

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Umum

Profil baja merupakan bahan konstruksi yang memiliki kekuatan yang besar. Profil baja memiliki sifat elastis dimana baja mampu berdeformasi dengan baik ketika tegangan ataupun saat kompresi sebelum terjadi patah. Baja memiliki kekekalan yang cukup sempurna dan memiliki berat yang relatif lebih ringan. Penggunaan dua macam bahan material yang berbeda pada struktur komposit berakibat pada perhitungan kapasitas dimana perhitungannya tidak seperti struktur yang direncanakan menggunakan non-komposit. Penentuan pemilihan jenis profil dan pelat beton didasarkan dari karakteristik dan dimensi kedua bahan yang akan di komposisikan dan kinerja pada struktur komposit (Suprobo, 2000).

2.2. Keunggulan dan Kelemahan Struktur Baja

Menurut (Arifi & Setyowulan, 2020 : 6-7) pemilihan baja didasarkan pada beberapa keunggulan yang dimiliki oleh material tersebut antara lain :

1. Kekuatan baja yang tinggi membuat baja mempunyai penampang relatif kecil yang secara langsung akan mengurangi berat struktur secara keseluruhan.
2. Profil baja dibuat menggunakan mesin canggih tanpa banyak tenaga manusia jadi dilakukan pengawasan secara berkala dan mutu baja dapat dipertanggungjawabkan.
3. Tingkat elastisitas yang tinggi dan sesuai dengan hukum Hooke. Ditambah lagi, momen inersia dari baja akan dapat dihitung secara akurat.
4. Daktilitas yang dimiliki baja cukup tinggi.
5. Ketika suatu baja dibebani sampai mengalami deformasi yang besar, tetap akan bisa menahan gaya yang besar. Hal tersebut dikarenakan baja merupakan material yang kuat dan dapat menyerap energi dalam jumlah besar.

6. Mudah dipasang atau digabungkan dengan struktur yang sudah ada sehingga mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi.

Baja juga memiliki kelemahan yang harus diperhatikan karena dapat menurunkan kekuatan dari struktur baja, antara lain :

1. Pemeliharaan struktur baja membutuhkan biaya yang cukup besar karena mudah mengalami korosi.
2. Terdapat biaya tambahan untuk pemberian lapisan tahan api (*fireproofing*) karena jika baja terpapar oleh api atau berada pada suhu tinggi kekuatannya akan mengalami penurunan secara drastis.
3. Mudah mengalami tekuk (*blucking*) terutama untuk struktur batang tekan.
4. Sifat leleh harus dipertimbangkan untuk elemen struktur dan sambungannya yang menahan beban perulangan.

2.3. Metode LRFD (Load Resistance Factor Design)

Konsep LRFD digunakan dalam spesifikasi di AISC (*American Institute of Steel Construction*) yang memperhitungkan kondisi batas yaitu kondisi maksimum yang dapat diberikan suatu penampang yang berada diluar batas elastis (inelastis).

Persyaratan keamanan struktur yaitu : (Arifi & Setyowulan, 2020 : 16)

$$\sum \gamma_i \times Q_i \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2. 1)$$

Dimana :

$\sum \gamma_i$ = jumlah faktor beban

Q_i = beban yang harus dipikul oleh struktur

R_n = kuat nominal

ϕ = faktor tahanan

Berdasarkan persamaan diatas didapatkan konsep dasar LRFD dimana R_u merupakan kekuatan perlu yang menggunakan kombinasi beban pada persamaan sebelah kiri.

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2. 2)$$

Pada metode ini beban yang digunakan adalah beban ultima yaitu beban yang bekerja dikalikan faktor beban sehingga menghasilkan beban yang lebih besar

dari beban yang diterima struktur dan menggunakan faktor ketahanan yang besarnya ditentukan oleh jenis gaya yang bekerja.

2.4. Konsep Pembebanan

2.4.1. Beban Mati

Menurut (SNI 1727, 2020 : 21) definisi beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

Tabel 2. 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Baja	7850 kg/m ³
Batu Alam	2600 kg/m ³
Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m ³
Batu Pecah	700 kg/m ³
Besi Tuang	1450 kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	7250 kg/m ³
Beton Bertulang ⁽²⁾	2200 kg/m ³
Kayu (Kelas 1) ⁽³⁾	2400 kg/m ³
Kerikil, Koral (kering udara samapi lembab, tanpa diayak)	1000 kg/m ³
Pasangan Bata Merah	1650 kg/m ³
Pasangan Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung	1700 kg/m ³
Pasangan Batu Cetak	2200 kg/m ³
Pasangan Batu Karang	1450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m ³
Pasir Kerikil, Koral (kering udara sampai lembab)	1850 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (basah)	2000 kg/m ³
Timah Hitam (Timbel)	11400 kg/m ³

Tabel 2. 2 Berat Sendiri Komponen Gedung

Adukan, per cm tebal :	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah :	
- satu batu	450 kg/m ²
- setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako :	

Berlubang :	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa Lubang	
- tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit – langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri atas :	
- semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3 – 4 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Sumber : SNI 1727-1989 : 3

2.4.2. Beban Hidup

Menurut (SNI 1727, 2020 : 25) definisi beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Tabel 2. 3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat Lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
- Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
- Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang pelatihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
- Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
- Lobi	100 (4,79)	
- Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
- Panggung pertemuan	100 (4,79)	
- Lantai podium	150 (7,18)	
	100 (4,79)	

- Tribun penonton stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
- Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
- Lantai pertama	100 (4,79)	
- Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in x 2 in [50 mm x 50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in x 1 in [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen		Lihat pasal 4.5.4
Garasi atau parkir (lihat pasal 4.10)		
- Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Lihat pasal 4.10.1
- Truk dan bus	Lihat pasal 4.10.2	Lihat pasal 4.10.2
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	Lihat 4.5.1
Batang pegangan		Lihat 4.5.2
Helipad (Lihat pasal 4.11)		
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3000 lb (13,35) atau kurang	40 (1,92)	Lihat pasal 4.11.2
Helikopter dengan berat lepas landas lebih 3000 lb (13,35)	60 (2,87)	Lihat pasal 4.11.2
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)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
- Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
- Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1000 (4,45)
- Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik		
- Ringan	125 (6,00)	2000 (8,90)
- Berat	250 (11,97)	3000 (13,35)

Gedung perkantoran		
- Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
- Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
- Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
- Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum		
- Blok sel	40 (1,92)	
- Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
- Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	75 (3,59)	
- ruang dansa dan ballroom	100 (4,79)	
- gimnasium	100 (4,79)	
Rumah Tinggal		
Hunian satu dan dua keluarga		
- Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	
- Loteng yang tidak dapat dihuni dengan Gudang	20 (0,96)	
- Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	
- Semua ruang kecuali tangga	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
- Runag pribadi dan koridornya	40 (1,92)	
- Ruang publik	100 (4,79)	
- Koridor ruang publik	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	
Atap vegetatif dan atap lansekap		
- Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
- Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
- Atap untuk penggunaan lainnya	5 (0,24)	
Awning dan kanopi		
- Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	
Rangka penumpu layer penutup	Berdasarkan area tributary dari atap	200 (0,89)

yang didukung
oleh komponen
struktur rangka
20 (0,96)

Semua kontruksi lainnya

- Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja
- Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, Gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel 2000 (8,90)
- Semua komponen struktur atap utama lainnya 300 (1,33)
- Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan 300 (1,33)

Dst.

Sumber : SNI 1727-2020 : 26-29

2.4.3. Beban Gempa

Menurut (SNI 1726, 2019 : 23) tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

1. Kategori Resiko Bangunan

Kategori resiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi dari bangunan sesuai dengan kemungkinan besarnya resiko kematian pada bangunan tersebut. Menurut SNI 1726 - 2019 berikut jenis-jenis kategori resiko bangunan.

Tabel 2. 4 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara 	I

<ul style="list-style-type: none"> • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen atau rumah susun • Pusat perbelanjaan atau mall • Bangunan industri • Fasilitas manufaktur • Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipana anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas menufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau badan 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.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah 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 	IV

- 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 public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.

Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunanlain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.

Sumber : SNI 1726 – 2019 : 24-25

2. Faktor Keutamaan Gempa dan Parameter Percepatan Tanah

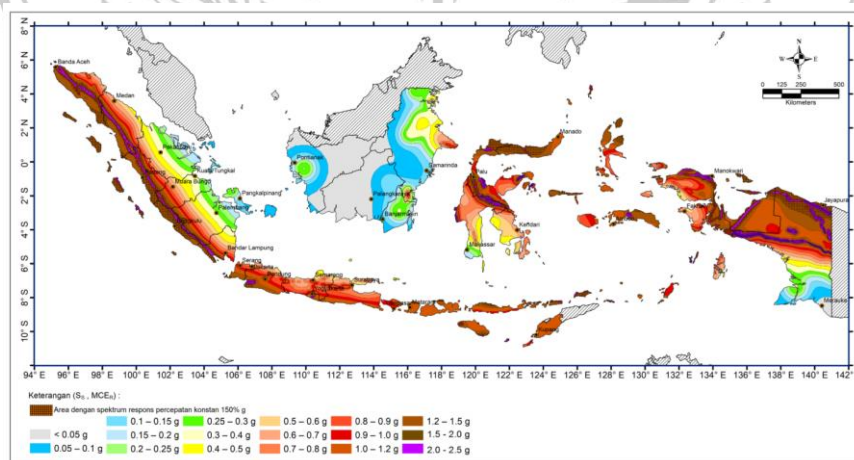
Faktor keutamaan gempa digunakan untuk memperkuat gempa rencana, sehingga struktur dapat memikul beban gempa dengan periode ulang yang panjang.

Tabel 2. 5 Faktor Keutamaan Gempa

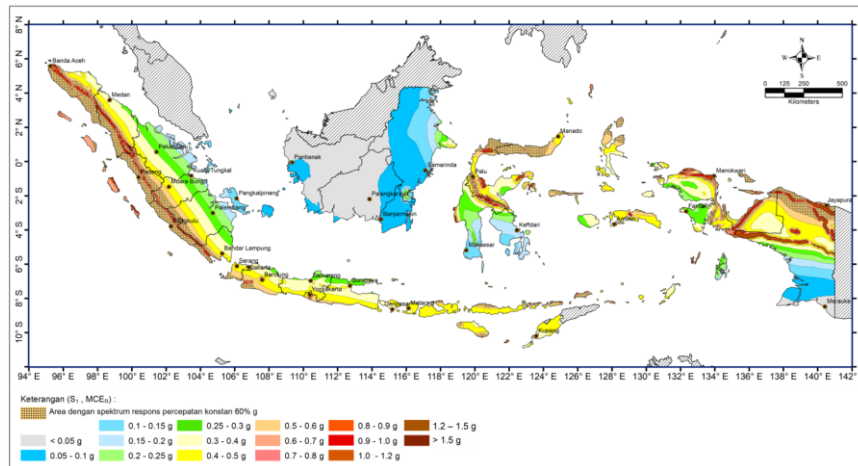
Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726 – 2019 : 25

Untuk mendapatkan parameter percepatan tanah atau nilai spektrum respons yaitu S_s (periode pendek) dan S_1 (periode 1 detik), dapat dilihat pada peta gempa maksimum wilayah Indonesia.



Gambar 2. 1 Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik



Gambar 2. 2 Parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik
Sumber : SNI 1726-2019 : 233-234

3. Klasifikasi Situs dan Koefisien Situs Tanah

Situs tanah diklasifikasikan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan.

Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N-SPT	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 m tanah 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 dan analisis spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpontesi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan $H > 3m$) - Lempung berplastis sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$)
--	---

-
- Lapisan lempung lunak atau setengah teguh denganketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ Kpa
-

*N/A = tidak dapat dipakai

Sumber : SNI 1726-2019 : 29-30

Salah satu penentu respons spectral percepatan gempa yaitu faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v).

Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-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	$SS^{(a)}$					

Tabel 2. 8 Klasifikasi Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-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	$SS^{(a)}$					

*^(a) = SS = memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Sumber : SNI 1726-2019 : 34-35

4. Parameter Percepatan Desain

Untuk menghitung S_{MS} dan S_{M1} menggunakan rumus berikut (SNI 1726, 2019 : 34)

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2. 3)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (2. 4)$$

Setelah parameter percepatan respons spectral ditentukan, parameter percepatan desain dapat dihitung dengan rumus berikut : (SNI 1726, 2019 : 35)

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2. 5)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2. 6)$$

Dimana :

S_{DS} = Respons spectra pada percepatan periode pendek

S_{D1} = Respons spectra pada percepatan periode 1 detik

S_{MS} = Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek

S_{M1} = Parameter percepatan spectral desain untuk periode 1 detik

S_s dan S_1 didapat dari peta gempa, sementara F_a dan F_v didapat dari tabel koefisien situs.

5. Kategori Desain Gempa

Kategori desain seismik digunakan untuk melihat tingkat resiko gempa suatu bangunan dengan dikategorikan tinggi atau rendah. Sehingga dapat dipertimbangkan mengenai ketahanan gempa saat perencanaan struktur. Kategori ditentukan berdasarkan S_{DS} dan S_{D1} sesuai tabel.

Tabel 2. 9 Kategori Desain Gempa berdasarkan S_{DS}

Nilai S_{DS}	Kategori Resiko	
	I, 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

Tabel 2. 10 Kategori Desain Gempa berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I, 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 : 37

6. Sistem dan Parameter Struktur

Sistem pemikul gaya seismik dibawah ini menggunakan sistem ganda dengan rangka momen pemikul beban khusus dikarenakan pada perencanaan ini menggunakan bracing sebagai pengaku struktural.

Tabel 2. 11 Faktor R, Cd, Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

*TB = Tidak Dibatasi ; TI = Tidak Diizinkan

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d	Beban Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)					
				Kategori Desain Seismik					
				B	C	D	E	F	
C. Sistem rangka pemikul momen									
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5 ½	TB	TB	48	30	TI	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	4 ½	3	4	TB	TB	10 ^k	TI ^k	TI ^k	TI ^k
Rangka baja pemikul momen biasa	3 ½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 ½	48	48	30	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI	TI
Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3 ½	3	3 ½	10	10	10	10	10	10

Sumber : SNI 1726-2019 : 50

7. Periode Fundamental Pendekatan

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2. 7)$$

Dimana :

h_n = Ketinggian struktur (m)

C_t dan x ditentukan melalui tabel berikut

Tabel 2. 12 Klasifikasi Situs

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan 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 : 72

Untuk struktur yang ketinggiannya tidak melebihi 12 lantai dengan sistem gempa yang terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan tinggi bangunan minimal 3 m digunakan rumus periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik.

$$T_a = 0,1 \times N \dots\dots\dots (2. 8)$$

Dimana :

T_a = Periode fundamental pendekatan (detik)

N = Jumlah tingkat pada bangunan

8. Gaya dasar seismik dan koefisien respons

Gaya geser dasar seismik, V , ditetapkan harus sesuai dengan persamaan berikut : (SNI 1726, 2019 : 69)

$$V = C_s \times W \dots\dots\dots (2. 9)$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismic efektif

Koefisien respons seismik dihitung menggunakan rumus (SNI 1726, 2019 : 70)

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2. 10)$$

Dimana :

S_{DS} = parameter percepatan respons spectral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

2.4.4. Perancangan Stabilitas Struktur

Perencanaan stabilitas struktur memerlukan kombinasi antara analisa dalam menentukan kuat perlu penampang dan desain agar struktur memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beton.

