

BAB II

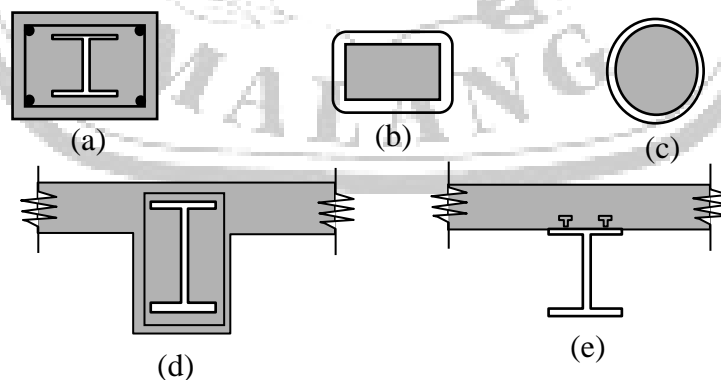
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Komposit

Penggunaan balok baja sebagai penopang pelat beton sudah ada sejak jaman dahulu. Akan tetapi, pada waktu itu balok baja dan pelat beton belum disambungkan menggunakan penghubung geser sehingga menghasilkan penampang nonkomposit. Pada penampang nonkomposit, pelat beton akan mengalami defleksi yang cukup besar akibat semakin besarnya beban yang harus ditanggungnya. Dengan pengembangan metode pengelasan dengan baik dan ditemukannya sambungan geser yang mampu menahan gaya geser horizontalnya, sehingga sambungan antara balok baja dan pelat beton bisa ditingkatkan. Terakhir, kedua bahan material (beton dan baja) menyatu menjadi elemen struktur, yang dinamakan elemen struktur komposit. Elemen struktur komposit tersebut dapat memikul beban yang kira-kira 33-50% lebih besar dibandingkan dengan beban yang dipikul oleh balok baja tanpa perilaku komposit. (Agus Setiawan, 2008)

2.1.1 Sistem Struktur Komposit

Struktur komposit (composite) adalah struktur yang meliputi dua ataupun lebih material dengan sifat material berbeda yang membentuk satu kesatuan, sehingga memungkinkan sifat gabungan yang lebih baik. Berikut adalah macam-macam struktur komposit.



Gambar 2.1. Macam-macam Struktur Komposit

Sumber: Pujiyanto, As'at. Struktur Komposit Dengan Metode LFRD, 2011)

Umumnya srtuktur komposit berbentuk:

1. Kolom baja terbungkus beton / balok baja terbungkus beton (Gambar 2.1.a/d).
2. Kolom baja berisi beton/tiang pancang (Gambar 2.1.b/c).
3. Balok baja yang menahan slab beton (Gambar 2.1.e).

2.1.2 Metode DFBK (Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan)/ LRFD (*Laod And Resistance Factor Design*)

DFBK adalah metode perencanaan struktur baja yang desainnya sesuai dengan persyaratan untuk Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK). Metode perencanaan ini adalah metode struktur baja yang berasal dari Amerika *Laod And Resistance Factor Design* (LRFD) yang kemudian diterjemahkan ke Bahasa Indonesia menjadi metode DFBK.

DFBK merupakan suatu metode perencanaan struktur baja yang didasarkan pada perbandingan kekuatan suatu struktur yang telah diberikan faktor resistensi (ϕ) dengan kombinasi beban terfaktor yang diperkirakan akan bekerja pada struktur tersebut ($\sum \gamma_i Q_i$). Faktor resistensi dibutuhkan untuk mempertahankan kemungkinan terjadinya kekurangan kekuatan pada struktur, sementara faktor beban dipergunakan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya pembebanan berlebih (Pujianto, 2011)

2.1.2.1 Kondisi Batas

Kondisi batas merupakan keadaan yang memperlihatkan batas kapasitas sebuah struktur supaya dapat dipergunakan. Persyaratan perencanaan menjamin bahwasanya kondisi batas haruslah kecil kemungkinannya untuk dilampaui, hal ini dilakukan dengan pemilihan kombinasi gaya, koefisien kekuatan dan nilai kekuatan yang tidak akan melebihi batas kapasitas struktur sesuai dengan rencana yang ada. Terdapat dua tipe kondisi batas yang dipergunakan pada struktur, antara lain:

1. Kondisi pembatas kekuatan (*ultimate strenghts*), yang menentukan tingkat keamanan terkait dengan kondisi pembebanan berat sepanjang masa pemakaian struktur.

2. Kondisi batas pelayanan menentukan batasan supaya struktur bisa beroperasi sesuai rancangan.

Pada umumnya, suatu bangunan dianggap aman bilamana memenuhi persyaratan antara lain:

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

Ruas kiri persamaan diatas merepresentasikan kekuatan atau tahanan suatu komponen ataupun sistem struktur, sementara ruas kanan persamaan merepresentasikan beban yang wajib ditanggung oleh struktur tersebut. Bilamana ketahanan R_n dikalikan dengan koefisien tahanan ϕ , sehingga akan diperoleh nilai ketahanan rencana. Tetapi, pada ruas kanan persamaan tersebut, segala jenis beban (beban mati, beban hidup, beban gempa, beban angin, dll.) dikalikan dengan faktor beban γ_i untuk memperoleh total beban terfaktor $\sum \gamma_i \cdot Q_i$.

Keterangannya:

- Σ = total jumlah
- $\gamma_i Q_i$ = kuat perlu, pada batas paling ekstrim
- γ_i = faktor beban Q_i yang ditinjau
- i = kondisi yang ditinjau
- Q_i = dampak beban nomina
- R_n = kuat nominal
- ϕR_n = kuat rencana
- ϕ = faktor tahanan

2.1.2.2 Ketentuan DFBK

Perencanaan DFBK dipercaya memenuhi ketentuan bilamana kuat perlu, R_u lebih rendah dari kuat rencana, ϕR_u dimana ϕ ialah koefisien tahanan dengan nilai yang berubah-ubah bergantung pada keadaan aktif komponen yang dipertimbangkan. Dasar dari konsep ketentuan DFBK yaitu:

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

Kuat perlu, R_u , ialah nilai maksimum dari semua kombinasi beban terhitung yang dipelajari melalui analisa struktur. Guna mengetahui kuat perlu, R_u , untuk setiap komponen struktur, sehingga dibutuhkan analisis struktur yang lengkap (*global*).

Koefisien kombinasi beban dipersiapkan guna analisa struktur elastis. Bilamana instrumen analisa struktur dilengkapi dengan opsi untuk menghitung efek P- Δ (*non-linearitas geometris*), ketentuan terkait analisa stabilitas struktur, selain penggunaan ELM (*Effective Length Method*), dapat juga mempergunakan DAM (*Direct Analysis Method*).

Hasil analisa struktur Ru secara keseluruhan (*global*) kemudian dipergunakan untuk mengevaluasi setiap elemen dan membandingkannya dengan kekuatan rencana ϕRu , yang juga dipertimbangkan berdasarkan setiap elemen, berdasarkan gaya internal yang terjadi. Peninjauan per-elemen dibutuhkan sebab sifat setiap tindakan dan status keruntuhannya mungkin berbeda.

Tabel 2.1. Tabel Faktor Tahanan, ϕ

Tahanan rencana untuk	Faktor Tahanan
Komponen struktur yang memikul lentur:	
• balok	0,90
• pelat badan yang memikul geser	0,90
• balok pelat berdinding penuh	0,90
• pelat badan pada tumpuan	0,90
• pengaku	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial:	
• ketahanan komponen struktur	0,90
• ketahanan penampang	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial:	
• terhadap tahanan tarik fraktur	0,75
• terhadap tahanan tarik leleh	0,90
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi:	
• tahanan geser atau lentur	0,90
• tahanan tekan	0,90
• tahanan tarik	0,90

Sambungan baut:	0,75
• baut yang memikul tarik	0,75
• baut yang memikul geser	0,75
• baut yang memikul tumpu	0,75
• lapis yang memikul kombinasi geser dan tarik	
Sambungan las:	
• las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75
• las tumpul penetrasi penuh	0,90
• las pengisi	0,75

Sumber: SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural

2.2 Pembebanan Struktur

Pada setiap bangunan struktur pasti akan memikul beban, baik dari luar seperti beban angin, hujan, dan gempa maupun dari dalam bangunan seperti berat massa material yang digunakan, penghuni, dan barang barang yang dimilikinya. Untuk itu pembeban struktur sudah tercantumkan pada SNI 1727:2020 terkait Beban Desain Minimum dan Kriteria Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Berikut adalah pembebanan yang bekerja pada bangunan gedung yang disyaratkan di antaranya.

2.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati ialah berat dari semua bahan konstruksi yang bersifat tetap, termasuk lantai, dinding, tangga, atap, *finishing*, plafon, dan komponen struktural dan arsitektual lainnya. Berikut merupakan berat satuan material yang digunakan pada perencanaan struktur untuk perhitungan beban mati.

Tabel 2.2.Beban Mati Sendiri Bahan Bangunan

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1.	Baja	7.850	kg/m ³
2.	Beton	2.200	kg/m ³
3.	Beton bertulang	2.400	kg/m ³
4.	Batu pecah	1.450	kg/m ³

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
5.	Floor deck	6,52	kg/m ²
6.	Pasir (kering udara)	1.600	kg/m ³
7.	Spesi dari semen, per cm tebal	21	kg/m ²
8.	Plafond + Penggantung	18	kg/m ²
9	Bata Ringan	70	kg/m ²
10.	Penutup lantai ubin	24	kg/m ²

Sumber: SNI 03-1727-1989 PPURG

2.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup ialah beban yang terjadi akibat fungsi dari suatu bangunan tersebut. Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan pergerakan seperti pergerakan manusia, dan kendaraan. Beban hidup yang sudah ditetapkan oleh SNI 1727:2020 sesuai fungsi bangunan pada tugas akhir ini, antara lain.

Tabel 2.3. Beban Hidup pada Lantai Gedung

No	Menurut Fungsi Lantai	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (kN)
1.	Rumah Sakit:		
	Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
	Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
	Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)

Sumber: SNI 1727:2020

2.2.3 Beban Gempa (*Seismic Load/ EL*)

Beban gempa ialah seluruh beban yang diberikan pada struktur akibat pergerakan tektonik bumi, baik gerakan secara horizontal ataupun vertikal. Berikut adalah ketentuan dalam SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.

1. Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2, untuk kategori risiko yang berbeda pada bangunan gedung dan nongedung, dampak gempa rencana terhadap struktur tersebut harus dikalikan dengan koefisien prioritas gempa I_e .

Tabel 2.4. Kategori Risiko Bangunan Gedung Rumah Sakit untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, namun tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> – Bangunan-bangunan monumental – Rumah ibadah – Fasilitas pendidikan dan gedung sekolah – Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lain yang mempunyai unit gawat darurat dan fasilitas bedah – Fasilitas ambulans, kantor polisi, pemadam kebakaran, dan serta garasi kendaraan darurat – Tempat perlindungan terhadap angin badai, gempa bumi, tsunami, dan tempat berlindung lainnya – Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya yang diperlukan pada kondisi darurat – Fasilitas kesiapan darurat, pusat operasi, komunikasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat – Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, struktur stasiun listrik, tangki penyimpanan bahan bakar, pemadam kebakaran, menara pendingin, tangki air atau struktur pendukung air dan materialnya atau struktur rumah atau peralatan pemadam kebakaran) yang dipersyaratkan untuk operasional pada saat kondisi darurat Bangunan non gedung yang diperlukan untuk menjaga fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV	IV

Sumber: SNI 1726:2019 hal 24 – 25

Tabel 2.5. Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: SNI 1726:2019 pasal 4.1.2 hal 25

2. Klasifikasi Situs

Sesuai SNI 1726: 2019 pasal 5.3 pada konteks ini sebaiknya diterapkan kelas tempat yang kondisinya lebih buruk. Bilamana data tanah spesifik pada situs

tidak tersedia hingga kedalaman 30 m, sehingga sifat-sifat tanah harus diperkirakan oleh ahli geoteknik bersertifikat/berlisensi dengan menyiapkan laporan penyelidikan tanah sesuai dengan kondisi geoteknik. Bilamana sifat-sifat tanah yang sesuai tidak tersedia untuk menentukan kelas situs, maka kelas situs SE harus dipergunakan sebagaimana persyaratan 0, terkecuali jika otoritas yang berwenang atau data geoteknik mengungkapkan bahwasanya lokasi tersebut adalah kelas lokasi lain. Tidak diperbolehkan menentukan kelas situs SA dan kelas situs SB apabila ada lapisan tanah setebal lebih dari 3 m diantara dasar telapak atau rakit pondasi dengan permukaan batuan dasar.

