

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Konsep Perencanaan

Menurut (Zega et al., 2022), Struktur baja yaitu metalik murni yang diproduksi yang dirancang untuk menyerap beban dalam batas tertentu sehingga dapat dimanfaatkan dengan baik pada struktur bangunan. Ada beberapa standar kekuatan baja, salah satunya adalah baja mutu tinggi. Struktur baja berkualitas tinggi mampu tahan terhadap beban berlebih dari pada struktur beton. Struktur baja adalah struktur terbaru yang dapat digunakan baik untuk bangunan maupun jembatan. Dalam arsitektur modern, baja dipakai hampir seluruh tipe struktur, baik bangunan industri, gedung tingkat tinggi, sistem pendukung struktur, jembatan, tiang menara, fasilitas perindustrian, serta sebagainya.

Menurut (Setiawan, 2008), bahan baja yang merupakan material digunakan telah lama dan karena terdapat beberapa karakteristik dan keunggulannya. Material baja memiliki keuntungan dan kelebihan antara lain yaitu:

- 1.) Mempunyai kekakuan tinggi yang dapat mengurangi besaran elemen struktural.
- 2.) Tingkat awet dan keseragaman bentuk, yang membuat perawatan berkala pada baja dapat dilakukan dengan mudah.
- 3.) Sifat elastisitas, yang memungkinkan baja memiliki berbagai asumsi dalam melakukan rancangan dan analisis struktur.
- 4.) Sifat kuat baja cukup tinggi, karena memiliki tegangan dan regangan tarik yang besar yang menjadikan baja kaku dan tahan terhadap runtuh.
- 5.) kemudahan sambungan elemen struktur satu dengan lainnya.

2.1.1 Parameter Perencanaan Struktur

Menurut (Fauzi et al., 2018), Elemen komposit yaitu elemen yang terbentuk oleh dua elemen struktur atau lebih dengan spesifikasi dan karakteristik berbeda yang bekerja sama untuk menopang beban pada tempat didirikannya struktur. Yang dua maksud dalam hal ini ialah material yang digunakan yaitu baja beton. membeda dengan struktur beton yang bertulang terletak pada ketahanannya terhadap gaya tarik. Untuk beton, gaya dengan tarik diserap oleh baja beton. Namun pada

penampang elemen padu, gaya dengan tarik ditanggung oleh elemen profil baja. Keuntungan desain struktur komposit mencakup bobot struktural yang lebih rendah karena baja, balok ukuran lebih kecil, kekakuan peningkatan pada daerah lantai, dan kemampuan untuk memiliki bentang spesifik yang lebih besar.

2.1.2 Konsep Dari LRFD

Menurut (Lesmana, 2021), Metode desain faktor beban (LRFD), merupakan metode dan prinsip dasar kondisi batas. Konsep LRFD adalah beban kerja dihitung dengan koefisien angka faktor sehingga diperolehnya faktor beban yang dijadikan beban pada struktur. Metode ini menggunakan faktor reduksi sebagai faktor aman ke dalam proses desain. Mengacu pada SNI 1729:2020, konsep ini disebut juga DFBT (Desain Faktor Beban dan Tahanan). LRFD dapat dirumuskan pada persamaan berikut.

$$\phi R_n \geq R_u \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

ϕR_n = desain kekuatan rencana

R_u = kuat perlu yang dihitung

R_n = kuat nominal yang disyaratkan

2.1.3 Sistem Struktur Penahan Seismik

2.1.3.1 Sistem Portal (*Moment-Frame System*)

1.) *Special moment frames* (SMF)

(Wiryanto Dewobroto, 2015), *SMF* adalah tipe yang dirancang untuk pengoperasian yang mudah. Oleh karena itu, bagian yang berhubungan dengan sendi plastis harus dirancang dengan baik dan harus memiliki konstruksi yang kuat untuk menahan gaya gempa ketika menghadapi perilaku yang berhubungan perilaku elastisitas struktur. Persyaratan ini dapat dipenuhi dengan menggunakan berbagai sambungan pelat serta baut dengan berkualitas tinggi.