1. Drift Ratio

Drift Ratio merupakan perbandingan antara simpangan puncak dengan tinggi bangunan. Aman tidaknya bangunan ditentukan dengan besarnya nilai dari drift ratio. Semakin kecil nilainya menunjukkan bangunan itu juga semakin aman. Batasan drift ratio secara umum bisa diambil 0,0025 atau $H/400$.

Dalam drift ratio juga dikenal kegagalan soft storey yang terjadi jika simpangan antar lantai pada lantai bawah lebih besar daripada lantai atas. Drift Ratio memiliki rumus sebagai berikut :

$$\text{Drift Ratio} = \frac{\Delta Top}{H} \leq 0,0025$$

Dimana :

ΔTop = Displacement puncak bangunan (m)

H = tinggi bangunan (m)

2. Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan deflekso pada tingkat teratas dengan tingkat dibawahnya. Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.12 batasan simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi simpangan drift antar tingkat ijin (Δa) dengan ketentuan sebagai berikut :

Tabel 2. 13 Batasan Simpangan Antar Tingkat

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata 4 tingkat atau kurang dengan 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	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

* h_{sx} = tinggi tingkat dibawah tingkat-x

Sumber : SNI 1726-2019 : 88

2.4.5. Kombinasi Pembebanan

Menurut (Arifi & Setyowulan, 2020 : 20) kombinasi pembebanan pada struktur baja terdapat tujuh kombinasi yaitu :

$$1,4D \dots\dots\dots (2. 11)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2. 12)$$

$$1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \dots\dots\dots (2. 13)$$

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2. 14)$$

$$1,2D \pm 1,0E + L + 0,2S \dots\dots\dots (2. 15)$$

$$0,9D \pm 1,0W \dots\dots\dots (2. 16)$$

$$0,9D \pm 1,0E \dots\dots\dots (2. 17)$$

Dimana :

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup atap

R = beban hujan

W = beban angin

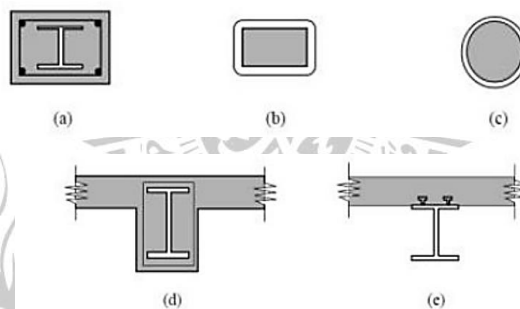
E = beban gempa

2.5. Balok Komposit

Penggunaan balok baja untuk menopang suatu pelat beton telah ditemukan sejak lama namun tidak dihubungkan dengan suatu penghubung geser sehingga disebut penampang non komposit. Seiring berkembangnya ilmu ditemukan alat-alat penghubung geser yang menahan gaya geser horizontal maka lekatan antara pelat beton dan balok baja dapat ditingkatkan dan disebut komponen struktur komposit. Komponen ini dapat menahan beban sekitar 33% sampai 50% lebih besar daripada beban yang dipikul balok baja saja tanpa adanya perilaku komposit (Setiawan, 2013 : 279)

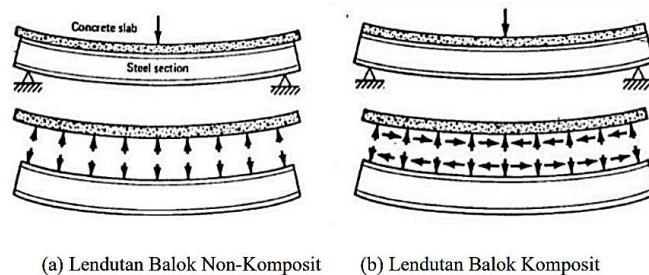
Pada umumnya macam-macam struktur komposit antara lain :

1. Profil baja terbungkus beton untuk kolom atau profil baja terbungkus beton untuk balok (gambar 2.1. a/d)
2. Profil baja terbungkus beton untuk tiang pancang (gambar 2.1. b/c)
3. Balok dari profil baja yang menahan slab beton (gambar 2.1.e)



Gambar 2. 3 Macam-macam struktur komposit

Gaya horizontal (geser) timbul dan bekerja pada permukaan bawah pelat sehingga pelat tertekan dan memendek, dan pada saat yang sama gaya horizontal bekerja di permukaan atas balok sehingga balok memanjang (Johnson & Salmon, 1980 : 348).



(a) Lendutan Balok Non-Komposit (b) Lendutan Balok Komposit

Gambar 2. 4 Perbandingan balok melendut dengan dan tanpa aksi komposit

Pada momen positif kopel gaya tekan akan dipikul oleh beton sedangkan pada kopel gaya tarik akan dipikul oleh baja. Sehingga pada semua luas penampang profil baja akan menerima gaya tarik dan stabilitas tidak akan terjadi masalah. Pada proses ini gaya akan diambil alih oleh beton sedangkan pada luasan tarik sendiri akan bertambah. Pemasangan *shear connector* pada profil balok baja dapat membuat lubang terlebih dahulu ataupun dapat langsung di atasnya.

Besarnya lebar efektif suatu komponen struktur komposit dapat ditentukan sebagai berikut: (diambil nilai minimum dari syarat berikut) (Setiawan, 2013: 282)

a. Untuk balok interior

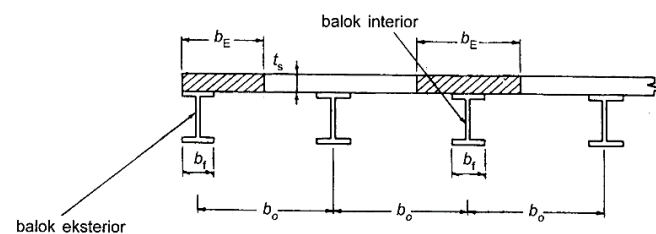
$$b_E \leq \frac{L}{4}$$

$$b_E \leq b_0$$

b. Untuk balok eksterior

$$b_E \leq \frac{L}{8} + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat})$$

$$b_E \leq \frac{1}{2} b_0 + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat})$$



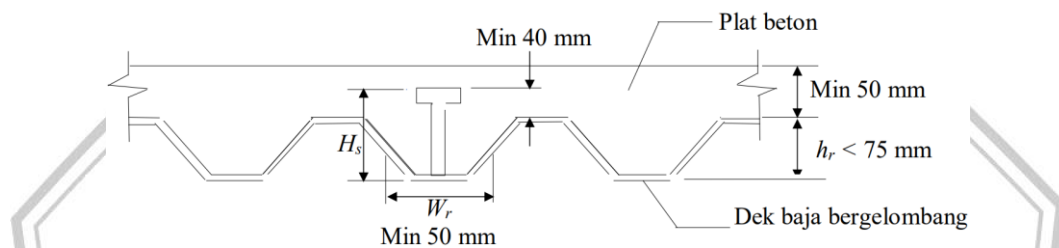
Gambar 2.5 Lebar Efektif Balok Komposit

2.6. Dek Baja Gelombang

Fungsi dari dek baja gelombang adalah untuk bekisting saat pelat beton dicetak, selain itu juga untuk tulangan positif bagi pelat beton. Penggunaan dek baja juga untuk dukungan lateral dari balok sebelum beton mulai mengeras (Setiawan, 2013: 308). Persyaratan dek baja gelombang : (SNI 1729, 2020 : 93-94)

1. Tinggi dek baja (h_r) maksimum 3 in atau 75 mm.
2. Lebar rata-rata rusuk atau hauns beton (w_r) harus tidak kurang dari 2 in atau 50 mm, tapi tidak boleh diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dek baja.

3. Slab beton harus disambungkan ke balok baja dengan angkur baja stad berkepala yang dilas baik melalui dek tersebut atau langsung ke penampang melintang baja. Angkur baja stad berkepala, setengah intalasi, harus diperpanjang tidak kurang dari $1\frac{1}{2}$ in atau 38 mm diatas bagian paling atas dek baja dan harus paling sedikit $\frac{1}{2}$ in atau 13 mm selimut beton terspesifikasi di atas bagian paling atas angkut baja stad berkepala.
4. Tebal slab di atas dek baja tidak boleh kurang dari 2 in atau 50 mm.
5. Dek baja harus diangkut ke semua komponen struktur pendukung pada spasi tidak melebihi 18 in atau 460 mm.



Gambar 2. 6 Penampang Melintang Dek Baja Gelombang

Jika gelombang pada dek baja dipasang tegak lurus terhadap balok penopangnya, maka kuat nominal penghubung geser jenis paku harus direduksi dengan faktor r_s :

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{Nr}} \left(\frac{wr}{hr} \right) \left[\left(\frac{Hs}{hr} - 1,0 \right) \right] \leq 1,0 \quad (2. 18)$$

Dimana :

r_s = faktor reduksi

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

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

hr = tinggi nominal gelombang dek baja

wr = lebar efektif gelombang dek baja

jarak antar penghubung geser dalam arah longitudinal tidak lebih dari 900 mm.

Dalam perencanaan pelat atap yang menggunakan *floor deck*, tulangan positif digantikan peranannya dengan *floor deck*. Besarnya nilai momen kapasitas dapat dihitung dengan rumus :

$$Mn = As \times fy \times (deff - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots (2. 19)$$

dengan

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b} \dots\dots\dots (2. 20)$$

Dalam perencanaan tulangan lapis atas terlebih dahulu perlu ditentukan rasio tulangan maksimum dan minimum.

$$\rho b = 0,85 \beta 1 \frac{fc'}{fy} \left[\frac{600}{600+fy} \right] \dots\dots\dots (2. 21)$$

Dengan

$$\rho \text{ max} = 0,75 \times \rho b \dots\dots\dots (2. 22)$$

$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{fy} \dots\dots\dots (2. 23)$$

Nilai As didapat dari = As perlu = $\rho b d$

dengan

$$\rho = \frac{0,85 fc' \beta 1}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 fc'}} \right) \dots\dots\dots (2. 24)$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (2. 25)$$

Setelah didapatkan rasio tulangan maka dihitung luas tulangan yang dibutuhkan dan didapatkan tulangan aktualnya sesuai pada tabel berikut.

Tabel 2. 14 Luas Penampang Tulangan Kawat Baja Wiremesh

Diameter Kawat (mm)	Luas Kawat (cm ²)	Jumlah Luas Penampang Kawat (cm ² /m) Menurut Spasinya Setiap Arah									
		Spasi (mm)									
		50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
4.0	0.126	2.51	1.68	1.26	1.01	0.84	0.72	0.63	0.56	0.50	0.46
4.5	0.159	3.18	2.12	1.59	1.27	1.06	0.91	0.80	0.71	0.64	0.58
5.0	0.196	3.93	2.62	1.96	1.57	1.31	1.12	0.98	0.87	0.79	0.71
5.5	0.238	4.75	3.17	2.38	1.90	1.58	1.36	1.19	1.06	0.95	0.86
6.0	0.283	5.65	3.77	2.83	2.26	1.88	1.62	1.41	1.26	1.13	1.03
6.5	0.332	6.64	4.42	3.32	2.65	2.21	1.90	1.66	1.47	1.33	1.21
7.0	0.385	7.70	5.13	3.85	3.08	2.57	2.20	1.92	1.71	1.54	1.40
7.5	0.442	8.84	5.89	4.42	3.53	2.95	2.52	2.21	1.96	1.77	1.61
8.0	0.503	10.05	6.70	5.03	4.02	3.35	2.87	2.51	2.23	2.01	1.83
8.5	0.567	11.35	7.57	5.67	4.54	3.78	3.24	2.84	2.52	2.27	2.06
9.0	0.636	12.72	8.48	6.36	5.09	4.24	3.64	3.18	2.83	2.54	2.31
9.5	0.709	14.18	9.45	7.09	5.67	4.73	4.05	3.54	3.15	2.84	2.58
10.0	0.785	15.71	10.47	7.85	6.28	5.24	4.49	3.93	3.49	3.14	2.86

12.0	1.131	22.62	15.08	11.31	9.05	7.54	6.46	5.65	5.03	4,52	4.11
16.0	2.011	40.21	26.81	20.11	16.08	13.40	11.49	10.05	8.94	8.04	7.31

Sumber : Katalog PT. Union Metal – Union Wire Mesh

2.7. Klasifikasi Profil Baja

Penentuan klasifikasi profil mengacu pada rasio lebar terhadap ketebalan elemennya (b/t atau λ). Berdasarkan SNI 1729-2020 terdapat tiga klasifikasi profil untuk batang lentur yaitu penampang kompak, nonkompak, dan langsing.