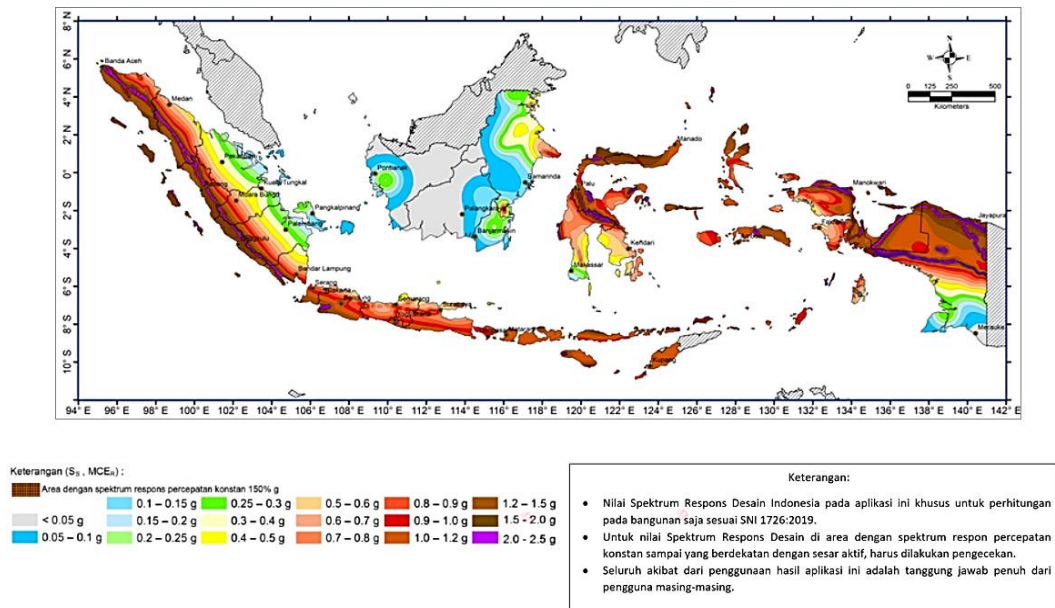
Tabel 2.6. Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 hingga 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 hingga 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 hingga 350	15 hingga 50	50 hingga 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik yaitu: <ol style="list-style-type: none"> 1. Kadar air, $w \geq 40\%$, 2. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons sepsifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang mempunyai salah satu atau lebih dari karakteristik yaitu: <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal ataupun runtuh yang diakibatkan beban gempa seperti mudah likuifaksi, tanah tersementasi lemah, lempung sangat sensitive - Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalannya $H > 3$ m) 		

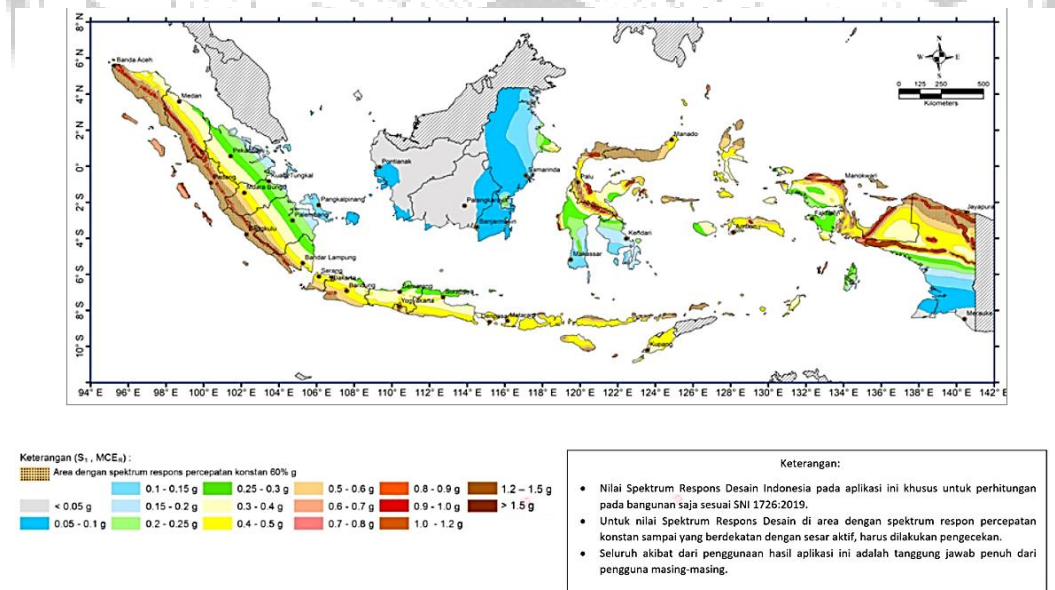
Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 5.3 hal 29

3. Parameter Respon Spektral Desain

Parameter Respon Spektral dapat ditentukan dari penyesuaian lokasi daerah di Indonesia, dapat di lihat pada peta gempa dibawah ini. Terdapat dua jenis peta gempa yaitu peta untuk percepatan pada periode pendek (S_s) dan periode 1 detik (S_l). Berikut adalah peta gempa sesuai dengan pedoman pada SNI 1726:2019 Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.2. Parameter Gerak Tanah S_s
Sumber: Desain Spektra Indonesia, RSA Ciptakarya



Gambar 2.3. Parameter Gerak Tanah S
Sumber: Desain Spektra Indonesia, RSA Ciptakarya

4. Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektra Percepatan Gempa Maksimum

Pada Pasal 6.2 SNI 1726:2019, guna mengidentifikasi respon spektra percepatan gempa MCER permukaan, perlu ditetapkan koefisien amplifikasi seismik pada selang waktu 0,2 s dan selang waktu 1 s. Faktor amplifikasinya mencakup faktor amplifikasi getaran yang berhubungan dengan percepatan untuk getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi mengenai percepatan (F_v) yang merepresentasikan getaran perioda satu detik. Parameter respon spektral percepatan perioda pendek (S_{Ms}) dan periode 1 detik (S_{Ml}) disetarakan dengan efek klasifikasi situs, yang harus dipertimbangkan menggunakan rumus berikut ():

$$S_{Ms} = F_a \times S_s \dots\dots\dots(2.3)$$

$$S_{Ml} = F_v \times S_l \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangannya:

F_v = Getaran periode 1,0 detik

F_a = Getaran periode pendek

S_s = Parameter respons spektra percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

S_l = Parameter respons spektra percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik

Tabel 2.7. Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respon spektra percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Catatan:

(a) “SS = situs yang memerlukan invetigasi geoteknik spesifik dan analisis respons sepsifik-situs, lihat 0”

Sumber: SNI 1726:2019 Pasal 6.2 Hal 34

Tabel 2.8. Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Catatan:

(a) “SS = situs yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons sepsifik-situs, lihat 0”

Sumber: SNI 1726:2019 pasal 6.2 hal 34

5. Parameter Percepatan Spektral

Sebagaimana SNI 1726: 2019 pasal 6.3 Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik S_{DI} harus ditetapkan dengan rumus yaitu:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangannya:

S_{DS} = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek

S_{DI} = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1,0 detik

6. Spektrum Respons Desain

Sebagaimana SNI 1726:2019 Pasal 6.4 Bilamana peraturan ini mensyaratkan spektrum respons desain dan tata cara gerakan tanah spesifik situs tidak dipergunakan, sehingga kurva spektrum respons desain harus ditingkatkan dengan merujuk pada Gambar 2.4 serta sesuai spesifikasi berikut ini:

1. Bilamana periode yang kurang dari T_0 , spektrum respon percepatan desain, S_a , harus dipergunakan persamaannya:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

2. Bilamana lebih tinggi atau sama dengan T_0 serta lebih rendah dari atau sama dengan T_s , respon spektrum percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
3. Bilamana periode lebih tinggi dari T_s , respons spektrum percepatan desain, S_a , digunakan sesuai persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter respon spektra percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = Parameter respon spektra percepatan desain pada periode 1,0 detik

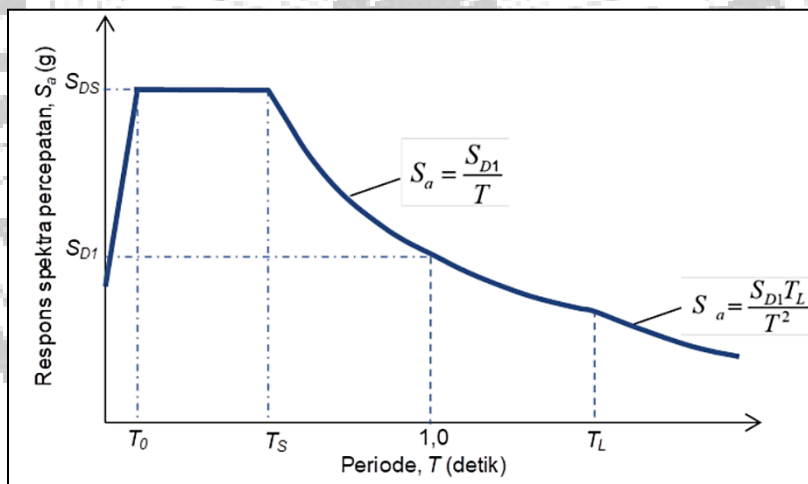
T = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{D2}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{D2}}$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 2.4

Keterangan



Gambar 2.4. Spektrum Respon Desain

Sumber: SNI 1726:2019 pasal 6.4 hal 36

Tabel 2.9. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Sumber: SNI 1726:2019 pasal 6.5 hal 37

Tabel 2.10. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

Sumber: SNI 1726:2019 pasal 6.5 hal 37

7. Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Jenis pemikul gaya seismik dapat dipilih dari tipe material dan kategori resiko yang diizinkan. Dimana pada tiap jenis pemikul gaya mempunyai besaran faktor dan faktor pembesaran nilai defleksi yang berbeda-beda. Berikut salah satu batasan sistem struktur yang dipakai untuk tugas akhir ini pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C.Sistem rangka pemikul momen								
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k

Sumber: SNI 1726:2019 pasal 7.2.2 Hal.49-51

Keterangan:

TB = Tidak dibatas

TI = Tidak diijinkan

8. Penentuan Periode Fundamental

Pada periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

h_n = Ketinggian struktur, dalam (m), di atas samapi tingkat tertinggi struktur.

C_t = Koefisien seismik perioda

X = Ditentukan Tabel 2.13

Tabel 2.12. Koefisien C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,1	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.1 Hal.72

Tabel 2.13. 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 pasal 7.8.2.1 Hal.72

9. Gaya Dasar Seismik

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.1 Gaya geser dasar seismik, V , pada arah yang ditetapkan haruslah berdasarkan persamaan berikut:

$$V = C_s W \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangannya:

C_s = Koefisien respon seismik yang ditetapkan sesuai dengan penghitungan koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

10. Koefisien Respon Seismik

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

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

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan tidak perlu melebihi berikut ini:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.13)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangannya:

Di mana I_e dan R sesuai dengan definisi dalam 0

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

T = Periode fundamental struktur (detik)

S_I = Parameter percepatan spektrum respons maksimum yang ditetapkan

11. Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Berdasar pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.3 Gaya seismik lateral, F_x (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots(2.15)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangannya:

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

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

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

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

k = eksponen yang berkaitan antara periode struktur dengan nilai yaitu:

- bagi struktural dengan $T \leq 0,5$ detik, = 1
- bagi struktural dengan $T \geq 2,5$ detik, = 2
- bagi struktural dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, = 2 atau diidentifikasi dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.2.4 Kombinasi Beban untuk Metode Ultimate

Dalam merencanakan pembebanan terdapat kombinasi yang harus diperhitungkan, yang mana hasil dari kombinasi pembebanan ini akan menghasilkan efek beban terfaktor dan desain dari keseluruhan gedung harus mempunyai kekuatan desain yang sama ataupun lebih besar dari efek yang ditimbulkan pada kombinasi pembebanan. Berikut adalah beban kombinasi dari SNI 1727:2020.

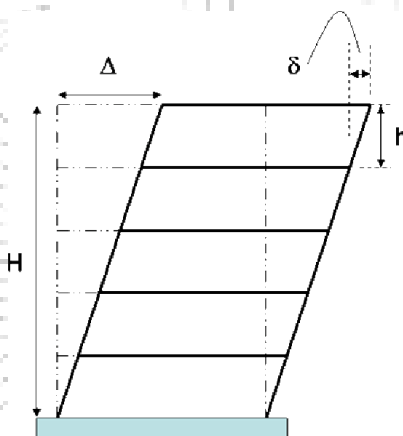
1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r atau R)

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

2.3 Perencanaan Stabilitas Struktur

Perencanaan Stabilitas struktur memerlukan kombinasi antara analisa dalam menentukan kuat perlu penampanh dan desain, agar struktur mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban. Dengan itu bisa dilakukan beberapa pengecekan sebagai berikut.

2.3.1 Drift Ratio



Gambar 2.5. 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 *story drift* sesuai SNI 1726:2019. Batas *drift ratio* sebesar 0,0025 dan dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut.

$$\delta x = \frac{Cd \times \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta a \dots\dots\dots(2.17)$$

$$Drift\ ratio = \frac{\Delta_{Top}}{H} \leq 0,0025 \dots\dots\dots(2.18)$$

2.3.2 Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain harus dihitung dengan selisih defleksi pada tingkat atas dan bawah. sebagaimana pasal 7.12 SNI 1726: 2019,

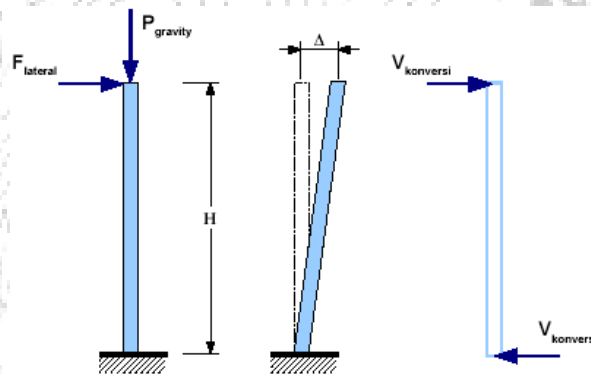
batas simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi drift simpangan antar tingkat ijin (Δa) dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2.14. Simpang Antar Tingkat Izin, Δa

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dinding geser batu bata, tingginya 4 lantai atau kurang dengan dinding interior, langit-langit, partisi, dan sistem dinding eksteriornya yang dirancang untuk menghubungkan simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Seluruh struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 1726:2019

2.3.3 Efek P-Delta



Gambar 2.6. Efek P-Delta

Efek P-delta ($P-\Delta$) adalah analisis orde kedua dimana ketika kolom menerima gaya aksial dan lateral, sehingga terjadi defleksi pada bagian atas kolom. Lendutan pada ujung kolom mengakibatkan perubahan titik awal sehingga timbul tambahan momen lentur. Pengaruh $P-\Delta$ termuat pada SNI 1726: 2019 pasal 78.7, pemeriksaan ini dibutuhkan bilamana bangunan mempunyai simpangan horizontal yang besar atau pada bangunan dengan tinggi lebih dari 10 lantai atau 40 meter.

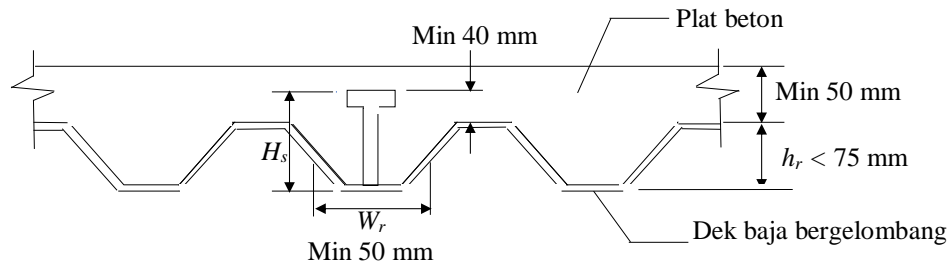
Untuk kebutuhan penyelesaian tugas akhir ini penulis tidak menggunakan perhitungan P-delta dikarenakan objek penelitian tidak lebih dari 5 lantai dimana bangunan tidak memiliki simpangan lateral yang besar.