2.) *Intermediate moment frames* (IMF)

(Wiryanto Dewobroto, 2015), *IMF* ialah jenis rangka pemikul momen yang serupa dengan SMF, sistem sambungan pada kolom-balok serupa dengan SMF, tetapi tingkat kaku terbatas dan pengaplikasiannya hanya pada daerah dengan zona gempa sedang

3.) *Ordinary Moment Frames (OMF)*

(Wiryanto Dewobroto, 2015), *OMF* atau Rangka Momen Biasa disebut juga sistem struktur serbaguna yang tidak memerlukan prasyarat khusus apa pun. *OMF* sangat cocok untuk bangunan dengan beban vertikal yang dominan, seperti struktur satu lantai dengan bentang lebar. Sambungan balok-kolom pada sistem ini dapat berupa sambungan pemikul momen penuh atau kombinasi sambungan tertahan sebagian (*partially restrained*) atau dan tertahan penuh (*full restrained*).

2.1.3.2 Sistem Rangka Batang Silang (*braced frames*)

1.) *Concentrically braced frames (CBF)*

Menurut (Merczel et al., 2013), *CBF* adalah bresing konsentris yaitu sistem yang digunakan sebagai penahan beban vertikal dan lateral pada bangunan baja bertingkat, karena strukturnya memiliki kelebihan dalam penerapannya. Hal tersebut diimplementasikan pada sambungan balok ke kolom dengan menggunakan penampang sehingga beberapa penampang utama struktur bisa lebih kuat dan nilai momen lentur rencana dapat berkurang.

2.) *Special Concentrically braced frames (SCBF)*

Menurut (Yang et al., 2019), merupakan sistem penahan beban seismik yang terdiri dari dua jenis sistem, yaitu rangka bresing konsentris menengah (*Moderate Ductile-CBF*) dan rangka bresing konsentris terbatas (*Limited Ductile-CBF*). *Moderate Ductile-CBF* ditargetkan dapat digunakan pada zona seismik yang tinggi (sering terjadi gempa) di mana sistem penahan gempa ini dirancang untuk meningkatkan kekakuan leleh pada bresing baja, sedangkan balok dan kolomnya dirancang untuk menahan beban maksimum yang dihasilkan oleh bresing. Untuk *Limited Ductile-CBF* ditargetkan dapat digunakan untuk lokasi dengan guncangan gempa yang relatif sedikit, di mana persyaratan dari kekakuan pada bresing dapat dilonggarkan.

3.) *Ordinary Concentrically braced frames* (OCBF)

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), Elemen struktur sistem OCBF bergantung pada perilaku pergeseran, sehingga menghasilkan kerangka yang dibidang terkekang yang dapat diklasifikasikan untuk struktur tanpa arah goyangan. Namun, sistem biasa berfungsi jika mempertahankan perilaku elastis selama aktivitas seismik yang signifikan. Oleh karena itu, sistem ini paling hemat biaya jika diperuntukkan ke struktur yang sebagian besar terkena beban berat gravitasi atau dalam kasus di mana keberadaan beban rencana dapat dijamin.

4.) *Eccentrically Braced Frames* (EBF)

Menurut (Nidiasari et al., 2020), EBF mempunyai karakter yang hampir mirip dengan SCBF. Namun EBF memiliki satu penyangga diagonal yang dihubungkan secara eksentrik dari kolom ke balok, serta elemen penghubung yang merupakan bagian dari balok yang terhubung secara eksentrik ke bresing. Eksentrik antara bresing dan balok berfungsi untuk mencegah terjadinya tekuk pada sistem bresing pada saat menerima beban berlebih.

2.1.4 Konsep Beban

Menurut (Salmon Charles G., 1997), beban yaitu gaya eksternal yang diberikan ke elemen struktur, dan tidak selalu bisa ditentukan dan diposisikan dengan presisi mutlak. Meskipun posisi beban pada struktur dapat diketahui, asumsi dan perkiraan diperlukan ketika mendistribusikan beban ke berbagai elemen struktur.

2.1.4.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Menurut (Salmon Charles G., 1997), Beban mati yaitu beban dengan letak posisi pada bagian luar struktur yang disebut juga beban gravitasi. Beban ini tetap berada pada tempatnya karena terus bekerja menuju bagian bawah struktur ke arah struktur tersebut dibangun. Beban mati termasuk berat profil elemen dan keseluruhan benda mati yang menetap pada posisinya selama struktur berdiri.

