

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Perencanaan Struktur

2.1.1 Struktur Baja

Struktur baja merupakan salah satu jenis struktur yang memiliki *strenght* (kekuatan), *stiffeness* (kekakuan), *toughness* (ketanggunahan), dan *ductility* (daktilitas) yang sangat baik sehingga menjadi material pilihan dalam dunia konstruksi modern (Lesmana, 2021).

2.1.2 Struktur Baja Komposit

Struktur Baja komposit merupakan struktur yang terdiri dari dua atau lebih material dengan sifat yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Komposit baja-beton didasarkan pada pemikiran bahwa beton mempunyai perilaku yang menguntungkan ketika menerima beban tekan dan perilaku yang kurang menguntungkan ketika menerima beban tarik. Sedangkan baja memiliki daya dukung yang sama baik terhadap beban tarik maupun tekan, namun perlu diperhatikan juga resiko tekuk ketika menerima beban (Giatmajaya et al., 2021).

2.1.3 Metode *Load and Resistance Faktor Design* (LRFD)

Metode LRFD didasarkan pada konsep dasar yaitu *limit state* (keadaan batas). dalam metode ini, beban kerja dikalikan dengan faktor beban sehingga menghasilkan beban terfaktor yang digunakan sebagai beban pada struktur. Selain itu, ciri khusus dari metode ini adalah penggunaan faktor reduksi sebagai faktor keamanan dalam proses desain. Penggunaan faktor beban dan faktor reduksi pada konsep LRFD didasarkan pada:

- Ketidakpastian mutu bahan yang digunakan disebabkan oleh variasi kuat bahan yang berbeda dengan perhitungan desain dan

juga karena pengaruh waktu terhadap mutu bahan, misalnya rangkai, susut, korosi, fatigue dan lain-lain.

- Adanya tegangan tambahan yang tidak diantisipasi pada saat proses desain, misalnya tegangan residual selama proses pembuatan dipabrik atau tegangan tambahan akibat ketidaksempurnaan pada saat proses pemasangan dilapangan
- Tidak akuratnya dimensi profil baja yang digunakan
- Kemungkinan adanya *human error* selama proses perhitungan seorang engineer
- Analisa beban tidak dapat ditentukan secara pasti

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal B3.1 konsep LRFD disebut juga sebagai desain faktor beban dan ketahanan (DFBT), yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.1)$$

Keterangan:

- R_u = kuat perlu menggunakan kombinasi beban DFBT
- R_n = kekuatan nominal
- ϕ = faktor ketahanan
- ϕR_n = kekuatan desain

2.1.4 Sistem Struktur Baja Tahan Gempa

Sistem struktur baja adalah sistem konstruksi bangunan yang dirancang khusus untuk menahan gempa. Sistem ini menggunakan baja sebagai bahan utama konstruksi karena baja memiliki kekuatan tinggi, relatif kaku dan sangat daktail sehingga mampu untuk mengantisipasi beban yang tak terduga (Dewobroto, 2015).

2.1.4.1 Sistem Portal (*Moment Frame Systems*)

a. *Special Moment Frame* (SMF)

Special moment frame (SMF) adalah tipe rangka yang didesain dapat bekerja secara inelastis penuh. Oleh karena itu, bagian yang mengalami sendi plastis harus didesain secara khusus. Cocok digunakan untuk perencanaan

gedung tinggi yang masih memungkinkan menggunakan sistem frame.

b. *Intermediate Moment Frame (IMF)*

Intermediate Moment Frame (IMF) adalah tipe rangka yang mampu berperilaku inelastis namun terbatas. Cocok digunakan pada struktur dengan gempa yang relatif sedang.

c. *Ordinary Moment Frame (OMF)*

Ordinary Momen Frame (OMF) adalah tipe rangka yang didesain hanya untuk bekerja secara elastis. Oleh karena itu, hanya cocok untuk digunakan pada sistem struktur dengan beban gravitasi yang dominan, misalnya bangunan tidak bertingkat yang memiliki bentang panjang.

2.2 Konsep Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur bangunan merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam perencanaan sebuah gedung. Kesalahan dalam perencanaan beban atau penerapan beban dalam perhitungan akan menyebabkan kesalahan yang fatal pada hasil desain konstruksi. Oleh karena itu, sangat penting untuk merencanakan pembebanan pada struktur bangunan dengan sangat teliti agar bangunan yang dirancang aman pada saat dibangun dan digunakan. Beban merupakan sekelompok gaya yang akan bekerja pada suatu luas struktur. Bahkan setiap struktur yang akan direncanakan telah ditentukan oleh kode – kode pembebanan yang ditetapkan dalam bentuk standar nasional Indonesia (SNI).

2.2.1 Beban Mati (DL)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang serta peralatan tetap yang tidak terpisahkan dari gedung. Berat satuan atau berat sendiri dari beberapa material konstruksi dan komponen bangunan gedung dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia, khususnya Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung tahun 1983. Informasi mengenai berat satuan

dari berbagai material konstruksi yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam menghitung beban mati dapat dilihat dari tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

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	Penutup lantai dari ubin	24	Kg/m ²
5	Spesi dari semen	21	Kg/m ²
6	Plafond + penggantung	18	Kg/m ²

(Sumber: *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*)

2.2.2 Beban Hidup (LL)

Beban hidup adalah beban yang timbul akibat penggunaan atau penghunian suatu bangunan dan meliputi beban pada lantai akibat benda yang dapat berpindah, menyebabkan perubahan beban lantai dan atap tersebut. Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung dan struktur lainnya harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan digunakannya bangunan tersebut, namun tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan. Konsep perencanaan beban hidup berpedoman pada SNI 1727-2020 berikut merupakan beban hidup yang direncanakan berkerja pada struktur:

Tabel 2.2 Beban Hidup

Penggunaan	Merata (kN/m ²)	Terpusat (kN)
Gedung Perkantoran		
Lobi dan koridor lantai pertama	4,79	8,90
Kantor	2,40	8,90
Koridor di atas lantai pertama	3,83	8,90
Atap		
Atap datar	0,96	-

(Sumber: *SNI 1727-2020 Pasal 4.3.1*)

2.2.3 Beban Hujan (RL)

Setiap bagian suatu atap harus didesain mampu menahan beban dari seluruh air hujan yang tertampung pada saat sistem drainase utama bagian tersebut tertutup ditambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk drainase sekunder pada aliran yang direncanakan. Berdasarkan SNI 1727-2020 Pasal 8.3 pembebanan air hujan pada atap gedung dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R = 0,0098 (d_s + d_h) \quad (2.2)$$

Keterangan:

d_h = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut diatas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran desain (kepala hidraulik) (mm)

d_s = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis) (mm)

R = beban air hujan (kN/m^2)

2.2.4 Beban Gempa (EL)

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut

Untuk mendapatkan gaya geser yang ditimbulkan oleh beban gempa maka diperlukan sejumlah parameter yang dapat dihitung secara matematis. Parameter yang digunakan dalam perencanaan pembebanan gempa pada struktur gedung menurut SNI 1726-2019 adalah

2.2.4.1 Menentukan Kategori Resiko Gempa

Kategori risiko struktur bangunan sangat dipengaruhi oleh jenis pemanfaatan atau fungsi bangunan tersebut. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pada tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko	
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p>	I	
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 		
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p>		II
<ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - pabrik 		
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p>	III	
<ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion 		
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat 		
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas penitipan anak - Penjara 		
<ul style="list-style-type: none"> - Bangunan untuk orang jompo 		
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal</p>		

terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Pusat pembangkit listrik biasa
- Fasilitas penanganan air
- Fasilitas penanganan limbah
- Pusat telekomunikasi

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.

Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- Rumah ibadah
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat kondisi darurat
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat

IV

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2)

Faktor keutamaan (I_e) bertujuan untuk meningkatkan beban gempa rencana sehingga struktur tersebut dapat memikul beban gempa dengan periode ulang yang lebih panjang dengan kerusakan lebih kecil. Faktor keutamaan gempa dapat ditentukan menggunakan tabel 2.4

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2)

2.2.4.2 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs ditentukan berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs. klasifikasi 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). Jika sifat tanah pada suatu tempat tidak dapat teridentifikasi dengan jelas maka dapat menggunakan kelas situs SE. Untuk menentukan klasifikasi situs dapat dilihat pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (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	≥ 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 mtanah dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$
2. Kadar air, $w \geq 40\%$
3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa

SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti)

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)
- Lempung berplastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$ mdengan indeks plastisitas $pl > 75$)
- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ mdengan $\bar{S}_u < 50$ kPa

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 5.3)

2.2.4.3 Koefisien Amplifikasi Getaran

Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran yang berhubungan dengan percepatan untuk getaran periode pendek (F_a) yang dapat diakumulasikan dari tabel 2.6 dan faktor amplifikasi yang terkait dengan percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v) yang dapat dilihat pada tabel 2.7. Parameter respon spektral percepatan periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.3)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.4)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik

Tabel 2.6 Koefisien Getaran Periode Pendek (Fa)

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T= 0,2 detik, S _s					
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0,5	S _s = 0,75	S _s = 1,0	S _s = 1,25	S _s ≥ 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	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik					

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 6.2)

Tabel 2.7 Tabel Koefisien Getaran Periode 1 Detik (Fv)

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, 1 detik, S ₁					
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,3	S ₁ = 0,4	S ₁ = 0,5	S ₁ ≥ 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	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respons situs-spesifik					

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 6.2)

2.2.4.4 Parameter Percepatan Spektral Desain

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 6.3 parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{ds}) dan periode 1 detik (S_{d1}), harus ditentukan menggunakan rumus berikut:

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.6)$$

2.2.4.5 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik dapat ditentukan dengan tabel 2.8 menggunakan nilai S_{DS} atau tabel 2.9 menggunakan nilai S_{D1} .

Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (S_{DS})

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

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 6.5)

Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (S_{D1})

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)

2.2.4.6 Faktor Redundansi

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.3.4.1, Faktor redundansi untuk struktur dengan kategori desain seismik D sampai F, ρ harus sebesar 1,3. Faktor redundansi (ρ) diizinkan menggunakan nilai 1 apabila satu dari dua kondisi berikut dipenuhi:

- Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau
- Struktur dengan denah beraturan disemua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal disetiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar.

2.2.4.7 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Sistem pemikul gaya seismik yang berbeda dapat digunakan untuk menahan gaya seismik pada setiap arah dari dua sumbu ortogonal struktur. ketika sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 masing-masing harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batas sistem struktur yang termuat dalam Tabel 2.10

Tabel 2.10 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
C. Sistem rangka pemikul momen			
1. Rangka baja dan beton komposit momen khusus	8	3	5 ½

Tabel 2.10 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik (Lanjutan)

Sistem pemikul gaya seismik	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					
1. Rangka baja dan beton komposit momen khusus	TB	TB	TB	TB	TB

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 7.2.2)

Keterangan:

TB: tidak dibatasi

2.2.4.8 Jumlah Ragam

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.1, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi 100% dari massa struktur. Namun, terdapat pengecualian, analisis diizinkan untuk

memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah.