1. Penampang Kompak

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

Rumus kapasitas penampang sebagai berikut :

$$M_n = M_p = Z \times F_y \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

$$Z_x = (b \times t_f \times (d_g - t_f)) + (1/4 \times t_w \times (d_g - 2 t_f)^2) \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

M_n = momen plastis (kNm)

F_y = tegangan leleh baja (Mpa)

b = lebar sayap (mm)

d = tinggi penampang (mm)

t_f = tebal sayap (mm)

t_w = tebal badan (mm)

2. Penampang Non Kompak

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

Rumus kapasitas penampang sebagai berikut :

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

$$M_r = (f_y - f_r) \times S \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

M_r = momen batas tekuk (kNm)

f_r = tegangan pada sisa (Mpa)

= 70 Mpa untuk penampang dilas panas

= 115 Mpa untuk penampang yang dilas

3. Penampang Langsing

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

Rumus kapasitas penampang sebagai berikut :

$$M_n = M_r \left(\frac{\gamma}{b}\right)^2 \dots\dots\dots (2. 30)$$

2.8. Kekuatan Lentur Nominal

1. Kuat Lentur Positif

Berdasarkan pasal I3.2a SNI 1729-2020, ditentukan sebagai berikut : kekuatan lentur nominal desain, ϕM_n suatu elemen struktur komposit (untuk momen positif) dan kuat lentur positif diperbolehkan, M_n harus ditentukan untuk keadaan batas leleh yaitu :

$$\text{Untuk } \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2. 31)$$

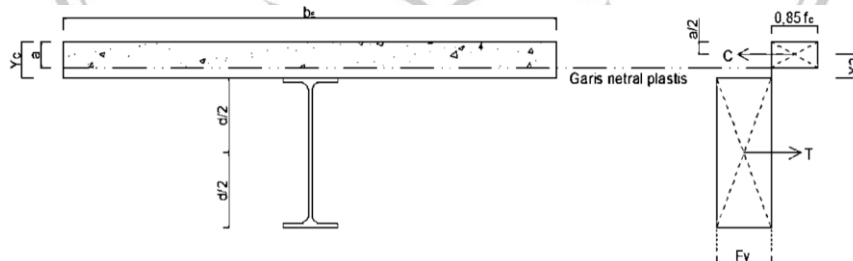
Perhitungan momen plastis suatu balok komposit, pertama mencari posisi sumbu plastis netral berdasarkan perbandingan antara C dan T. didapatkan hasil nilai gaya tekan dan gaya tarik yaitu :

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_c \dots\dots\dots (2. 32)$$

$$T = f_y \cdot A_s \dots\dots\dots (2. 33)$$

Terdapat tiga kondisi distribusi tegangan plastis yang bisa terjadi, antara lain :

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



Gambar 2. 7 Distribusi Tegangan Plastis kondisi a

Kondisi ini merupakan kondisi paling ideal bagi penampang balok komposit, dan sering dijumpai di lapangan. Disini 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 :

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot be} \dots\dots\dots (2.34)$$

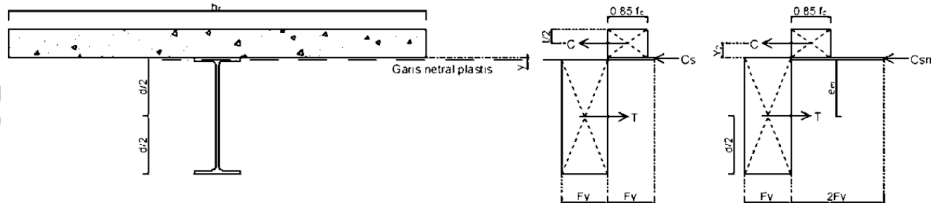
Anggapan benar bila $a < tc$, bilamana menggunakan dek baja, ataupun $a < t$ pelat beton solid.

$$Yc = hr + tc \dots\dots\dots (2.35)$$

$$Y_2 = Yc - \frac{1}{2} a \dots\dots\dots (2.36)$$

$$Mn = Mp = fy \cdot As \cdot (Y_2 + \frac{1}{2} d) \dots\dots\dots (2.37)$$

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



Gambar 2. 8 Distribusi Tegangan Plastis kondisi b

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 $tf > y > 0$ dihiutng menggunakan rumus berikut :

$$T = fy \cdot As \dots\dots\dots (2.38)$$

$$C = 0,85 \cdot fc' \cdot b_E \cdot tc \dots\dots\dots (2.39)$$

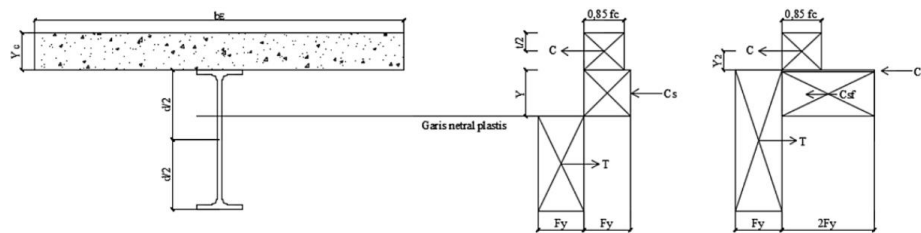
$$y = \frac{T - C}{bf \cdot fy} \leq tf \dots\dots\dots (2.40)$$

$$Cs = \frac{As \cdot fy - C}{2} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$Csm = 2 fy \cdot y \dots\dots\dots (2.42)$$

$$Mn = Mp = Cs (Y_2 + \frac{1}{2} d) + Csm (d - y) \frac{1}{2} \dots\dots\dots (2.43)$$

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



Gambar 2.9 Distribusi Tegangan Plastis kondisi c

Bilamana $y > t_f$, situasi ini dapat terjadi. Luas pelat beton relative lebih kecil dibandingkan luas profil baja. Untuk menyeimbangkan gaya, maka bagian pelat badan dari profil baja selalu mengalami kompresi. Keadaan ini dapat terjadi bilamana $T - C - C_{sf} > 0$, yaitu ;

$$T = f_y \cdot A_s \dots\dots\dots (2.44)$$

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot t_c \dots\dots\dots (2.45)$$

$$C_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2 f_y \dots\dots\dots (2.46)$$

$$y = \frac{T - C - C_{sf}}{t_w \cdot f_y} \leq t_f \dots\dots\dots (2.47)$$

$$C_{sw} = 2 f_y \cdot y \cdot t_w \dots\dots\dots (2.48)$$

$$y_f = \frac{1}{2} \cdot (d - t_f) \dots\dots\dots (2.49)$$

$$y_w = \frac{1}{2} \cdot (d + y) - t_f \dots\dots\dots (2.50)$$

$$M_n = M_p = C (Y_2 + \frac{1}{2} d) + C_{sf} \cdot y_f + C_{sw} \cdot y_w \dots\dots\dots (2.51)$$

2. Kuat Lentur Negatif

Menurut SNI 1729 – 2020, 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), dimana

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

dengan sesuai batasan antara lain :

- Balok baja iala penampang kompak dan dibreising secara cukup
- Tulangan pelat yang paralel 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

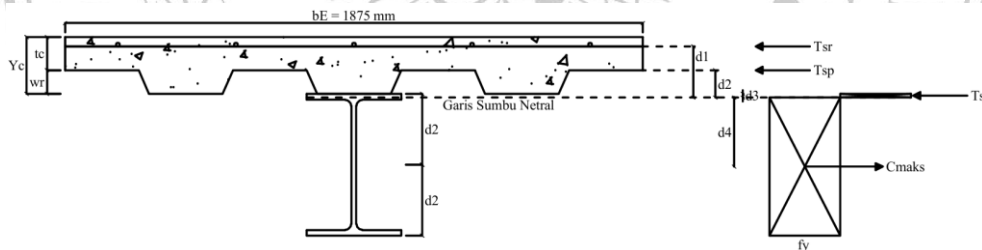
Baja tulangan ditempatkan sejajar dengan sumbu memanjang balok baja dan ditempatkan di dalam pelat beton yang lebar efektifnya (bE) bisa dipergunakan sebagai bagian dari penampang komposit efektif. Perihal ini bisa dimanfaatkan pada sektor-sektor yang mempunyai momentum positif ataupun negatif. Tetapi, 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. Kuant nominal yang ditimbulkan oleh tulangan bisa dihitung sebagai berikut:

$$T_{sr} = A_{sr} \cdot F_{ysr} \dots\dots\dots (2. 52)$$

Gaya tekan maksimum dari profil baja :

$$C_{maks} = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2. 53)$$



Gambar 2. 10 Distribusi Tegangan Akibat Momen Negatif

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

$$T_{sr} + T_s = C_{maks} - T_s \dots\dots\dots (2. 54)$$

$$2 T_s = C_{maks} - T_{sr} \dots\dots\dots (2. 55)$$

$$T_s = \frac{C_{maks} - T_{sr}}{2} \dots\dots\dots (2. 56)$$

Jarak sumbu netral dari tepi bawah flens ialah

$$a_w = \frac{T_s}{f_y \cdot b_f} \dots\dots\dots (2. 57)$$

menetapkan jarak gaya yang bekerja dari centroid :

$$d1 = Yc - \frac{tc}{2} + aw \dots\dots\dots (2. 58)$$

$$d2 = \frac{wr}{2} + aw \dots\dots\dots (2. 59)$$

$$d3 = \frac{aw}{2} \dots\dots\dots (2. 60)$$

$$d4 = \frac{1}{2} d - aw \dots\dots\dots (2. 61)$$

$$Mn = T_{sr} (d_1) + T_{sp} (d_2) + T_s (d_3) + C_{maks} (d_4) \dots\dots\dots (2. 62)$$

3. Kekuatan Geser Nominal

Menurut SNI 1729 – 2020 pasal G2, untuk memperhitungkan kuat geser nominal dapat ditentukan dengan persamaan

$$\frac{h}{tw} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{fy}} \dots\dots\dots (2. 63)$$

$$\phi Vn = 0,6 Fy Aw Cv \dots\dots\dots (2. 64)$$

Dimana :

Vn = Kuat geser nominal (N)

Aw = Luas badan ($Aw = d tw$) (mm^2)

Cv = faktor reduksi (1,0)

2.9. Tegangan pada Balok Komposit

Dalam menentukan tegangan yang terjadi pada suatu komponen komposit, terlebih dahulu harus diketahui titik berat komponen tersebut. Karena terdapat perbedaan pada baja dan beton, maka beton harus ditransformasikan ke penampang baja cara mentransformasikannya adalah sebagai berikut :

$$\text{Luas transformasi} = \frac{bE}{n} \dots\dots\dots (2. 65)$$

Dimana:

n : Rasio modular = $\frac{ES}{EC}$

Es : Modulus elastis baja (200000 MPa)

EC : Modulus elastis beton = $4700\sqrt{f'c}$ (MPa)

Tabel 2. 15 Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tekan Untuk
Komponen Struktur Daktilil Sedang dan Daktilil Tinggi

	Deskripsi dari Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal	
			λ_{hd} Komponen Struktur Daktilil Tinggi	λ_{md} Komponen Struktur Daktilil 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	$0,32\sqrt{E/F_y}$	$0,40\sqrt{E/F_y}$
	Sayap profil fondasi tiang H menurut Pasal D4	b/t	Tidak berlaku	$0,48\sqrt{E/F_y}$
	Badan profil T	d/t	$0,32\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ [a]	$0,40\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
Elemen diperkaku	Dinding PSR persegi	b/t	$0,65\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ [a]	$0,76\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	Sayap dari profil I kotak tersusun	b/t		
	Pelat samping profil I kotak tersusun dan dinding profil kotak tersusun yang digunakan sebagai breis diagonal	h/t		
	Sayap profil kotak tersusun yang digunakan sebagai balok perangkai	b/t		
	Badan profil I gilas atau tersusun dan kanal yang digunakan sebagai breis diagonal	h/t_w	$1,57\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1,57\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	Jika digunakan pada balok atau kolom dan mengalami tegangan tekan seragam akibat aksial, lentur dan kombinasi aksial-lentur:		$0,65\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1,18\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	1) Dinding PSR persegi	b/t		
2) Sayap dan pelat samping profil I kotak, badan dan sayap profil kotak tersusun	h/t			
Elemen diperkaku	Jika digunakan pada balok, kolom atau perangkai, sebagai pelat badan yang mengalami lentur atau kombinasi aksial-lentur:		Untuk $C_a \leq 0,114$ $2,57\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ (1 – 1,04 C_a)	Untuk $C_a \leq 0,114$ $3,96\sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ (1 – 3,04 C_a) Untuk $C_a > 0,114$

	1)Badan profil I gilas atau tersusun	h/t_w	Untuk $C_a > 0,114$	$1,29 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ (2,12 –
	2) Pelat samping profil I kotak	h/t	$0,88 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$C_a \geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	3) Badan profil kotak	h/t	$1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	dengan
			dengan	$C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$ (DFBT)
			$C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$	$C_a = \frac{\Omega_c P_a}{P_y}$ (DKI)
			$P_y = R_y F_y A_g$	$P_y = R_y F_y A_g$
			(DFBT) $C_a = \frac{\Omega_c P_a}{P_y}$ (DKI)	
			$P_y = R_y F_y A_g$	
Elemen diperkaku	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	$0,053 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0,062 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
Komposit	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 struktur komposit terisi beton bundar	d/t	$0,085 \frac{E}{R_y F_y}$	$0,17 \frac{E}{R_y F_y}$

Sumber : SNI 7860 – 2020 : 13 – 15

Tabel 2. 16 Rasio Lebar Terhadap Tebal Elemen Tekan Komponen Struktur yang mengalami lentur

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 λr (langsing/nonlangsing)	
				λp	λr
Elemen kaku	1	Sayap profil I dilas panas, kanal dan sayap T	b/t	$0,38 \frac{E}{f_y}$	$1,00 \frac{E}{f_y}$
	2	Sayap profil I tersusun bentuk I simetris ganda dan tunggal	b/t	$0,38 \frac{E}{f_y}$	$0,95 \frac{E}{f_y}$
	3	Kaki siku tunggal	b/t	$0,54 \frac{E}{f_y}$	$0,91 \frac{E}{f_y}$
	4	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami lentur	b/t	$0,38 \frac{E}{f_y}$	$1,00 \frac{E}{f_y}$

		terhadap sumbu lemah				
Elemen tidak kaku	5	Badan T	d/t	$0,84 \frac{E}{fy}$	$1,52 \frac{E}{fy}$	
	6	Beban profil simetris ganda dan kanal	h/tw	$3,76 \frac{E}{fy}$	$5,70 \frac{E}{fy}$	
	7	Badanprofil simetris tunggal	hc/tw	$\frac{hc}{hp} \sqrt{\frac{E}{fy}}$ $(0,54 \frac{Mp}{My} - 0,09)$	$5,70 \frac{E}{fy}$	$< \lambda r$
	8	Sayap PSR Persegi Panjang	b/t	$1,12 \frac{E}{fy}$	$1,40 \frac{E}{fy}$	

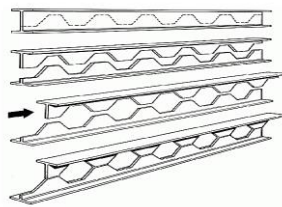
Tabel 2. 18 Rasio Lebar Terhadap Tebal Elemen Tekan Komponen Struktur yang mengalami lentur

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap p Tebal	Batas rasio lebar terhadap tebal	Batas rasio lebar terhadap tebal	
				λr (lansing/nolansing)	λhd	λmd
Elemen tidak kaku	1	Sayap profil I di gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku sambung dengan kontak menerus, sayap kanal dan sayap T	b/t	$0,56 \frac{E}{fy}$	$0,32 \frac{E}{fy}$	$0,4 \frac{E}{fy}$
	2	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 \frac{E}{fy}$	Tidak berlaku	$0,48 \frac{E}{fy}$
	3	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak di perkaku lainnya	b/t	$0,45 \frac{E}{fy}$	Tidak berlaku	Tidak berlaku
	4	Badan T	d/t	$0,75 \frac{E}{fy}$	$0,32 \frac{E}{Ry \cdot fy}$	$0,4 \frac{E}{Ry \cdot fy}$

Sumber : SNI 1729 – 2020

2.10. Castellated Beam

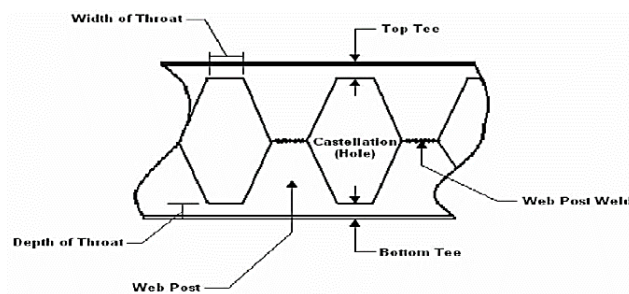
Balok kastella merupakan profil baja yang dibuat dicetakan *hot-rolled* (cetakan panas) berbentuk I, H, atau U dengan pola pemotongan zig zag. Setengah hasil potongan digeser, ujung atas kanan dilas dengan ujung bawah kiri, dan dihasilkan bentuk segienam atau segidelapan maupun lingkaran. Profil ini memiliki tinggi 1,5 kalinya dari profil sebelumnya sehingga nilai bidang axial, bidang momen inersia, serta modulus seksen dapat meningkat. Pada bagian sayap profil baja kastella memikul beban lentur.