2.4 Perencanaan Struktur

2.4.1 Pelat Lantai Komposit Menggunakan *Floor Deck*

Pada awal perkembangannya untuk struktur komposit diawali dengan adanya pemilihan *deck* baja gelombang sebagai bekisting pada saat proses perencanaan pelat beton, serta difungsikan sebagai tulangan positif pada pelat beton. Untuk persyaratan pada pelat lantai mempergunakan dek baja gelombang dan penghubung gesernya yang bekerja sama menjadi struktur komposit, tercantumkan pada SNI 1729:2020, yang mana syaratnya ialah:

1. Tinggi maksimum dek baja (h_r) tidak diperbolehkan lebih tinggi dari 75 mm. dan lebar rata-rata minimumnya (w_r) tidak boleh kurang dari 50 mm, tetapi tidak diperbolehkan menggunakan perhitungan dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dari dek baja.
2. Pada penyambungan pelat beton dan balok baja dengan menggunakan angkur *steel heads* dan di las dengan ketebalan 19 mm atau kurang dalam diameter (AWS D1.1/ D1.1m). kemudian angkur harus dilas pada dek maupun pada balok baja. Dan angkur yang telah dipasang harus dilakukan upaya memanjangkan dengan syarat kurang dari 13 mm dari selimut beton yang telah ditentukan ketebalannya.
3. Tebal pelat beton yang akan direncanakan tidak boleh kurang dari 50 mm diatas pelat dek baja.
4. Dek baja yang akan disambungkan dengan balok baja harus diberi angkur atau penghubung geser dengan jarak antar angkur tidak boleh melebihi dari 460 mm. kombinasi antara angkur *steel heads stud* dan las *arc spot*, atau perangkat lainnya dapat disesuaikan dengan yang telah disyaratkan oleh dokumen kontrak.



Gambar 2.7. Penampang Melintang Dek Baja Gelombang

Ketika merencanakan pelat atap yang mempergunakan rantai, peran tulangan positif diganti dengan *floor deck*. Nilai momen kapasitas *floor deck* bisa diukur mempergunakan rumus :

$$Mn = A_s \cdot F_y \left(d_{eff} - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

Dengan,

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \dots\dots\dots(2.20)$$

Pada rencana tulangan lapis atas, pertama-tama harus menentukan rasio tulangan minimum dan maksimum. Sebagaimana SNI 2487:2019 pasal 9.6.1.2, nilai rasio tulangan minimum diambil yang terbesar antara dua persamaan berikut ini.

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots(2.22)$$

atau

$$\rho_{min 2} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right) \dots\dots\dots(2.26)$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan didapatkannya rasio tulangan maka dihitung luas tulangan yang dibutuhkan ($A_{s\text{ teoritis}}$) kemudian akan didapatkan tulangan aktualnya sesuai pada tabel 2.15.

Tabel 2.15. Luas Penampang Tulangan Kawat Baja Wire Mesh

Diameter Kawar D (mm)	Luas Kawat D (cm ²)	Jumlah Luas Penampang Kawat (cm ² /m ¹) Menurut Spasinya Setiap Arah								
		Spasi (mm)								
		50	75	100	125	150	175	200	225	250
4,0	0,126	2,51	1,68	1,26	1,01	0,84	0,72	0,63	0,56	0,50
4,5	0,156	3,18	2,12	1,59	1,27	1,06	0,91	0,80	0,71	0,64
5,0	0,196	3,93	2,62	1,96	1,57	1,31	1,12	0,98	0,87	0,79
5,5	0,238	4,75	3,17	2,38	1,90	1,58	1,36	1,19	1,06	0,95
6,0	0,283	5,65	3,77	2,83	2,26	1,88	1,62	1,41	1,26	1,13
6,5	0,332	6,64	4,42	3,32	2,65	2,21	1,90	1,66	1,47	1,33
7,0	0,385	7,70	5,13	3,85	3,08	2,57	2,20	1,92	1,71	1,54
7,5	0,442	8,84	5,89	4,42	3,53	2,95	2,52	2,21	1,96	1,77
8,0	0,503	10,05	6,70	5,03	4,02	3,35	2,87	2,51	2,23	2,01
8,5	0,567	11,35	7,57	5,67	4,54	3,78	3,24	2,84	2,52	2,27
9,0	0,636	12,72	8,48	6,36	5,09	4,24	3,64	3,18	2,83	2,54
9,5	0,709	14,18	9,45	7,09	5,67	4,73	4,05	3,54	3,15	2,84
10,0	0,785	15,71	10,47	7,85	6,28	5,24	4,49	3,93	3,49	3,14
12,0	1,131	22,62	15,08	11,31	9,05	7,54	6,46	5,65	5,03	4,52
16,0	2,011	40,21	26,81	20,11	16,08	13,40	11,49	10,05	8,94	8,04

Sumber: Katalog Wire Mesh PT. Union Metal

Bilamana gelombang pada dek baja terpasang tegak lurus terhadap balok penopang, sehingga tahanan nominal sambungan geser jenis paku harus dikurangi dengan faktor, r_s yang nilainya ditentukan antara lain:

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{Nr}} \left(\frac{wr}{hr} \right) \left[\left(\frac{wr}{hr} \right) - 1,0 \right] \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.28)$$

keterangannya:

r_s = faktor reduksi

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

Nr = jumlah penghubung geser jenis paku pada setiap gelombang pada potongan melintang balok baja

wr = lebar efektif gelombang dek baja

hr = tinggi nominal gelombang dek baja

2.4.2 Perencanaan Balok Komposit

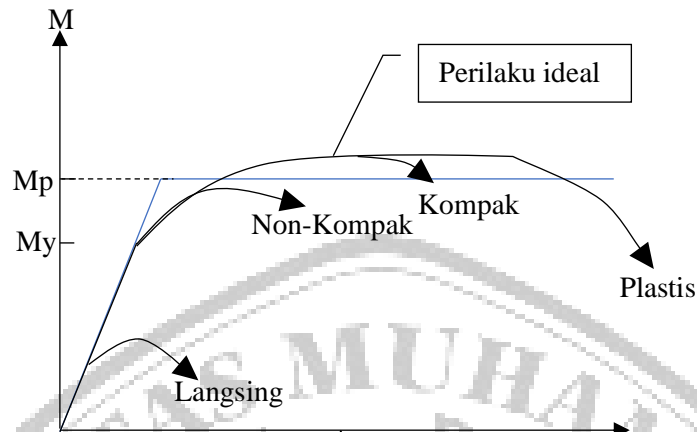
2.4.2.1 Balok Baja yang diberi Selubung Beton

Balok komposit ialah balok yang ketahanannya tergantung pada interaksi mekanis antara dua material ataupun lebih. Pada hakikatnya, apakah aksi komposit bisa dicapai pada balok komposit tergantung pada konektor gesernya. Konektor geser ditempatkan pada sayap atas profil baja untuk mengurangi risiko terslip pada pelat beton dengan balok baja. (Faqih, 2015)

Kuat lentur desain balok baja lapis beton ϕbM_n dihitung menggunakan $\phi b = 0,90$ dan M_n dengan nilai ditetapkan dari superposisi tegangan elastis, dengan mempertimbangkan efek tumpuan terhadap waktu. Selain itu, kuat lentur desain ϕbM_n bisa dihitung menggunakan $\phi b = 0,90$ dan M_n ditetapkan hanya berlandaskan distribusi tegangan plastis pada bagian baja.

2.4.2.2 Klasifikasi Profil Baja

Sebelum melakukan perencanaan struktur baja khususnya elemen lentur, makaperlu adanya mengetahui dahulu klasifikasi elemen - elemen penyusun profil karena akan dipakai sebagai dasar dalam perhitungan kuat lentur nominal (M_n). Penentuan klasifikasinya mengacu pada rasio lebar terhadap ketebalan elemennya (b/t atau λ). Berdasarkan pada SNI 1729:2020 yang mengacu pada AISC 2016 terdapat tiga klasifikasi profil untuk batang lentur, yaitu penampang kompak, nonkompak dan langsing. Perilaku pada setiap klasifikasi bisa dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.8. Perilaku Penampang Balok Baja

1. Penampang Kompak

Diklasifikasikan sebagai penampang kompak apabila semua bagian sayap dan badan menyatu dan pada elemen tekan memiliki batasan $\lambda \leq \lambda_p$.

2. Penampang Nonkompak

Diklasifikasikan sebagai penampang nonkompak apabila salah satu atau semua elemen bagian elemen tekan mempunyai batasan rasio $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$.

3. Langsing

Diklasifikasikan sebagai penampang langsing apabila semua bagian elemen tekan mempunyai rasio $\lambda \geq \lambda_r$.

Tabel 2.16. Perbandingan Rasio Lebar Terhadap Tebal Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Aksi Tekan dengan Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tekan Untuk Komponen Struktur Dektail Sedang dan Dektail Tinggi

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio lebar terhadap Tebal λ_r (non langsing/ langsing)	Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal	
					λ_{hd} Komponen Struktur Dektail Tinggi	λ_{md} Komponen Struktur Dektail Sedang
Elemen Tidak Diperkaku	1	Sayap profil I gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiribebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap kanal dan sayap T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$0,32 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$0,40 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	2	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{Kc \cdot E}{fy}}$	Tidak berlaku	$0,48 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	3	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkakulainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	Tidak berlaku	Tidak berlaku
	4	Badan T	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$0,32 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$	$0,40 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio lebar terhadap Tebal λ_r (non langsing/langsing)	Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal	
					λ_{hd} Komponen Struktur Dektail Tinggi	λ_{md} Komponen Struktur Dektail Sedang
Elemen Diperkaku	5	Badan profil I simetris gandadan penampang profil I tersusun dan kanal	h/tw	$1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$1,57 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$	$1,57 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$
	6	Dinding PSR persegi panjang	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$0,65 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}} [a]$	$0,76 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$
	7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris – baris pengencang atau las	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	Tidak berlaku	Tidak berlaku
Elemen diperkaku	8	Apabila dipergunakan pada balok atau kolom dan mengalami tegangan tekan seragam akibat aksial, lentur dan kombinasi aksial-lentur : 1) Dinding PSR persegi 2) Sayap dan pelat samping profil I kotak, badan dan sayap profil kotak tersusun	b/t h/t	Tidak berlaku	$0,65 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$	$1,18 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio lebar terhadap Tebal λ_r (non langsing/langsing)	Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal	
					λ_{hd} Komponen Struktur Dektail Tinggi	λ_{md} Komponen Struktur Dektail Sedang
Elemen diperkaku	9	Apabila dipergunakan pada balok, kolom atau perangkai, sebagai pelat badan yang mengalami lentur atau kombinasi aksial-lentur: 1) Badan profil I gilas atau tersusun 2) Pelat samping profil I kotak 3) Badan profil kotak	h/t_w h/t h/t	Tidak berlaku	Untuk $C_a \leq 0,114$ $2,57 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}} (1-1,04 C_a)$ Untuk $C_a > 0,114$ $0,88 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}} (2,68-C_a)$ $\geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}}$ dengan $C_a = \frac{P_u}{\Phi_c P_y}$ (DFBT) $C_a = \frac{\Phi_c P_u}{P_y}$ (DKI) $P_y = R_y F_y A_g$	Untuk $C_a \leq 0,114$ $3,96 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}} (1-3,04 C_a)$ Untuk $C_a > 0,114$ $1,29 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}} (2,12-C_a)$ $\geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}}$ dengan $C_a = \frac{P_u}{\Phi_c P_y}$ (DFBT) $C_a = \frac{\Phi_c P_u}{P_y}$ (DKI) $P_y = R_y F_y A_g$
Elemen diperkaku	10	Badan profil kotak tersusun	h/t	Tidak berlaku	$0,67 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}}$	$1,75 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}}$
	11	Badan profil fondasi tiang H	h/t_w	Tidak berlaku	Tidak berlaku	$1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot f_y}}$

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio lebar terhadap Tebal λ_r (non langsing/ langsing)	Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal	
					λ_{hd} Komponen Struktur Dektail Tinggi	λ_{md} Komponen Struktur Dektail Sedang
	12	Semua elemen diperkakulainnya	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	Tidak berlaku	Tidak berlaku
	13	PSR bulat	D/t	$0,11 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$0,053 \frac{E}{Ry \cdot fy}$	$0,062 \frac{E}{Ry \cdot fy}$
Komposit	14	Dinding komponen struktur komposit terisi beton persegi	b/t	Tidak berlaku	$1,48 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$	$2,37 \sqrt{\frac{E}{Ry \cdot fy}}$
	15	Dinding komponen struktur komposit terisi beton persegi	d/t	Tidak berlaku	$0,085 \frac{E}{Ry \cdot fy}$	$0,17 \frac{E}{Ry \cdot fy}$

Sumber: SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi Untu Bangunan Gedung Baja Struktural dan SNI 7860-2020 tentang Ketentuan Seismik untuk Bangunan Gedung Baja Struktural

Tabel 2.17. Rasio Lebar Terhadap Tebal Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio lebar terhadap Tebal λ_r (non langsing/langsing)	
				λ_p	λ_r
Elemen Diperkaku	1	Sayap profil Igilas panas, kanal dan sayap T	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	2	Sayap profil I tersusun bentuk I Simetris ganda dan tunggal	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$0,95 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	3	Kaki sikutunggal	b/t	$0,54 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	4	Sayap semuaprofil I dan kanal yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
Elemen Tidak Diperkaku	5	Badan T	d/t	$0,84 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$1,52 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	6	Badan profil simetris ganda dan kanal	h/tw	$3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	7	Badan profil simetris tunggal	hc/tw	$\frac{hc}{hp} \sqrt{\frac{E}{fy}}$ $\left(0,54 \frac{Mp}{My} - 0,09\right)$ $< \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	8	Sayap PSRpersegi panjang	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{fy}}$

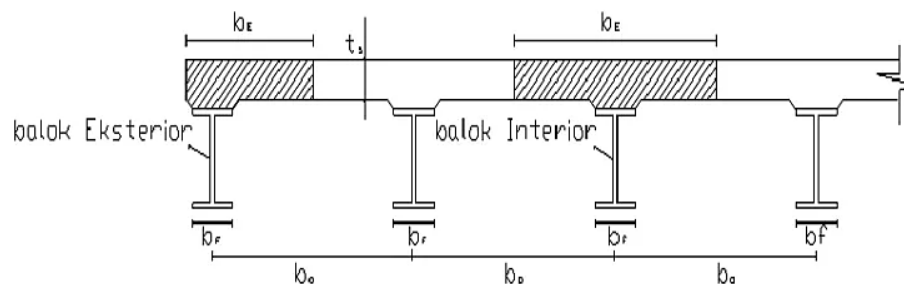
Lanjutan dari Tabel 2.17

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar Terhadap Tebal	Batas Rasio lebar terhadap Tebal λr (non langsing/langsing)	
				λp	λp
Elemen Tidak Diperkaku	9	Pelat penutupsayap dam pelat diafragma antara baris – baris perancang atau las	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	10	Badan PSR persegi Panjang danboks	h/t	$2,42 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	11	PSR bundar	D/t	$0,07 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$0,31 \sqrt{\frac{E}{fy}}$
	12	Sayap penampang boks	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}}$