2.2.4.9 Periode Fundamental Pendekatan

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2.1, batas periode fundamental (T_a) dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.7)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur (m)

koefisien C_t dan x dapat ditentukan dari tabel berikut:

Tabel 2.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2.1)

2.2.4.10 Penentuan Periode

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2, periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian C_u dengan T_a .

$$T_{maks} = C_u \times T_a \quad (2.8)$$

Keterangan:

T_a = Periode fundamental pendekatan (s)

Koefisien C_u dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 2.12 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2)

2.2.4.11 Koefisien Respons Gempa

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1.1 Koefisien respon gempa (C_s) dapat diperoleh dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.9)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek

R = faktor modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 2.9 tidak boleh melebihi nilai berikut:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.10)$$

Keterangan:

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1 detik

T = periode fundamental struktur (s)

2.2.4.12 Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Gaya geser dasar seismik yang bekerja pada gedung dapat ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1 dengan rumus berikut:

$$V = C_s W \quad (2.11)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons Seismik

W = berat seismik efektif

2.2.4.13 Penskalaan Gaya

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1, penskalaan gaya dilakukan apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung menggunakan persamaan 2.11, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dengan persamaan rumus dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_s = \frac{V}{V_t} \quad (2.12)$$

Faktor skala baru persamaan rumus dapat dituliskan sebagai berikut:

$$SF = g \times \frac{I_e}{R} \times F_s \quad (2.13)$$

Keterangan:

V = gaya geser dasar seismik (kN)

V_t = gaya geser dasar hasil analisis ragam (kN)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2.2.4.14 Distribusi Horizontal Gaya Seismik

Geser tingkat desain seismik harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik ditingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma, harus ditentukan dari persamaan sebagai berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.14)$$

Keterangan:

F_i = geser dasar seismik (V) pada tingkat ke-I (kN)

2.2.5 Kombinasi Beban untuk Metode Ultimit

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 4.2.2 adalah sebagai berikut:

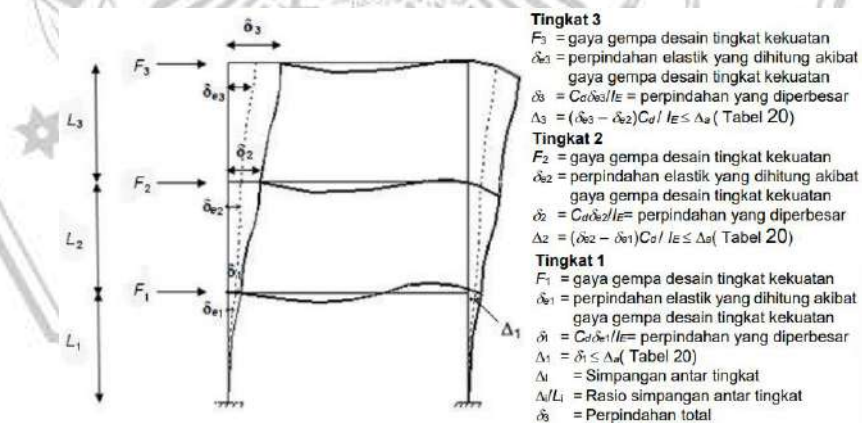
- 1,4D
- $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- $1,2D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- $0,9D + 1,0W$
- $1,2D + E_v + E_h + L$
- $0,9D - E_v + E_h$

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 beberapa pengecekan sebagai berikut:

2.3.1 Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada tingkat teratas dengan tingkat dibawahnya dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(Sumber: SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6)

Penentuan nilai simpangan pusat massa antar tingkat yang berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6 dengan persamaan sebagai berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.15)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} = simpangan ditingkat-x

I_e = faktor keutamaan gempa

Pada analisa simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) yang telah tercantum dalam SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1, dimana nilai simpangan antar tingkat izin (Δ_a) dapat ditentukan sesuai dengan tabel 2.13 berikut:

Tabel 2.13 Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_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	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726-2019 pasal 7.12.1)

2.3.2 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 drift storey sesuai SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1. Batas drift ratio sebesar 0,0025 dan dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut :

$$drift\ ratio = \frac{\Delta_{TOP}}{H} \leq 0,0025 \quad (2.16)$$

2.3.3 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 ditinjau jika bangunan memiliki simpangan lateral yang cukup besar atau pada bangunan dengan ketinggian diatas 40 m atau 10 tingkat. Oleh karena itu, pengaruh efek P-delta tidak diperhitungkan dikarenakan pada objek penelitian memiliki 4 lantai dimana bangunan tidak memiliki simpangan lateral yang besar.

2.3.4 Daktilitas

Daktilitas adalah sebuah kemampuan dari struktur baja untuk melakukan deformasi yang besar tanpa mengalami kegagalan (*failure*). Hal ini dikarenakan nilai properties (kuat leleh) baja yang sangat baik sehingga tidak mengalami kegagalan yang bersifat mendadak (getas) (handbook Yudha Lesmana, 2021).

2.4 Perencanaan Struktur

2.4.1 Pelat komposit

2.4.1.1 Dek Baja Gelombang

Dek baja gelombang dapat digunakan sebagai bekisting pada pelat beton serta sebagai tulangan positif pada pelat beton. Penggunaan dek baja gelombang juga dapat dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok (Agus Setiawan, 2008).

Penggunaan dek baja bergelombang harus memperhatikan persyaratan yang ada pada SNI 1729-2020 Pasal I3.2c yaitu sebagai berikut

- a. Tinggi rusuk nominal tidak melebihi dari 75 mm. lebar rata-rata rusuk atau hauns beton (W_r) tidak boleh kurang dari 50 mm, tetapi tidak boleh diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum didekat bagian paling atas dek baja

- b. Slab beton harus disambung ke balok baja menggunakan angkur baja stad berkepala yang dilas baik melalui dek atau langsung ke penampang melintang baja.
- c. Tebal slab diatas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm
- d. Dek baja harus diangkur ke semua komponen struktur pendukung pada spasi tidak lebih dari 460 mm.

2.4.1.2 Momen Positif Pelat

Pada perencanaan ini, pelat direncanakan dengan pelat satu arah, dimana pada pelat satu arah tulangan positifnya menggunakan *floordeck*. nilai kuat lentur nominal untuk pelat satu arah dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Mn = A_s f_y \left(d_{eff} - \frac{a}{2} \right) \quad (2.17)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad (2.18)$$

$$\phi Mn > Mu \quad (2.19)$$

2.4.1.3 Momen Negatif Pelat

Dalam merencanakan sebuah pelat juga perlu diperhatikan nilai kuat lentur negatif dari pelat tersebut. Sehingga nilai kuat lentur nominal dapat diperhitungan menggunakan rumus berikut:

$$tebal\ efektif\ pelat = tebal\ pelat - \frac{tinggi\ floor\ deck}{2} \quad (2.20)$$

$$d_{renc} = tebal\ efektif\ pelat - selimut\ beton - \frac{1}{2} diameter\ tulangan \quad (2.21)$$

Rasio tulangan balance dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.22)$$

Rasio tulangan maksimum dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b \quad (2.23)$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 nilai rasio tulangan minimum adalah sebagai berikut:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.24)$$

Nilai momen tahanan dapat diperhitungkan menggunakan rumus berikut

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} \quad (2.25)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 f'c} \quad (2.26)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) \quad (2.27)$$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times h \quad (2.28)$$

Dalam menghitung nilai kuat lentur nominal diperlukan juga luas penampang tulangan aktual (A_s) yang dapat disesuaikan dengan tabel 2.15 berikut:

Tabel 2.14 Luas Penampang Wiremesh

Diameter batang (mm)	Luas Penampang (cm ²)						
	Jarak Spasi (mm)						
	50	75	100	125	150	175	200
4	2,51	1,68	1,26	1,01	0,84	0,72	0,63
5	3,93	2,62	1,96	1,57	1,31	1,12	0,98
6	5,65	3,77	2,83	2,26	1,88	1,62	1,41
7	7,7	5,13	3,85	3,08	2,57	2,2	1,92
8	10,05	6,7	5,03	4,02	3,35	2,87	2,51
9	12,72	8,48	6,36	5,09	4,24	3,64	3,18
10	15,71	10,47	7,85	6,28	5,24	4,49	3,93
12	22,62	15,08	11,31	9,05	7,54	6,46	5,65
16	40,21	26,81	20,11	16,08	13,4	11,49	10,05

(Sumber: Katalog Wire Mesh PT Union Metal, 2021)

$$Mn = A_s F_y \left(d_{renc} - \frac{a}{2} \right) \quad (2.29)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b} \quad (2.30)$$

$$\phi Mn > Mu \quad (2.31)$$

2.4.1.4 Kontrol Lentutan

Kontrol lentutan diambil berdasarkan pelat yang mempunyai bentang dan momen terbesar. Namun sebelum itu, dilakukan pemeriksaan terhadap ketebalan minimum pelat untuk mengetahui batas lentutan yang diizinkan. Berdasarkan

SNI 2847-2019 Pasal 7.3.1.1, Berikut adalah persamaan untuk mencari nilai H_{min} :

- Untuk $f_y < 420$ MPa

$$h_{min} = h \quad (2.32)$$

- Untuk $f_y > 420$ MPa

$$h_{min} = h \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad (2.33)$$

Tabel 2.15 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Non Prategang

Kondisi Perletakan	Ketebalan Minimum (h)
Perletakan sederhana	1/20
Menerus satu sisi	1/24
Menerus dua sisi	1/28
kantilever	1/10

(Sumber: SNI 2847-2019 pasal 7.3.1.1)

Apabila nilai tinggi minimum lebih besar dari nilai tinggi pelat maka diperlukan kontrol lendutan yang dapat diperhitungkan menggunakan rumus berikut:

$$\Delta = \frac{5 \times q \times l^4}{384EI} \quad (2.34)$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 24.2.2 lendutan yang dihitung tidak boleh melebihi batasan yang ada pada tabel 2.16 berikut:

Tabel 2.16 Lendutan Izin Maksimum

Jenis Komponen Struktur	Kondisi		Lendutan yang diperhitungkan	Batas Lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen non struktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan besar		Lendutan seketika akibat Lr dan R maksimum	1/180
Lantai			Lendutan seketika akibat L	1/360
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan	Mungkin akan rusak akibat	Bagian dari lendutan total yang terjadi	L/480

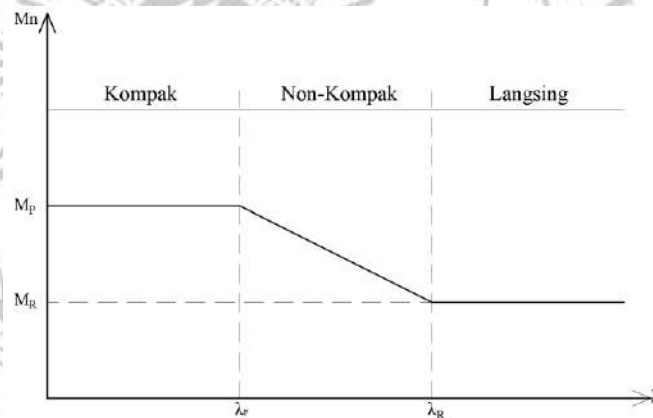
	dengan elemen nonstruktural	lendutan yang besar	setelah pemasangan elemen nonstruktural	
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar		1/240

(Sumber: SNI 2847-2019 Pasal 24.2.2)

2.4.2 Balok Komposit

2.4.2.1 Klasifikasi Profil Baja

Klasifikasi profil baja dilakukan sebelum melakukan perencanaan struktur khususnya pada elemen lentur guna mencegah efek tekuk lokal pada elemen lentur saat memikul moment. Klasifikasi dilakukan dengan cara membandingkan lebar terhadap tebal (b/t atau λ) pada bagian penyusun penampang profil. Klasifikasi penampang elemen lentur dibagi menjadi 3 bagian yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.2 Klasifikasi Penampang Lentur

(Sumber: Handbook Analisa dan Desain Struktur Baja Yudha Lesmana, 2021)

a. Penampang kompak

Profil kompak mampu memikul momen lebih besar hingga serat terluarnya mengalami leleh (F_y). Dengan kondisi tersebut, profil kompak paling efisien dalam memanfaatkan kekuatan material. Penampang kompak memiliki batasan $\lambda < \lambda_p$

b. Penampang non kompak

Penampang non kompak memiliki tingkat efisiensi satu tingkat lebih kecil dibanding penampang kompak. Adapun batasan rasio untuk penampang non kompak $\lambda_P < \lambda < \lambda_R$

c. Penampang langsing

Penampang langsing tergolong penampang kurang efisien apabila ditinjau dari segi pemakaian material, khususnya material bermutu tinggi. Adapun batasan rasio untuk penampang non kompak $\lambda > \lambda_R$

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_P (kompak/nonkompak)	λ_R (nonkompak/langsing)
Elemen tidak diperkaku	1	Sayap profil I gilas panas, kanal, dan T	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	2	Sayap profil tersusun bentuk I simetris ganda dan tunggal	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$
	3	Kaki siku tunggal	b/t	$0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	4	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami	b/t	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

		lentur terhadap sumbu lemah			
	5	Badan T	d/t	$0,84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Elemen tidak diperkaku	6	Badan profil I simetris ganda dan kanal	h/t _w	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	7	Badan profil I simetris tunggal	h _c /t _w	$\frac{\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0,54 \frac{M_p}{M_y} - 0,09\right)^2} \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$
	8	Sayap PSR persegi panjang	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	9	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	10	Badan PSR persegi panjang dan boks	h/t	$2,42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	11	PSR bundar	D/t	$0,07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,31 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	12	Sayap penampang boks	b/t	$1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

(Sumber: SNI 1729-2020 Pasal B4. Tabel B4.1b)

Untuk komponen struktur yang didesain sebagai komponen struktur daktail sedang rasio lebar terhadap tebal elemen tekan tidak boleh melebihi batasan rasio lebar terhadap tebal (λ_{md}). Sedangkan untuk komponen struktur dengan daktail tinggi, rasio lebar terhadap tebal elemen tekan tidak boleh melebihi batasan rasio lebar terhadap tebal (λ_{hd}).