Gambar 2. 11 Proses Pembuatan *Castellated Beam*

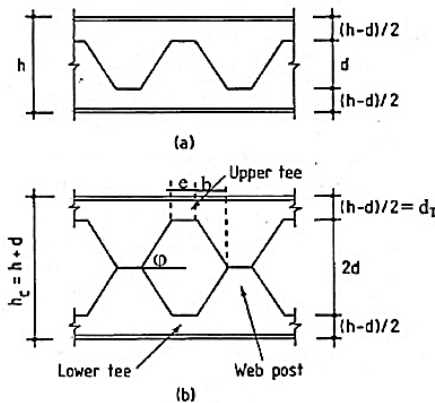
Istilah pada balok kastella yaitu :

1. Web : area solid dari *castellated beam*.
2. Castellation : area yang sudah mengalami pelubangan (*hole*).
3. Throat width : perpanjangan arah horizontal dari potongan gigi bawah.
4. Throat depth : tinggi daerah profil area potongan gigi bawah sampai sayap



Gambar 2. 12 Bagian *Castellated Beam*

Proses pemotongan badan profil *castellated beam* mengakibatkan bertambahnya tinggi (h) dan tinggi daerah pemotongan (d).



Gambar 2. 13 Perpanjangan Profil Baja

$$\tan \varphi = \frac{d}{b} \rightarrow b = \frac{d}{\tan \varphi} \dots\dots\dots (2. 66)$$

$$d_T = \frac{h-d}{2} \dots\dots\dots (2. 67)$$

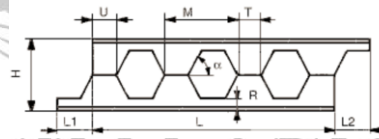
semakin panjang e, bertambah pula tegangan tekuk (bending stress) pada bagian T (tee section) dikarenakan V (shear force) bertambah.

2.10.1. Tipe Castellated Beam

Ada empat tipe pemotongan balok berdasarkan dimensi U dan T yaitu : (Grunbauer, 2001)

- 1. Beam Ends Left Ragged, U = T

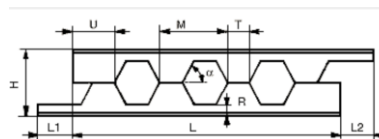
Simple and cheap, but not convenient to use. (pemotongannya mudah, sederhana dan murah, tetapi kurang baik digunakan).



Gambar 2. 14 Profil Kastella dengan ujung tidak beraturan, U = T

- 2. Beam Ends Left Ragged, U > T

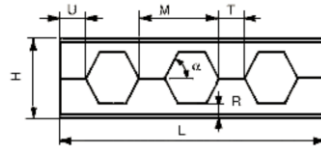
Longer ends, but not very effective. (menghasilkan ujung potongan yang panjang tetapi tidak efektif).



Gambar 2. 15 Profil Kastella dengan ujung tidak beraturan, U > T

3. Beam Ends Finished, $U = T$

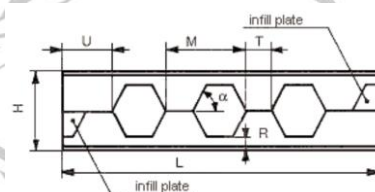
Nice finish, dearer due to extra cutting operation and material waste. (Hasil akhir yang bagus, tetapi lebih mahal karena operasi pemotongan yang lebih ekstra dan ada material yang terbuang atau sisa).



Gambar 2. 16 Profil Kastella dengan ujung beraturan, $U = T$

4. Beam Ends Finished With Infill Plates, $U > T$

Strong and rigid ends, but expensive. (Ujung yang kuat dan kaku, tetapi mahal karena adanya penambahan plat).



Gambar 2. 17 Profil Kastella dengan ujung balok ditambah plat pengisi

2.10.2. Keuntungan *Castellated Beam*

1. Lebar profil yang lebih tinggi menghasilkan momen inersia dan modulus section yang lebih besar sehingga lebih kuat dan kaku.
2. Mampu memikul momen lebih besar dengan tegangan ijin yang lebih kecil.
3. Bahan ringan, kuat, serta mudah dipasang.
4. Profil ini juga cocok untuk bentang panjang (dapat mencapai 10 – 50 m dan bila digunakan sebagai plat 12 – 25 m).
5. Dapat digunakan untuk gedung tingkat tinggi.

2.10.3. Kelemahan *Castellated Beam*

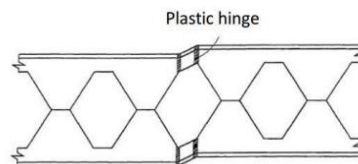
1. Profil ini kurang tahan api sehingga harus ditambah lapisan tahan api (*fire proofing*) 20% lebih tebal agar mencapai ketahanan yang sama dengan profil awal.

2. Kurang kuat menerima gaya lateral, sehingga perlu diberi satu atau lebih plat pada ujung-ujung (dekat dengan pertemuan balok – kolom)
3. Pada ujung – ujung bentang terjadi peningkatan pemusatan tegangan.
4. Profil ini tidak cocok untuk bentang pendek dengan beban yang cukup berat.
5. Analisa dari defleksi lebih rumit daripada balok solid.

2.10.4. Kegagalan *Castellated Beam*

1. Shear Mechanism

Mekanisme ini berbanding lurus dengan tegangan geser yang terjadi pada penampang baja kastela. Pada bagian yang tidak solid berubah bentuk pada bagian T yang semula persegi menjadi jajar genjang karena terjadi sendi plastis.



Gambar 2. 18 Penampang Balok Kastella terjadi sendi plastis

2. Flexural Mechanism

Titik leleh yang terjadi pada bagian T bagian atas dan bawah pada ujung awal profil hamper sama dengan profil WF solid pada kondisi under pure bending forces (jika dibebani gaya tekuk).

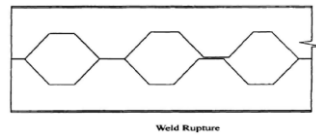
$M_p = Z' \times F_y$, dimana Z' adalah modulus plastis yang diambil melalui garis tengah vertical pada lubang.

3. Lateral – Torsional – Buckling

Pada web opening mempunyai efek yang diabaikan pada lateral torsional buckling pada balok-balok yang sudah di uji.

4. Rupture of Welded Joint

Las pada jarak antara lubang yang satu dengan yang lainnya dapat mengalami rupture (putus) Ketika tegangan geser horizontal melebihi kekuatan leleh dari pengelasannya.



Gambar 2. 19 Weld Joint Rupture

5. Web Post Buckling due to Compression

Gaya geser horizontal yang terjadi akibat tegangan tarik dan tekan pada web post dihubungkan dengan membengkoknya ujung – ujung pada lubang *castellated beam*.

2.10.5. Desain Penampang *Castellated Beam*

Desain *Castellated Beam* berdasarkan Design of Welded Structure, mengenai Open web expanded beams and girders.

1. Menentukan modulus plastisitas tampang yang diperlukan balok *Castella* (Z_g) untuk momen lentur maksimum.

$$S_g = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y} \dots\dots\dots (2. 68)$$

Dimana :

S_g = modulus plastisitas penampang balok (cm^3)

M_u = momen ultimate (kg.cm)

ϕ = faktor reduksi (0,90 ; untuk lentur)

f_y = tegangan leleh profil (kg/cm^2)

2. Menentukan perbandingan tinggi balok kastella dengan tinggi balok aslinya. Diasumsikan kenaikan tinggi balok mencapai 1,5 kali dari tinggi balok aslinya.

$$K1 = \frac{d_g}{d_b} \dots\dots\dots (2. 69)$$

$$S_b = \frac{s_g}{1,5} \dots\dots\dots (2. 70)$$

Menentukan nilai perbandingan tinggi ($K1$) yang sebenarnya

$$K1 = \frac{S_g}{S_b} \dots\dots\dots (2. 71)$$

Dimana :

$K1$ = perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian

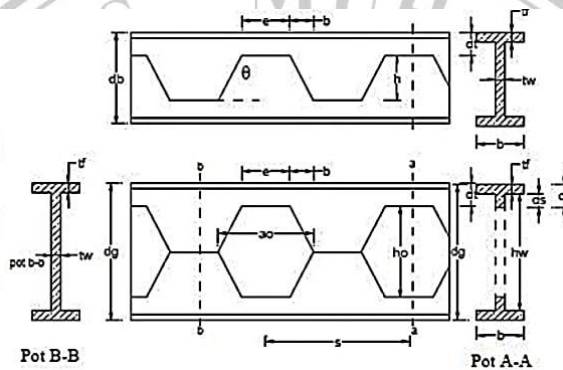
- dg = tinggi balok kastella setelah peninggian (mm)
- db = tinggi balok (balok asli) sebelum peninggian (mm)
- Sg = modulus plastisitas penampang balok setelah peninggian (mm³)
- Sb = modulus plastisitas penampang balok sebelum peninggian (mm³)

3. Menentukan tinggi pemotongan zig-zag (h)

$$h = db \times (K1 - 1) \dots\dots\dots (2. 72)$$

Dimana :

h = pertambahan tinggi akibat pemotongan zig-zag (mm)



Gambar 2. 20 Dimensi Penampang *Castellated Beam*

4. Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan

$$dT = \frac{Vu}{2 \times tw \times 0,4 \times fy} \dots\dots\dots (2. 73)$$

Dimana :

- dT = tinggi penampang T perlu (mm)
- Vu = gaya geser terfaktor (kg)
- tw = tebal badan balok (mm)

5. Menentukan tinggi balok kastella

$$dg = db + h \dots\dots\dots (2. 74)$$

6. Menentukan tinggi dan tangkai penampang T

$$dT = \frac{dg}{2} - h \dots\dots\dots (2. 75)$$

$$d_s = d_T - t_f \dots\dots\dots (2. 76)$$

Dimana :

d_s = tinggi tangkai penampang T (mm)

d_T = tinggi penampang T (mm)

t_f = tebal flens penampang (mm)

7. Menentukan tegangan lentur izin plat badan balok kastella

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,434}{Cc^2} \times \left(\frac{h}{tw}\right)^2\right) \dots\dots\dots (2. 77)$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{fy}} \dots\dots\dots (2. 78)$$

Dimana :

$\bar{\sigma}$ = Tegangan lentur izin balok kastella (N/mm²)

8. Menentukan tegangan geser balok kastella

$$\sigma_v = \frac{4 \times \left(\frac{\pi \times \theta}{180}\right)^2}{3 \times \tan \theta} \times \bar{\sigma} \leq 0,4 \times fy \dots\dots\dots (2. 79)$$

Dimana :

σ_v = Tegangan geser izin balok kastella (N/mm²)

θ = sudut dalam

9. Menentukan tegangan geser maksimum balok kastella

$$\sigma_{max} = 1,6 \frac{95\% \times V}{tw \times dg} \dots\dots\dots (2. 80)$$

Dimana :

σ_{max} = tegangan geser maksimum balok kastella (N/mm²)

V = gaya geser yang terjadi (N)

10. Rasio tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok berlubang (K2)

$$\frac{e}{s} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_v} = K2 \dots\dots\dots (2. 81)$$

11. Menentukan panjang bidang horizontal dan jarak antar panel

$$e \geq \frac{2 \times h \times \tan \theta}{\frac{1}{K^2} - 2} \dots\dots\dots (2. 82)$$

$$s = 2 (e + h \tan \theta) \dots\dots\dots (2. 83)$$

Dimana :

e = panjang bidang horizontal (mm)

s = jarak antar panel (mm)

12. Menentukan ukuran dimensi balok kastella

➤ Luas penampang T balok kastella

$$A_T \geq A_f + A_s \dots\dots\dots (2. 84)$$

➤ Modulus kelembaman penampang T balok kastella

$$M_y = A_f \times (d_s + \frac{tf}{2}) + A_s \times \frac{ds}{2} \dots\dots\dots (2. 85)$$

➤ Modulus inersia penampang T balok kastella

$$I_y = A_f \times (d_s^2 + d_s \times tf + \frac{tf^2}{3}) + A_s \times \frac{ds^2}{3} \dots\dots\dots (2. 86)$$

➤ Jarak garis berat penampang T pada ujung tangkai balok kastella

$$C_s = \frac{S_T}{A_T} \dots\dots\dots (2. 87)$$

➤ Momen inersia tangkai penampang T

$$I_T = I_y - C_s \times M_y \dots\dots\dots (2. 88)$$

➤ Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai

$$S_s = \frac{I_T}{C_s} \dots\dots\dots (2. 89)$$

➤ Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah

$$d = 2 \times (h + C_s) \dots\dots\dots (2. 90)$$

➤ Momen inersia balok kastella

$$I_g = 2 \times I_T + \frac{A_T \times d^2}{2} \dots\dots\dots (2. 91)$$

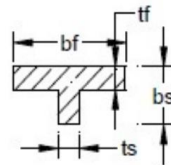
➤ Modulus tahanan balok kastella

$$S_g = \frac{2 \times I_g}{d_g} \dots\dots\dots (2. 92)$$

13. Pemeriksaan bagian T yang merupakan bagian yang mengalami gaya tekan aksial

$$\frac{bf}{tf} \leq \frac{3000}{\sqrt{fy}} \dots\dots\dots (2. 93)$$

$$\frac{bs}{ts} \leq \frac{4000}{\sqrt{fy}} \dots\dots\dots (2. 94)$$



Gambar 2. 21 Penampang T

14. Menentukan profil, kontrol kriteria dan kapasitas penampang

$$\lambda f = \frac{bf}{tf} < \lambda pf = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} \dots\dots\dots (2. 95)$$

$$\lambda w = \frac{dg}{tw} < \lambda pw = 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}} \dots\dots\dots (2. 96)$$

Dimana :

E = modulus elastisitas baja (N/mm²)

tf = tebal plat sayap penampang (mm)

bf = lebar plat sayap penampang (mm)

tw = tebal web (badan) penampang (mm)

dg = tinggi bersih web (badan) penampang kastella (mm)

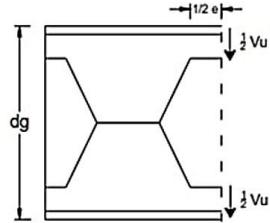
λf = rasio kelangsingan flens (sayap)