Tabel 2.1 berat sendiri bahan bangunan

material	berat jenis (kg/m³)
Baja	7850 kg/m ³
Batu	2600 kg/m ³
Batu belah, bulat, gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m ³
Pecahan batu	1450 kg/m ³
Cor beton	2200 kg/m ³
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Kayu	1000 kg/m ³
tumpukan bata merah	1700 kg/m ³
tumpukan batu belah, bulat, gunung	2200 kg/m ³
tumpukan batu cetak	2200 kg/m ³

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia 1983

Tabel 2.2 berat sendiri bahan bangunan struktur berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.

struktur bangunan	berat jenis (kg/m³)
Adukan:	
semen	21 kg/m ³
kapur, semen merah	17 kg/m ³
Dinding dengan bata merah:	
batu	450 kg/m ³
Belahan batu	250 kg/m ³
Dinding campuran batako:	
berlubang:	
Dinding tebal 21 cm	200 kg/m ³
Dinding tebal 10 cm	450 kg/m ³
Tak berlubang:	
Dinding tebal 15 cm	300 kg/m ³
Dinding tebal 10 cm	200 kg/m ³
Penggantung atap	7 kg/m ³
penutup lantai dari ubin semen	24 kg/m ³
Adukan dalam cm tebal:	
Asbes (5 mm)	11 kg/m ³

Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia 1983

2.1.4.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Menurut (Salmon Charles G., 1997) Beban hidup merupakan beban gravitasi yang mempunyai ciri lokasi yang bervariasi, beban ini biasanya dianggap sebagai beban bergerak. Beban hidup pada struktur harus diposisikan sedemikian rupa sehingga pengaruhnya paling besar, termasuk beban sebagian atau beban penuh. Sesuai syarat SNI 1727:2020 Distribusi dari beban bergerak dan beban terpusat yang seragam harus sesuai pada tabel sebagai berikut.

Tabel 2.3 beberapa beban hidup merata dan terpusat

hunian atau penggunaan	Merata, Lo psf (kN/m ²)	Terpusat, lb (kN)
sistem akses ruang:		
• Ruang untuk kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
• Ruang untuk komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
ruangan pertemuan:		
• kursi dipasang dilantai	60 (2,87)	
• lobi	100 (4,79)	
• kursi bisa dipindah	100 (4,79)	
• Panggung pertunjukkan	100 (4,79)	
• Area podium	150 (7,18)	
	100 (4,79)	
stadion penonton kursi tetap	60 (2,87)	
ruangan pertemuan lainnya	100 (4,79)	
Balkon yang ada dek	1,5x beban bergerak pada area layan, tetapi tidak melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalan pada pemeliharaan jalur	40 (1,92)	300 (1,33)
koridor:		
• area kesatu	100 (4,79)	
• area selainya	Seperti beban pelayanan, terkecuali termasuk hal lain	
Ruangan makan	100 (4,79)	
Jalur keselamatan kebakaran	100 (4,79)	
Hunian 1 keluarga	40 (1,92)	
perpustakaan:		
• ruangan dan area baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
• ruangan fungsi penyimpanan	150 (7,18)	1000 (4,45)
• koridor selain lantai dasar	80 (3,83)	1000 (4,45)
Bangunan ruangan area kantor:		
• lobi koridor lantai dasar	100 (4,79)	2000 (8,90)
• koridor di atas lantai dasar	80 (3,83)	2000 (8,90)
atap:		

• atap rata, berhubung, melengkung	20 (0,96)
• atap sebagai area kumpul atap bertumbuhan dan fasad:	100 (4,79)
• atap tanpa hunian	20 (0,96)

Sumber: SNI 1727:2020

2.1.4.3 Beban Angin (*Wind Load*)

Menurut (Salmon Charles G., 1997) Beban akibat angin merupakan semua beban yang terdampak pada bagian struktur atau area dari suatu bangunan sebagai dampak dari tekanan angin. Tekanan angin menghasilkan gaya pada sisi angin (*windward*), serta gaya hisap pada sisi angin (*leeward*), kedua gaya tersebut bersifat ke atas atau ke bawah, dan mempunyai efek gabungan pada atap. Suatu struktur yang memperhatikan beban angin umumnya berfokus pada parameter beban angin. Faktor-faktor tersebut adalah percepatan angin berdasar, faktor dari arah udara (K_d), faktor paparan, topografi (K_{zt}), faktor pengaruh hembusan angin (G), tipe penutupan, dan angka faktor dari tekanan internal (GCP_i).