Tabel 2.18 Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tekan untuk Komponen Struktur Daktail Sedang dan Daktail Tinggi

	Deskripsi dari Elemen	Rasio lebar terhadap tebal	Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal	
			λ_{hd} Komponen Struktur Daktail Tinggi	λ_{md} Komponen Struktur Daktail Sedang
Elemen tak diperkaku	Sayap profil I, Kanal, dan T gilas atau tersusun; kaki profil siku tunggal atau ganda dengan pemisah; kaki bebas sepasang profil siku terhubung menerus	b/t	$0,32 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	Sayap profil fondasi tiang	b/t	Tidak berlaku	$0,48 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	Badan profil T	d/t	$0,32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0,40 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
Elemen diperkaku	Dinding PSR persegi	b/t	$0,65 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0,76 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
		b/t		

Sayap dari profil I kotak tersusun	h/t		
Pelat samping profil kotak tersusun dan dinding profil kotak tersusun yang digunakan sebagai breis diagonal	b/t		
Sayap profil kotak tersusun yang digunakan sebagai balok perangkai			
Badan profil I gilas atau tersusun dan kanal yang digunakan sebagai breis diagonal	h/t _w	$1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$

Elemen diperkaku	<p>Jika digunakan pada balok atau kolom dan mengalami tegangan tekan seragam akibat aksial, lentur dan kombinasi aksial-lentur:</p> <p>1) Dinding PSR persegi</p> <p>2) Sayap dan pelat samping profil I kotak, badan dan sayap profil kotak tersusun</p>	<p>b/t</p> <p>h/t</p>	<p>$0,65 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$</p>	<p>$1,18 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$</p>
------------------	---	-----------------------	---	---

Elemen diperkaku	Jika digunakan pada balok, kolom atau perangkai, sebagai pelat badan yang mengalami lentur atau kombinasi aksial-lentur:		Untuk $Ca \leq 0,114$ $2,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 1,04 Ca)$ Untuk $Ca > 0,114$ $0,88 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2,68 - Ca)$	Untuk $Ca \leq 0,114$ $3,96 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 3,04 Ca)$ Untuk $Ca > 0,114$ $1,29 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2,12 - Ca)$
	1) Badan profil I gilas atau tersusun	h/t_w	$\geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ Dengan Ca	$\geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ Dengan Ca
	2) Pelat samping profil I kotak	h/t	$= \frac{P_u}{\phi_c P_y} (DFBT)$ Ca $= \frac{\Omega_c P_a}{P_y} (DKI)$ $P_y = R_y F_y A_g$	$= \frac{P_u}{\phi_c P_y} (DFBT)$ Ca $= \frac{\Omega_c P_a}{P_y} (DKI)$ $P_y = R_y F_y A_g$
Elemen diperkaku Komposit	Badan profil kotak tersusun	h/t	$0,67 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1,75 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	Badan profil fondasi tiang H	h/t_w	Tidak berlaku	$1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	Dinding PSR bulat	D/t	$0,053 \frac{E}{R_y F_y}$	$0,062 \frac{E}{R_y F_y}$
	Dinding komponen struktur komposit terisi beton persegi	b/t	$1,48 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$2,37 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	Dinding komponen	d/t	$0,085 \frac{E}{R_y F_y}$	$0,17 \frac{E}{R_y F_y}$

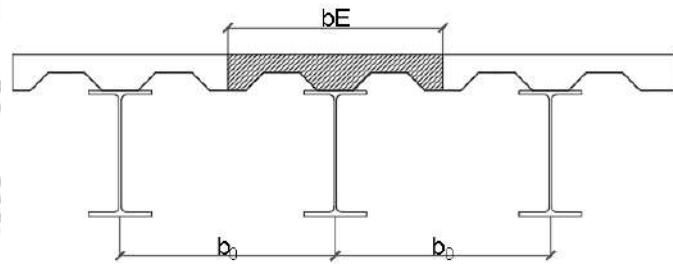
	struktur komposit terisi beton bundar			
--	--	--	--	--

(Sumber: SNI 7860-2020 Pasal D1.1b)

2.4.2.2 Lebar Efektif

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal I3.1a, lebar efektif dari suatu komponen struktur komposit dapat ditentukan sebagai berikut:

- $b_E \leq \frac{1}{8}$ bentang balok
- $b_E \leq \frac{1}{2}$ jarak ke sumbu balok yang berdekatan
- $b_E = b_0$



Gambar 2.3 Lebar Efektif Balok Komposit

(Sumber: Buku Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD
Agus Setiawan, 2008)

2.4.2.3 Kuat Lentur Nominal

- Kuat lentur positif

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal I3.2a kuat lentur positif desain ($\phi_b M_n$) dan kekuatan lentur positif yang diizinkan (M_n/Ω_b) harus ditentukan untuk keadaan batas leleh sebagai berikut:

$$- \text{Apabila } \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.35)$$

Mn harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit untuk keadaan batas leleh (momen plastis)

$$- \text{Apabila } \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.36)$$

Mn harus dihitung dari superposisi tegangan elastis, dengan memperhitungkan efek penopang, untuk keadaan batas leleh (momen leleh)

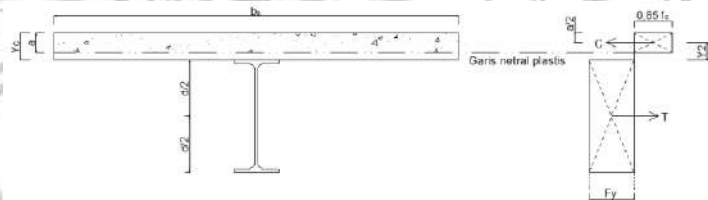
dalam menghitung menghitung momen plastis suatu balok komposit, harus dicari letak sumbu netral plastis yang bergantung pada perbandingan C dan T, sehingga diperoleh nilai gaya tekan dan tarik sebagai berikut:

$$C = 0,85 \times f'_c \times A_c \quad (2.37)$$

$$T = F_y \times A_s \quad (2.38)$$

Ada 3 kondisi distribusi tegangan plastis yang kemungkinan terjadi yaitu:

1. Jika Nilai $T \leq C$ sumbu netral plastis didalam pelat beton



Gambar 2.4 Distribusi Tegangan Plastis Kondisi 1

Volume pelat beton relatif besar, sehingga bila terjadi momen lentur positif maka profil baja mengalami leleh terlebih dahulu. Tinggi blok tegangan tekan pada pelat beton (a) dapat dihitung sebagai berikut.

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'_c \times b} \quad (2.39)$$

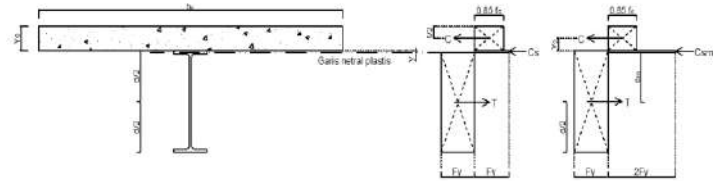
Asumsi benar jika $a < t_c$ jika pakai *floordeck*, atau $a < t$ pelat beton solid

$$Y_c = h_r + t_c \quad (2.40)$$

$$Y_2 = Y_c - \frac{1}{2}a \quad (2.41)$$

$$Mn = F_y \times A_s \times \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \quad (2.42)$$

2. Jika nilai $T > C$ sumbu netral plastis di baja (pelat sayap)



Gambar 2.5 Distribusi Tegangan Plastis Kondisi 2

Kondisi ini terjadi jika luas pelat beton relatif lebih kecil dibandingkan momen tarik profil baja. Oleh karena itu, ketika terjadi momen positif, profil baja juga masih mengalami desak. Hal ini terjadi jika $t_f > y > 0$ yang dihitung menggunakan rumusan berikut:

$$T = F_y A_s \quad (2.43)$$

$$C = 0,85 f_c' x b_E x t_c \quad (2.44)$$

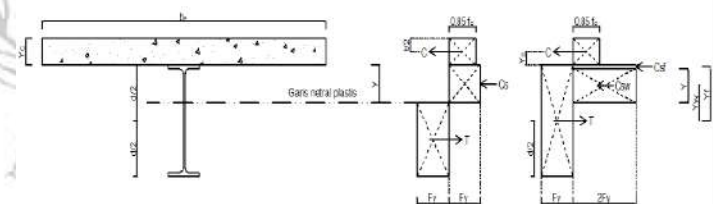
$$y = \frac{T - C}{b_f x f_y} \leq t_f \quad (2.45)$$

$$C_s = \frac{A_s F_y - C}{2} \quad (2.46)$$

$$C_{sm} = 2 F_y x y \quad (2.47)$$

$$Mn = Mp = C \left(Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + C_{sm} (d - y)^{1/2} \quad (2.48)$$

3. Jika nilai $T > C$ sumbu netral plastis di baja (pelat badan)



Gambar 2.6 Distribusi Tegangan Plastis Kondisi 3

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

$$T = F_y A_s \quad (2.49)$$

$$C = 0,85 f_c' x b_E x t_c \quad (2.50)$$

$$C_{sf} = b_f x t_f x 2F_y \quad (2.51)$$

$$y = \frac{T - C - C_{sf}}{t_w x F_y} \leq t_f \quad (2.52)$$

$$C_{sw} = 2F_y x y x t_w \quad (2.53)$$

$$y_f = \frac{1}{2}(d - t_f) \quad (2.54)$$

$$y_w = \frac{1}{2}(d + y) - t_f \quad (2.55)$$

$$M_n = M_p = C \left(Y_2 + \frac{1}{2}d \right) + (C_{sf} x y_f) + (C_{sw} x y_w) \quad (2.56)$$

b. Kuat lentur negatif

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal I3.2b, kekuatan lentur negatif tersedia harus ditentukan untuk penampang baja sesuai persyaratan SNI 1729-2020 Pasal F. Alternatif, kekuatan lentur negatif tersedia harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit, untuk keadaan batas leleh (momen plastis), dengan $\phi_b = 0,90$ (DFBT) dengan memenuhi batasan berikut:

- Balok baja adalah penampang kompak dan terbreis secara memadai.
- Angkur baja stad berkepala atau angkur kanal baja menyambungkan slab ke balok baja pada daerah momen negatif.
- Tulangan slab yang paralel pada balok baja disalurkan di lebar efektif slab.

