana sisi miringnya memiliki perbandingan 2:1 untuk rasio horizontal dan vertikal (mm<sup>2</sup>)

Apabila luas beton tumpuan lebih besar dari luas *base plate*, maka bagian beton tumpuan yang lebih besar dapat berfungsi sebagai struktur pengekang untuk bagian beton yang terbebani. Ini adalah salah satu cara agar kuat tumpunya bisa ditingkatkan lagi.

## 2. Tekan Konsentris

Apabila *base plate* bertumpu pada permukaan beton (pondasi), maka dimensi pelat landasan ( $B \times N$ ) harus diperhitungkan sesuai ketentuan dibawah ini agar beton dibawahnya tidak mengalami kerusakan.

$$f_p = \frac{P_u}{B \times N} \leq f_{p maks} \dots\dots\dots (2.166)$$



**Gambar 2.24** Base Plate Terhadap Beban Tekan Konsentris

Kuat perlu pada pelat landasan dapat ditentukan berikut:

$$M_{pl} = 1/2 f_p \times l^2 \dots\dots\dots(2.167)$$

dimana  $l$  adalah nilai terbesar dari  $m$ ,  $n$ , dan  $\lambda n$

$$m = \frac{N-0,95d}{2} \dots\dots\dots(2.168)$$

$$n = \frac{B-0,8b_f}{2} \dots\dots\dots(2.169)$$

$$\lambda n' = \frac{1}{4} \lambda \sqrt{d \times b_f} \dots\dots\dots(2.170)$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{x}}{1+\sqrt{1-x}} \leq 1 \dots\dots\dots(2.171)$$

$$x = \left[ \frac{4d \times b_f}{(d \times b_f)^2} \right] \frac{P_u}{\phi_c P_p} \dots\dots\dots(2.172)$$

Nilai  $\lambda$  dapat diambil = 1. Untuk kondisi batas leleh, tebal minimum pelat landasan dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4M_{pl}}{\phi F_y}} = 1 \sqrt{\frac{2F_p}{\phi F_y}} = 1 \sqrt{\frac{2P_u}{\phi F_y \times B \times N}} \dots\dots\dots(2.173)$$

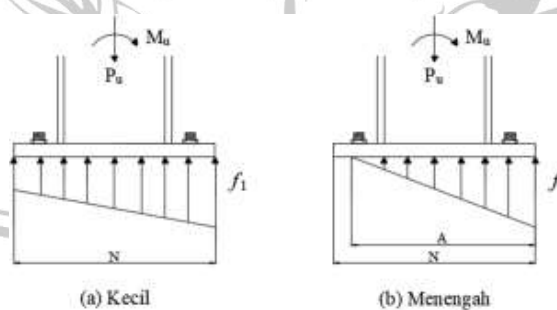
Keterangan:

$\phi$  = faktor ketahanan (0,90)

$l$  = nilai maksimum dari  $m$ ,  $n$ , dan  $\lambda n'$  agar tebal pelat landasannya ekonomis maka parameter tersebut dibuat minimum, salah satunya adalah menetapkan  $m = n$

### 3. Tegangan Beton Segitiga

a. Momen kecil tanpa angkur



**Gambar 2.25** Distribusi Tegangan Segitiga Akibat Eksentrisitas Kecil

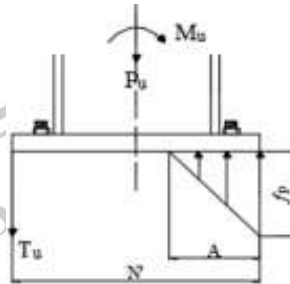
Pendekatan tegangan tumpu beton pada kondisi elastis (segitiga) sengaja dipilih karena memberi gambaran cukup rasional tentang efek eksentrisitas ( $e$ ) akibat gaya tekan  $P_u$  terhadap *base plate*. Nilai  $e$  disebut

sedang jika tidak perlu baut angkur untuk keseimbangannya. Maka nilai eksentrisitas terbagi menjadi dua keadaan yaitu:

A. Kecil, jika  $e = \frac{M_u}{P_u} \leq \frac{N}{6}$  ..... (2.174)

B. Menengah, jika  $\frac{N}{6} \leq e \leq \frac{N}{2}$  ..... (2.175)

b. Momen besar dengan angkur



**Gambar 2.26** Distribusi Tegangan Segitiga Akibat Eksentrisitas Besar

Bila eksentrisitas gaya  $P_u$  besar maka base plate dapat terguling. Untuk menghindarinya harus dipasang baut angkur untuk menahan gaya tarik sebesar  $T_u$  akibat momen guling tersebut. Ukuran pelat landasan dipilih sedemikian sehingga tegangan tekan beton ( $f_p$ ) tidak melebihi tegangan tumpu nominal beton. Untuk mencari nilai  $T_u$  dan  $A$ , dipergunakan persamaan keseimbangan vertikal dan momen sebagai berikut:

$$T_u + P_u = \frac{1}{2} f_p \times A \times B \dots\dots\dots (2.176)$$

$$P_u \left( \frac{N}{2} - x \right) + M_u = \frac{1}{2} f_p \times A \times B \left( N - x - \frac{A}{3} \right) \dots\dots\dots (2.177)$$

Jika  $A' = \frac{N}{2} - x$  dan  $f' = f_n \times B \left( N - \frac{x}{2} \right)$ , dari persamaan diatas didapatkan:

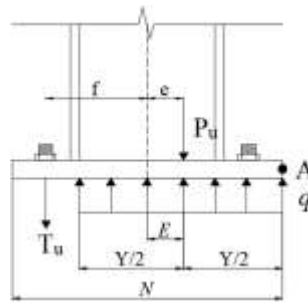
$$A = \frac{f' \pm \sqrt{f'^2 \times f_p \times B (P_u A' + M_u)}}{\frac{1}{2} f_p \times B} \dots\dots\dots (2.178)$$

nilai  $A \leq N'$ , jika tidak memenuhi maka ukuran pelat landas tidak mencukupi dan perlu ukuran lain. Gaya tarik baut angkur adalah:

$$T_u = \frac{1}{2} f_f \times A \times B - P_u \dots\dots\dots (2.179)$$

**4. Tegangan Beton Persegi**

a. Momen kecil tanpa angkur



Gambar 2.27 Distribusi Tegangan Persegi Akibat Eksentrisitas Kecil

Perencanaan base plate dengan beban eksentris bisa berdasarkan asumsi distribusi tegangan beton berbentuk segitiga atau kondisi tegangan elastis. Jika beban bertambah sampai kondisi batas, perilaku elastis terlewati dan masuk kondisi inelastis, yaitu beton pada kondisi batas (ultimate).

$$q_{maks} = f_{p maks} \times B \dots\dots\dots(2.180)$$

$$y_{min} = \frac{P_u}{q_{maks}} \dots\dots\dots(2.181)$$

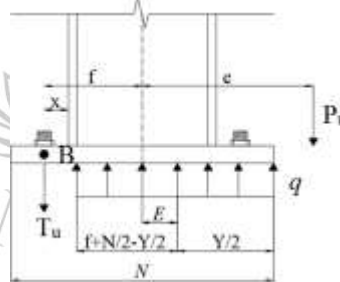
Jika  $\epsilon$  jarak resultan tumpu beton terhadap pusat berat kolom

$$\epsilon_{maks} = \frac{N}{2} - \frac{y_{min}}{2} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2q_{maks}} \dots\dots\dots(2.182)$$

$$e_{kritis} = \epsilon_{maks} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2q_{maks}} \dots\dots\dots(2.183)$$

Jika eksentrisitas beban  $\leq e_{kritis}$  maka baut angkur tidak diperlukan.