2.1.4.4 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1726:2019 pasal 4.2.2.1, Kombinasi beban faktor struktur dari suatu gedung, bagian penampang, dan komponen dasar harus direncanakan sebaik mungkin yang mana kekuatan rencana setara atau lebih besar dari beban gabungan. Pengaruh satu dan selebihnya beban tambahan yang tak berfungsi harus diperhatikan. Kombinasi beban untuk metode ini adalah sebagai berikut.

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

Menurut SNI 1726:2019 pasal 4.2.2.3, Kombinasi beban yang dipengaruhi oleh gaya gempa. Apabila suatu bangunan terkena tekanan seismik, dari jenis beban berikut seperlunya diperhatikan selain kombinasi dasar pembebanan yang ada di atas. Dampak dari beban gempa termasuk dari signifikan dipertimbangkan, namun

tidak perlu dimasukkan dalam analisis bersamaan dengan beban angin. Kombinasi tiap beban faktor dengan dampak efektif gempa adalah sebagai berikut.

$$6.) 1,2D + E_v + E_h + L$$

$$7.) 0,9D - E_v + E_h + L$$

2.1.5 Sistem Struktur Tahan Gempa Dan Respons Spektrum Analisis

Dalam menentukan beban gempa dan desain spektral terpeta, beberapa aspek perlu diperhatikan, seperti kategori risiko struktur bangunan terhadap gempa, parameter spektrum respons, kategori seismik desain, penggunaan sistem struktur seismik, dan penentuan parameter desain spektral. Perencanaan beban gempa harus mengikuti prosedur yang diatur dalam peraturan terbaru SNI.1726:2019. Tahapan proses dalam perencanaan beban seismik dapat dijelaskan dalam ini.

2.1.5.1 Kategori Risiko Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 risiko yang berkategori untuk bangunan baik gedung dan non bangunan ketahanan gempa dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 2.4 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung menurut SNI 1726:2019 Tabel 3

Jenis Peruntukkan:	Risiko Kategori:
Gedung dan non gedung dengan risiko rendah dari jiwa manusia: <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas peternakan, perkebunan, pertanian perikanan • Fasilitas sementara • Tempat penyimpanan • Struktur sederhana 	1
Seluruh gedung dan bangunan selainnya kecuali termasuk kategori 1,3, 4: <ul style="list-style-type: none"> • Rumah • Kantor dan rumah toko • Kantor-kantor • Rumah susun ataupun apartemen • Area belanja atau <i>mall</i> • Gedung manufaktur • Struktur industri • pabrik 	2

Struktur dan non gedung dengan risiko untuk termasuk cukup tertinggi:

- Gedung pertemuan
- Bioskop
- Fasilitas kesehatan tanpa adanya unit darurat
- Fasilitas tempat penitipannya anak
- Stadion
- Penjara
- Panti untuk jompo

3

Yang tidak termasuk kategori 4, yang berpotensi berdampak dalam ekonomi dan panik massal masyarakat:

- Pembangkit listrik
- Keairan
- Fasilitas pengolahan limbah
- Gedung telekomunikasi

Fasilitas yang mengandung bahan peledak yang berbahaya

Gedung dan non gedung yang termasuk fasilitas penting:

- Bangunan monumen
- Fasilitas pendidikan
- Fasilitas ibadah
- Rumah sakit dengan unit darurat dan memiliki ruang bedah
- Fasilitas keamanan, pemadam kebakaran, gedung kepolisian, garasi untuk kendaraan gawat darurat
- Tempat perlindungan untuk gempa bumi, angin badai, tsunami, *shelter*, dan sebagainya
- Fasilitas kesiapan darurat
- Struktur tambahan di mana beroperasi ketika waktu kondisi darurat

4

Struktur yang digunakan pada kaku untuk struktur fungsi gedung lainnya termasuk pada kategori 4.

Sumber: SNI 1726:2019

2.1.5.2 Faktor Utama Bangunan

Faktor utama pada gempa diperlukan dalam pengaku gaya seismik rencana, yang bermaksud agar struktur dapat menopang keseluruhan beban gempa dengan waktu rentang periode yang panjang atau meminimalkan kerusakan pada struktur. Faktor risiko akibat gempa menurut kategori bangunan sebagai berikut.