Jika pada 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 ditimbulkan pada tulangan dapat dihitung sebagai berikut:

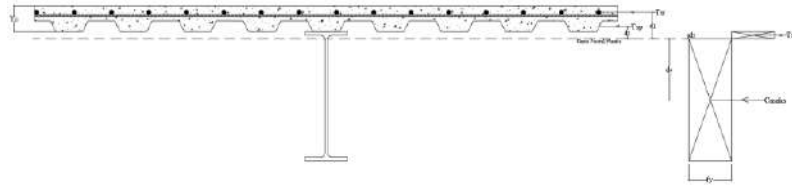
$$T_{sr} = A_{sr} F_{yr} \quad (2.57)$$

Kuat nominal yang ditimbulkan pada floordeck dapat dihitung sebagai berikut:

$$T_{sp} = A_{sp} F_{yp} \quad (2.58)$$

Gaya tekan maksimum dari profil baja sebagai berikut:

$$C_{maks} = A_s \times F_y \quad (2.59)$$



Gambar 2. 7 Distribusi Tegangan Akibat Momen Negatif

Karena $C_{maks} > T_{sr}$, maka sumbu netral plastis berada pada profil baja dan kesetimbangan gaya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T_{sr} + T_{sp} + T_s = C_{maks} - T_s \quad (2.60)$$

$$2T_s = C_{maks} - (T_{sr} + T_{sp}) \quad (2.61)$$

$$T_s = \frac{C_{maks} - (T_{sr} + T_{sp})}{2} \quad (2.62)$$

Jarak sumbu netral plastis

$$a_w = \frac{T_s}{F_y \times b_f} \quad (2.63)$$

Panjang gaya yang bekerja

$$d_1 = \left(Y_c - \frac{t_c}{2} \right) + a_w \quad (2.64)$$

$$d_2 = \frac{h_r}{2} + a_w \quad (2.65)$$

$$d_3 = \frac{a_w}{2} \quad (2.66)$$

$$d_4 = \frac{d}{2} - a_w \quad (2.67)$$

$$Mn = T_{sr} d_1 + T_{sp} d_2 + T_s d_3 + C_{maks} d_4 \quad (2.68)$$

2.4.2.4 Kuat Geser Nominal

Perhitungan kuat geser nominal mengacu pada SNI 1729-2020 Pasal G2 dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.69)$$

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_{v1} \quad (2.70)$$

$$A_w = d \times t_w \quad (2.71)$$

Keterangan:

V_n = kuat geser nominal (N)

F_y = tegangan leleh minimum (MPa)

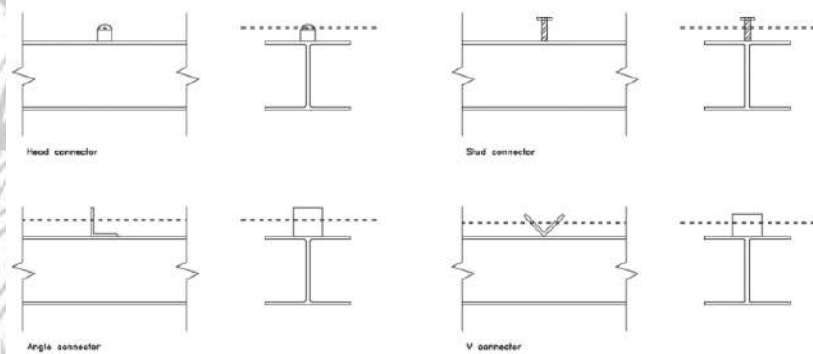
A_w = luas badan (mm^2)

E = modulus elastisitas baja (200.0000 MPa)

ϕ_v = factor tahanan geser (0,90)

C_{v1} = koefisien kekuatan geser badan (1,0)

2.4.2.5 Penghubung Geser Angkur Baja Stad Berkepala



Gambar 2. 8 Macam-Macam Penghubung Geser

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal I8, diameter angkur baja stad berkepala (d_{sa}) harus kurang dari 19 mm, kecuali apabila angkur digunakan hanya untuk transfer geser pada slab solid dalam hal ini, diameter angkur diperbolehkan 22 mm dan 25 mm. Selain itu, d_{sa} tidak boleh lebih besar dari 2,5 kali ketebalan logam dasar. Panjang angkur baja stad berkepala tidak boleh lebih kecil dari empat kali diameter stad dihitung dari dasar angkur stad berkepala pada bagian atas kepala stad sesudah pemasangan.

Kekuatan geser nominal satu angkur baja stad berkepala yang ditanam pada pelat beton solid atau pada pelat komposit dengan dek harus ditentukan sebagai berikut:

$$Q_n = 0,5A_{sa}\sqrt{f_c'E_c} \leq R_gR_pA_{sa}F_u \quad (2.72)$$

Keterangan:

A_{sa} = luas penampang angkur baja stad berkepala (mm^2)

E_c = modulus elastisitas beton

F_u = kekuatan tarik minimum (MPa)

Tabel 2.19 Nilai R_g dan R_p

Kondisi	R_g	R_p
Tanpa dek	1,0	0,75
Dek diorientasikan paralel terhadap profil baja		
$\frac{w_r}{h_r} \geq 1,5$	1,0	0,75
$\frac{w_r}{h_r} < 1,5$	0,85	0,75
Dek diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja		
Jumlah angkur baja stad berkepala yang memiliki 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 (mm)

w_r = lebar rata-rata rusuk (mm)

(Sumber: SNI 1729-2020 Pasal 18.2a)

setiap gaya geser horizontal pada antarmuka antara balok dan pelat beton harus diasumsikan disalurkan melalui baja stad berkepala atau angkur kanal baja. Untuk aksi komposit dengan beton yang mengalami tekan lentur, gaya geser nominal antara balok baja dan pelat beton yang disalurkan melalui angkur baja harus ditentukan sebagai nilai terendah dari keadaan batas kehancuran beton atau leleh tarik penampang baja.

a. Kehancuran beton

$$V' = 0,85f_c'A_c \quad (2.73)$$

- b. Leleh tarik penampang baja

$$V' = F_y A_s \quad (2.74)$$

Keterangan:

A_s = Luas penampang baja (mm^2)

A_c = luas pelat beton (mm^2)

Maka untuk jumlah angkur baja yang diperlukan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$n = \frac{V'}{Q_n} \quad (2.75)$$

Keterangan:

n = jumlah angkur yang dibutuhkan

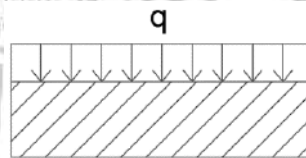
V' = gaya geser horizontal

Q_n = kuat geser nominal (N)

2.4.2.6 Lendutan

Dalam merencanakan balok juga diperlukan kontrol terhadap lendutan. Lendutan ditinjau akibat pengaruh beban mati dan beban hidup. Kontrol terhadap lendutan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

- a. Akibat beban merata



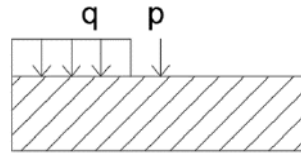
Gambar 2.9 Balok Statis Tak Tentu dengan Beban Merata

Lendutan akibat beban merata

$$\Delta_{max} = \frac{(DL)l^4}{384 EI} \quad (2.76)$$

$$\Delta_x = \frac{(DL)l^2}{24EI} (l - x)^2 \quad (2.77)$$

- b. Akibat beban merata dan beban terpusat ditengah

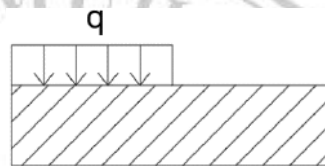


Gambar 2.10 Balok Statis Tak Tentu dengan Beban Merata dan Terpusat

$$\Delta_{max} = \frac{Pl^3}{192EI} \quad (2.78)$$

$$\Delta_x \left(X < \frac{1}{2} \right) = \frac{Px^3}{48EI} (3l - 4x) \quad (2.79)$$

- c. Akibat beban merata diujung balok kantilever



Gambar 2.11 Balok Statis Tak Tentu dengan Beban Merata

$$\Delta_{max} = \frac{wl^4}{8EI} \quad (2.80)$$

$$\Delta_x = \frac{W}{24EI} (x^4 - 4l^3x + 3L^3) \quad (2.81)$$

- d. Akibat beban terpusat diujung balok kantilever



Gambar 2.12 Beban Terpusat di Ujung Balok Kantilever

$$\Delta_{max} = \frac{Pl^3}{3EI} \quad (2.82)$$

$$\Delta_x = \frac{P}{6EI} (2l^3 - 3l^2x + Tx^3) \quad (2.83)$$

2.4.3 Kolom

Struktur kolom merupakan elemen struktur yang memikul beban aksial tekan dan lentur secara bersamaan (Lesmana, 2021). Dalam merencanakan kolom pada suatu struktur baja, ada beberapa tahapan yang perlu diperhatikan dalam merencanakan kolom yaitu sebagai berikut:

2.4.3.1 Kuat Tekan Rencana

a. Klasifikasi penampang untuk tekan

Struktur yang mengalami tekan aksial, penampangnya harus diklasifikasikan sebagai penampang dengan elemen nonlangsing atau elemen langsing. Adapun batasan untuk penampang nonlangsing tidak boleh melebihi $\lambda \leq \lambda_r$ sedangkan batas penampang langsing $\lambda \geq \lambda_r$.

Tabel 2.20 Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan komponen Struktur yang Mengalami Aksial Tekan

	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal (λ)	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal, λ_r (nonlangsing/langsing)
Elemen tidak diperkaku	Sayap profil I gilaspanas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilaspanas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus sayap kanal, dan sayap T	$\frac{b}{t}$	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	$\frac{b}{t}$	$0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$
	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	$\frac{b}{t}$	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	Badan T	$\frac{d}{t}$	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Elemen	Badan profil I simetris ganda dan penampang	$\frac{h}{t_w}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

profil I tersusun dan kanal		
Dinding PSR persegi panjang	$\frac{b}{t}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	$\frac{b}{t}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Semua elemen diperkaku lainnya	$\frac{b}{t}$	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
PSR bulat	$\frac{d}{t}$	$0,11 \frac{E}{F_y}$
$kc = 4 \sqrt{\frac{h}{t_w}}$ tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,35 atau lebih besar dari 0,76 dalam perhitungan		

(Sumber: SNI 1729-2020 Pasal B4.Tabel B4.1a)

b. Panjang Efektif kolom

Panjang efektif kolom (L_c) adalah nilai kekakuan sebuah batang tekan dalam perencanaan struktur. Panjang efektif digunakan untuk menghitung kelangsingan sebuah struktur. Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal E2, panjang efektif dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$L_c = K \times L \quad (2.84)$$

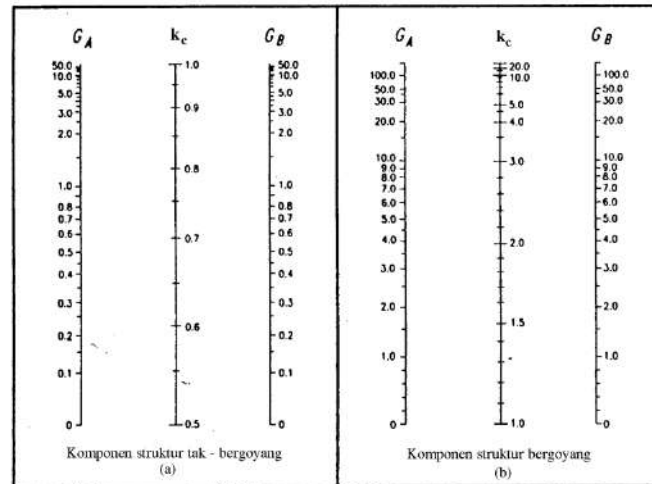
Keterangan:

L_c = Panjang efektif (mm)

L = panjang batang tekan (mm)

K = Faktor panjang efektif

Adapun untuk menentukan nilai faktor panjang efektif (K) dapat ditentukan menggunakan nomogram berikut



Gambar 2.13 Nomogram Nilai K untuk Struktur Portal

(Sumber: Handbook Analisa dan Desain Struktur Baja, Yudha Lesmana, 2021)

Pada gambar 2.7 struktur dibagi menjadi dua yaitu struktur tak bergoyang yang ujung dari struktur tetap pada sumbu lurus nya dan struktur bergoyang ujung dari struktur mengalami perpindahan arah lateral. Adapun persamaan untuk memperoleh nilai G_A dan G_B sebagai berikut:

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{Kolom}}{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{Balok}} \quad (2.85)$$

Keterangan:

G_A = perbandingan antara kekakuan kolom terhadap kekakuan balok (ujung atas kolom)

G_B = perbandingan antara kekakuan kolom terhadap kekakuan balok (ujung bawah kolom)

I = momen inersia kolom atau balok (mm^4)

L = panjang kolom atau balok (mm)

Berdasarkan SNI 1729 - 2020 Pasal E2, Nilai kelangsingan efektif $\left(\frac{Lc}{r}\right)$ dibatasi yaitu tidak melebihi 200.