b. Momen besar dengan angkur



Gambar 2.28 Distribusi Tegangan Persegi Akibat Eksentrisitas Besar

Jika eksentrisitas beban tekan  $e = M_u + P_u > e_{kritis}$ , maka baut angkur diperlukan untuk mencegah base plate mengalami puntir. Untuk mencari nilai  $T_u$  dan  $Y$ , digunakan persamaan keseimbangan gaya vertikal sebagai berikut:

$$T_u + P_u = qY \dots\dots\dots(2.184)$$

Untuk mencari keseimbangan momen terhadap titik B:

$$q_{maks} Y \frac{N}{2} - \frac{Y}{2} + f - p_u(e + f) = 0 \dots\dots\dots (2.185)$$

Setelah pengaturan diperoleh persamaan kuadrat berikut:

$$Y^2 - 2 \left( \frac{N}{2} + f \right) Y + \frac{p_u(e+f)}{q_{maks}} = 0 \dots\dots\dots (2.186)$$

dan penyelesaian untuk Y adalah:

$$Y = \left( \frac{N}{2} + f \right) \pm \sqrt{\left( \frac{N}{2} + f \right)^2 - \frac{p_u(e+f)}{q_{maks}}} \dots\dots\dots (2.187)$$

Pada suatu kombinasi gaya, momen dan ukuran base plate tidak diperoleh penyelesaian, sehingga dimensi base plate perlu diperbesar. Agar persamaan bisa diselesaikan, maka:

$$\left( \frac{N}{2} + f \right)^2 \geq \frac{p_u(e+f)}{q_{maks}} = 0 \dots\dots\dots (2.188)$$

Gaya pada angkur adalah:

$$T_u = qY - P_u \dots\dots\dots (2.189)$$

Untuk kondisi batas leleh, tebal minimum pelat landasan adalah:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4M_{pl}}{\phi F_y}} \dots\dots\dots (2.190)$$

Pada kondisi desak, momen terjadi akibat tegangan reaksi beton pada kantilever dari tumpuannya.

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4M_{pl}}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{4 \left( \frac{1}{2} f_p \times m^2 \right)}{0,90 F_y}} = 1,5m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \dots\dots\dots (2.191)$$

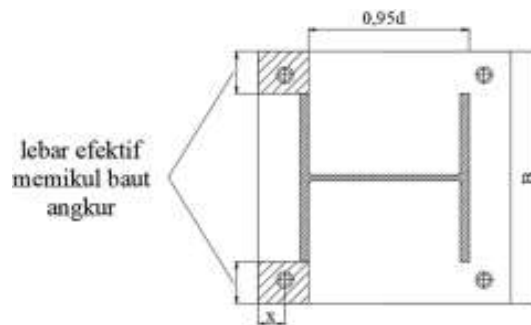
Jika  $Y < m$ , maka:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4M_{pl}}{\phi f_y}} = \sqrt{\frac{4 \left( f_p \times Y \left( m - \frac{Y}{2} \right) \right)}{0,90 f_y}} = 2,11 \sqrt{\frac{f_p \times Y \left( m - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} \dots\dots\dots (2.192)$$

$$f_p = \frac{P_u}{BF} \dots\dots\dots (2.193)$$

Pada sisi tarik, momen terjadi akibat reaksi baut angkur yang bekerja seperti beban terpusat di pelat. Oleh sebab itu jumlah baut juga berpengaruh, khususnya terhadap lebar efektif pelat.





**Gambar 2.29** Lebar Efektif Pelat Pemikul Baut Angkur

Tebal pelat landasan minimum untuk memikul baut ankur adalah:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4M_{pl}}{\phi f_y}} = \sqrt{\frac{4\left(\frac{T_u \times a}{n_b \times 2a}\right)}{0,90 f_y}} = 1,5 \sqrt{\frac{T_u}{n_b \times F_y}} \dots \dots \dots (2.194)$$

Keterangan:

$n_b$  = Jumlah baut yang dipasang