λpf = rasio kelangsingan maksimum pada flens untuk elemen kompak

λw = rasio kelangsingan web

λpw = rasio kelangsingan maksimum pada web untuk elemen kompak

15. Kontrol Tegangan



Gambar 2. 22 Gaya geser pada penampang T

$$\sigma T + \sigma b \leq \bar{\sigma} \dots\dots\dots (2. 97)$$

Tegangan lentur primer :

$$\sigma b = \frac{F}{AT} = \frac{M}{d \times AT} \dots\dots\dots (2. 98)$$

Tegangan lentur sekunder :

$$\sigma T = \frac{V}{4} \times \frac{e}{Zs} \dots\dots\dots (2. 99)$$

Tegangan lentur izin :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{2,609}{Cc^2} \times \left(\frac{e}{tw} \right)^2 \right) \times 0,6 fy \dots\dots\dots (2. 100)$$

Dimana :

σT = tegangan lentur sekunder (N/mm²)

σT = tegangan tarik dan desak (N/mm²)

$\bar{\sigma}$ = tegangan lentur izin (N/mm²)

2.10.6. Pra Komposit Castellated Beam

a. Kontrol Penampang

- Tekuk Lokal Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{tf} \dots\dots\dots (2. 101)$$

$$\lambda p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} \dots\dots\dots (2. 102)$$

$\lambda < \lambda p$ – **Penampang Kompak**

- Tekuk Lokal Badan Tanpa Lubang

$$\lambda = \frac{h}{tw} \dots\dots\dots (2. 103)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2. 104)$$

$\lambda < \lambda_p$ – **Penampang Kompak**

- Tekuk Lokal Badan dengan Lubang

$$\lambda = \frac{dt}{tw} \dots\dots\dots (2. 105)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2. 106)$$

$\lambda < \lambda_p$ – **Penampang Kompak**

- Mencari Z_x pada balok kastella

$$Z_x = (b \times t_f \times (d_g - t_f)) + (1/4 \times t_w \times (d_g - 2 t_f)^2) \dots\dots\dots (2. 107)$$

$$M_p = F_y \times Z_x \dots\dots\dots (2. 108)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_p \dots\dots\dots (2. 109)$$

$$\phi M_n \geq M_u \text{ – AMAN}$$

- b. Kontrol Kuat Geser

$$V_h = \frac{d_g - 2t_f}{t_w} \dots\dots\dots (2. 110)$$

$$\frac{1365}{\sqrt{f_y}} \geq V_h \dots\dots\dots (2. 111)$$

$$\frac{1100}{\sqrt{f_y}} \geq V_h \dots\dots\dots (2. 112)$$

$$\frac{a_0}{h_0} \geq 3,0 \dots\dots\dots (2. 113)$$

$$V_p = f_y \times t_w \times \frac{d_g}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2. 114)$$

$$p_0 = \frac{a_0}{h_0} + \frac{6h_0}{d_g} < 5,6 \dots\dots\dots (2. 115)$$

Dimana :

a_0 = Panjang bukaan (mm)

h_0 = tinggi lubang (mm)

V_p = kapasitas geser plastis

- Bottom dan Top Tee

$$V_{pt} = f_y \times t_w \times \frac{st}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2. 116)$$

$$V_{nt} = \frac{\sqrt{6} + \mu}{3,58 + \sqrt{3}} \leq 1,0 \dots\dots\dots (2. 117)$$

$$\mu = 0 \text{ dan } v = \frac{a_0}{st} \dots\dots\dots (2. 118)$$

$$V_n = 2 (V_{nt} \times V_{pt}) \dots\dots\dots (2. 119)$$

$$\phi V_n = 0,9 \times V_n \dots\dots\dots (2. 120)$$

$$\phi V_n \geq V_u - \text{AMAN}$$

Dimana :

V_{pt} = kapasitas geser plastis dari web

V_{nt} = kapasitas geser maksimum

- Kontrol Reaksi

$$\left(\frac{M_u}{\phi M_n}\right)^3 + \left(\frac{V_u}{\phi V_n}\right)^3 \leq 1 \text{ (Aman)} \dots\dots\dots (2. 121)$$

Kontrol Jarak Antar Lubang

$$b = \frac{h_0}{tg 60} \dots\dots\dots (2. 122)$$

$$e = 0,25 \times h_0 \dots\dots\dots (2. 123)$$

$$\text{Kontrol : } S = 2 \times (b + e) \geq h_0$$

$$\phi V_p = 0,9 \times V_p \dots\dots\dots (2. 124)$$

$$s \geq a_0 \left(\frac{\frac{V_u}{\phi V_p}}{1 - \frac{V_u}{\phi V_p}} \right) \dots\dots\dots (2. 125)$$

Kontrol Lendutan

$$I = \left(2 t_f B \left(\frac{dg - t_f}{2} \right)^2 \right) + \left(2 \left(\frac{dg}{2} - t_f \right) t_w \left(\frac{dg - t_f}{2} \right)^2 \right) \dots\dots\dots (2. 126)$$

$$\Delta D = \frac{5}{384} \times \frac{q \times L^4}{E \times I} \dots\dots\dots (2. 127)$$

$$\Delta L = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I} \dots\dots\dots (2. 128)$$

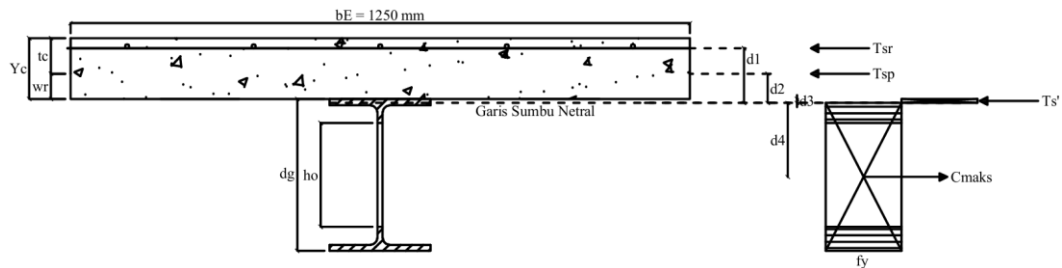
$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{360} \dots\dots\dots (2. 129)$$

$$\Delta < \Delta_{ijin} - \text{AMAN}$$

$$\Delta_{aman} = \Delta D + \Delta L < \Delta_{ijin}$$

2.10.7. Post Komposit Castellated Beam

a. Kontrol Kapasitas Momen Negatif



Gambar 2. 23 Diagram tegangan momen negatif

$$b_E = \frac{1}{4} L \dots\dots\dots (2. 130)$$

$$T_{sr} = A_s \times f_{yr} \dots\dots\dots (2. 131)$$

$$T_{sp} = A_{sp} \times f_{yp} \dots\dots\dots (2. 132)$$

$$C_{maks} = A_s \times f_y \dots\dots\dots (2. 133)$$

Jika $T_{st} > T_{sr}$, maka sumbu netral plastis terletak pada dalam penampang balok kastella.

$$(T_{sr} + T_{sp}) + T_{s'} = C_{maks} - T_{s'} \dots\dots\dots (2. 134)$$

$$T_{s'} = \frac{C_{maks} - (T_{sr} + T_{sp})}{2} \dots\dots\dots (2. 135)$$

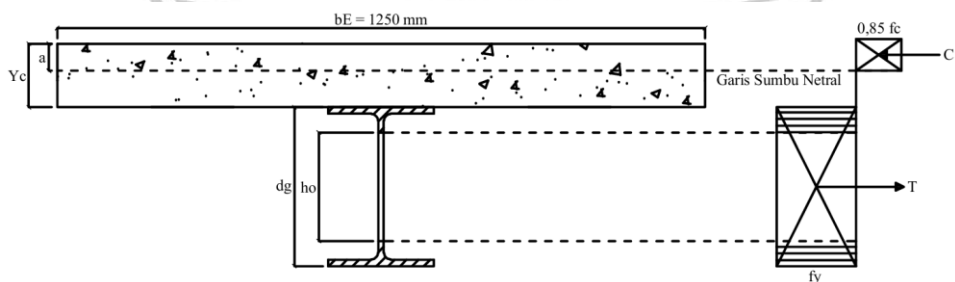
$$\frac{T_s}{2 \times f_t \times b_f} \leq D_{tee} \dots\dots\dots (2. 136)$$

Momen terhadap garis kerja gaya :

$$M_n = T_{sr} \times d_1 + T_{sp} \times d_2 + T_{s'} \times d_3 + C_{maks} \times d_4 \dots\dots\dots (2. 137)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n \geq M_u \dots\dots\dots (2. 138)$$

b. Kontrol Kapasitas Momen Positif



Gambar 2. 24 Diagram tegangan momen positif

$$P_c = T' = A_{S_{net}} \times f_y \dots\dots\dots(2. 139)$$

$$C = 0,85 f_c d_{eff} b_{eff} \dots\dots\dots(2. 140)$$

$$\Delta A_s = h_0 t_w - (2e) \dots\dots\dots(2. 141)$$

$$M_n = T' \left(\frac{dg}{2} + \frac{\Delta A_s \cdot e}{A_{s_{net}}} + h_{pelat} - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2. 142)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n \geq M_u \dots\dots\dots(2. 143)$$

c. Kontrol web buckling pada opening properties

$$\frac{h_0}{dg} \leq t_w \dots\dots\dots(2. 144)$$

$$S_t (D_{tee}) > 0,15 dg \text{ (untuk top tee)} \dots\dots\dots(2. 145)$$

$$S_t (D_{tee}) > 0,12 dg \text{ (untuk bottom tee)} \dots\dots\dots(2. 146)$$

d. Kontrol Kuat Geser

• Bottom tee dan Top tee

$$V_{pt} = f_y \times t_w \times \frac{S_t}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2. 147)$$

$$\mu = 0 \text{ dan } v = \frac{a_0}{S_t} \dots\dots\dots(2. 148)$$

$$V_{nt} = \frac{\sqrt{6+\mu}}{v+\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2. 149)$$

$$V_{pt} = f_y \times t_w \times \frac{S_t}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2. 150)$$

$$V_n = 2 (V_{nt} \times V_{pt}) \dots\dots\dots(2. 151)$$

$$\phi V_n = 0,9 \times V_n \geq V_u \dots\dots\dots(2. 152)$$

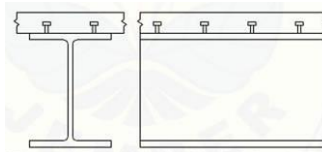
• Kuat Geser Tanpa Lubang

$$V_n = 0,6 \times f_y \times h \times t_w \dots\dots\dots(2. 153)$$

$$\phi V_n = 0,9 \times V_n \geq V_u \dots\dots\dots(2. 154)$$

2.11. Penghubung Geser

Penggunaan balok komposit akan menimbulkan gaya geser pada plat beton dan balok baja sehingga perlu dipasang penghubung geser yaitu stud.



Gambar 2. 25 Penghubung geser

Jumlah penghubung geser yang diperlukan :

$$N = \frac{Vh}{Qn} \dots\dots\dots(2. 155)$$

Dimana :

Qn = kuat geser nominal satu buah penghubung geser

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

$$Qn = 0,5 \times Asc \times \sqrt{f'c \times Ec} \leq Rg \times Rp \times Asc \times fu \dots\dots\dots(2. 156)$$

Dimana :

Asc = luas penampang penghubung geser jenis paku (mm^2)

Ec = modulus elastisitas beton

$$= wc^{1,5} \sqrt{f'c} \text{ ksi } (0,043wc^{1,5} \sqrt{f'c})$$

fu = kekuatan tarik minimum terspesifikasi angkur baja stad berkepala (Mpa)

Tabel 2. 19 Nilai Rg dan Rp

Kondisi	Rg	Rp
Tanpa Dek	1,0	0,75
Dek diorientasikan paralel terhadap profil baja		
$\frac{wr}{hr} \geq 1,5$	1,0	0,75
$\frac{wr}{hr} < 1,5$	0,85 ^(a)	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 ^(b)
2	0,85	0,6 ^(b)
3 atau lebih	0,7	0,6 ^(b)

Note : hr = tinggi rusuk nominal (mm)

wr = lebar rata-rata rusuk atau hauns beton (mm)

'(a) = untuk angkur baja stad berkepala tunggal

'(b) = nilai ini dapat ditingkatkan sampai 0,75 apabila $emid\text{-}ht > 50mm$

Sumber : SNI 1729-2020 : 103-104

Kekuatan geser nominal satu angkur kanal yang ditanam dalam slab beton solid harus ditentukan sebagai berikut :

$$Q_n = 0,3 (t_f + 0,5t_w)L_c\sqrt{f'_c E_c} \dots\dots\dots(2. 157)$$

Dimana :

L_c = panjang penghubung geser jenis kanal (mm)

Persyaratan mengenai jarak antar penghubung geser antara lain :

- Selimut lateral minimum = 25 mm, kecuali ada dek baja
- Diameter maksimum = 2,5 x tebal sayap profil baja
- Jarak longitudinal minimum = 6 x diameter penghubung geser
- Jarak longitudinal maksimum = 8 x tebal plat beton
- Jarak minimum arah tegak lurus sumbu longitudinal = 4 x diameter
- Jarak digunakan dek baja gelombang, jarak minimum penghubung geser dapat diperkecil menjadi 4 x diameter.

2.12. Kolom

Batang tekan ditujukan untuk komponen struktur yang memikul beban tekan terpusat (sentral) pada titik berat penampangnya. Aplikasi batang tekan ini banyak dijumpai pada struktur rangka batang serta struktur kolom yang menerima gaya aksial tekan. Tetapi umumnya terdapat eksentrisitas yang disebabkan oleh berbagai hal antara lain ketidaklurusan batang, ketidaktepatan pembebanan, maupun kekangan pada tumpuan yang menimbulkan momen. Jika momen tersebut relatif kecil dapat diabaikan, sehingga prosedur desain batang tekan dapat diaplikasikan. (Arifi & Setyowulan, 2020)

2.12.1. Panjang Efektif

Panjang efektif dari komponen struktur tekan (L_c) digunakan untuk menghitung kelangsingan batang tekan (L_c/r). Nilai dari L_c ditentukan oleh nilai faktor panjang efektif (K).

Dengan :

K = faktor panjang efektif

$L_c = KL$ = Panjang efektif batang tekan (mm)

L = panjang tanpa diberi pengaku lateral dari komponen struktur (mm)

r = radius girasi (mm)

Note : Untuk komponen struktur yang didesain berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif (L_c/r) sebaiknya tidak melebihi 200.