Sumber: SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi Untu Bangunan Gedung Baja Struktural

2.4.2.3 Lebar Efektif

Konsep lebar efektif sangatlah bermanfaat dalam proses desain, terutama ketika proses desain harus dilaksanakan pada komponen struktur yang distribusi tegangannya tidak homogen. Lebar efektif sebuah komponen struktur komposit bisa diidentifikasi antara lain :



Gambar 2.9. Lebar Efektif Balok Komposit

Pada SNI 1729:2020 pasal I.3 untuk menentukan nilai lebar efektif, diambil dari nilai lebar efektif terkecil dari setiap sumbu, yaitu:

1. Seperdelapan dari bentangan balok, pusat-ke-pusat tumpuannya
2. Jarak ke tepi dari pelat
3. Setengah jarak ke sumbu dari balok yang berdekatan

Lebar efektif pada balok interior:

$$b_e \leq \frac{L}{4} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$b_e = b_o \dots\dots\dots(2.30)$$

Lebar efektif pada balok eksterior:

$$b_e \leq \frac{L}{8} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$b_e \leq \frac{1}{2} b_o \dots\dots\dots(2.32)$$

2.4.2.4 Kekuatan Lentur Nominal

1. Kuat Lentur Positif

Berdasarkan pasal I3.2a SNI 1729: 2020 diidentifikasi antara lain: kuat lentur nominal, $\phi b Mn$ suatu elemen struktur komposit (untuk momen positif) dan kuat lentur positif diperbolehkan, Mn harus ditentukan untuk kondisi luluh antara lain:

$$\text{Untuk } \frac{h}{tw} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{Fy}} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\text{Untuk } \frac{h}{tw} \geq 3,76 \sqrt{\frac{E}{Fy}} \dots\dots\dots(2.34)$$

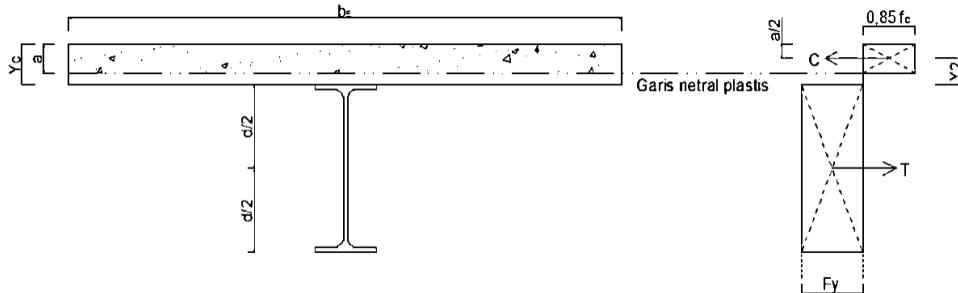
Penghitungan momen plastis suatu balok komposit, pertama-tama mencari posisi sumbu plastis netral berdasarkan perbandingan antara C dan T . Didapatkan hasil nilai gaya tekan dan gaya tarik antara lain:

$$C = 0,85 \cdot f'c \cdot Ac \dots\dots\dots(2.35)$$

$$T = Fy \cdot As \dots\dots\dots(2.36)$$

Terdapat tiga kondisi distribusi tegangan plastis kemungkinan terjadi, yakni sebagai berikut.

A. Bilamana $T \leq C$ sumbu netral plastis di dalam pelat beton



Gambar 2.10. Distribusi Tegangan Plastis Kondisi a

Sumber: Wiryanto Dewobroto, *Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2010*

Volume pelat beton relative besar, bila terjadi momen lentur positif maka terlebih dahulu profil baja akan meleleh. Ketinggian tegangan tekan balok pada pelat beton (a) bisa dihitung yaitu.

$$a = \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b_e} \dots \dots \dots (2.37)$$

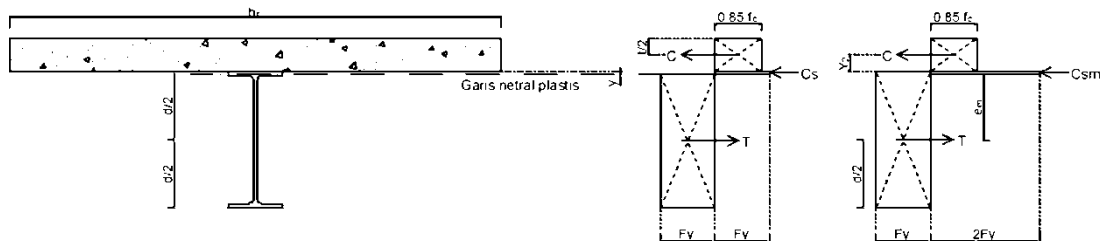
Anggapan benar bila $a < t_c$ bilamana menggunakan dek baja, ataupun $a < t$ pelat beton solid.

$$Y_c = h_r + t_c \dots \dots \dots (2.38)$$

$$Y_2 = Y_c - 1/2 a \dots \dots \dots (2.39)$$

$$M_n = M_p = F_y \cdot A_s \cdot (Y_2 + 1/2 d) \dots \dots \dots (2.40)$$

B. Bilamana $T > C$ sumbu netral plastis di baja (pelat sayap)



Gambar 2.11. Distribusi Tegangan Plastis Kondisi b

Sumber: Wiryanto Dewobroto, *Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2010*

Keadaan ini terjadi bilamana luas pelat beton relative lebih kecil dibandingkan momen tarik profil baja. Dengan demikian, pada saat terjadi momen positif, sehingga profil baja yang dibentuk selalu mendapat tekanan. Hal ini terjadi bilamana $tf > y > 0$ dihitung menggunakan rumus berikut.

$$T = F_y \cdot A_s \dots\dots\dots (2.41)$$

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot t_c \dots\dots\dots (2.42)$$

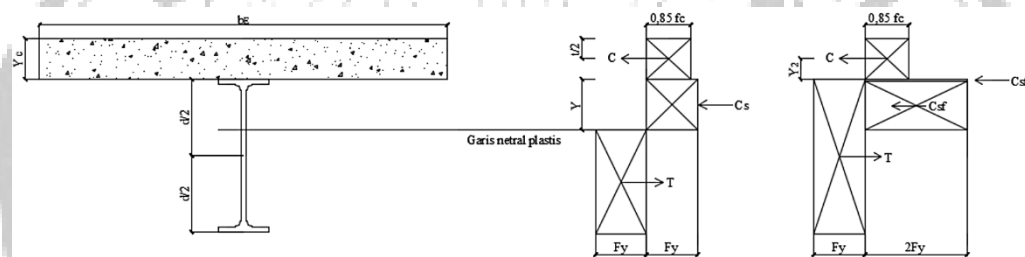
$$y = \frac{T-C}{b_f \cdot F_y} \leq tf \dots\dots\dots (2.43)$$

$$C_s = \frac{A_s \cdot F_y - C}{2} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$C_{sm} = 2 F_y \cdot y \dots\dots\dots (2.45)$$

$$M_n = M_p = C_s (Y_2 + 1/2 d) + C_{sm} (d - y) 1/2 \dots\dots\dots (2.46)$$

C. Bilamana $T > C$ sumbu netral plastis di baja (pelat badan)



Gambar 2.12. Distribusi Tegangan Plastis Kondisi c

Sumber: Wiryanto Dewobrot, o Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2010

Bilamana $y > tf$, situasi ini dapat terjadi. Luas pelat beton relatif lebih kecil dibandingkan luas profil baja. Untuk menyeimbangkan gaya, maka bagian pelat badan dari profil baja selalu mengalami kompresi. Keadaan ini dapat terjadi bilamana $T-C-C_{sf} > 0$. Nilai tersebut bisa dihitung antara lain:

$$T = F_y \cdot A_s \dots\dots\dots (2.47)$$

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot t_c \dots\dots\dots (2.48)$$

$$C_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2F_y \dots\dots\dots (2.49)$$

$$y = \frac{T-C-C_{sf}}{t_w \cdot F_y} \leq tf \dots\dots\dots (2.50)$$

$$C_{sw} = 2 F_y \cdot y \cdot t_w \dots\dots\dots (2.51)$$

$$y_f = 1/2 \cdot (d - t_f) \dots\dots\dots (2.52)$$

$$y_w = 1/2 \cdot (d + y) - t_f \dots\dots\dots (2.53)$$

$$M_n = M_p = C (Y_2 + 1/2 d) + C_{sf} \cdot y_f + C_{sw} \cdot y_w \dots\dots\dots (2.54)$$

2. Kuat Lentur Negatif

Menurut SNI 1729:2020 pasal I3.2a, kuat lentur negatif yang tersedia harus ditetapkan untuk penampang baja itu sendiri berdasarkan ketentuan Bab F. Selain itu, kuat lentur negatif yang tersedia harus diidentifikasi dari distribusi tegangan plastis pada penampang kompositnya sampai dengan kondisi batas leleh (momen plastis), di mana

$$\phi_b = 0,90 \text{ (DFBT)} \qquad \Omega_b = 1,67 \text{ (DKI)}$$

dengan sesuai batasan antara lain:

- a. Balok baja ialah penampang kompak dan dibreising secara cukup sesuai Bab F.
- b. Tulangan pelat yang parallel pada balok baja, di lebar efektif pelat, diperhitungkan dengan tepat
- c. *Steel headed stud* atau angkur kanal baja yang menghubungkan pelat balok baja pada daerah momen negatif.

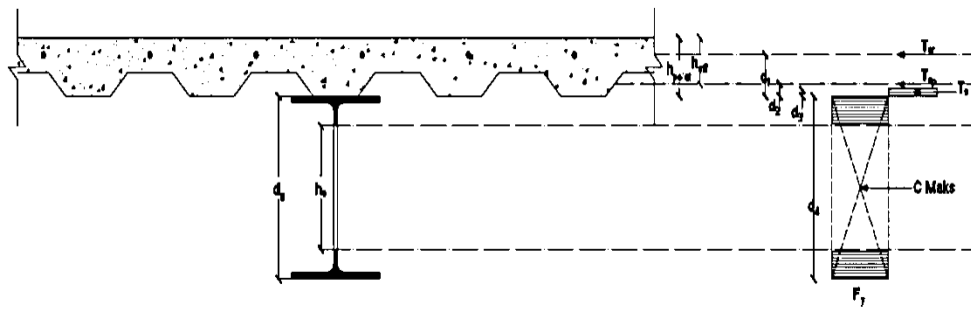
Baja tulangan ditempatkan sejajar dengan sumbu memanjang balok baja dan ditempatkan di dalam pelat beton yang lebar efektifnya (b_E) bisa dipergunakan sebagai bagian dari penampang komposit efektif. Perihal ini bisa dimanfaatkan pada sektor-sektor yang mempunyai momentum positif ataupun negatif. Tetapi, di area yang terdapat momen positif, tulangan hanya memberi kontribusi kecil. Hal kebalikannya terjadi pada pelat beton, yaitu pada daerah momen negatif pelat beton tersebut mengalami tarik, walaupun beton tidak mampu menahan tarikan, namun pada daerah momen negative pelat beton bisa dilupakan.

Bilamana tulangan yang terpasang pada pelat beton dihitung kontribusi terhadap penampang komposit, sehingga gaya-gaya yang terjadi pada tulangan harus disalurkan melalui sambungan geser. Kuat nominal yang ditimbulkan oleh tulangan bisa dihitung sebagai berikut:

$$T_{sr} = A_{sr} \times F_{ysr} \dots\dots\dots (2.55)$$

Gaya tekan maksimum dari profil baja ialah:

$$C_{maks} = A_s \times F_y \dots\dots\dots (2.56)$$



Gambar 2.13. Distribusi Tegangan Akibat Momen Negatif

Sebab $C_{maks} > T_{sr}$, sehingga sumbu netral plastis akan jatuh pada profil baja dan keseimbangan gaya dapat dihitung yaitu:

$$T_{sr} + T_s = C_{maks} - T_s \dots\dots\dots(2.57)$$

$$2T_s = C_{maks} - T_{sr} \dots\dots\dots(2.58)$$

$$T_s = \frac{C_{maks} - T_{sr}}{2} \dots\dots\dots(2.59)$$

Gaya pada sayap, $T_f = b_f \cdot t_f \cdot F_y \dots\dots\dots(2.60)$

Gaya pada badan, $T_w = T_s - T_f \dots\dots\dots(2.61)$

Jarak sumbu netral dari tepi bawah flens ialah:

$$a_w = \frac{T_w}{F_y \times t_w} \dots\dots\dots(2.62)$$

Menetapkan jarak gaya yang bekerja dari *centroid*:

$$d_1 = Y_c - \frac{tc}{2} \dots\dots\dots(2.63)$$

$$d_2 = \frac{a_w}{2} \dots\dots\dots(2.64)$$

$$d_3 = \frac{1}{2} d \dots\dots\dots(2.65)$$

$$M_n = T_{sr} (d_1 + d_2) + C_{maks} (d_3 - d_2) \dots\dots\dots(2.66)$$

3. Kekuatan geser Nominal

Pada SNI 1729:2020 pasal G2, untuk memperhitungkan kuat geser nominal dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini.

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(2.67)$$

$$V_n = 0,6 F_y \times A_w \times C_{vl} \dots\dots\dots(2.68)$$

Keterangan:

$$V_n = \text{Kuat geser nominal (N)} \dots\dots\dots(2.69)$$

ϕ_V = faktor tahanan untuk geser (0,90)

A_w = Luas badan (mm^2)

C_{vl} = 1,0

2.4.2.5 Penghubung Geser Angkur Baja Stad Berkepala

SNI 1729:2020 pasal I8 menegaskan bahwasanya panjang dari angkur baja stad berkepala (*steel headed stud*) tidak boleh lebih besar dari 2,5 kali ketebalan logam dasar dan harus kurang dari 19 mm. Kemudian panjang dari angkur baja stad berkepala (*steel headed stud*) harus lebih besar dari diameter batang dihitung dari dasar angkur bagian atas batang setelah pemasangannya.