Tabel 2.5 Faktor utama berdasar risiko struktur menurut SNI 1729:2019

Jenis Risiko	Faktor keutamaan (I_e)
1 atau 2	1.0
3	1.25
4	1.50

Sumber: SNI 1729:2019

2.1.5.3 Klasifikasi Situs Tanah

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pada Pasal 5.1, situs tanah diklasifikasikan untuk memberi petunjuk terhadap jenis situs tanah yang memiliki fungsi dalam penentu karakteristik desain seismik dari faktor amplifikasi. Jenis tanah perlu digolongkan sebagai situs dengan kategori SA, SB, SC, SD, SE, atau SF. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik lapisan dan jenis tanah. Jika karakteristik pada tanah tidak dapat diidentifikasi secara jelas dalam pemilihan kelas situs tanah, maka kelas SE bisa digunakan dan mendekati kemungkinan dalam penggunaannya, terkecuali apabila instansi berwenang memiliki hasil geoteknik yang dapat dijadikan sumber untuk mengetahui jenis dan sifat tanah untuk kelas SF. Klasifikasi sifat tanah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.6 Klasifikasi situs tanah menurut SNI 1726:2019 Tabel 5

Klasifikasi:	\bar{V}_s (m/detik)	N atau N_{ch}	s_u (kPa)
Bebatuan keras (SA)	> 1500	N/A	N/A
Bebatuan (SB)	750 sampai 1500	N/A	N/A
Bebatuan lunak, bebatuan padat, tanah keras (SC)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
Tanah yang Sedang (SD)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
Tanah yang Lunak (SE)	< 175	< 15	< 50
	Atau pada lapisannya mempunyai salah satu bahkan lebih sifat:		
	1. angka plastisitas, $PI > 20$		
	2. kadar, $w \geq 40\%$		
	3. kekuatan pergeseran air $S_u < 25$ KPa		
Tanah termasuk khusus (SF) (diperlukannya investigasi geoteknik yang spesifik)	tiap lapis pada tanah teridentifikasi mempunyai satu bahkan banyak sifat berikut:		

- Rawan yang menyebabkan runtuh akibat respons seismik seperti mudah berpotensi longsor, lempung yang sensitif, dan sedimentasi tanah biasa.
- Gambut atau organik lempung dengan tebal $H > 3$

Sumber: SNI 1729:2019

2.1.5.4 Parameter Respons Spektral

Berdasar syarat SNI 1726:2019 Pada Pasal 6.2, dengan menentukan respons gempa percepatan spektrum terpeta (M_{CER}) pada tanah, perlunya untuk nilai faktor amplifikasi terhadap reaksi getaran pada percepatan rentang periode pendek (F_a) dan nilai faktor amplifikasi terhadap reaksi getaran pada percepatan rentang 1 detik (F_v). Nilai dari parameter spektrum desain pada rentang periode pendek (S_{MS}) dan rentang periode 1 detik (S_{M1}) harus sesuai terhadap jenis kelas situs yang dirumuskan dalam hitungan.

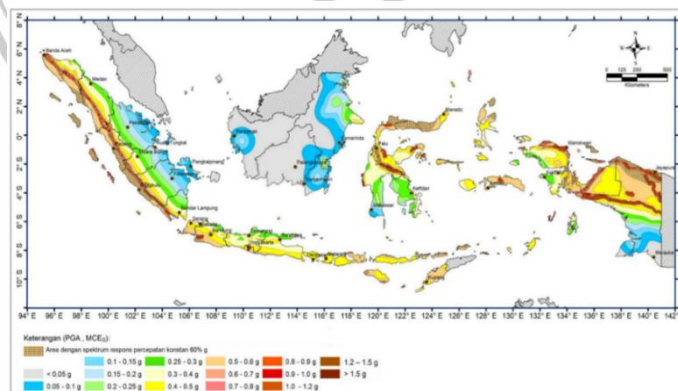
$$S_{MS} = F_a S_S \dots\dots\dots(2.2)$$