Adapun persamaan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{Lc}{r} \leq 200 \quad (2.86)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.87)$$

Keterangan:

r = radius girasi (mm) (bisa dilihat dari tabel profil baja)

c. Kuat tekan nominal

Untuk komponen struktur tekan dengan elemen langsing mengacu pada SNI 1729-2020 Pasal E7, kuat tekan nominal (P_n) dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$P_n = F_{cr} A_e \quad (2.88)$$

Keterangan:

A_e = Penjumlahan luas efektif penampang (mm^2)

F_{cr} = tegangan kritis

Untuk menghitung tegangan kritis (A_e) mengacu pada SNI 1729-2020 Pasal E3 yaitu sebagai berikut:

- Apabila $\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$

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

- Apabila $\frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (2.90)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \quad (2.91)$$

Keterangan

E = modulus elastisitas baja (200.000 Mpa)

F_e = tegangan tekuk elastis (Mpa)

F_y = tegangan leleh minimum (Mpa)

r = radius girasi (mm)

untuk menentukan luas efektif (A_e) mengacu pada SNI 1729-2020 Pasal E7.1 Nilai A_e dapat diperoleh dengan mengurangi luas bruto (A_g) dengan luas setiap elemen langsing yang ditentukan sebagai $(b - b_e) t$. Atau bisa dituliskan rumus nya sebagai berikut:

$$A_e = A_g - (b - b_e) t \quad (2.92)$$

Lebar efektif (b_e) untuk elemen langsing ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{- Apabila } \lambda \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \\ & b_e = b \end{aligned} \quad (2.93)$$

$$\begin{aligned} & \text{- Apabila } \lambda > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \\ & b_e = b \left(1 - c_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \end{aligned} \quad (2.94)$$

$$F_{el} = \left(c_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 F_y \quad (2.95)$$

Keterangan

b = lebar elemen (mm)

c_1 = factor penyesuaian ketidaksempurnaan lebar efektif yang ditentukan dari tabel 2.21

λ = rasio lebar terhadap tebal

λ_r = batas rasio lebar terhadap tebal

F_{el} = tegangan tekuk elastis (MPa)

Tabel 2.21 Faktor Penyesuaian Ketidaksempurnaan Lebar Efektif c_1 dan c_2

Elemen Langsing	c_1	c_2
Elemen diperkaku kecuali dinding persegi panjang dan bujur sangkar PSR	0,18	1,31
Dinding persegi panjang dan bujur sangkar PSR	0,20	1,38
Semua elemen-elemen lain	0,22	1,49

(Sumber: SNI 1729-2020 Pasal E7.1)

2.4.3.2 Kuat Lentur Rencana

a. Kuat lentur pada sumbu mayor (sumbu X)

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal F5, untuk menentukan kuat lentur nominal dengan badan langsing terhadap sumbu mayor adalah sebagai berikut:

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc} \quad (2.96)$$

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200+300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1,0 \quad (2.97)$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \quad (2.98)$$

Keterangan

b_{fc} = lebar sayap tekan (mm)

t_{fc} = tebal sayap tekan (mm)

t_w = tebal badan (mm)

a_w =

R_{pg} = faktor reduksi kekuatan lentur

S_{xc} = Modulus penampang elastis pada sayap tekan (mm³)

b. Kuat lentur pada sumbu minor (sumbu Y)

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal F6, untuk menentukan kuat lentur nominal dengan badan langsing terhadap sumbu minor adalah sebagai berikut:

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1,6 F_y S_y \quad (2.99)$$

Keterangan

S_y = modulus penampang elastisitas terhadap sumbu y (mm³)

Z_y = modulus penampang plastis terhadap sumbu y (mm³)

2.4.3.3 Interaksi Lentur dan Gaya Tekan (Balok-Kolom)

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 berikut:

- Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.100)$$

- Apabila $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$

$$\frac{P_r}{2P_c} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.101)$$

Keterangan:

P_r = kuat aksial perlu (N)

P_c = kuat aksial tersedia (N)

M_r = kuat lentur perlu (N-mm)

M_c = kuat lentur tersedia (N-mm)

2.5 Perencanaan Sambungan

Dalam konstruksi baja, sambungan adalah bagian yang sangat penting dalam menyatukan elemen-elemen struktur menjadi satu kesatuan struktur yang stabil. Pada struktur baja sambungan yang paling umum digunakan adalah sambungan baut dan sambungan las.

2.5.1 Sambungan baut

2.5.1.1 Macam-Macam Jenis Baut

Beberapa jenis baut yang umumnya digunakan sebagai alat sambung pada konstruksi baja, antara lain:

- a. *Unfinished bolts* atau *ordinary bolts* atau *common bolts* merupakan jenis baut *carbon steels* yang memiliki sifat mirip dengan material baja A36. Baut jenis ini disebut juga dengan baut A307 dan memiliki kepala baut persegi untuk mengurangi biaya produksi, namun terkadang ada tersedia baut hexagonal. Biasanya, jenis baut ini digunakan pada struktur ringan (*light structure*) atau pada elemen struktur sekunder. Hal ini dikarenakan kekuatan baut A307 lebih rendah dibandingkan dengan baut mutu tinggi.
- b. *High strength bolts* merupakan jenis baut mutu tinggi yang terbuat dari *medium carbon* dan *alloy steel*. Baut jenis ini memiliki kekuatan tarik 2 kali atau lebih dari *unfinished bolts*. Baut ini dibagi menjadi dua tipe yaitu:

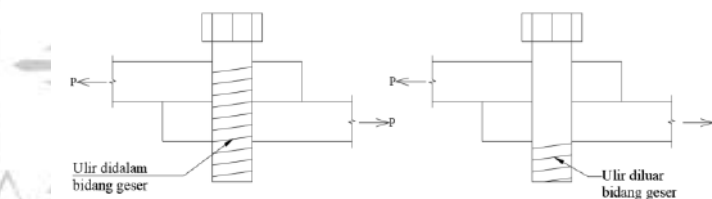
- Baut A325
- Baut A490

Berdasarkan pada SNI 1729-2020 Tabel J3.2 kuat nominal baut adalah sebagai berikut:

Tabel 2.22 Kuat Nominal Baut

Deskripsi pengencangan	Kekuatan tarik nominal, F_{nt} (MPa)	Kekuatan geser nominal, F_{nv} (MPa)	Keterangan
Baut A307	310	186	Buat non-struktural
Baut A325	620	372	Ulir baut didalam bidang geser
Baut A325	620	469	Ulir baut diluar bidang geser
Baut A490	780	469	Ulir baut didalam bidang geser
Baut A490	780	579	Ulir baut diluar bidang geser

(Sumber: SNI 1729-2020 Tabel J3.2)



Gambar 2.14 Kondisi Bagian Ulir Baut dalam Sambungan

(Sumber: Handbook Analisa dan Desian Struktur Baja Yudha Lesmana, 2021)

2.5.1.2 Ukuran dan Penggunaan Lubang

Berdasarkan SNI 1729-2020 Tabel J3.3M untuk membuat dimensi lubang nominal harus memerhatikan tabel 2.19 berikut:

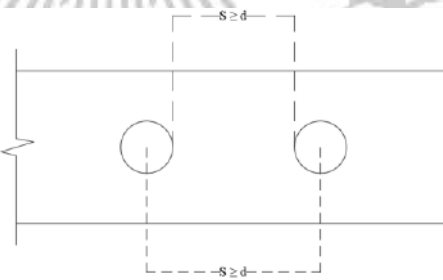
Tabel 2.23 Dimensi Lubang Nominal (mm)

Diameter Baut	Dimensi Lubang			Slot panjang (lebar x panjang)
	Standar (diameter)	Ukuran Berlebih (diameter)	Standar (diameter)	
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27	30	27 x 32	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
≥M36	d + 3	d + 8	(d + 3) x (d + 10)	(d + 3) x 2,5d

(Sumber: SNI 1729-2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, 2020)

2.5.1.3 Spasi Minimum Baut

Jarak as ke as antara lubang baut tidak boleh kurang dari 2,7d diameter nominal atau dapat ditulis dengan $S \geq 2,7d$. Bilangan 2,7 sering dibulatkan menjadi 3, sehingga jarak as ke as antar lubang baut menjadi $S \geq 3d$. Sedangkan jarak bersih antara lubang baut tidak boleh kurang dari d.



Gambar 2.15 Jarak Minimum Antar Lubang Baut

(Sumber: Handbook Analisa dan Desain Struktur Baja YudhaLesmana, 2021)

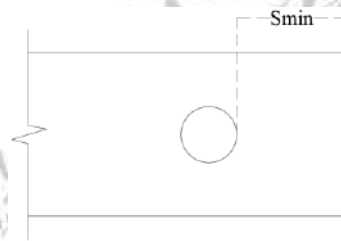
2.5.1.4 Jarak Tepi Minimum

Jarak baut dari pusat lubang ke bagian tepi sambungan berdasarkan pada SNI 1729-2020 Tabel J3.4M, hal ini dilakukan agar jarak baut tidak terlalu dekat dengan bagian tepi sehingga dapat menimbulkan sobek pada profil baja.

Tabel 2.24 jarak Tepi Minimum dari Pusat Lubang Standar ke Tepi Bagian yang Disambung (mm)

Diameter Baut (mm)	Jaral Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Diatas 36	1,25d

(Sumber: SNI 1729-2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, 2020)



Gambar 2.16 Jarak Minimum Baut Ke Bagian Tepi

(Sumber: Handbook Analisa dan Desain Struktur Baja YudhaLesmana, 2021)

2.5.1.5 Spasi Maksimum

Jarak maksimum dari pusat baut ke bagian tepi terdekat pada bagian-bagian yang saling tersambung harus 12 kali ketebalan dari bagian yang disambung, namun tidak boleh melebihi 150 mm.