Kuat geser nominal satu angkur *steel headed stud* yang dipasang pada pelat beton padat atau pelat komposit dengan dek haruslah ditetapkan yaitu:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{f_c' \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u \dots \dots \dots (2.70)$$

keterangannya:

E_c = modulus elastisitas beton

A_{sa} = luas penampang dari angkur steel headed stud (mm^2)

F_u = kekuatan tarik minimum yang disyaratkan dari suatu angkur *steel headed stud* (Mpa)

Tabel 2.18. Nilai R_g dan R_p

Kondisi	R_g	R_p
Tanpa dek	1,0	1,0
Dek diorientasikan paralel profil baja		
$\frac{w_r}{h_r} \geq 1,5$	1,0	0,75
$\frac{w_r}{h_r} \leq 1,5$	0,85**	0,75
Dek diorientasi tegak lurus kepada profil baja		
Jumlah dari angkur <i>steel headed stud</i> yang mempunyai rusuk dek yang sama		
1	1,0	0,6 ⁺
2	0,85	0,6 ⁺
3 atau lebih	0,7	0,6 ⁺

Keterangan:

h_r = tinggi rusuk nominal, in. (mm)

W_r = lebar rerata dari rusuk atau vote beton (tercantumkan pada pasal I3.2c), in. (mm)

** untuk angkur *steel headed stud* tunggal

+ nilai ini bisa ditingkatkan hingga -,75 jika $e_{mid-ht} \geq 2$ in. (51mm)

Sumber: SNI 1729:2020

Kapasitas geser nominal sebuah angkur kanal canai panas yang dipasang pada pelat beton padat haruslah ditetapkan antara lain:

$$Q_n = 0,3 \cdot (t_f + 0,5t_w) \cdot l_a \cdot \sqrt{f_c'} \cdot E_c \dots \dots \dots (2.71)$$

Keterangannya:

l_a = panjang angkur kanal (mm)

t_w = tebal badan angkur kanal (mm)

t_f = tebal sayap angkur kanal (mm)

tahanan angkur kanal harus ditingkatkan dengan mengelas kanal ke sayap balok dengan gaya yang samadengan Q_n , dengan mempertimbangkan eksentrisitas penghubung. Jumlah angkur baja yang dibutuhkan bisa dihitung mempergunakan rumus :

$$V' = F_y \times A_s \dots \dots \dots (2.72)$$

$$N = \frac{V}{Q_n} \dots \dots \dots (2.73)$$

keterangannya:

V' = gaya geser horizontal

N = jumlah angkur konektor yang diperlukan

Q_n = kuat geser nominal sebuah angkur konektor

2.4.3 Perencanaan Kolom

Struktur kolom merupakan bagian struktur yang secara bersamaan memikul beban aksial tekan dan lentur. Karena kapasitasnya menahan momen seperti balok dan menahan tekanan aksial seperti komponen struktur tekan, kolom dinamakan juga *beam-column* (Yudha Lesmana, 2021).

2.4.3.1 Panjang Efektif Kolom

Panjang efektif kolom adalah cara sederhana tetapi efektif dalam memprediksi kekuatan kolom. Panjang efektif diidentifikasi dengan menemukan keterkaitan bentuk tekuk yang bekesesuaian dengan konsep *Euler*. Konsep Euler yaitu suatu konsepsi dasar dalam merencanakan struktur tekan. Persamaan beban tekuk kritis yang diformulasikan sebagai berikut.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \dots\dots\dots(2.74)$$

Keterangan:

E = Modulus elastisitas (Mpa)

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

I = Inersia penampang (mm^4)

L = Panjang struktur tekan (m)

Panjang efektif (L_c) merupakan nilai kekakuan komponen batang tekan pada merencanakan struktur. Panjang efektif dipergunakan untuk penghitungan kelangsingan struktur. Pada perencanaan panjang efektif bisa didapat sesuai dengan pedoman SNI 1729: 2020 pada E2 yakni:

$$L_c = K \times L \dots\dots\dots(2.75)$$

Keterangan:

L_c = Panjang efektif batanh tekan (mm)

L = Panjang batang tekan (mm)

K = Faktor Panjang efektif (lihat pada Gambar 2.15)

Nilai kelangsingan efektif ($\frac{L_c}{r}$) dibatasi yakni tidak melebihi 200. Perihal ini sejalan dengan pedoman pada SNI 1729-2020 pasal E2. Adapun persamaannya bisa dituliskan antara lain :

$$\frac{L_c}{r} \leq 200 \dots\dots\dots(2.76)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots(2.77)$$

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						

Gambar 2.14. Faktor Panjang Efektif pada Kondisi Ideal

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

Nilai panjang efektif tidak mudah untuk dievaluasi pada saat dilapangan, maka karena itu diperlukan penyerdehanaan dari sebuah struktur tekan dilapangan seperti berikut.

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

Kolom tak bergoyang memiliki ujung yang tetap/ tidak ada perpindahan, 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

$$M_r = B_1 \times M_{nt} \dots\dots\dots(2.78)$$

$$P_r = P_{nt} \dots\dots\dots(2.79)$$

Adapun parameter faktor pembesaran momen (B_1) adalah:

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{el}}} \geq 1 \dots\dots\dots(2.80)$$

$$P_{el} = \frac{\pi^2 EI}{(K_{Ly})^2} \dots\dots\dots(2.81)$$

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
- Balok kolom yang memikul beban transversal antara tumpuan di bidang lentur: $C_m = 1,0$
 - Balok kolom yang tidak memikul beban transversal antara tumpuan di bidang lentur: $C_m = 0,6 - 0,4 \frac{M_{ny1}}{M_{ny2}} \dots\dots\dots(2.82)$

P_{el} = Kekuatan tekuk kritis (N)

L_{el} = Panjang efektif dibidang lentur (mm)

α = 1,0

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

Kolom bergoyang memiliki perpindahan pada ujungnya, 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.

$$M_r = (B_1 \times M_{nt}) + (B_2 \times M_{lt}) \dots\dots\dots(2.83)$$

$$P_r = P_{nt} + (B_2 \times P_{lt}) \dots\dots\dots(2.84)$$

Adapun parameter faktor pembesaran momen (B_2) adalah:

$$B_1 = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{story}}{P_{e story}}} \geq 1 \dots\dots\dots(2.85)$$

$$P_{e story} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \dots\dots\dots(2.86)$$

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- Δ

H = Gaya geser pada ujung kolom (N)

L = Tinggi tingkat (mm)

Δ_H = Drift antar tingkat hasil Analisa

P_{mf} = Total beban vertikal pada kolom yang ditinjau (N)

α = 1,0

2.4.3.2 Kuat Tekan Nominal

Tekuk global ditetapkan oleh kelangsingan komponen penampang dan bentuknya. Terdapat tiga perilaku tekuk, yakni (1) tekuk torsi; (2) tekuk dan lentur (3) tekuk lentur-torsi. Sedangkan untuk tekuk global atau lokal bergantung pada klasifikasi penampang, Tekuk global biasanya terjadi pada penampang yang tidak langsing. Guna mengidentifikasi jenis penampang langsing dan tidak langsing, dilaksanakan evaluasi perbandingan lebar terhadap tebal (λr) penampang sesuai dengan nilai batas rasio (λr) berdasar pada SNI 1729: 2020 Tabel B4.1a. Jika nilai rasio lebar-tebal kurang dari nilai batas rasio sehingga dikategorikan penampang tidak langsing, dan jika kebalikannya maka dikatakan sebagai penampang langsing. Berikut pembahasan 3 perilaku tekuk sesuai pedoman SNI 1729:2020 pasal E3 dan E4.

1. Tekuk Lentur

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

$$\phi_c P_n \geq P_u \dots\dots\dots(2.87)$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots(2.88)$$

Adapun persamaan tegangan kritis, F_{cr} dihitung berdasarkan syarat berikut, jika:

a. $\frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$, tekuk inelastis, sehingga:

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y \dots\dots\dots(2.89)$$

b. $\frac{K \cdot L}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$, tekuk elastis, sehingga:

$$F_{cr} = 0,877 \cdot F_y \dots\dots\dots(2.90)$$

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^2)

ϕ_c = Faktor reduksi kuat tekan (0,90)

F_y = Tegangan leleh minimum (Mpa)

F_e = Tegangan tekuk elastis (Mpa)

2. Tekuk Torsi dan Tekuk Lentur Torsi

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 $b/t > 0,71 \cdot \sqrt{E/F_y}$. Adapun persamaan untuk mencari kuat tekan nominal adalah sebagai berikut.

$$\phi_c P_n \geq P_u \dots\dots\dots(2.91)$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g \dots\dots\dots(2.92)$$

Tegangan Kritis, F_{cr} dihitung sesuai dengan syarat berikut, bilamana:

- a. Pada struktur simetri tunggal yang mengalami torsi terhadap pusat geser

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{K \cdot L^2} + GJ \right) \cdot \frac{1}{I_x + I_y} \dots\dots\dots(2.93)$$

- b. Pada struktur simetris tunggal yang menghadapi torsi terhadap pusat geser yaitu sumbu simetris

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{ey} \cdot F_{ez} \cdot H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \dots\dots\dots(2.94)$$

- c. Pada struktur asimetris yang menghadapi torsi terhadap pusat geser

$$(F_e - F_{ex}) (F_e - F_{ey}) (F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey}) \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex}) \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 = 0 \dots\dots\dots(2.95)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K \cdot L_x}{r_x} \right)^2} \dots\dots\dots(2.96)$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K \cdot L_y}{r_y} \right)^2} \dots\dots\dots(2.97)$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E}{K \cdot L_z^2} + GJ \right) \frac{1}{A_g r_0^2} \dots\dots\dots(2.98)$$

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

Struktur dengan anggota batang yang akan menerima gabungan gaya aksial dan momen haruslah direncana dengan menggunakan penghitungan balok portal (balok-kolom). Pada dasarnya dalam mendesain batang portal dapat dipastikan

dari kuat lentur dan kuat tekannya. Berdasar hasil pengamatan kuat tekan disebabkan oleh kuat lentur dan gaya aksial disebabkan oleh gaya lentur.

Oleh karena itu, persamaan interaksi antara kuat lentur dan kuat tekan akan dihubungkan kemudian. Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal H1 yang menyatakan bahwa interaksi lentur dan gaya tekan pada struktur simetri ganda dan komponen struktur simetri tunggal yang lentur pada sumbu geometri (x atau y) dibatasi oleh persamaan berikut:

$$1. \text{ Jika } \frac{Pr}{Pc} \geq 0,2, \text{ maka: } \frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.99)$$

$$2. \text{ Jika } \frac{Pr}{Pc} \leq 0,2, \text{ maka: } \frac{Pr}{2Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0 \dots \dots \dots (2.100)$$

Keterangan:

Pr = Kekuatan aksial perlu (N)

Pc = Kekuatan aksial desain (N)

Mr = Kekuatan lentur perlu (Nmm)

Mc = Kekuatan lentur desain (Nmm)

2.4.4 Perencanaan Sambungan

Pilihan jenis sambungan dan detailnya merupakan ciri utama perencanaan bangunan baja dan relatif banyak serta bervariasi. Dibandingkan dengan struktur beton, sistem sambungan struktur baja lebih istimewa. Struktur beton seringkali tidak mengenali istilah sambungan sebab dicor pada tempatnya. Komponen struktur baja berbeda-beda, tidak dapat dibuat secara bersamaan namun merupakan elemen bebas yang dirakit melalui sambungan di lokasi. Dengan demikian, sistem penyambungan yang dipilih akan mempengaruhi kekuatan, biaya, metode dan waktu pelaksanaan.

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

1. Pemasangannya lebih mudah, cepat dan tidak diperlukan keahlian khusus untuk pemasangannya
2. Jika dibandingkan dengan sambungan las, untuk upah pekerja harganya lebih ekonomis
3. 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 2.19. Kuat Nominal Baut

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_{nt} (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 dibidang geser)	620	469
Baut A490 (ulir berada dibidang geser)	780	469

Sumber: SNI 1729:2020

2.4.4.1 Sambungan Baut Tipe Geser

Konfigurasi sambungan baut geser dan prosedur memasang baut bermutu tinggi saling berkaitan dan berpengaruh pada kekakuan dan kekuatan sambungan baut itu sendiri. Keterkaitan kedua mekanisme tersebut menimbulkan dua mekanisme transmisi gaya yang berbeda, yakni mekanisme slip kritis dan mekanisme titik tumpu. Keterkaitan baut untuk mekanisme geser atau putar tidak dapat dibedakan hanya dari tampilannya saja. Mekanisme ini hanya tampak sesudah diberi beban.

Bilamana pada beban rencana, baut tidak terjadi slip (tetap pada posisinya), sehingga mekanisme slip kritis beroperasi. Kekuatannya bergantung pada besarnya tahanan friksi yang terjadi. Kebalikannya, bilamana baut mengalami slip saat diberi beban, berarti mekanisme tumpuannya sudah bekerja. Sambungan slip kritis ialah sambungan yang dirancang untuk mencegah slip. Sistem ini dibutuhkan guna menangani adanya beban bolak-balik (misalnya tarik jadi desak ataupun kebalikannya) yang sering terjadi pada jembatan. Bilamana hal ini terus berlanjut dalam jangka waktu yang lama, struktur berisiko tinggi terjadi kerusakan

fatig, yakni kondisi tegangan elastisnya mengalami keruntuhan. Tentunya tidak semua sambungan memerlukan ketahanan jenis ini. Misalnya pada bangunan gedung disarankan untuk merencanakan sambungan hanya pada struktur tumpuannya saja, sehingga jumlah baut yang dibutuhkan lebih sedikit sehingga lebih hemat.

1. Mekanisme Slip Krisis Baut

Keterkaitan baut mutu tipe geser dengan mekanisme slip kritis atau sambungan slip ultimat digunakan untuk struktur yang menerima beban dinamis atau bolak-balik, yang biasa terjadi pada mesin industri ataupun jembatan.

Tahanan slip-kritis nominal (R_n) untuk baut mutu tinggi yaitu:

$$R_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \dots\dots\dots (2.101)$$

keterangannya:

- μ = rata-rata koefisien slip, bergantung kondisi permukaannya. Pekerjaan persiapan mutu kelas-A yaitu $\mu=0,3$ serta untuk mutu kelas-B (lebih ketat) yaitu $\mu =0,5$
- h_f = faktor berkenaan dengan pelat pengisi (filler), bilamana tidak ada filler atau hanya 1 filler sehingga $h_f = 1$, apabila ada 2 filler di antara pelat sambung sehingga $h_f = 0,85$
- D_u = 1,13, yaitu faktor penggali yang menunjukkan gaya pra tegang baut rata-ratanya terpasang dengan gaya tarik baut pra tegang minimum
- T_b = gaya tarik baut pra tegang minimum
- n_s = jumlah permukaan yang menyebabkan bidang kontak

Kuat batas slip-kritis, $R_u = \phi R_n$, di mana nilai ϕ bergantung pada bentuk dan ukuran lubang baut. Bilamana lubang standar atau lubang slot pendek terpasang tegak lurus terhadap arah beban, $\phi = 1,0$. Bagi lubang dengan ukuran besar dan slot pendek namun terpasang sejajar dengan arah beban, $\phi = 0,85$. Bilamana lubangnya panjang sehingga $\phi = 0,70$.