Nilai faktor panjang efektif dipengaruhi oleh jenis tumpuan dan panjang batang elemen struktur. Nilai K ini diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu :

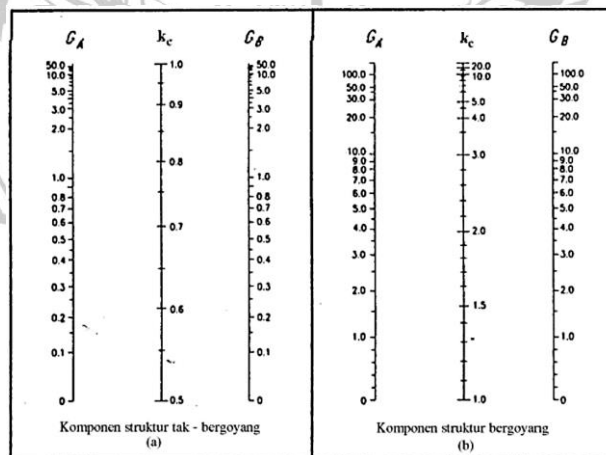
1. Rangka tidak bergoyang : $0,5 \leq K \leq 1,0$
2. Rangka bergoyang : $1,0 \leq K \leq \infty$

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai K_c teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai K_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung						

Gambar 2. 26 Nilai K dengan ujung ideal (Sumber : SNI 1729 – 2002)

Untuk menentukan faktor panjang tekuk (K) pada suatu struktur portal digunakan nomogram dengan nilai G_A dan G_B .

$$G = \frac{\sum(Ec \cdot Ic/Lc)}{\sum(Eg \cdot Ig/Lg)} = \frac{\sum\left(\frac{E \cdot I}{L}\right)c}{\sum\left(\frac{E \cdot I}{L}\right)g} \dots\dots\dots(2. 158)$$



Gambar 2. 27 Nilai K untuk komponen struktur tak bergoyang dan untuk komponen struktur bergoyang

2.12.2. Kekuatan Tekan Nominal

Tekuk menjadi faktor utama yang menentukan keruntuhan batang tekan sehingga harus diperhitungkan khususnya pada elemen-elemen yang mempunyai kelangsingan tinggi. Adapun tekuk dipengaruhi oleh :

- a. Luas penampang
- b. Bentuk penampang terhadap kekakuan lentur
- c. Panjang batang
- d. Kondisi tumpuan

Tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada elemen penampang (sayap atau badan) akibat gaya tekan yang bekerja. Sedangkan tekuk global adalah tekuk yang dialami batang secara memanjang atau longitudinal. Jika elemen cenderung langsing dan pendek maka batang tekan akan mengalami tekuk lokal apabila relative tebal dan panjang maka batang tekan mengalami tekuk global.

Komponen struktur yang mengalami tekuk lokal dapat digolongkan menjadi elemen nonlangsing dan elemen langsing yang ditentukan rasio (b/t) penampang. Setelah menentukan batang tekan yang merupakan elemen nonlangsing atau elemen langsing, selanjutnya menentukan jenis tekuk global yang dipengaruhi rasio kelangsingan batang (L_c/r_{min}). Terdapat 3 jenis tekuk global yaitu tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi lentur. (Arifi & Setyowulan, 2020)

Kekuatan tekan nominal (P_n) suatu batang harus diambil dari nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi-lentur.

$$P_u \leq \phi_c P_n \dots\dots\dots(2. 159)$$

dengan P_u adalah gaya tekan aksial terfaktor (N)

$$\phi_c = 0,90 \dots\dots\dots(2. 160)$$

- a. Tekuk Lentur

Pasal E3 pada (SNI 1729, 2020 : 34) digunakan untuk perencanaan batang tekan klasifikasi nonlangsing ($\lambda < \lambda_r$) yang mengalami tekuk lentur.

$$P_n = F_{cr} \times A_g \dots\dots\dots(2. 161)$$

Nilai tegangan kritis (F_{cr}) ditentukan dengan syarat berikut:

1. Jika $\frac{Lc}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$ atau $\left(\frac{Fy}{Fe} \leq 2,25\right)$; tekuk inelastis, maka

$$Fcr = \left(0,658 \frac{Fy}{Fe}\right) Fy \dots\dots\dots(2. 162)$$

2. Jika $\frac{Lc}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$ atau $\left(\frac{Fy}{Fe} > 2,25\right)$; tekuk elastis, maka

$$Fcr = 0,877 x Fe \dots\dots\dots(2. 163)$$

Dengan tegangan tekuk kritis elastis, $Fe = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{Lc}{r}\right)^2} \dots\dots\dots(2. 164)$

b. Tekuk Torsi dan Tekuk Lentur Torsi

Tekuk ini sering terjadi pada penampang dengan kekakuan torsi yang relative kecil atau pusat geser dan pusat beratnya tidak berhimpit. Kapasitas tekan nominal penampang kolom tidak langsing terhadap kedua tekuk ini sebagai berikut:

$$Pn = Fcr x Ag \dots\dots\dots(2. 165)$$

Tegangan kritis (Fcr) ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk profil struktur simetris ganda yang mengalami torsi pada pusat geser

$$Fe = \left(\frac{\pi^2 ECw}{Lcz^2} + GJ\right) \frac{1}{Ix+Iy} \dots\dots\dots(2. 166)$$

2. Untuk profil simetris tunggal yang mengalami torsi pada pusat geser dimana y adalah sumbu simetris

$$Fe = \left(\frac{Fey+Fez}{2H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4FeyFezH}{(Fey+Fez)^2}}\right] \dots\dots\dots(2. 167)$$

2.13. Perencanaan Batang Portal (Balok-Kolom)

Struktur yang elemen batangnya menerima kombinasi gaya aksial dan momen sekaligus harus direncanakan dengan perhitungan portal (balok-kolom). Pada dasarnya perencanaan batang portal ditunaju terhadap kuat tekan dan juga kuat lenturnya. Nantinya kuat tekan akibat gaya aksial dan kuat lentur akibat gaya lentur akan dihubungkan dengan persamaan interaksi antara kuat tekan dan kuat lentur sebagai berikut :

a. Jika $\frac{Pr}{Pc} \geq 0,2$, maka : $\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy}\right) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2. 168)$

b. Jika $\frac{Pr}{Pc} \leq 0,2$, maka : $\frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy}\right) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2. 169)$

Dimana :

P_r = kuat aksial perlu elemen struktur (N)

P_c = kuat rencana elemen struktur dalam kondisi tarik atau tekan (N)

M_r = kuat lentur perlu elemen struktur (Nmm)

M_c = kuat lentur yang tersedia (Nmm)

x = symbol untuk momen lentur pada sumbu kuat penampang

y = symbol untuk momen lentur pada sumbu kuat penampang

2.14. Sambungan Terprakualifikasi

Semua desain, material dan pengerjaan harus sesuai dengan persyaratan SNI Ketentuan Seismik dan standar ini, sambungan yang dirancang bisa menggunakan ketentuan DFBT atau DKI. Tipe sambungan pada tabel dibawah sudah terprakualifikasi untuk digunakan dalam penyambungan balok ke sayap kolom pada Rangka Momen Khusus (RMK) dan Rangka Momen Menengah (RMT) seperti berikut :

Tabel 2. 20 Sambungan Momen Terprakualifikasi

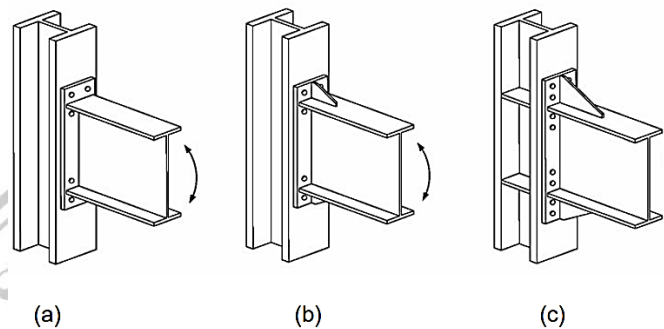
Tipe Sambungan	Sistem
Penampang Balok Tereduksi (PBR)	RMK,RMT
Pelat Ujung Diperpanjang Berbaut dan Tanpa Pengaku	RMK,RMT
Pelat Ujung Diperpanjang Berbaut Dengan Pengaku	RMK,RMT
Pelat Sayap Berbaut (PSB)	RMK,RMT
Sayap Dilas Tanpa Penguat Badan Dilas (SLTKBL)	RMK,RMT
Braket Kaiser Berbaut (BKB)	RMK,RMT
Sambungan Momen onXtech ConXL	RMK,RMT
Sambungan Momen SidePlate	RMK,RMT
Sambungan Momen Simpson Strong-Tie Strong Frame	RMK,RMT
Sambungan Momen T Ganda	RMK,RMT

Sumber : SNI 7972 – 2020 : 3

Dari berbagai jenis sambungan yang akan dijelaskan pada tugas akhir ini yaitu Pelat ujung diperpanjang berbaut dengan pengaku (Bolted Stiffened Extended End-Plate) dan Pelat ujung diperpanjang tanpa pengaku (Bolted Unstiffened Extended End-Plate). Sambungan pelat-ujung berbaut dilakukan dengan pengelasan balok ke pelat-ujung dan pebautan pelat-ujung ke sayap kolom. Perilaku tipe sambungan ini dapat ditentukan oleh beberapa keadaan batas yang berbeda

termasuk pelelehan lentur penampang balok, pelelehan lentur pelat-ujung, pelelehan zona panel kolom, keruntuhan tarik baut pelat-ujung, keruntuhan geser baut pelat-ujung, atau keruntuhan berbagai joint yang dilas. Adapun sistem yang digunakan dalam sambungan tersebut yaitu :

1. Sebagai tambahan dari pembatasan syarat sambungan, tinggi penampang nominal balok tidak kurang dari 24 in (600 mm)



Gambar 2. 28 Konfigurasi Pelat-Ujung Diperpanjang
(a) empat-baut tanpa pengaku, 4E ; (b) empat-baut dengan pengaku, 4ES ;
(c) delapan-baut dengan pengaku, 8ES.

Tabel 2. 21 Pembatasan Parametrik pada Prakuifikasi

Parameter	Tanpa Pengaku dengan Empat Baut (4E)		Dengan Pengaku dengan Empat Baut (4ES)		Dengan Pengaku dengan Delapan-Baut (8ES)	
	Maksimum in (mm)	Minimum in (mm)	Maksimum in (mm)	Minimum in (mm)	Maksimum in (mm)	Minimum in (mm)
t_{bf}	$3/4$ (19)	$3/8$ (110)	$3/4$ (19)	$3/8$ (110)	1 (25)	$9/16$ (14)
b_{bf}	$9 1/4$ (235)	6 (152)	9 (229)	6 (152)	$12 3/4$ (311)	$7 1/2$ (190)
d	55 (1400)	$13 3/4$ (349)	24 (610)	$13 3/4$ (349)	36 (914)	18 (457)
t_p	$2 1/4$ (57)	$1/2$ (113)	$1 1/2$ (38)	$1/2$ (113)	$2 1/2$ (64)	$3/4$ (19)
b_p	$10 3/4$ (273)	7 (178)	$10 3/4$ (273)	7 (178)	15 (381)	19 (229)
g	6 (152)	4 (102)	6 (152)	$3 3/4$ (83)	6 (152)	5 (127)
p_{ri} , p_{ro}	$4 1/2$ (114)	$1 1/2$ (38)	$5 1/2$ (140)	$1 3/4$ (44)	2 (51)	$1 5/8$ (41)
p_b	-	-	-	-	$3 3/4$ (95)	$3 1/2$ (89)

b_{bf} = lebar sayap balok

b_p = lebar pelat-ujung

d = tinggi penampang balok penyambung

g = jarak horizontal antara baut-baut

p_b = jarak vertical antara baris baut sebelah dalam dan sebelah luar dalam sambungan 8ES

p_{ri} = jarak vertical dari bagian dalam dari suatu sayap tarik balok ke baris baut bagian dalam terdekat

p_{ro} = jarak vertical dari bagian luar dari suatu sayap tarik balok ke baris baut bagian luar terdekat

t_{bf} = tebal sayap balok

t_p = tebal pelat-ujung

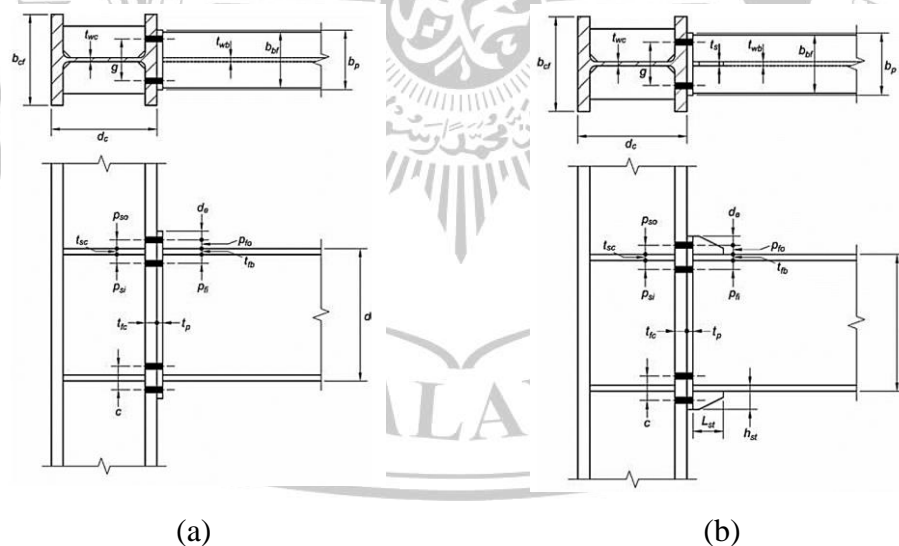
Sumber : SNI 7972 – 2020 : 18

2. Tidak ada konektor geser dalam 1,5 kali tinggi penampang balok dari muka sayap kolom yang disambungkan
3. Pelat beton struktural diletakkan paling sedikit 1 in (25 mm) dari kedua sisi dari kedua sayap kolom. Diizinkan untuk menempatkan material kompresibel di celah antara sayap kolom dan pelat beton struktural.

2.14.1. Pendetailan Sambungan

1. Gage, g , terdapat pada gambar dengan dimensi maksimum dibatasi oleh lebar sayap balok yang disambung.
2. Pitch dan spasi baris

Jarak pitch, p_{fi} dan p_{fo} , adalah jarak dari muka sayap balok ke sumbu baris baut terdekat. Jarak pitch, p_{si} dan p_{so} , adalah jarak dari muka pelat penerus ke sumbu baris baut terdekat. Jarak pitch minimum sama dengan diameter baut ditambah $\frac{1}{2}$ in (13 mm) untuk baut sampai dengan diameter 1 in (25 mm) dan diameter baut $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) untuk baut diameter lebih besar.



Gambar 2. 29 Geometri Pelat-Ujung yang diperpanjang

(a) Tanpa pengaku empat baut (4E) ; (b) Diperkaku empat baut (4ES)

Spasi, p_b , adalah jarak antara deretan dalam dan terluar baut pada suatu sambungan momen pelat-ujung 8ES. Spasi deretan baut ini harus paling sedikit $\frac{2}{3}$ kali diameter baut.