2.5.1.6 Kuat Tarik dan Geser Baut

berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J3.6 kuat tarik atau geser desain (ΦR_n) dan kuat tarik atau geser izin (R_n/Ω) pada baut dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$R_n = F_n A_b \quad (2.102)$$

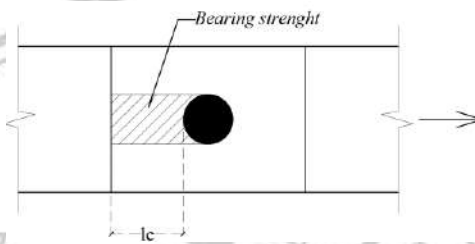
$$\Phi = 0,75 \text{ (DFBT)}$$

A_b = luas tubuh baut tidak berulir (mm^2)

F_n = tegangan tarik nominal (F_{nt}), atau tegangan geser (F_{nv}) dilihat dari tabel 2.22

2.5.1.7 Kekuatan Tumpu dan Sobek pada Lubang Baut

Bearing strenght atau kekuatan tumpu merupakan fenomena baut yang menumpu pada profil atau pelat sambungan, sehingga perlu dilakukan analisa terhadap profil/pelat sambungan yang menjadi tumpuan baut tersebut. Hal ini dilakukan untuk mencegah kegagalan pada profil pelat sambung akibat gaya yang disalurkan oleh baut.



Gambar 2.17 Bearing Strenght Sambungan Baut

(Sumber: Handbook Analisa dan Desain Struktur Baja YudhaLesmana, 2021)

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J3.10 untuk baut dengan lubang standar, *oversize*, dan *short-slot*, tidak tergantung arah bebannya. Dan juga berlaku untuk *long-slot* namun dengan arah gaya yang sejajar arah slot, maka nilai nominalnya adalah:

a. Tumpu

- Apabila deformasi dilubang baut pada beban layan adalah ditinjau desain

$$Rn = 2,4d \times t \times F_u \quad (2.103)$$

- Apabila deformasi dilubang baut pada beban layan adalah bukan merupakan tinjauan desain

$$Rn = 3d \times t \times F_u \quad (2.104)$$

Keterangan:

d = diameter baut (mm)

t = tebal material yang disambung (mm)

Fu = kekuatan tarik minimum (MPa)

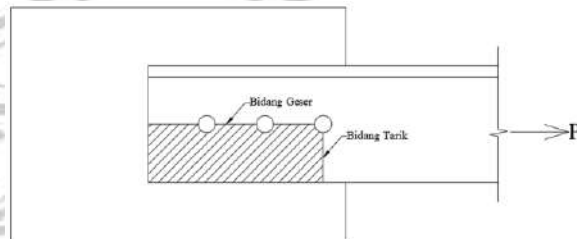
b. Sobek

- Apabila deformasi dilubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain

$$Rn = 1,2l_c t F_u \quad (2.105)$$

2.5.1.8 Kekuatan Geser Blok

Geser blok adalah ketahanan sobek dari pelat baja elemen tarik saat terjadi gaya tarik pada batang dan terjadi pada daerah sambungan. Geser blok dibagi menjadi dua bidang yaitu bidang tarik dan bidang geser. Bidang tarik merupakan bidang yang tegak lurus dengan arah gaya aksial tarik, sedangkan bidang geser merupakan bidang yang searah dengan gaya aksial tarik.



Gambar 2.18 Bidang Tarik dan Bidang Geser pada Sambungan Baut

(Sumber: Handbook Analisa dan Desain Struktur Baja YudhaLesmana, 2021)

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J4.3, kekuatan geser blok dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Rn = 0,60F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0,60F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad (2.106)$$

Keterangan:

F_y = tegangan leleh minimum material baja (MPa)

F_u = kekuatan tarik minimum material baja (MPa)

Φ = 0,75 (DFBT)

A_{gv} = luasan *gross* (utuh) pada bidang geser (mm^2)

A_{nv} = luasan neto pada bidang geser (mm^2)

A_{nt} = luasan neto pada bidang tarik (mm^2)

U_{bs} = 1,0 bila tegangan tarik seragam; 0,5 bila tegangan tarik tidak seragam

2.5.2 Sambungan Las

Suatu proses penyambungan logam dengan membuat bagian yang disambung melebur menjadi satu kesatuan.

2.5.2.1 Klasifikasi Las

Berdasarkan penggunaan sambungan las pada struktur las dibagi menjadi tiga jenis las yaitu sebagai berikut:

- a. Las sudut, biasa digunakan pada bagian elemen struktur yang saling *overlap* satu dengan yang lain
- b. Las tumpul, digunakan untuk menghubungkan elemen dalam satu level bidang yang sama tanpa adanya *overlap* antara elemen
- c. *plug and slot welds*, jenis las ini tidak cocok digunakan untuk menahan beban (khususnya Tarik) yang bekerja tegak lurus dari arah las).

2.5.2.2 Tebal Efektif Las Sudut

Nilai tebal efektif las dapat diperoleh dengan rumus berikut:

- a. Las sudut sama kaki

$$t_e = 0,707 w \quad (2.107)$$

- b. Las sudut tidak sama kaki

$$t_e = \frac{w \times b}{\sqrt{w^2 + b^2}} \quad (2.108)$$

Tebal efektif (t_e) digunakan sebagai parameter untuk menghitung luasan las, yaitu:

$$A_{we} = t_e l_e \quad (2.109)$$

Keterangan:

t_e = tebal efektif las (mm)

w = ukuran kaki las (mm)

A_{we} = luas efektif las (mm²)

l_e = Panjang efektif las (mm)

2.5.2.3 Tebal Minimum Las Sudut

Ketebalan minimum las sudut mengacu pada SNI 1729-2020 Tabel J2.4 yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.25 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan profil dari bagain paling tipis yang tersambung	Ukuran kaki (w) minimum las sudut (mm)
---	--

Sampai dengan 6	3
Lebih besar dari 6 s/d 13	5
Lebih besar dari 13 s/d 19	6
Lebih besar dari 19	8

(Sumber: SNI 1729-2020 Tabel J2.4)

2.5.2.4 Tebal Maksimum Las Sudut

Berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J2.2.2b.b, tebal maksimum las sudut adalah sebagai berikut:

- Apabila tebal profil yang disambung kurang dari 6 mm, maka dimensi kaki las sudut tidak boleh lebih besar dari tebal material ($w \leq t_{\text{profil}}$)
- Apabila tebal profil yang disambung sama dengan atau lebih dari 6 mm, maka $w \leq (t_{\text{profil}} - 2 \text{ mm})$

2.5.2.5 Faktor Reduksi Terkait Panjang Las

Pada saat menggunakan las sudut, panjang las perlu diperhatikan selama proses desain. Hal ini disebabkan adanya faktor reduksi yang perlu diperhitungkan apabila panjang las yang digunakan tidak sesuai dalam SNI 1729-2020 Pasal J2.2.2b.d. yaitu sebagai berikut:

- Apabila $\frac{l}{w} \leq 100$, maka panjang efektif las sama dengan panjang aktual las
- Apabila $\frac{l}{w} \geq 100$, maka panjang efektif las harus direduksi dengan faktor β

$$\beta = 1,2 - 0,002 \frac{l}{w} \leq 1,0 \quad (2.110)$$

Keterangan:

l = panjang aktual las (mm)

w = ukuran kaki las (mm)

- Apabila $\frac{l}{w} \geq 300$, maka panjang las harus diambil sebesar $180w$.

2.5.2.6 Kuat Nominal

Persyaratan kekuatan dari las harus terpenuhi persamaan berikut:

$$\phi R_n \geq R_u \quad (2.111)$$

Adapun rumus Kuat nominal adalah sebagai berikut:

$$\phi R_n = 0,75 F_{nw} A_{we} \quad (2.112)$$

Keterangan:

A_{we} = luas efektif las (mm^2)

F_{nw} = tegangan nominal dari logam las (MPa)

ϕ = 0,75 (DFBT)

2.5.3 Sambungan *Bolts Stiffened End Plate* 4ES (BSEP 4ES)

Sambungan BSEP adalah sambungan pelat ujung berbaut yang dilakukan dengan cara pengelasan balok ke pelat ujung dan pembautan pelat ujung ke sayap kolom.

2.5.3.1 Desain Pelat Ujung dan Baut

Berdasarkan SNI 7972-2020 Pasal 6.8.1, berikut tahapan-tahapan dalam mendesain pelat ujung dan baut

a. Menentukan momen pada muka kolom

$$M_f = M_{pr} + V_u S_h \quad (2.113)$$

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_e \quad (2.114)$$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1,2 \quad (2.115)$$

$$S_h = L_{st} + t_p \quad (2.116)$$

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravitasi} \quad (2.117)$$

Keterangan:

R_y = rasio tegangan leleh

Z_e = modulus penampang plastis efektif (mm^3)

C_{pr} = faktor untuk memperkirakan kekuatan puncak sambungan

M_{pr} = momen maksimum pada sendi plastis (N-mm)

S_h = jarak dari muka kolom ke sendi plastis (mm)

V_u = gaya geser pada ujung balok (N)

b. Menentukan konfigurasi sambungan pelat ujung

Dalam menentukan konfigurasi sambungan pelat ujung mengacu pada SNI 7972-2020 Tabel 6.1 yang diperlihatkan dalam tabel berikut:

Tabel 2. 26 Pembatasan Parametrik pada Prakualifikasi

Dengan pengaku dengan Empat-Baut (4ES)		
Parameter	Maksimum (mm)	Minimum (mm)
t_{bf}	19	10
b_{bf}	229	152
d	610	349
t_p	38	13
b_p	273	178
g	152	83
P_{fi}, p_{fo}	140	44

Keterangan:

b_{bf} = lebar sayap balok (mm)

b_p = lebar pelat ujung (mm)

d = tinggi penampang balok penyambung (mm)

p_{fi} = jarak vertikal dari bagian dalam (mm)

p_{fo} = jarak vertikal dari bagian luar (mm)

t_{bf} = tebal sayap balok (mm)

t_p = tebal pelat ujung (mm)

(Sumber: SNI 7972-2020 Tabel 6.1)

c. Menentukan diameter baut

Untuk sambungan empat baut menggunakan rumus berikut:

$$d_{b\ reqtd} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi\phi_n F_{nt}(h_o h_1)}} \quad (2.118)$$

Keterangan:

F_{nt} = kekuatan tarik nominal baut (MPa)

h_i = jarak dari sumbu sayap tekan balok ke sumbu desetan baut tarik (mm)

h_o = jarak dari sumbu sayap tekan ke deretan baut sisi tarik (mm)

$$\phi_n = 0,90$$

- d. Diameter baut yang digunakan tidak boleh kurang dari yang disyaratkan dalam SNI 7972-2020 Pasal 6.8.1 langkah 3.
- e. Menentukan tebal pelat ujung

$$t_{p,req} = \sqrt{\frac{1,11 M_f}{\phi_d F_{yp} Y_p}} \quad (2.119)$$

Keterangan:

F_{yp} = tegangan leleh minimum (MPa)

Y_p = parameter mekanisme garis leleh pelat ujung (mm)

ϕ_d = 1,00

Adapun untuk menentukan parameter mekanisme garis leleh pelat adalah sebagai berikut:

Geometri Pelat-Ujung dan Pola Garis Leleh		Model Gaya Baut
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	Kasus 2 ($d_e > s$)	
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	$Y_p = \frac{b_e}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_2(d_e + p_{fo})]$	
Kasus 2 ($d_e > s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_2(s + p_{fo})]$	
$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$		Catatan: Jika $p_{fi} > s$, gunakan $p_{fi} = s$

Gambar 2.19 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang dengan Pengaku dengan Empat Baut
(Sumber: SNI 7972-2020 Pasal 6.8.1 Tabel 6.3)

- Untuk Kasus 1 ($d_e \leq S$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_2(d_e + p_{fo})] \quad (2.120)$$

- Untuk kasus 2 ($d_e > S$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_2(s + p_{fo})] \quad (2.121)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad (2.122)$$

f. Tebal pelat (t_p) yang dipilih tidak kurang dari nilai yang disyaratkan

g. Menentukan gaya sayap balok terfaktor

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d - t_{bf}} \quad (2.123)$$

Keterangan:

d = tinggi penampang balok (mm)

t_{bf} = tebal sayap balok (mm)

h. Desain tebal pengaku pelat ujung

$$t_s \geq t_{bw} \left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right) \quad (2.124)$$