$$S_{M1} = F_v S_S \dots\dots\dots(2.3)$$

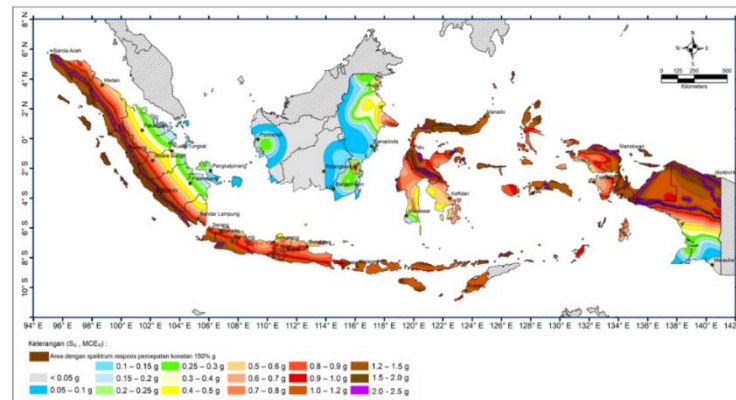
Berdasarkan SNI 1726:2019 pada Pasal 6.3, Untuk percepatan rancangan spektrum (rentang waktu terpendek S_{DS} dan rentang waktu 1 detik S_{D1}) perlu dihitung berdasarkan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots(2.5)$$



Gambar 2.1 kontur percepatan terpeta pada $T=1,0$ detik, S_1 bebatuan dasar



Gambar 2.2 kontur percepatan terpeta pada $T = 0,2$ detik, S_s bebatuan dasar

Analisis beban seismik dilihat dari ketentuan SNI 1726:2019 sebagai sumber penentuan beban gempa. Gempa maksimal yang diperhatikan pada risiko tertarget (M_{CER}) yaitu gempa lateral dengan peluang 2 persen pada rentang waktu 50 tahun dan gempa rancangan adalah $2/3$ dari analisis M_{CER} .

Nilai koefisien pada situs dipakai menurut klasifikasi situs dan percepatan spektral yang terpeta. Nilai tersebut dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.7 faktor koefisien situs, F_a berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 6

kelas situs	respons spektral pada parameter percepatan gempa maksimum yang diperhitungkan dari risiko-tertarget (MCE_R) terpeta pada rentang 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	$S_s^{(a)}$					

^(a) perlu investigasi geoteknik

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2.8 faktor koefisien situs, F_v berdasarkan SNI 1726:2019

kelas situs	respons spektral pada parameter percepatan gempa maksimum yang diperhitungkan dari risiko-tertarget (MCE_R) terpeta pada rentang periode 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
	SA	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	$S_I^{(a)}$					

^(a) perlu investigasi geoteknik

Sumber: SNI 1726:2019

2.1.5.5 Kategori Desain Seismik

1.) Desain seismik yang terkategori respons percepatan rentang periode waktu pendek:

Tabel 2.9 Nilai dari kategori desain gempa berdasar S_{DS} , SNI 1726:2019

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	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

Sumber: SNI 1726:2019

2.) Desain seismik yang terkategori respons percepatan rentang periode waktu 1 detik:

Tabel 2.10 Nilai dari kategori desain gempa berdasar S_{DI} , SNI 1726:2019

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

Sumber: SNI 1726:2019

2.1.5.6 Sistem Struktur Penahan Gaya Seismik

Sistem utama untuk pemikul gaya seismik lateral pada struktur perlu terpenuhi dengan sistem yang dijelaskan pada SNI 1726:2019 Tabel 12 sebagai sistem yang terbagi berdasarkan elemen pemikul respons gempa lateral. Sistem struktur yang dipakai perlu memperhatikan ketentuan dari batas tinggi bangunan (h_n), nilai respons modifikasi (R), faktor kekuatan lebih pada sistem struktur (Ω_0), Desain kategori seismik struktur, daerah rencana struktur berdasarkan wilayah gempa, serta faktor pembesaran defleksi gempa (C_d)

Tabel 2.11 sistem gaya dalam pemikul seismik berdasarkan SNI 1726:2019

Sistem Pemikul Gaya Seismik			
C. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)	Koefisien Modifikasi Respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c
rangka pemikul momen khusus	8	3	5,5
rangka batang pemikul momen khusus	7	3	5,5
rangka pemikul momen menengah	4,5	3	4
Rangka Pemikul Momen Biasa	3,5	3	3
rangka dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5
rangka dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5
D. Sistem berganda dengan pemikul momen khusus yang dapat memikul sedikitnya 25% gaya gempa	Koefisien Modifikasi Respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c
rangka bresing eksentrik (SRBE)	8	2,5	4
rangka bresing konsentris khusus (SRBKK)	7	2,5	5,5
rangka beton komposit dengan bresing eksentrik (SRBE)	8	2,5	4
rangka beton komposit dengan bresing konsentris khusus (SRBKK)	6	2,5	5