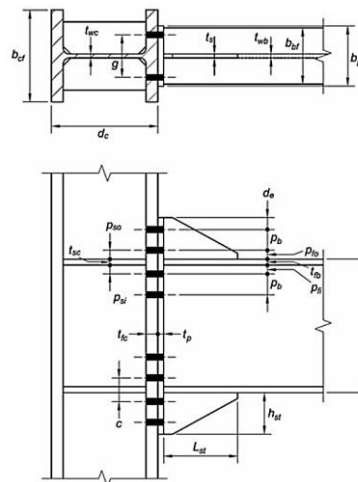
3. Lebar Pelat Ujung

Lebar pelat ujung harus lebih besar dari atau sama dengan lebar sayap balok yang disambung. Lebar pelat ujung efektif tidak boleh diambil lebih besar dari sayap balok yang disambung ditambah 1 in (25 mm).

4. Pengaku Pelat Ujung

Dua sambungan pelat ujung yang diperpanjang yang diperkaku, mensyaratkan pengaku dilas antara sayap balok yang disambung dan pelat ujung. Panjang pengaku minimum harus :

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ} \dots\dots\dots(2. 170)$$

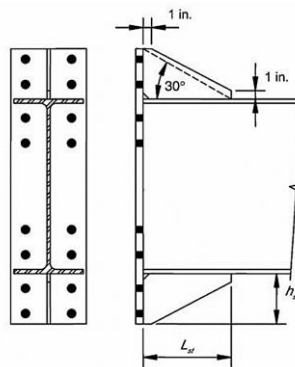


Gambar 2. 30 Geometri Pelat-Ujung yang diperpanjang yang diperkaku dengan delapan-baut (8ES)

dengan h_{st} adalah tinggi pengaku, sama dengan tinggi pelat ujung dari muka terluar sayap kolom ke pelat ujung. Pelat pengaku harus dihentikan pada sayap balok dan pada ujung dari pelat ujung dengan panjang penghentian sekitar 1 in (25 mm). Pengaku harus dipotong untuk memberi ruang anatra pengaku dan las sayap balok.

5. Ganjal Menjari

Penggunaan ganjal menjari pada bagian paling atas atau bagian paling bawah sambungan dan atau pada kedua sisi adalah diizinkan.



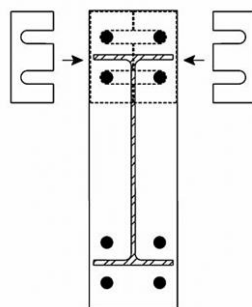
Gambar 2. 31 Tata letak dan geometri pengaku pelat-ujung untuk 8ES. Geometri untuk 4ES yang mirip.

6. Detail Pengelasan

Pengelasan balok ke pelat ujung harus memenuhi pembatasan yang berikut :

1. Lubang-lubang akses las tidak boleh digunakan.
2. Sayap balok pada joint pelat ujung harus dibuat menggunakan suatu las gruv PJK tanpa backing. Muka sayap bagian dalam memiliki las fillet 8 mm.
3. Hubungan badan balok ke pelat ujung harus dilakukan menggunakan las fillet atau las gruv PJK.
4. Backgouging dari root tidak diperlukan dalam sayap secara langsung diatas dan dibawah badan balok untuk suatu panjang sama dengan $1,5k_1$. Sebuah las gruv PJP tinggi-penuh harus diizinkan pada lokasi ini.
5. Bila digunakan, semua joint pelat ujung ke pengaku harus dibuat menggunakan las gruv PJK.

Pengecualian : Bila pengaku tebal $3/8$ in (10 mm) atau kurang, maka harus diizinkan menggunakan las fillet yang menyalurkan kekuatan pengaku.



Gambar 2. 32 Penggunaan tipikal dari ganjal menjari

2.14.2. Prosedur Desain

1. Desain Plat Ujung dan Baut

Langkah 1. Tentukan ukuran komponen struktur yang disambung (balok-kolom) dan hitung momen pada muka kolom, M_f .

$$M_f = M_{pr} + V_u S_h \dots\dots\dots(2. 171)$$

Dimana :

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

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

= terkecil dari $d/2$ atau $3b_{bf}$ untuk suatu sambungan tanpa pengaku (4E)

= $L_{st} + t_p$ untuk sutau sambungan diperkaku (4ES, 8ES)

V_u = gaya geser pada ujung balok (N)

$$= \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravitasi}$$

b_{bf} = lebar sayap balok (mm)

d = tinggi penampang balok penyambung (mm)

L_h = jarak antara lokasi sendi plastis (mm)

L_{st} = panjang pengaku pelat-ujung (mm)

t_p = tebal pelat-ujung (mm)

$V_{gravitasi}$ = gaya geser balok dihasilkan dari $1,2D + f_1L + 0,2S$ (dengan f_1 adalah suatu faktor beban ditentukan oleh peraturan bangunan gedung yang berlaku untuk beban hidupm tetapi tidak kurang dari 0,5) (N)

Langkah 2. Pilih satu dari tiga konfigurasi dan menetapkan nilai-nilai yang mula-mula untuk geometri sambungan dan mutu baut.

Langkah 3. Tentukan diameter baut yang dibutuhkan, $d_{b \text{ req'd}}$

Untuk sambungan empat baut- (4E, 4ES)

$$d_{b \text{ req'd}} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \phi_n F_{nt} (h_o+h_1)}} \dots\dots\dots(2. 172)$$

Untuk sambungan delapan baut (8ES)

$$d_{b \text{ req'd}} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \phi_n F_{nt} (h_1+h_2+h_3+h_4)}} \dots\dots\dots(2. 173)$$

Dimana :

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

h_i = jarak dari sumbu sayap tekan balok ke sumbu deretan baut tarik

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

ϕn = 0,90

Langkah 4. Pilih sebuah diameter baut coba, d_b , tidak kurang dari $d_{b \text{ req'd}}$.

Langkah 5. Tentukan tebal pelat-ujung terspesifikasi, $t_{p \text{ req}}$,

$$t_{p \text{ req}} = \sqrt{\frac{1,11M_f}{\phi d F_{yp} Y_p}} \dots\dots\dots(2. 174)$$

Dimana :

F_{yp} = tegangan leleh minimum terspesifikasi material pelat-ujung (Mpa)

Y_p = parameter mekanisme garis leleh pelat-ujung (mm)

ϕd = 1,00

Langkah 6. Pilih tebal pelat-ujung, t_p , tidak kurang dari nilai yang disyaratkan.

Langkah 7. Hitung F_{fu} , gaya sayap balok terfaktor

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d - t_{bf}} \dots\dots\dots(2. 175)$$

Dimana :

t_{bf} = tebal sayap balok (mm)

Langkah 8. Periksa pelelehan geser pelat ujung tanpa pengaku empat baut (4E)

$$F_{fu}/2 \leq \phi d R_n = \phi d (0,6) F_{yp} b_p t_p \dots\dots\dots(2. 176)$$

dengan b_p , adalah lebar pelat ujung, in (mm), diambil sebagai tidak lebih besar dari lebar sayap balok ditambah 1 in (25 mm).

Langkah 9. Periksa keruntuhan geser pada pelat ujung tanpa pengaku yang diperpanjang empat baut (4E)

$$F_{fu}/2 \leq \phi n R_n = \phi n (0,6) F_{up} A_n \dots\dots\dots(2. 177)$$

Tabel 2. 22 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung
Diperpanjang Tanpa Pengaku dengan Empat Baut

Geometri Pelat-Ujung dan Pola Garis Leleh	Model Gaya Baut
Pelat - Ujung	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{fo}} - \frac{1}{2} \right) + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s)] \right]$
	$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} ; \text{catatan : jika } p_{fi} > s \text{ gunakan } p_{fi} = s$

Tabel 2. 23 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung
Diperpanjang Dengan Pengaku dengan Empat Baut

Geometri Pelat-Ujung dan Pola Garis Leleh		Model Gaya Baut
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	Kasus 2 ($d_e > s$)	
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(d_e + p_{fo})]$	
Kasus 2 ($d_e > s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(s + p_{fo})]$	
	$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} ; \text{catatan : jika } p_{fi} > s \text{ gunakan } p_{fi} = s$	

Tabel 2. 24 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang Dengan Pengaku dengan Delapan Baut

Geometri Pelat-Ujung dan Pola Garis Leleh		Model Gaya Baut
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	Kasus 2 ($d_e > s$)	
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right]$ $+ \frac{2}{g} \left[h_1 \left(d_e + \frac{3pb}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{pb}{4} \right) + h_3 \left(p_{fi} + \frac{3pb}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{pb}{4} \right) \right] + g$	
Kasus 2 ($d_e > s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right]$ $+ \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{pb}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{3pb}{4} \right) + h_3 \left(p_{fi} + \frac{pb}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3pb}{4} \right) \right] + g$	
$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}$; catatan : jika $p_{fi} > s$ gunakan $p_{fi} = s$		

Sumber : SNI 7972 – 2020 : 27-28

Dimana :

F_{up} = tegangan tarik minimum terspesifikasi dari pelat ujung (Mpa)

A_n = luas neto pelat ujung

= $t_p [b_p - 2(db + 1/8)]$, bila lubang-lubang standar digunakan, in²

= $t_p [b_p - 2(db + 3)]$, bila lubang-lubang standar digunakan, mm²

db = diameter baut, in (mm)

Langkah 10. Jika menggunakan sambungan pelat ujung diperpanjang dengan pengaku empat-baut (4ES) atau dengan pangku delapan baut (8ES), pilih tebal pengaku pelat ujung dan desain las pengaku ke sayap balok dan las pengaku ke pelat ujung.

$$t_s \geq t_{bw} \left(\frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right) \dots\dots\dots(2. 178)$$

Dimana :

t_{bw} = tebal bada balok (mm)

t_s = tebal pengaku pelat ujung (mm)

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

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

Sebagai tambahan, untuk mencegah tekuk lokal pelat pengaku, ukuran lebar terhadap tebal yaitu :

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \dots\dots\dots(2. 179)$$

Dimana :

h_{st} = tinggi pengaku, in (mm), sama dengan tinggi pelat ujung dari muka terluar atau sayap balok ke ujung dari pelat ujung

Langkah 11. Kekuatan runtuh geser baut dari sambungan

$$V_u \leq \phi n R_n = \phi n (n_b) F_{nv} A_b \dots\dots\dots(2. 180)$$

Dimana :

n_b = jumlah baut pada sayap tekan

= 4 untuk sambungan 4E dan 4ES

= 8 untuk sambungan 8ES

A_b = luas bruto baut nominal (mm^2)

F_{nv} = kekuatan geser baut nominal dari SNI Spesifikasi (Mpa)

V_u = gaya geser pada ujung balok (N)

Langkah 12. Periksa kegagalan tumpu baut/sobek dari pelat ujung dan sayap kolom

$$V_u \leq \phi n R_n = \phi n (n_i) r_{ni} + \phi n (n_o) r_{no} \dots\dots\dots(2. 181)$$

Dimana :

n_i = jumlah baut dalam

= 2 untuk sambungan 4E dan 4ES

= 4 untuk sambungan 8ES

n_o = jumlah baut terluar

= 2 untuk sambungan 4E dan 4ES

= 4 untuk sambungan 8ES

$r_{ni} = 1,2 L_c t F_u < 2,4 d_b t F_u$ 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, pada arah gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan atau tepi material (mm)

F_u = kekuatan tarik minimum terspesifikasi dari pelat ujung atau material sayap kolom (Mpa)

t = tebal pelat ujung atau tebal sayap kolom (mm)

Langkah 13. Desain las sayap ke pelat ujung dan las badan ke pelat ujung menggunakan persyaratan Detail Pengelasan.

2.14.3. Desain di bagian Kolom

Langkah 1. Periksa sayap kolom untuk pelelehan lentur :

$$t_c f \geq \sqrt{\frac{1,11 M f}{\phi d F_{yc} Y_c}} \dots\dots\dots (2. 182)$$

Dimana :

F_{yc} = tegangan leleh minimum terspesifikasi dari material sayap kolom (Mpa)

Y_c = parameter mekanisme garis leleh sayap kolom tanpa pengaku

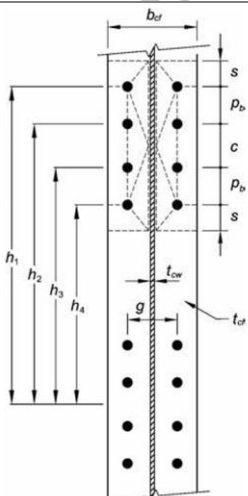
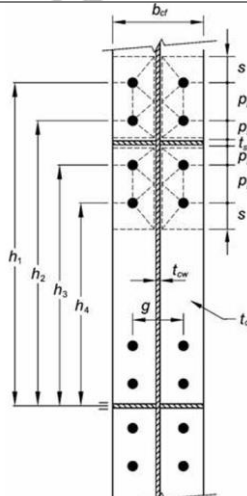
$t_c f$ = tebal sayap kolom (mm)

Tabel 2. 25 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Sayap Kolom Yang Diperpanjang Dengan Pengaku dengan Empat Baut

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

Sayap Kolom Tanpa Pengaku	$Y_c = \frac{bcf}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{3c}{4} \right) h_0 \left(s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{2} \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{bcf g}$
Sayap Kolom Diperkaku	$Y_c = \frac{bcf}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{psi} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{ps_0} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(s + psi)h_0(s + ps_0)]$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{bcf g} ; \text{ Catatan : Jika } psi > s \text{ gunakan } psi = s$

Tabel 2. 26 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Sayap Kolom Yang Diperpanjang Dengan Pengaku dengan Delapan Baut

Geometri Sayap Kolom Tanpa Pengaku dan Pola Garis Leleh	Geometri Sayap Kolom Dengan Pengaku dan Pola Garis Leleh
	
Sayap Kolom Tanpa Pengaku $Y_c = \frac{bcf}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(pb + \frac{c}{s} + s \right) + h_2 \left(\frac{pb}{2} + \frac{c}{4} \right) + h_3 \left(\frac{pb}{2} + \frac{c}{2} \right) + h_4(s) \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{bcf g}$	Sayap Kolom Diperkaku $Y_c = \frac{bcf}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{psi} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{ps_0} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(s + psi)h_0(s + ps_0)]$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{bcf g} ; \text{ Catatan : Jika } psi > s \text{ gunakan } psi = s$

Jika tidak terpenuhi, tambah ukuran kolom atau tambah pelat penerus.

Langkah 2. Jika pelat penerus disyaratkan untuk pelelehan lentur sayap kolom, tentukan gaya pengaku yang disyaratkan.

Kekuatan desain lentur sayap kolom adalah

$$\phi M_{cf} = \phi d F_{yc} Y_c t_{cf}^2 \dots\dots\dots (2. 183)$$

Dimana :

Y_c = parameter mekanisme garis leleh kolom tanpa pengaku.