Tabel 2.20. Pratarik Baut Minimum (kN)

Ukuran Baut, mm	Kelompok A (Baut A325)	Kelompok B (Baut A490)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334

Sumber: SNI 1729:2020

2. Mekanisme Tumpu Baut

Kejadian mekanisme tumpuan baut bilamana terjadi kegagalan mekanisme slip kritis, yang ditandai dengan adanya slip. Istilah kegagalan bukan berarti kondisi sudah runtuh, melainkan tahanan friksinya sudah tidak efektif lagi. Keterkaitan tipe geser ke struktur pendukung dilandaskan pada kondisi pelayanan maksimum material, khususnya kondisi inelastis (F_y dan F_u). Mekanisme ini menciptakan tenaga yang lebih besar maka jumlah baut harus relatif lebih sedikit dibandingkan mekanisme slip-kritis.

A. Kuat tumpu baut

Kuat tumpu pelat sambungan mempertimbangkan pengaruh deformasi. Bilamana besarnya mempengaruhi kinerja struktur dan diperlukan pembatasan ketahanan struktur, sehingga rumus berikut dapat digunakan untuk mengambil nilai terkecil.

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u \dots\dots\dots(2.102)$$

Selain itu, bilamana deformasi yang terjadi pada sambungan dipercaya tidak mempengaruhi fungsinya, sehingga kuat tumpuan bisa ditingkatkan hingga nilai minimum dengan persamaan berikut:

$$R_n = 1,5 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t \cdot F_u \dots\dots\dots(2.103)$$

Di mana:

l_c = jarak bebas (mm) searah gaya, dihitung dari tepian lubang ke tepian pelat luar (untuk baut tepi) atau jarak bersih antar tepian lubang (untuk baut dalam)

F_u = kuat tarik minimum baja pelat yang ditinjau (MPa)

Untuk kekuatan tumpuan terdapat lubang baut tipe slot panjang searah slotnya tegak lurus terhadap arah gaya sehingga gaya kekuatan berkurang dan bisa dihitung antara lain :

$$R_n = 1,0 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,0 \cdot d \cdot t \cdot F_u \dots\dots\dots(2.104)$$

B. Kuat Geser baut

Bilamana pelat mengalami kejadian dan geser, bautnya pun ikut bergeser. Namun dikarenakan ukuran baut sudah ditentukan, sehingga akan terjadi kerusakan terlebih dahulu yaitu geser. Dengan demikian, dalam perencanaan evaluasi hanya kuat gesernya saja, yang relatif lebih lemah dibandingkan tupuannya. Rumus kuat geser baut per 1 bidang geser yaitu.

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b \dots\dots\dots (2.105)$$

keterangan:

- A_b = luas penampang baut, bagian berulir atau polos, bergantung tegangan geser nominal yang digunakan
 F_{nv} = tegangan geser nominal baut

C. Kuat Geser Balok

Penghitungan kekuatan sambungan geser dengan tumpuan berdasarkan kekuatan individu tiap-tiap baut penyambung dengan banyaknya baut yang relatif sedikit. Namun, untuk sambungan dengan jumlah baut yang cukup banyak, penempatannya secara berkelompok bisa mengakibatkan seluruh blok runtuh. Rumus perhitungan kuat geser balok pelat ialah sebagai berikut.

$$R_n = 0,6 F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0,6 F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \dots\dots\dots (2.106)$$

keterangan:

- A_{gv} = luas gross potongan yang mengalami gaya geser, garis batas blok searah gaya (mm^2)
 A_{nv} = luas netto potongan yang mengalami gaya geser, garis batas blok searah gaya (mm^2)
 A_{nt} = luas netto potongan yang mengalami gaya geser, garis batas blok tegak lurus gaya (mm^2)

- F_y = kuat leleh minimum pelat sambungan (Mpa)
 F_u = kuat tarik minimum pelat sambungan (Mpa)
 U_{bs} = untuk tegangan tarik merata (uniform) $U_{bs} = 1,0$, serta tidak merata (gradien) $U_{bs} = 0,5$. Seringkali ditemui semisal pada sambungan ujung dari balok dengan menempatkan kolom baut secara ganda

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 adalah:

- Spasi minimum

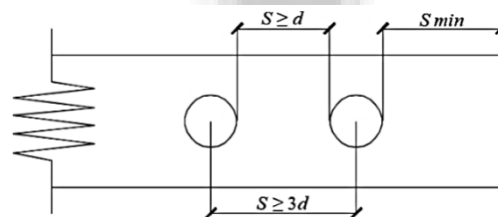
Dengan berpedoman pada SNI 1729:2020 pasal J3.3, jarak as ke as antar lubang baut tidak boleh kurang dari $2 \frac{2}{3}$ kali diameter nominal (d) dan jarak bersih antar lubang baut tidak boleh kurang dari d . Pada saat dilapangan, jarak $2 \frac{2}{3}$ lebih sering dibulatkan mendai 3. Sehingga untuk 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 mengakibatkan sobek pada profil baja.

- Spasi maksimum

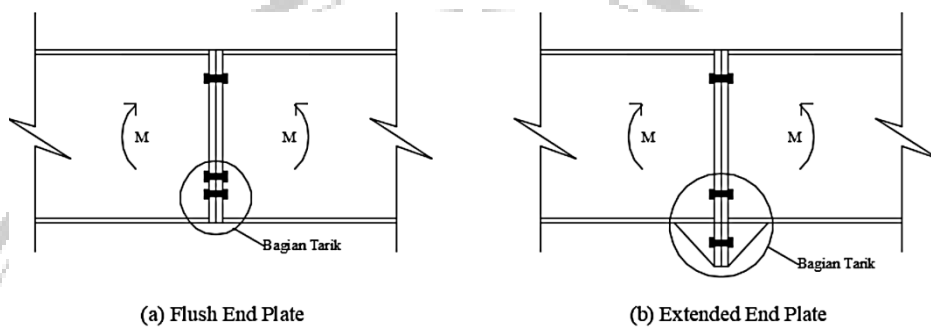
Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J3.5, jarak maksimum dari pusat lubang baut ke tepi yang terdekat pada bagian yang tersambung harus 12 kali ketebalan dari bagian yang disambung, namun tidak boleh lebih dari 150 mm.



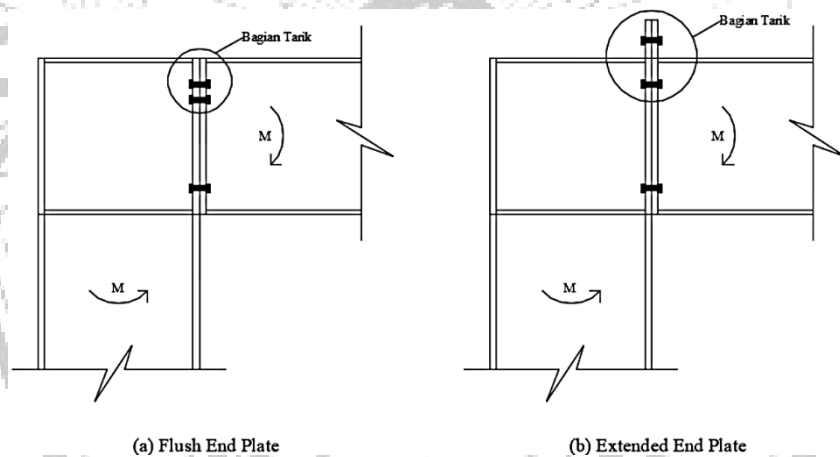
Gambar 2.15. Jarak Antar Baut

2.4.4.2 Sambungan *End Plate*

Sambungan baut tipe tarik mempunyai jumlah baut yang relatif sedikit dan pada bagian ujungnya dilas tambahan pelat khusus, maka biasanya dinamakan sambungan *end-plate*. Bilamana elemen sambungan dipasang berdekatan dengan lawan sambungannya, sehingga dapat dipasang aplikasi sambungan *end-plate* untuk portal atau balok (balok kolom), juga berbentuk *end-plate* atau pelat sayap profil kolom.



Gambar 2.16. Sambungan *end-plate* pada balok



Gambar 2.17. Sambungan *end-plate* pada portal

1. Kapasitas Pelat Ujung

Kinerja sambungan *end-plate* bergantung pada kekuatan pelat ujung dan baut tariknya. *Yield line theory* (*teori garis leleh*) ialah cara sangat terakurat untuk penghitungan kapasitas maksimum pelat ujung.

a. Flush-end-plate polos

Kuat sambungan *end-plate* terhadap kondisi batas kejadian leleh pelat ujung yang dicari sesuai dengan teori garis leleh yakni:

$$M_{pl} = F_{py}t_p^2 \left[\frac{b_f}{2} \left(\frac{h-p_t}{p_f} + \frac{h-p_t2}{u} \right) + 2(p_f + p_b + u) \left(\frac{h-p_t}{p_f} \right) \right] \dots\dots\dots(2.107)$$

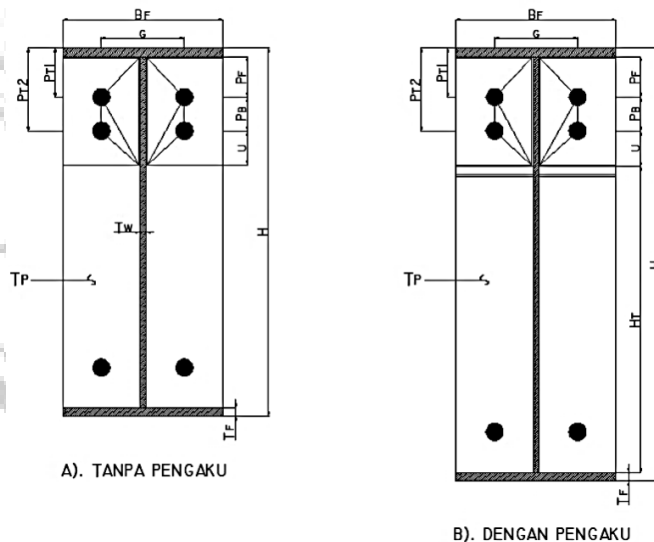
Bilamana $M_u = \phi M_{pl}$ sehingga tebal pelat minimum bisa dicari:

$$u = \frac{1}{2} \sqrt{b_f g \left(\frac{h-p_t2}{h-p_t} \right)} \dots\dots\dots(2.108)$$

$$t_p \geq \left[\frac{\frac{M_u}{\phi F_{py}}}{\frac{b_f}{2} \left(\frac{h-p_t}{p_f} + \frac{h-p_t2}{u} \right) + 2(p_f + p_b + u) \left(\frac{h-p_t}{p_f} \right)} \right] \dots\dots\dots(2.109)$$

Ket:

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



Gambar 2.18. Pola Garis Leleh Pelat Tipe *Flush-end-plate*

b. Flush-end-plate dengan pengaku

Kuat sambungan *end-plate* dengan kondisi batas kejadian pelat ujung yang meleleh ditentukan mempergunakan teori garis leleh yakni:

$$AA = (h - pt) \left[\frac{bf}{2pf} + \frac{2}{g}(pf + pb) \right] \dots \dots \dots (2.110)$$

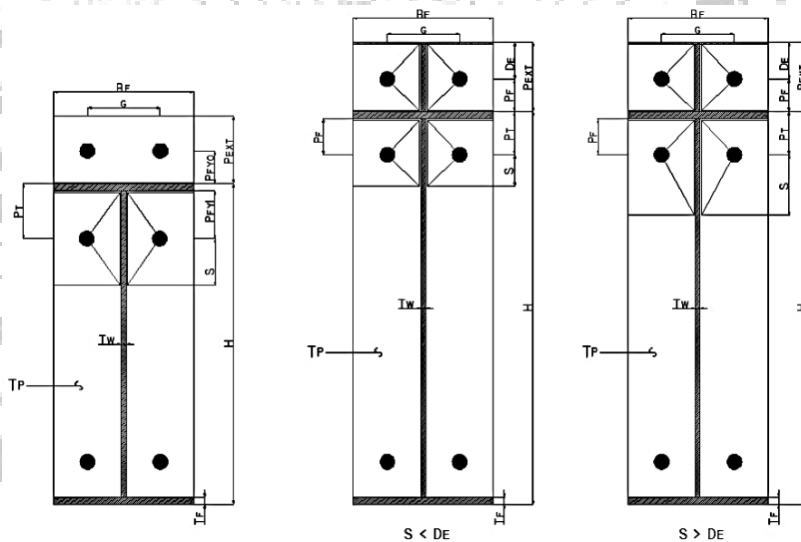
$$BB = 1,25(h - pt2) \left[\frac{bf}{2} \left(\frac{1}{ps} + \frac{1}{2ht} \right) + \frac{g}{10ps} + \frac{2}{g} + \left(\frac{pb}{5} + ps \right) \right] \dots \dots \dots (2.111)$$

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left\{ AA + \frac{1}{4}bf + BB \right\} \dots \dots \dots (2.112)$$

$$T_p \geq \left[\frac{\frac{Mu}{\phi F_{py}}}{AA + \frac{1}{4}bf + BB} \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2.113)$$

Di mana:

- ϕ = ketuntahan lentur akibat leleh = 0,90
- M_u = momen batas sambungan end-plate
- M_{pl} = kapasitas momen plastis pelat ujung
- F_{py} = tegangan leleh material pelat ujung



Gambar 2.19. Pola Keruntuhan Berdasarkan Garis Leleh Pelat Tipe *Extended-end-plate*

c. *Extended-end-plate* polos

Kuat sambungan end-plate dengan kondisi batas leleh pelat berdasar pada teori garis leleh antara lain:

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[\left(\frac{bf}{2} \left(\frac{1}{pf,i} + \frac{1}{s} \right) + (pf,i + s) \frac{2}{g} \right) (h - pt) + \frac{bf}{2} \left(\frac{h}{pf,i} + \frac{1}{2} \right) \right] \dots \dots \dots (2.114)$$

Bilamana $s = \frac{1}{2} (b_f \cdot g)^{1/2}$ dan $M_u \leq \phi M_{pl}$ sehingga tebal pelat harus didasarkan kuat batas leleh bisa dicari antara lain:

$$t_p \geq \left[\left(\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right) (h - pt) + \frac{b_f}{2} \left(\frac{h}{p_f} + \frac{1}{2} \right) \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.115)$$

d. Extended-end-plate dengan pengaku

i. $s < d_e$

Kuat sambungan *end-plate* dengan kondisi batas leleh pelat sesuai dengan teori garis leleh antara lain:

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[\left(\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right) [(h - pt) + (h + pt)] \right] \dots\dots\dots(2.116)$$

Bilamana $s = \frac{1}{2} (b_f \cdot g)^{1/2}$ dan $M_u \leq \phi M_{pl}$ sehingga tebal pelat perlu berdasarkan kuat batas leleh bisa dicari yakni dengan:

$$t_p \geq \left[\frac{\frac{M_u}{\phi F_{py}}}{\left[\left(\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right) [(h - pt) + (h + pt)] \right]} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.117)$$

ii. $s > d_e$

Kuat sambungan *end-plate* terhadap kondisi batas leleh pelat didasarkan teori garis leleh yakni:

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[\left(\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{2s} \right) + (p_f + d_e) \frac{2}{g} \right) [(h - pt) + (h + pt)] \right] \dots\dots\dots(2.118)$$

Bilamana $s = \frac{1}{2} (b_f \cdot g)^{1/2}$ dan $M_u \leq \phi M_{pl}$ sehingga tebal pelat perlu berlandaskan kuat batas leleh bisa dicari antara lain:

$$t_p \geq \left[\frac{\frac{M_u}{\phi F_{py}}}{\left[\left(\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{2s} \right) + (p_f + d_e) \frac{2}{g} \right) [(h - pt) + (h + pt)] \right]} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.119)$$

dimana:

M_u = momen batas sambungan end-plate

ϕ = keruntuhan lentur akibat leleh = 0,90

F_{py} = tegangan leleh material pelat ujung

M_{pl} = kapasitas momen plastis pelat ujung

e. Kapasitas Baut

Sambungan *end-plate* ditetapkan oleh kuat baut tarik dan kuat pelat ujung. Gaya tarik yang diterapkan pada baut dipengaruhi oleh kinerja pelat ujung. Bilamana pelat ujung berubah bentuk, akan terjadi efek *prying*, yakni gaya tarik tambahan pada baut. Bilamana deformasin relatif kecil dan bisa diabaikan, sehingga efek *prying* juga relatif kecil. Kuat sambungannya berdasarkan baut tanpa efek *prying*.

$$M_{np} = 2p_t (d_1 + d_2) \dots\dots\dots(2.120)$$

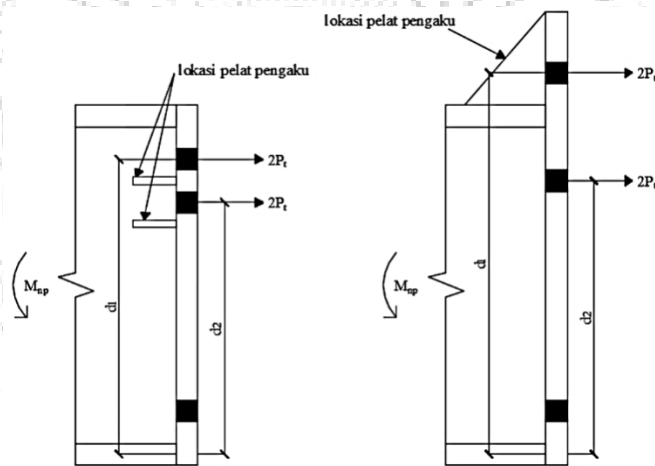
$$M_u = \phi M_{np} \dots\dots\dots(2.121)$$

keterangan:

M_{np} = kapasitas sambungan *end-plate* sesuai dengan kuat baut tanpa efek *prying*

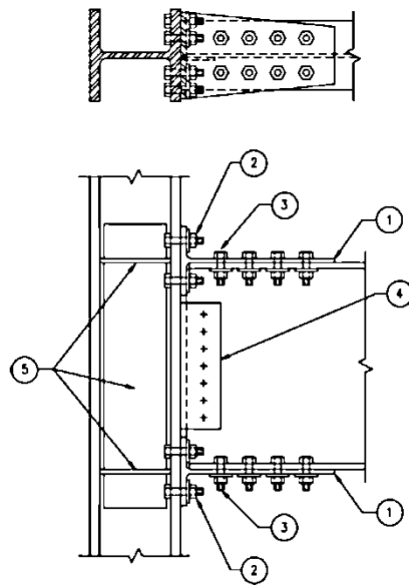
ϕ = ketuntuhan fraktur baut = 0,75

p_t = kuat tarik baut, $p_t = A_b \cdot F_{nt}$



Gambar 2.20. Momen Kopel Baut Terhadap Sayap Tekan

2.4.4.3 Sambungan *Double Split Tee*



Gambar 2.21. Konfigurasi Sambungan *Double Split Tee*

Sambungan ini biasanya digunakan untuk penghubung antara kolom dan balok induk. Dimana bisa dilihat pada gambar diatas ada beberapa komponen seperti:

1. Pelat baja profil T,
2. Baut penghubung berupa mur yang membungkan kolom dengan balok melalui sayap profil T
3. Baut penghubung berupa mur yang menghubungkan sayap balok ke badan profil T
4. Pelat baja profil L, dan
5. Panel zone

Berikut perhitungan yang diperlukan untuk sambungan tipe ini menurut ANSI/AISC 360-2016: *Spesification for Structural Steel Buildings*.

1. Gaya Kopel Internal

$$T_u = \frac{M_u}{d_g - t_f} \dots\dots\dots(2.122)$$

Dimana:

- M_u = Gaya maksimum momen yang bekerja pada kolom
 d_g = tinggi profil baja balok
 t_f = tebal sayap profil balok

2. Dimensi Pelat Perlu

$$\phi T_n = 0,9 \times A_g \times F_y \geq T_u \dots\dots\dots(2.123)$$

$$A_{g \text{ perlu}} = \frac{T_u}{0,9 \times F_y} \dots\dots\dots(2.124)$$

Dimana: F_y = Kuat leleh minimum baja

3. Sambungan Las Antara *Panel Zone* dengan Balok Kolom

$$\phi R_{nw} = \phi \times t_e \times 0,60 \times f_{uw} \dots\dots\dots(2.125)$$

$$\text{Panjang las yang diperlukan} = \frac{\phi T_u}{\phi R_{nw}} \dots\dots\dots(2.126)$$

Dimana: f_{uw} = Kuat tarik minimum baja

4. Sambungan Baut Antara Profil T dengan *Flenge* kolom

a. Kuat Geser Desain

$$R_n = F_{nv} \times A_b \dots\dots\dots(2.127)$$

b. Kuat Geser Desain

$$\phi R_n = \phi \times 2,4 \times f_u^p \times d_b \times t_p \dots\dots\dots(2.128)$$

c. Jumlah Baut

$$n = \frac{T_u}{\phi R_n} \dots\dots\dots(2.129)$$

Keterangannya:

F_{nv} = Kuat geser nominal pada baut

A_b = luas penampang baut

F_u = Kuat tarik minimum baja

d_b = diameter baut

t_p = tebal pelat

5. Jarak Antar Baut

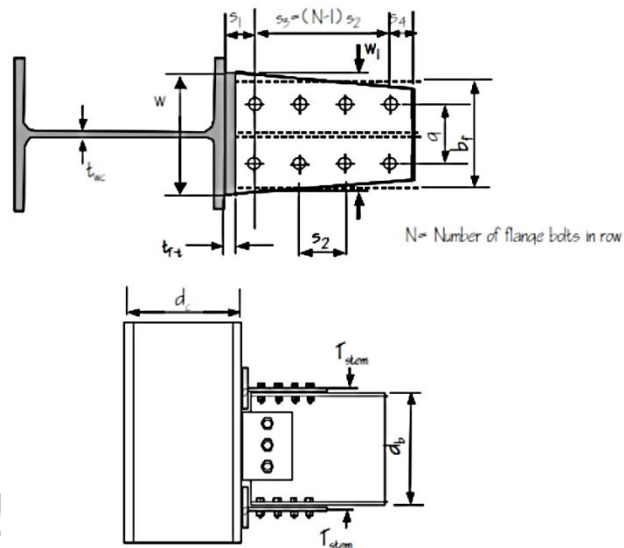
Berikut menentukan jarak antar baut:

a. Jarak tepi baut (S_t)

$$26 < S_t < 12 t_p \dots\dots\dots(2.130)$$

b. Jarak antar baut (S)

$$3d < S < 12 t_p \dots\dots\dots(2.131)$$



Gambar 2.22. Geometri Untuk Mode Kegagalan Pada Sambungan Profil T

6. Pemeriksaan Kekuatan M_{fail} (Momen Keruntuhan) Baut pada *Flenge* Kolom

$$M_{fail \text{ baut}} = 2 \times N \times A_b \times (F_{nv}) \times d_b \times L_{TF1} \dots \dots \dots (2.132)$$

Panjang rasio transfer momen dari pusat grup baut ke permukaan kolom (L_{TF1}):

$$L_{TF1} = \frac{L - d_c}{L - d_c - (2s_1 + s_3)} \dots \dots \dots (2.133)$$

Dimana:

- N = Jumlah baut
- A_b = Luas penampang baut
- F_{nv} = Kuar geser nominal baut
- d_b = Diameter baut
- L = tinggi kolom
- d_c = badan profil kolom
- s_1 = jarak tepi baut
- s_3 = jarak antar baut

7. Pemeriksaan Kekuatan M_{fail} (Momen Keruntuhan) Profil T pada *Flenge* Kolom

$$M_{fail} = F_u (w - 2 (d_b + 125)) t_{stem} (d_b + t_{stem}) \cdot L_{TF2} \dots \dots \dots (2.134)$$

$$L_{TF2} = \frac{L - d_c}{L - d_c - 2s_1} \dots \dots \dots (2.135)$$

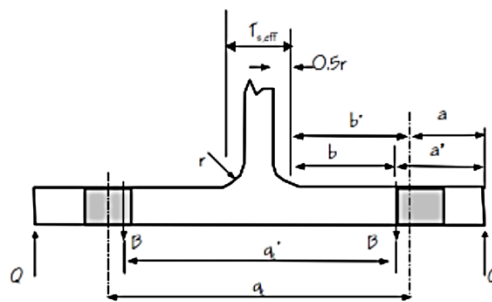
Dimana:

- w = lebar profil T
- t_{stem} = tebal badan profil T
- F_u = Kuar tarik minimum baja
- d_b = Diameter baut
- L = tinggi kolom
- d_c = badan profil kolom
- s_1 = jarak tepi baut

8. Pemeriksaan Kekuatan M_{fail} (Momen Keruntuhan) Kolom Pada *Flenge* Profil T

$$M_{fail} = \frac{(2a' - \frac{db}{4}) w \cdot F_y \cdot t f^2 (db - t_{stem})}{4 a' b' - db (b' + a')} \dots \dots \dots (2.136)$$

Dimana:



Gambar 2.23. Geometri Untuk Gaya Akibat Congkel dan Pembengkokan Pada Sayap Profil T

$$a' = a + \frac{db}{2} \dots \dots \dots (2.137)$$

$$b' = b - \frac{db}{2} \dots \dots \dots (2.138)$$

w = lebar profil T

- t_{stem} = tebal badan profil T
 F_y = Kuar leleh minimum baja
 d_b = Diameter baut

9. Pemeriksaan Kekuatan Baut Akibat Efek Ungkit (*Praying*) Dalam Menahan Gaya Tarik Dari Plat

$$M_{fail} = N (d_b + t_{stem}) \cdot \left[Tu + \frac{w \cdot F_y \cdot t_f^2}{16 \cdot a'} \right] \cdot \frac{a'}{a' + b'} \dots \dots \dots (2.139)$$

Dimana:

- N = jumlah baut
 d_b = Diameter baut
 t_{stem} = tebal badan profil T
 w = lebar profil T
 F_y = Kuar leleh minimum baja
 t_f = tebal sayap profil kolom

10. Pemeriksaan Kekuatan M_{fail} (Momen Keruntuhan) antara Kolom dan *Flenge* Balok

$$M_{fail} = [F_u \text{ baut} \cdot (Z_b - 2 (d_{lubang \text{ baut}} + 0,062) \cdot t_{fb} \cdot (d_b - t_{fb}))] \cdot L_{TF3} \dots \dots \dots (2.140)$$

$$L_{TF3} = \frac{L - d_c}{L - d_c - 2(s_1 + s_3)} \dots \dots \dots (2.141)$$

Dimana:

- $F_u \text{ baut}$ = kuat tarik minimum baut
 Z_b = Momen maksimum yang bekerja pada tumpuan balok
 t_{fb} = tebal sayap profil balok
 d_b = diameter balok
 d_c = badan profil kolom
 L = tinggi kolom
 s_1 = jarak tepi baut
 s_3 = jarak antar baut

11. Pemeriksaan Tebal *Flenge* Kolom Untuk Tegangan *Flenge* Balok

$$t_{f \text{ kolom}} \geq 1,5 t_{f \text{ profil T}} \dots \dots \dots (2.142)$$

Dimana:

t_f = tebal sayap profil

12. Pemeriksaan Tebal Badan Kolom Untuk Tegangan *Flenge* Balok

$$t_{w \text{ kolom}} \geq \frac{M_f}{(d_b - t_{stem}) \cdot (6k + c)F_y} \dots \dots \dots (2.143)$$

Dimana:

t_w = tebal badan profil

M_f = momen yang bekerja pada kolom

d_b = diameter balok

t_{stem} = tebal badan profil T

c = lebar kolom

F_y = Kuat leleh minimum baja

k = dimensi dari kolom ke *flenge* T dan panjang profil T

13. Pemeriksaan Kuat Geser Penghubung Antara Badan Balok dan Kolom

$$V_{st} = 2 \frac{M_f}{L - d_c} + V_u \dots \dots \dots (2.144)$$

Dimana:

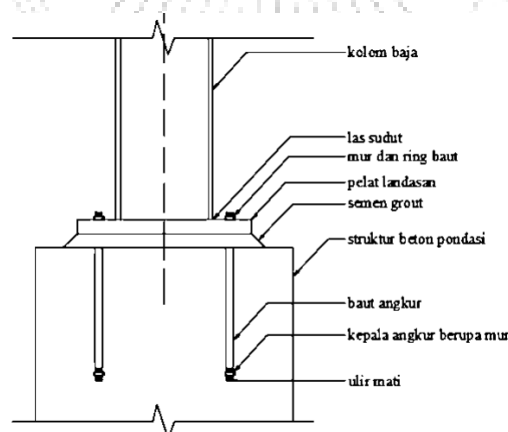
M_f = momen yang bekerja pada kolom

d_c = badan profil kolom

L = tinggi kolom

V_u = gaya geser yang bekerja

2.4.4.4 Sambungan *Base Plate*



Gambar 2.24. Konfigurasi *Base Plate* Kolom

Struktur baja sering digunakan pada bagian atas dan bawah bangunan, termasuk pondasi dimana struktur beton lebih diutamakan. Guna menghubungkan

keduanya diperlukan konektor yakni *base plate*. Pada dasarnya *base-plate* dirancang untuk memindahkan gaya atau momen dari struktur baja yang cukup kuat ke struktur beton yang cenderung lemah tanpa menimbulkan kerusakan sebab beban didistribusikan secara merata ke seluruh *base plate*.