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2.12 Batasan sistem dan tinggi struktur, h_n (m) berdasarkan SNI 1726:2019

Sistem pemikul gaya seismik	batas sistem struktur dan batas ketinggian struktur, h_n (m)				
	kategori desain seismik				
	B	C	D	E	F
C. Sistem Rangka Pemikul Momen					
Rangka pemikul momen khusus	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang pemikul momen khusus	TB	TB	48	30	TI
Rangka pemikul momen menengah	TB	TB	10	TI	TI
Rangka pemikul momen biasa	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka dan beton komposit pemikul momen khusus	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka dan beton komposit pemikul momen menengah	TB	TB	TI	TI	TI
D. Sistem berganda dengan pemikul momen khusus yang dapat memikul sedikitnya 25% gaya gempa					
Batas pada sistem struktur dan batas ketinggian struktur, h_n (m)					
Rangka bresing eksentrik (SRBE)	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka bresing konsentris khusus (SRBKK)	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja beton komposit dengan bresing eksentrik (SRBE)	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton komposit dengan bresing konsentris khusus (SRBKK)	TB	TB	TB	TB	TB
*TB = tidak terbatas, *TI = tidak diizinkan					

Sumber: SNI 1726:2019

2.1.5.7 Spektrum Respons Desain

Prosedur dalam mendefinisikan grafik respons spektrum tercantum dalam SNI 1726:2019 pasal 6.4. Pada tahap sebelumnya diperoleh data seismik gempa (PGA, S_I , S_S , S_{DS} , S_{D1} , dan lain-lain) dan dari data tersebut grafik respons spektrum dapat ditentukan.

1.) Perhitungan nilai T_o , T_s , T_L

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2.7)$$

T_L = Periode panjang, yang berdasarkan rentang = 20 detik

2.) Nilai percepatan S_a pada rentang $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots\dots\dots(2.8)$$

3.) Nilai S_a pada rentang $T_0 < T < T_s$

Pada rentang ini, nilai S_a konstan sesuai nilai S_{DS}

4.) Nilai S_a pada rentang $T_s < T < T_L$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2.9)$$

5.) Nilai S_a pada rentang $T_s > T_L$

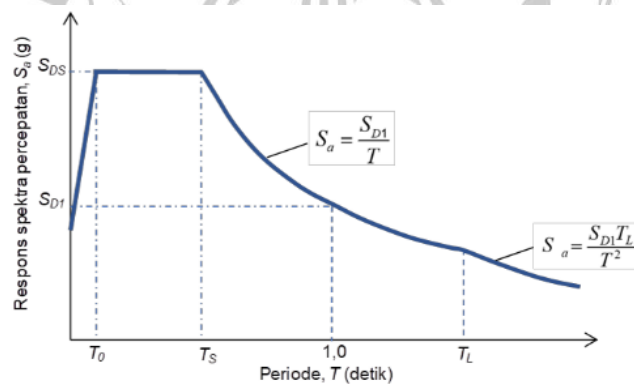
$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

keterangan:

S_{DS} = respons desain spektrum percepatan rentang waktu pendek

S_{D1} = respons desain spektrum percepatan rentang waktu 1 detik

T = Periode fundamental struktur



Gambar 2.3 Desain spektrum dan respons

2.1.5.8 Analisis Spektrum Respons Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, analisa spektrum ragam dalam respons diperlukan dalam dilakukannya penentuan getaran alamin bangunan saat terjadinya gempa. Analisa yang termasuk sejumlah ragam perlu mencukupi untuk menghasilkan partisi massa ragam berkombinasi sebanyak 100% berbanding massa struktur. Dalam penentuannya, ragam untuk kekakuan penampang satu badan atau yang pada rentang 0,05 detik diperbolehkan dalam memakai seluruh ragam dengan periode di bawah 0,05 detik. Namun sebagai alternatif, diperbolehkan dalam menjadikan sedikit jenis ragam namun mencukupi jumlah minimal sebagai analisa tercapai tergabungnya ragam sedikitnya 90% dari aktual berat pada tiap berarah horizontal di ortogonal pada model respons tinjau.