Keterangan:

t_{bw} = tebal badan balok (mm)

t_s = tebal pengaku pelat ujung (mm)

F_{yb} = tegangan leleh minimum material balok (MPa)

F_{ys} = tegangan leleh minimum material pengaku (MPa)

Untuk mencegah terjadinya tekuk lokal pelat pengaku, ukuran lebar terhadap tebal harus memenuhi persamaan rumus berikut:

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (2.125)$$

Keterangan:

h_{st} = tinggi pengaku (mm)

i. Kekuatan runtuh geser baut

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n n_b F_{nv} A_b \quad (2.126)$$

Keterangan:

n_b = jumlah baut pada sayap tekan
= 4 untuk sambungan 4ES

A_b = luas bruto baut nominal (mm^2)

F_{nv} = kekuatan geser baut nominal (MPa)

V_u = gaya geser (N)

j. Periksa kegagalan tumpu baut/sobek dari pelat ujung dan sayap kolom

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n n_i r_{ni} + \phi_n n_o r_{no} \quad (2.127)$$

Keterangan:

- n_i = jumlah baut dalam
= 2 baut untuk sambungan 4ES
- n_o = jumlah baut terluar
= 2 baut untuk sambungan 4ES
- r_{ni} = $1,2 L_c t F_u < 2,4 d_b t F_u$ untuk setiap baut dalam
- r_{no} = $1,2 L_c t F_u < 2,4 d_b t F_u$ untuk setiap baut luar
- L_c = jarak bersih antara tepi lubang dan tepi lubang (mm)
- F_u = kekuatan tarik minimum (MPa)
- d_b = diameter baut (mm)
- t = tebal pelat ujung (mm)

- k. Desain las sayap ke pelat ujung dan las badan ke pelat ujung yang berdasarkan SNI 7972-2020 Pasal 6.7.6

2.5.3.2 Desain di bagian Kolom

- a. Periksa sayap kolom untuk pelelehan lentur

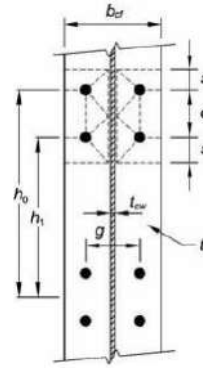
$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1,11 M_f}{\phi_a F_{yc} Y_c}} \quad (2.128)$$

Keterangan:

- F_{yc} = tegangan leleh minimum kolom (MPa)
- Y_c = parameter mekanisme garis leleh sayap kolom tanpa pengaku (mm)
- t_{cf} = tebal sayap kolom (mm)

Adapun untuk menentukan nilai Y_c adalah sebagai berikut:

- sayap kolom tanpa pengaku

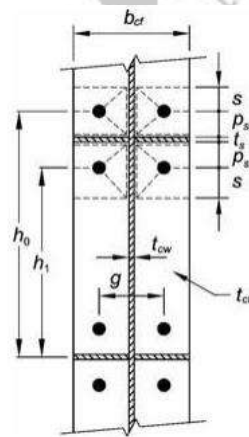


Gambar 2.20 Geometri Sayap Kolom Tanpa Pengaku

(Sumber: SNI 7972-2020 Tabel 6.5)

$$Y_c = \frac{b_{ef}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_o \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(S + \frac{3C}{4} \right) h_o \left(S + \frac{C}{4} \right) + \frac{C^2}{2} \right] + \frac{g}{2} \quad (2.129)$$

- Sayap kolom diperkaku



Gambar 2.21 Geometri Sayap Kolom Dengan Pengaku

$$Y_c = \frac{b_{ef}}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{si}} \right) + h_o \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{so}} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 (S + p_{si}) h_o (S + p_{so}) \right] \quad (2.130)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_{ef} g} \quad (2.131)$$

Jika $p_{si} > S$, maka gunakan $p_{si} = S$

Apabila persamaan 2.129 tidak terpenuhi, maka ukuran kolom perlu ditambah atau tambah pelat menerus

b. Tinjau kuat lentur sayap kolom

Kuat desain lentur sayap kolom dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d F_{yc} Y_c t_{cf}^2 \quad (2.132)$$

$$\phi_d R_n = \frac{\phi_d M_{cf}}{(d - t_{bf})} \quad (2.133)$$

c. Tinjau kuat leleh badan kolom tanpa pengaku

$$F_{fu} \leq \phi_d R_n \quad (2.134)$$

$$R_n = C_t (6k_c + t_{bf} + 2t_p) F_{yc} t_{cw} \quad (2.135)$$

Keterangan:

C_t = 0,5 jika jarak dari kolom bagian atas ke muka bagian atas sayap balok adalah kurang dari tinggi penampang kolom adalah 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)

apabila persyaratan kekuatan pada persamaan 2.134 tidak dipenuhi maka diperlukan pelat penerus badan.

d. Tinjau kuat tekuk badan kolom tanpa pengaku

$$F_{fu} \leq \phi R_n \quad (2.136)$$

$$R_n = \frac{24t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \quad (2.137)$$

Keterangan:

ϕ = 0,75

h = jarak antar sayap dikurangi radius profil (mm)

jika persyaratan pada persamaan 2.136 tidak terpenuhi, maka diperlukan pelat penerus badan kolom.

e. Tinjau kuat lipat badan kolom tanpa pengaku

$$F_{fu} \leq \phi R_n \quad (2.138)$$

$$R_n = 0,80 t_{cw}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}} \quad (2.139)$$

$$N = b_f + 2w + 2t_p \quad (2.140)$$

Keterangan:

d_c = tinggi penampang kolom (mm)

t_p = tebal pelat ujung (mm)

w = ukuran kaki las (mm)

f. Desain pelat menerus

- Menentukan kuat perlu pelat pengaku

$$F_{su} = F_{fu} - \min(\phi R_n) \quad (2.141)$$

- Lebar pelat menerus

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal E3.6f.2 lebar pelat menerus dapat ditentukan berdasarkan sebagai berikut:

- 1) Untuk kolom profil I, pelat menerus harus, sedikitnya memanjang dari badan kolom ke titik yang berlawanan ujung sayap balok yang lebih lebar
- 2) Untuk kolom profil kotak, pelat menerus harus memanjang selebar penuh dari badan kolom ke pelat samping kolom.

- Ketebalan pelat menerus

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal E3.6f.2 ketebalan minimum pelat menerus dapat ditentukan sebagai berikut:

- 1) Untuk sambungan satu sisi, ketebalan pelat menerus harus sedikitnya 50% dari ketebalan sayap kolom
- 2) Untuk sambungan dua sisi, ketebalan pelat menerus harus sedikitnya 75% dari ketebalan yang paling tebal diantara sayap balok dikedua sisi kolom.

g. Tinjau zona panel

- Kekuatan geser nominal

Berdasarkan SNI 7860-2020 Pasal E3.6.6e kekuatan geser desain adalah $\phi_v R_n$ dengan $\phi_v = 1,00$ (DFBT). Kekuatan geser nominal (R_n) ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020 Pasal J10.6 kekuatan nominal zona panel badan untuk keadaan batas leleh geser ditentukan sebagai berikut:

- 1) Apabila $\alpha P_r \leq 0,4P_y$,

$$R_n = 0,60F_y d_c t_w \quad (2.142)$$

2) Apabila $\alpha P_r > 0,4P_y$

$$R_n = 0,60F_y d_c t_w \left(1,4 - \frac{\alpha P_r}{P_y}\right) \quad (2.143)$$

$$P_y = F_y A_g \quad (2.144)$$

Keterangan:

A_g = luas penampang bruto (mm^2)

F_y = tegangan leleh minimum (MPa)

P_r = kekuatan aksial perlu (N)

P_y = kekuatan leleh aksial kolom (N)

d_c = tinggi kolom (mm)

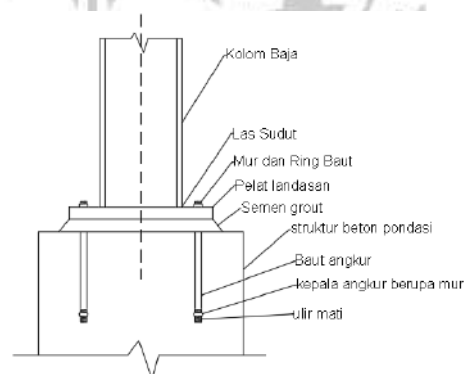
t_w = tebal badan kolom (mm)

α = 1,0 (DFBT)

2.5.4 Sambungan Kolom Ke Pondasi

2.5.4.1 Base Plate

Base plate merupakan tumpuan penghubung antara kolom dengan pondasi, yang terdiri dari plat dasar, angkur serta stiffener. *Base plate* memiliki kemampuan untuk mentransfer gaya atau momen dari struktur baja yang relatif lebih kuat ke struktur beton yang lebih lemah tanpa menimbulkan kerusakan.



Gambar 2.22 Konfigurasi base plate kolom

(Struktur Baja, Wiryanto Dewobroto, 2015)

a. Kuat tumpu beton

Apabila luas beton tumpuan lebih besar dari pada *base plate* maka kuat tumpu beton sebagai berikut:

$$P_p = 0,85 f'c \times A_1 \quad (2.145)$$

$$f_{pmax} = \Phi c \times 0,85 f'c \quad (2.146)$$

$$m = \frac{N-0,95d}{2} \quad (2.147)$$

$$n = \frac{B-0,8bf}{2} \quad (2.148)$$

Keterangan:

A_1 = luas beton yang di bebani (mm^2)

A_2 = luas base plate (mm^2)

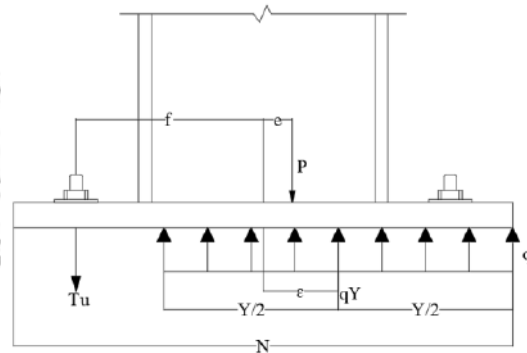
N = Panjang pelat dasar (mm)

B = lebar pelat dasar (mm)

b. Tegangan beton persegi

- Momen kecil tanpa angkur

Perencanaan *base plate* dengan beban eksentrisitas didasarkan pada asumsi distribusi tegangan beton berbentuk segitiga atau kondisi tegangan elastis. Namun, jika beban bertambah terus sampai kondisi batas, perilaku elastis terlewat dan masuk kondisi inelastis yaitu beton pada kondisi batas (*ultimate*).