Pelat landasan yang bisa dipegunakan antara lain *base plate* dan baut angkur. *Base plate* dan kolom baja dihubungkan dengan pengelasan. Secara teori, baut angkur mungkin tidak dibutuhkan, namun dalam praktiknya baut tersebut harus dipasang. Setidaknya ada dua, guna mengantisipasi kemungkinan kejadian tak terduga pada saat pembangunan.

1. Kuat Tumpu Beton

Kuat tumpu rencana ialah $\phi_c P_p$, dengan nilai $\phi = 0,65$. Kuat tumpu nominal P_p bergantung dari luasan beton tumpuan yang ada, yaitu:

- a. Luas beton \cong luas pelat landasan, sehingga:

$$P_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 \dots\dots\dots(2.145)$$

Ataupun dalam format teganga tumpu nominal, sehingga:

$$F_{p(maks)} = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f_c' \dots\dots\dots(2.146)$$

- b. Luas beton tumpuan $>$ luas pelat landasan dengan nilai besaran merata pada seluruh sisinya. Sehingga, kuat tumpu beton bisa ditingkatkan maksimum hingga dua kalinya:

$$P_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f_c' \cdot A_1 \dots\dots\dots(2.147)$$

$$F_{p(maks)} = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f_c' \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f_c' \dots\dots\dots(2.148)$$

ket:

f_c' = kuat tekan beton yang dipersyaratkan, Mpa

A_1 = luas beton yang dibebani gaya konsentris, mm²

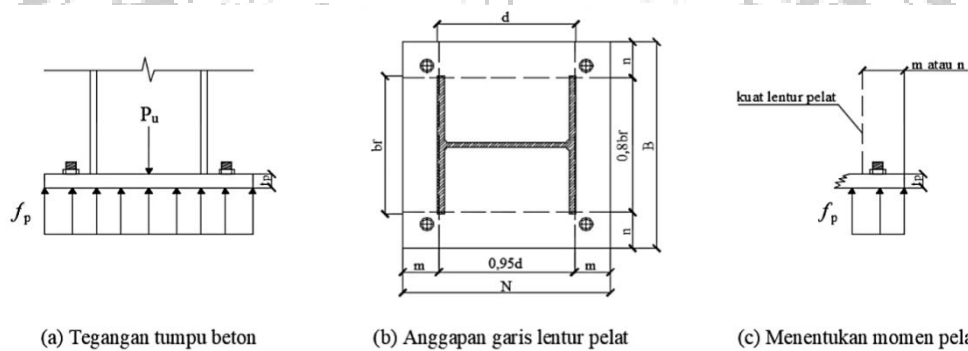
A_2 = Luas bagian bawah piramida terpancung mempunyai luas bagian atas A_1 , yang sisi miring memiliki perbandingan horizontal: vertikal sebesar 2: 1, mm².

Bilamana luas permukaan beton tumpuan > luas *base-plate* secara merata, sehingga sebagian besar beton tumpuan bisa berfungsi sebagai struktur penahan beton penahan beban. Hal ini sebagai salah satunya cara untuk meningkatkan kuat tumpuannya.

2. Tekan Konsentrasi

Bilamana *base-plate* bertumpu pada permukaan beton pondasi, sehingga ukuran pelat dasar ($B \times N$) harus dipilih supaya beton di bawahnya tidak rusak, dengan syarat sebagai berikut:

$$f_p = \frac{Pu}{B.N} \leq f_{p(maks)} \dots \dots \dots (2.149)$$



Gambar 2.25. *Base Plate* Terhadap Beban Tekan Konsentris

Kuat perlu pada pelat landasan bisa ditetapkan yaitu:

$$M_{pl} = \frac{1}{2} f_p l^2 \dots \dots \dots (2.150)$$

Dimana l yaitu nilai terbesar dari m , n , dan $\lambda n'$.

$$m = \frac{N - 0,95}{2} \dots \dots \dots (2.151)$$

$$n = \frac{B - 0,8 bf}{2} \dots \dots \dots (2.152)$$

$$\lambda n' = \frac{1}{4} \lambda \sqrt{d b_f} \dots \dots \dots (2.153)$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1-x}} \leq 1 \dots \dots \dots (2.154)$$

$$x = \left\{ \frac{4 d b_f}{(d + b_f)^2} \right\} \frac{Pu}{\phi_c P_p} \dots \dots \dots (2.155)$$

Cukup konservatif bilamana diambil $\lambda = 1$

Guna kondisi batas leleh, ketebalan minimum *base plate* yaitu:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} = 1 \sqrt{\frac{2 f_p}{\phi F_y}} = 1 \sqrt{\frac{2 P_u}{\phi F_y BN}} \dots\dots\dots(2.156)$$

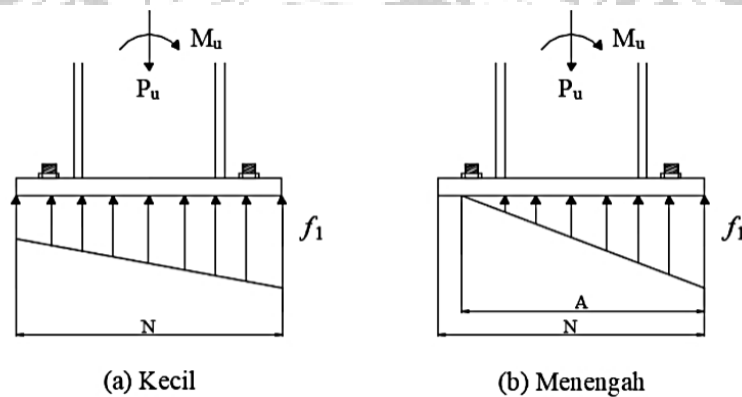
Keterangan:

ϕ = faktor tahanan terhadap lentur = 0,90

L = nilai maksimum dari m , n , dan $\lambda n'$, supaya tebal *base plate* ekonomis sehingga parameter dibuat minimum, yaitu menentukan $m = n$

3. Tegangan Beton Segitiga-Elastis

a. Momen Kecil Tanpa Angkur



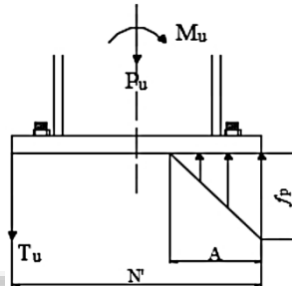
Gambar 2.26. Distribusi Tegangan Segitiga Akibat Eksentrisitas Kecil

Pendekatan tegangan tumpuan beton pada kondisi elastis (segitiga) dipilih secara sengaja sebab memberikan gambaran yang cukup masuk akal mengenai pengaruh eksentrisitas (e) diakibatkan gaya tekan P_u kepada *base plate*. Nilai e dinamakan sedang bila tidak diperlukan baut angkur untuk menjaga kesetimbangan.

sehingga nilai eksentrisitas (e) dibagi menjadi dua kondisi:

- i. Kecil, bila $e = \frac{Mu}{P_u} \leq \frac{N}{6}$
- ii. Menengah, Jika $\frac{N}{6} \leq e \leq \frac{N}{2}$

b. Momen Besar Dengan Angkur



Gambar 2.27. Distribusi Tegangan Segitiga Akibat Eksentrisitas Besar

Bilamana eksentrisitas gaya P_u besar, sehingga *base-plate* bisa terguling. Guna menghindari hal tersebut, maka haruslah dipasang baut angkur yang mampu menahan gaya tarik T_u yang diakibatkan momen guling.

Dimensi pelat dasar dipilih sesuai dengan tegangan tekan beton, f_p , tidak melebihi tegangan dukung nominal beton. Guna menemukan nilai T_u dan A digunakan persamaan kesetimbangan momen dan vertikal antara lain:

$$T_u + P_u = \frac{1}{2} f_p AB \dots\dots\dots(2.157)$$

$$P_u \left(\frac{N}{2} - x \right) + Mu = \frac{1}{2} f_p AB \left(N - x - \frac{A}{3} \right) \dots\dots\dots(2.158)$$

Bilamana $A' = \frac{N}{2} - x$ dan $f' = f_n B \frac{N}{2} - x$, dari persamaan tersebut diperoleh:

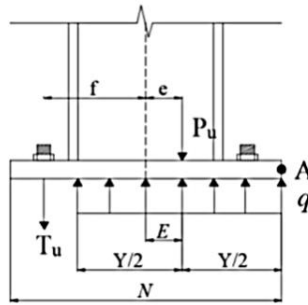
$$A = \frac{f' \pm \sqrt{f'^2 f_p B (P_u A' + Mu)}}{1/2 f_p B} \dots\dots\dots(2.159)$$

Nilai $A \leq N'$, bilamana tidak sesuai dengan sehingga ukuran pelat landas tidak memenuhi, diperlukan ukuran lainnya. Gaya tarik baut angkur yaitu:

$$T_u = \frac{1}{2} f_p AB - P_u \dots\dots\dots(2.160)$$

4. Tegangan Beton Persegi-Ultimate

a. Momen Kecil Tanpa Angkur



Gambar 2.28. Distribusi Tegangan Persegi Akibat Eksentrisitas Kecil

Perencanaan *base-plate* yang dibebani secara eksentrik dapat dilandaskan asumsi distribusi tegangan beton dengan bentuk segitiga atau kondisi teganganelastis. Bilamana beban meningkat hingga pada kondisi batas, maka sifat elastisnya terlampaui dan berubah menjadi keadaan inelastis, yakni beton berada pada kondisi batas (*ultimate*).

$$q_{maks} = f_{p(maks)} \cdot B \dots\dots\dots(2.161)$$

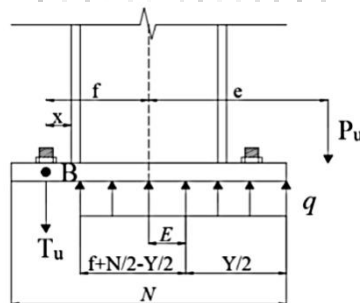
$$y_{min} = \frac{Pu}{q_{maks}} \dots\dots\dots(2.162)$$

$$\text{jika } \epsilon_{maks} = \frac{N}{2} - \frac{y_{min}}{2} = \frac{N}{2} - \frac{Pu}{2 q_{maks}} \dots\dots\dots(2.163)$$

$$e_{kritis} = \epsilon_{maks} = \frac{N}{2} - \frac{Pu}{2 q_{maks}} \dots\dots\dots(2.164)$$

beban eksentrisitas $\leq e_{kritis}$ sehingga baut angkur tidak dibutuhkan.

b. Momen Besar Dengan Angkur



Gambar 2.29. Distribusi Tegangan Persegi Akibat Eksentrisitas Besar

Bilamana eksentrisitas beban tekan $e = Mu + Pu > e$ sehingga baut angkur dibutuhkan untuk mengantisipasi *base plate* terpuntir. Guna menemukan nilai T_u dan Y digunakan persamaan kesetimbangan gaya vertikal antara lain:

$$T_u + P_u = qY \dots\dots\dots(2.165)$$

Serta kesetimbangan momen terhadap titik B:

$$q_{maks} Y \frac{N}{2} - \frac{Y}{2} + f - P_u (e + f) = 0 \dots\dots\dots(2.166)$$

sesudah peraturan didapatkan persamaan kuadrat yaitu:

$$Y^2 - 2 \left(\frac{N}{1} + f \right) Y + \frac{2P_u (e+f)}{q_{maks}} = 0 \dots\dots\dots(2.167)$$

Serta, penyelesaian untuk Y yaitu:

$$Y = \left(\frac{N}{1} + f \right) \pm \sqrt{\left(\frac{N}{1} + f \right)^2 - \frac{2P_u (e+f)}{q_{maks}}} \dots\dots\dots(2.168)$$

Pada kombinasi gaya, momen dan ukuran pelat landasan tidak didapatkan penyelesaiannya, maka dimensi pelat landasan harus diperbesar. Untuk menyelesaikan persamaan, sehingga:

$$\left(\frac{N}{1} + f \right)^2 \geq \frac{2P_u (e+f)}{q_{maks}} = 0 \dots\dots\dots(2.169)$$

Gaya pada angkur yaitu:

$$T_u = qY - P_u \dots\dots\dots(2.170)$$

Untuk kondisi batas leleh, tebal minimum pelat landasannya yaitu

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} \dots\dots\dots(2.171)$$

Pada kondisi desak: momen terjadi diakibatkan oleh tegangan reaksi beton pada kantilever m dari tumpuan.

Bilamana $Y \geq m$, sehingga:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{2(1/2 f_p m^2)}{0,90 \cdot f_y}} = 1,5 \cdot m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \dots\dots\dots(2.172)$$

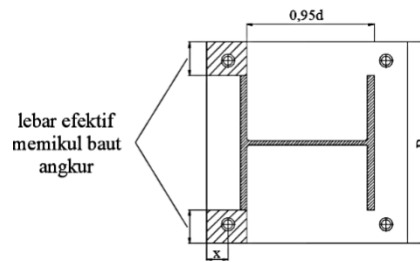
Jika $Y < m$, maka:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{4 \left(f_p Y \left(m - \frac{Y}{2} \right) \right)}{0,90 \cdot f_y}} = 2,11 \cdot m \sqrt{\frac{f_p Y \left(m - \frac{Y}{2} \right)}{F_y}} \dots\dots\dots(2.173)$$

dimana:

$$f_p = \frac{P_u}{B Y} \dots\dots\dots(2.174)$$

Pada sisi tarik, terjadinya momen diakibatkan gaya reaksi baut jangkar yang bekerja sebagai beban terpusat pada pelat. Dengan demikian, jumlah baut pula mempunyai pengaruh, terutama lebar efektif pelat.



Gambar 2.30. Lebar Efektif Pelat Pemikul Baut Angkur

Tebal *base plate* minimum untuk memikul baut angkur yaitu:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{T_u}{n_b} \cdot \frac{a}{2a} \right)}{0,90 \cdot f_y}} = 1,5 \sqrt{\frac{T_u}{n_b F_y}} \dots \dots \dots (2.175)$$

dimana:

n_b = jumlah