Karena itu gaya desain sayap kolom ekuivalen adalah

$$\phi d R_n = \frac{\phi d M c f}{(d - t b f)} \dots\dots\dots (2. 184)$$

Langkah 3. Periksa kekuatan pelelehan badan kolom lokal dari badan kolom tanpa pengaku pada sayap balok.

$$F_{fu} \leq \phi d R_n \dots\dots\dots (2. 185)$$

$$R_n = C_t (6 k_c + t b f + 2 t p) F_{yc} t c w \dots\dots\dots (2. 186)$$

Dimana :

F_{yc} = tegangan leleh terspesifikasi dari material badan kolom (Mpa)

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

$t c w$ = tebal badan kolom (mm)

Jika persyaratan kekuatan tidak terpenuhi, diperlukan pelat penerus badan kolom.

Langkah 4. Periksa kekuatan tekuk badan kolom tanpa pengaku pada sayap tekan balok.

$$F_{fu} \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2. 187)$$

Dimana :

$$\phi = 0,75$$

- a. Bila F_{fu} diterapkan pada sebuah jarak lebih besar dari atau sama dengan $dc/2$ dari ujung kolom

$$R_n = \frac{24 t c w^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \dots\dots\dots (2. 188)$$

- b. Bila F_{fu} diterapkan pada sebuah jarak kurang dari $dc/2$ dari ujung kolom

$$R_n = \frac{12 t c w^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \dots\dots\dots (2. 189)$$

Jika persyaratan kekuatan tidak terpenuhi, diperlukan pelat penerus badan kolom.

Langkah 5. Periksa kekuatan lipat badan kolom tanpa pengaku pada sayap tekan balok.

$$F_{fu} \leq \phi R_n \dots\dots\dots (2. 190)$$

Dimana :

$$\phi = 0,75$$

- a. Bila F_{fu} diterapkan pada sebuah jarak lebih besar dari atau sama dengan $dc/2$ dari ujung kolom

$$R_n = 0,80 t c w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d c} \right) \left(\frac{t c w}{t c f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t c f}{t c w}} \dots\dots\dots (2. 191)$$

b. Bila F_{fu} diterapkan pada suatu jarak kurang dari $d_c/2$ dari ujung kolom

Untuk $N/d_c \leq 0,2$

$$R_n = 0,40 t_c w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_c w}{t_c f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_c f}{t_c w}} \dots\dots\dots (2. 192)$$

Untuk $N/d_c > 0,2$

$$R_n = 0,40 t_c w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d_c} - 0,2 \right) \left(\frac{t_c w}{t_c f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_c f}{t_c w}} \dots\dots\dots (2. 193)$$

Dimana :

N = $b_f + 2w + 2t_p$ (mm)

d_c = keseluruhan tinggi penampang kolom (mm)

t_p = tebal pelat ujung (mm)

w = ukuran kaki dari perkuatan las gruv dan las fillet (mm)

Jika persyaratan kekuatan tidak terpenuhi, diperlukan pelat penerus badan kolom.

Langkah 6. Jika pelat pengaku dibutuhkan untuk setiap keadaan batas sisi kolom, kekuatan perlu adalah

$$F_{su} = F_{fu} - \min(\phi R_n) \dots\dots\dots (2. 194)$$

dengan $\min(\phi R_n)$ adalah nilai kekuatan desain minimum dari Langkah 2 (lentur sayap kolom), Langkah 3 (pelelehan badan kolom), Langkah 4 (tekuk badan kolom), dan Langkah 5 (lipat badan kolom).

Langkah 7. Periksa zona panel menurut Pasal 6.4.1

2.15. Sambungan Baut

Menurut (Arifi & Setyowulan, 2020 : 69), sambungan ini merupakan jenis pengencang yang terdiri dari kepala baut pada salah satu sisinya dan mempunyai ulir sebagai alur untuk mengencangkan sambungan baik dengan cara manual ataupun menggunakan mesin.

2.15.1. Ukuran dan Lubang Baut

Pada (SNI 1729, 2020) material baut yang tercantum adalah baut yang sesuai dengan standar American Standard for Testing and Materials (ASTM). Secara garis besar terdapat 2 mutu baut yaitu :

a. Baut biasa (misal : A307), terbuat dari baja karbon rendah

- b. Baut mutu tinggi (misal : A325 dan dan A490), dan baut mutu tinggi dibagi menjadi 2 grup yaitu grup A (misal : baut A325M0 dan grup B (misal : baut A490M)

Tabel 2. 27 Kekuatan Nominal Pengencang dan Bagian Berulir (Mpa)

Deskripsi Pengencang	Kekuatan tarik nominal (F _t) ksi (Mpa)	Kekuatan geser nominal pada sambungan tipe tumpu (F _{nv}) ksi (Mpa)
Baut A307	45 (310)	27 (186)
Baut kelompok A (missal A325), apabila ulir ada di bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut kelompok A (missal A325), apabila ulir ada di luar bidang geser	90 (620)	68 (469)
Baut kelompok B (missal A490), apabila ulir ada di bidang geser	113 (780)	68 (469)
Baut kelompok B (missal A490), apabila ulir ada di luar bidang geser	113 (780)	84 (579)

Sumber : SNI 1729-2020 : 127

2.15.2. Jarak Baut

- a. Spasi Minimum

Jarak as ke as antara lubang minimum, $s \geq 2\frac{2}{3}d$, namun jarak bersih antara lubang baut atau slot tidak boleh kurang dari d . lebih direkomendasikan $s = 3d$.

- b. Jarak Tepi Minimum

Jarak baut ke tepi sambungan, tidak boleh kurang dari nilai yang berlaku.

- c. Spasi Maksimum Dan Jarak Tepi

Jarak baut ke tepi terdekat pada bagian yang saling kontak harus 12 kali tebal bagian tersambung yang sedang ditinjau, tetapi tidak boleh melebihi 150 mm atau 6 in.

Untuk spasi maksimum maka :

- Untuk komponen struktur yang di cat atau tidak di cat yang tidak mengalami korosi, $s \leq 24 t$ pelat tertipis atau 300 mm (12 in).
- Untuk komponen struktur yang tidak di cat yang terhubung dengan cuaca yang mengalami korosi, $s \leq 14 t$ pelat tertipis atau 180 mm (7 in).

2.15.3. Tahanan Nominal Baut

Berdasarkan SNI 1729-2020 suatu baut yang memikul gaya terfaktor harus memenuhi syarat berikut :

$$R_u \leq \phi \cdot R_n \dots\dots\dots(2. 195)$$

Dimana :

R_u = gaya terfaktor yang terjadi pada baut (N)

ϕ = faktor ketahanan baut, berbeda untuk setiap kasus

R_n = kekuatan nominal baut (R_n)

Terdapat beberapa jenis kekuatan nominal baut yaitu :

a. Kekuatan Geser Baut

$$R_n = F_{nv} \times A_b \dots\dots\dots(2. 196)$$

Dimana :

F_{nv} = Tegangan geser nominal baut (Mpa)

A_b = Luas bruto penampang baut (mm^2)

b. Kekuatan Tarik Baut

$$R_n = F_{nt} \times A_b \dots\dots\dots(2. 197)$$

Dimana :

F_{nt} = Tegangan tarik nominal baut (Mpa)

2.15.4. Kuat Geser Blok

Analisa geser blok (block shear) dilakukan agar pada bagian lubang baut tidak mengalami geser sehingga terjadi kegagalan. Block shear sangat dipengaruhi oleh posisi dan jarak antar baut. Dengan penempatan baut secara berkelompok, maka saat terjadi keruntuhan blok dapat berakibat pada satu kelompok.

$$R_n = 0,6 F_u \times A_{nv} + U_{bs} \times F_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times F_y \times A_{gv} + U_{bs} \times F_u \times A_{nt}$$

Dimana :

U_{bs} = 1,0 untuk tegangan tarik merata

= 0,5 untuk yang tidak merata

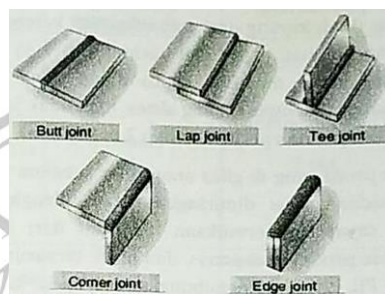
A_{nv} = luas netto yang mengalami gaya geser (mm^2)

A_{gv} = luas utuh yang mengalami gaya geser (mm^2)

A_{nt} = luas netto yang mengalami gaya tarik (mm^2)

2.16. Sambungan Las

Pengelasan adalah proses penyambungan bahan logam dengan cara memanaskan bahan pada suhu yang sesuai dengan atau tanpa tekanan, dan dengan atau tanpa bahan pengisi. Terdapat lima jenis sambungan las yang ditampilkan pada gambar dibawah.



Gambar 2. 33 Jenis-jenis sambungan las

Kekuatan desain las harus merupakan nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik dan keruntuhan geser serta kekuatan logam las yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan berikut ini :

Untuk logam dasar

$$Rn = Fn_{BM} \times A_{BM} \dots\dots\dots(2. 198)$$

Untuk logam las

$$Rn = Fn_w \times A_{we} \dots\dots\dots(2. 199)$$

Dimana :

A_{BM} = luas penampang logam dasar (mm^2)

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

Fn_{BM} = tegangannominal logam dasar (Mpa)

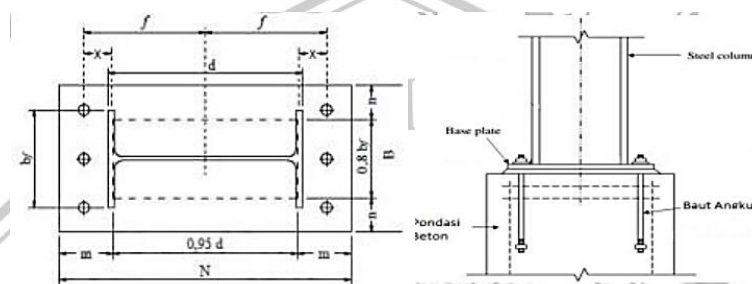
Fn_w = tegangan nominal logam las (Mpa)

Kekuatan rencana las kemudian didapat dengan rumus :

$$Ru \leq \phi . Rn \dots\dots\dots(2. 200)$$

2.17. Base Plate dan Angkur

Struktur baja umumnya untuk bangunan dibagian atas, dibagian bawah khususnya pondasi mengandalkan struktur beton. Untuk menghubungkan keduanya perlu sambungan yaitu base plate. Pada base plate, pemasangan baut angkur adalah suatu keharusan. Meskipun secara teoritis bisa jadi tidak dibutuhkan, tetapi baut angkur harus dipasang untukantisipasi terjadinya gaya tarik atau gaya geser yang tidak terduga selama konstruksi. (Dewobroto : 2015).



Gambar 2. 34 Penampang pelat dasar kolom

2.17.1. Base Plate

Gaya tekan yang mampu ditahan beton penumpu

$$P_u = \frac{M_u}{e} \dots \dots \dots (2. 201)$$

Mencari tebal minimum pelat

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} \dots \dots \dots (2. 202)$$

$$n = \frac{B - 0,8bf}{2} \dots \dots \dots (2. 203)$$

$$f_p = \frac{P_u}{B \cdot Y} \dots \dots \dots (2. 204)$$

$$M_{pl} = \frac{1}{2} \times f_p \times m^2 \dots \dots \dots (2. 205)$$

Maka tebal minimum pelat adalah :

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4 M_{pl}}{\phi F_y}} \dots \dots \dots (2. 206)$$

2.17.2. Angkur

Mencari panjang minimum angkur (Ld)

$$Pu \leq \phi \pi D \tau Ld \dots\dots\dots(2. 207)$$

$$\tau = 2,8 \text{ Mpa}$$

Terdapat tinjauan angkur terhadap gaya tarik dan gaya geser dengan rumus berikut:

1. Tinjau angkur terhadap tarik

$$Nua = \frac{Mu}{Fu} \dots\dots\dots(2. 208)$$

$$\phi N_{sa} = \phi A_{se,N} \times Fu_a \dots\dots\dots(2. 209)$$

Dimana :

Nsa = kuat tarik nominal baut angkur

A_{se,N} = luas prnampang efektif terhadap tarik

Fua = kuat tarik baut angkur yang disyaratkan

2. Kuat jebol beton angkur keadaan tarik

$$A_{nc} = (Ca_1 + S_1 + 1,5h_{ef}) \times (Ca_2 + S_2 + 1,5h_{ef}) \dots\dots\dots(2. 210)$$

$$A_{nco} = 9h_{ef}^2 \dots\dots\dots(2. 211)$$

$$Nb = 3,9 \lambda a \sqrt{fc'} h_{ef}^{5/3} \dots\dots\dots(2. 212)$$

$$Ncbg = \frac{Anc}{Anco} \times \Psi_{ec,N} \times \Psi_{ed,N} \times \Psi_{c,N} \times \Psi_{cp,N} \times Nb \dots\dots\dots(2. 213)$$

3. Kuat cabut angkur dari beton

$$Np = 8 A_{brg} fc' \dots\dots\dots(2. 214)$$

$$Npn = \Psi_{c,P} Np \dots\dots\dots(2. 215)$$

Dimana :

Npn = kuat cabut (pull out) nominal angkur

$\Psi_{c,P}$ = faktor modifikasi untuk angkur

4. Kuat baut angkur terhadap geser

$$\phi Vsa = \phi A_{se,N} Fu_a \dots\dots\dots(2. 216)$$

$$Avc = 2 (1,5 Ca_1 + S_2) 1,5 Ca_1 \dots\dots\dots(2. 217)$$

$$Avco = 4,5 \times Ca_1^2 \dots\dots\dots(2. 218)$$

$$Vb = \left(0,6 \left(\frac{I_e}{da}\right)^{0,2} \sqrt{da}\right) \lambda a \sqrt{fc'} (Ca_1)^{1,5} \dots\dots\dots(2. 219)$$

$$Vcbg = \frac{Avc}{Avco} \times \Psi_{ec,V} \times \Psi_{ed,V} \times \Psi_{c,V} \times \Psi_{h,V} \times Vb \dots\dots\dots(2. 220)$$

5. Kuat rompal beton terhadap geser

$$\phi V_{cpg} = \phi k_{cp} N_{cpg} \dots\dots\dots(2. 221)$$

Dimana :

- ϕ = faktor reduksi
 = 0,75 untuk kondisi dengan tulangan tambahan
 = 0,7 untuk kondisi tanpa tulangan
- k_{cp} = 1,0 untuk $h_{ef} < 65$ mm
 = 2,0 untuk $h_{ef} > 65$ mm

2.17.3. Interaksi gaya tarik dan gaya geser angkur

Gaya tarik dan gaya geser bisa terjadi sekaligus, jika salah satu gaya mempunyai rasio gaya perlu dibanding kuat rencananya lebih kecil dari 20% maka gaya lain masih dapat bekerja secara maksimum tanpa terjadi interaksi keduanya. Jika lebih dari 20% maka terjadi interaksi antara kedua gaya tersebut.

$$\frac{N_{ua}}{\phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\phi V_n} \leq 1,2 \dots\dots\dots(2. 222)$$