Gambar 2.23 Distribusi Tegangan Persegi Eksentrisitas Kecil

(Struktur Baja, Wiryanto Dewobroto, 2015)

$$q_{max} = f_{pmax} \times B \quad (2.149)$$

$$Y = N - 2e \quad (2.150)$$

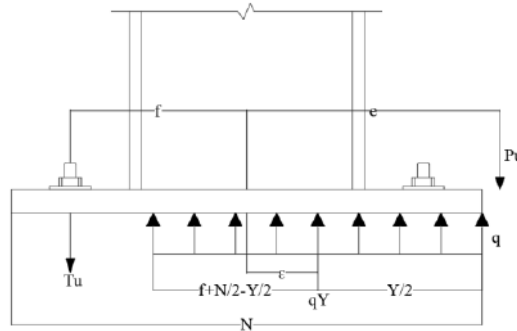
Jika ε jarak resultan tumpu beton terhadap pusat berat kolom

$$\varepsilon_{max} = \frac{N}{2} - \frac{Y_{min}}{2} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2q_{max}} \quad (2.151)$$

$$e_{kritis} = \varepsilon_{max} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2q_{max}} \quad (2.152)$$

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

- Momen besar dengan angkur



Gambar 2. 24 Distribusi Tegangan Persegi Eksentrisitas Besar
(Struktur Baja, Wiryanto Dewobroto, 2015)

Jika eksentrisitas beban tekan $e = \frac{Mu}{P_u} > e_{kritis}$, maka baut angkur diperlukan untuk mencegah *base plate* mengalami guling. Adapun untuk menentukan nilai T_u dan Y digunakan rumus berikut:

$$Y = \left(\frac{N}{2} + f\right) \pm \sqrt{\left(\frac{N}{2} + f\right)^2 - \frac{2P_u(e+f)}{q_{max}}} \quad (2.153)$$

Gaya pada angkur

$$T_u = qY - P_u \quad (2.154)$$

Tebal *base plate* dapat ditentukan sebagai berikut:

- Jika $Y \geq m$

$$t_p \geq 1,5 m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad (2.155)$$

- Jika $Y < m$

$$t_p \geq 2,11 \sqrt{\frac{f_p Y \left(m - \frac{Y}{2}\right)}{F_y}} \quad (2.156)$$

2.5.4.2 Baut Angkur ke Beton

Pemasangan baut angkur ke *base plate* adalah keharusan. Meskipun secara teoritis tidak perlu akan tetapi, baut angkur harus dipasang untukantisipasi terjadinya gaya tarik atau gaya geser yang tak terduga selama konstruksi.

a. Kuat baut angkur terhadap tarik.

Kuat tarik rencana baut angkur (ϕN_{sa}) ditentukan dari mutu bahan material dan dimensi fisik, yang dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\phi N_{sa} = \phi A_{se,N} \times f_{uta} \quad (2.157)$$

$$A_{se,N} = \frac{\pi}{4} \left(d_a - \frac{0,9743}{n_t} \right)^2 \quad (2.158)$$

Keterangan:

N_{sa} = kuat tarik nominal baut angkur

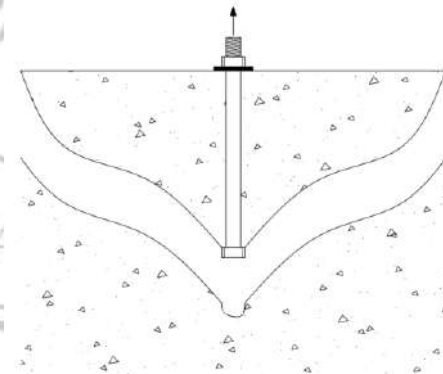
ϕ = faktor reduksi kuat baut terhadap tarik yaitu 0,75 (baja daktail)

$A_{se,N}$ = luas penampang efektif terhadap tarik

n_t = jumlah ulir per mm

f_{uta} = kuat tarik baut angkur (Mpa)

b. Kuat jebol beton terhadap tarik



Gambar 2.25 Beton Jebol Terhadap Tarik

(Struktur Baja, Wiryanto Dewobroto, 2015)

Adapun kuat jebol beton nominal terhadap tarik dari baut angkur adalah sebagai berikut:

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \times \psi_{ed,N} \times \psi_{c,N} \times \psi_{cp,N} \times N_b \quad (2.159)$$

$$A_{Nc} = (C_{a1} + S_1 + 1,5h_{ef})x(C_{a2} + S_2 + 1,5h_{ef}) \quad (2.160)$$

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 \quad (2.161)$$

Keterangan:

A_{Nc} = luas kegagalan beton terproyeksi dari angkur tunggal atau kelompok angkur (mm^2)

A_{Nco} = luas kegagalan beton terproyeksi dari angkur tunggal (mm^2)

N_{cbg} = kuat jebol beton nominal kondisi tarik dari kelompok angkur (N)

$$\Psi_{ec,N} = 1$$

$$\Psi_{c,N} = 1,25 \text{ (untuk angkur tanam cor ditempat)}$$

$$\Psi_{cp,N} = 1,0$$

Faktor modifikasi pengaruh tepi untuk angkur tunggal atau kelompok angkur yang dibebani tarik ($\Psi_{ed,N}$) dapat ditentukan dengan rumus berikut:

- Apabila $C_{a,min} \geq 1,5 h_{ef}$

$$\Psi_{ed,N} = 1$$

- Apabila $C_{a,min} < 1,5 h_{ef}$

$$\Psi_{ed,N} = 0,7 + 0,3 \frac{C_{a,min}}{1,5h_{ef}} \quad (2.162)$$

c. Kuat cabut baut angkur dari beton



Gambar 2.26 Baut Angkur Tercanbut Dari Beton

(Struktur Baja, Wiryanto Dewobroto, 2015)

Adapun untuk menentukan kuat cabut rencana terhadap tarik adalah sebagai berikut:

$$\emptyset N_{pn} = \emptyset \Psi_{c,p} N_p \quad (2.163)$$

Keterangan:

N_{pn} = kuat cabut nominal baut ankur

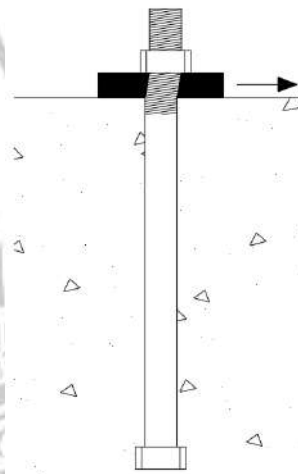
\emptyset = factor reduksi kekuatan ($\emptyset = 0,75$)

$\Psi_{c,p}$ = faktor modifikasi, ($\Psi_{c,p} = 1,0$)

Kuat cabut terhadap tarik (N_p) dengan baut ankur cor ditempat dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$N_p = 8A_{brg} x f c' \quad (2.164)$$

d. Kuat baut ankur terhadap geser



Gambar 2.27 Kerusakan Geser Pada Ankur Baut

(Struktur Baja, Wiryanto Dewobroto, 2015)

Adapun untuk menentukan kuat baut ankur terhadap geser adalah sebagai berikut:

$$\emptyset V_{sa} = \emptyset A_{se,v} f_{uta} \quad (2.166)$$

Keterangan:

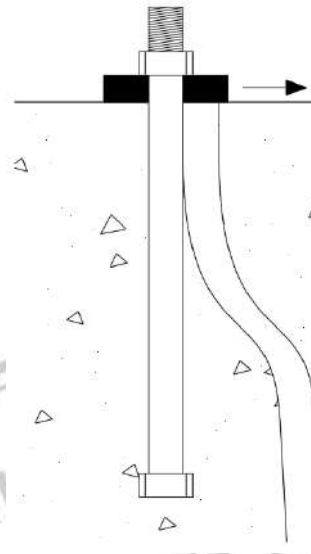
V_{sa} = kuat geser nominal baut ankur (N)

\emptyset = factor reduksi kuat baut ankur terhadap geser ($\emptyset = 0,65$)

$A_{se,v}$ = luas penampang efektif terhadap geser (mm^2)

f_{uta} = kuat Tarik baut ankur (MPa)

e. Kuat jebol beton terhadap geser



Gambar 2.28 Beton Jebol Terhadap Geser

(Struktur Baja, Wiryanto Dewobroto, 2015)

Adapun kuat jebol beton nominal baut angkur adalah sebagai berikut:

$$V_{cbg} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \Psi_{ec,v} \Psi_{ed,v} \Psi_{c,v} \Psi_{h,v} V_b \quad (2.167)$$

$$A_{vc} = 2(1,5C_{a1,1})h_a \quad (2.168)$$

$$A_{vco} = 4,5C_{a1}^2 \quad (2.169)$$

Keterangan:

A_{vc} = luas proyeksi kerusakan beton terhadap geser dari baut angkur tunggal jika tidak dibatasi oleh pengaruh posisi pinggir atau pojokan, spasi dan ketebalan beton (mm^2)

A_{vco} = luas proyeksi kerusakan beton terhadap geser dari baut angkur kelompok (mm^2)

$$\Psi_{ec,v} = 1,0$$

$\Psi_{c,v} = 1,0$ untuk angkur pada beton retak tanpa tulangan tambahan atau dengan tulangan tepi

Faktor modifikasi untuk pengarus tepi untuk angkur kelompok yang dibebani gaya geser ($\Psi_{ed,v}$) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

- Apabila $C_{a2} \geq 1,5C_{a1}$

$$\Psi_{ed,v} = 1,0$$

- Apabila $C_{a2} < 1,5C_{a1}$

$$\Psi_{ed,V} = 0,7 + 0,3 \frac{C_{a2}}{1,5C_{a1}} \quad (2.170)$$

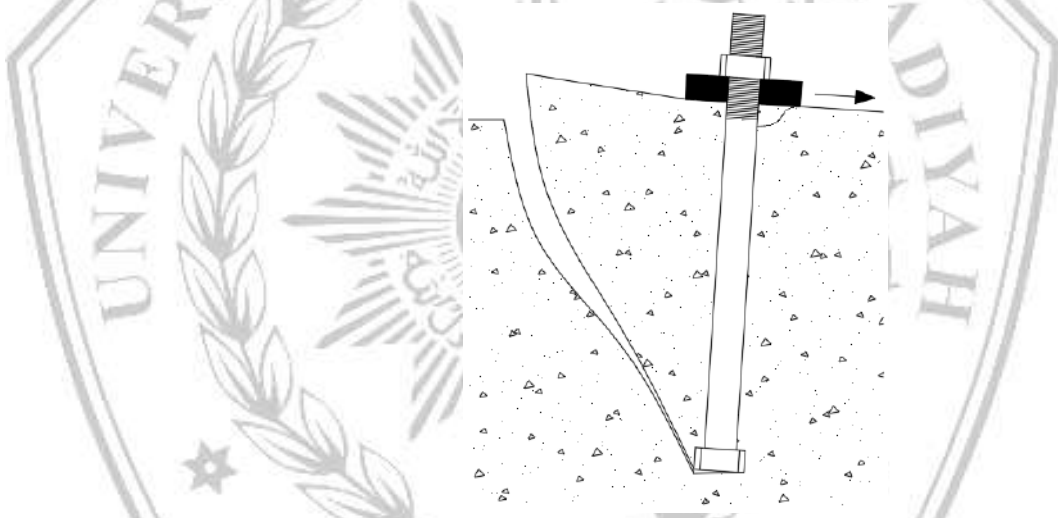
Faktor modifikasi untuk angkur yang terletak pada komponen struktur beton dimana $h_a < 1,4 C_{a1}$, maka $\Psi_{h,V}$ harus ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\Psi_{h,V} = \sqrt{\frac{1,5 C_{a1}}{h_a}} \quad (2.171)$$

Kuat jebol beton dasar dalam kondisi geser dari angkur pada beton retak (V_b) harus dihitung menggunakan rumus berikut:

$$V_b = \left(0,6 \left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0,2} \sqrt{d_a}\right) \lambda_a \sqrt{f'c'} (C_{a1})^{1,5} \quad (2.172)$$

- f. Kuat rompal beton terhadap geser



Gambar 2.29 Kuat Rempal Beton

(Struktur Baja, Wiryanto Dewobroto, 2015)

Kuat rompal beton rencana baut angkur kelompok terhadap geser dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$\phi V_{cpg} = \phi K_{cp} N_{cpg} \quad (2.173)$$

Dengan

$$K_{cp} = 2,0 \text{ untuk } h_{ef} > 2,5 \text{ mm}$$

2.5.4.3 Interaksi Gaya Tarik dan Geser

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 17.6, untuk interaksi gaya tarik dan geser pada angkur dapat ditentukan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \leq 1,2 \quad (2.174)$$