2.1.5.9 Penentuan Periode fundamental (T)

Berdasarkan SNI 1726:2019 pada Pasal 7.8.2, periode struktur fundamental (T), untuk sumbu tinjau perlu diperoleh memakai sifat dan kriteria struktur untuk defleksi elemen pikul pada analisis yang di uji. Periode struktur fundamental (T) tidak boleh lebih dari hasil kali nilai faktor pada batas dari atas periode hitung (C_u) dan periode pendekatan fundamental (T_a) yang diharuskan. Namun, alternatif diperbolehkan untuk diperlukannya analisa pada fundamental periode struktur (T), diperbolehkan langsung memakai pendekatan rentang periode (T_a).

periode rentang fundamental (T) dengan satuan detik, perlu dihitung berdasar perhitungan:

$$T = C_u T_a \dots\dots\dots(2.11)$$

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

h_n^x = ketinggian struktur pada tingkat x

sedangkan nilai C_t dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.13 Koefisien batas atas pada periode hitung berdasarkan SNI 1726:2019

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

Sumber: SNI 1726:2019

Tabel 2.14 Nilai periode fundamental pendekatan C_t dan h_n^x berdasarkan SNI 1726:2019

Tipe Struktur	C_t	x
Jenis sistem rangka pemikul momen yang mana rangka pemikul 100% gaya gempa disyaratkan dan tidak terlingkupi atau terhubung dengan elemen pencegah yang kaku dari struktur rangka dari defleksi jika terkena gaya seismik.		
- Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
- rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
rangka baja dengan bresing eksentrik (RBE)	0,0731	0,75
rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk (RBE)	0,0731	0,75
Seluruh sistem struktur	0,0488	0,75

Sumber: SNI 1726:2019

Alternatif, diizinkan menghitung pendekatan nilai periode pendekatan (T_a) satuan detik, dengan maksimal ketinggian tidak lebih 12 tingkat yang mana sistem pemikul gempa dari rangka momen yang keseluruhannya beton atau keseluruhannya baja dan tinggi rerata tingkat paling sedikit 3 m.

$$T_a = 0,1 N \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

N = total tingkatan bangunan

2.1.5.10 Desain Seismik Struktur Dan Berat Efektif Seismik

Menurut SNI 1726:2019 pada Pasal 7.1.1, bangunan struktur gedung perlunya mempunyai pemikul gaya seismik untuk menopang gaya vertikal serta lateral yang lengkap, dan memiliki kemampuan dalam memberikan ketahanan,

kekakuan, dan reduksi kapasitas energi ke dalam batasan untuk struktur dalam kebutuhan deformasi dan kuat perlu.

Menurut SNI 1726:2019 pada Pasal 7.7.2, berat struktur efektif seismik(W), perlunya menyertakan keseluruhan berat total beban mati serta berat lainnya yang terdaftar dengan syarat berikut.

- 1.) Pada daerah memakai ruang sebagai penyimpanan, minimal 25% pada beban berupa beban hidup lantai terkecuali:
 - Jika berat area penyimpanan tidak melebihi dari batas 5% dari berat efektif ditingkat tersebut, pembebanan tidak harus dimasukkan ke dalam berat seismik yang efektif.
 - Berat beban yang bergerak di lantai pada parkir umum dan daerah tempat parkir keterbukaan tidak harus dimasukkan.
- 2.) Apabila dari ketentuan desain pada pembebanan lantai diisyaratkan berdasar Pasal 4.3.2 dengan berat besaran perbedaan aktual partisi atau berat pada area lantai minimal $0,48 \text{ kN/m}^2$.
- 3.) Beban dari berat operasional total untuk peralatan yang tetap permanen.
- 4.) Beban dari berat lanskap serta beban lain pada taman are sejenisnya.

Tabel 2.15 Prosedur analisis yang diperbolehkan berdasarkan SNI 1727:2020

Kategori Desain Seismik	Karakteristik Struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen	analisis spektrum respons ragam	prosedur respons riwayat waktu (<i>time history</i>)
B, C	Seluruh bangunan struktur	I	I	I
D, E, F	Gedung pada kategori risiko 1 atau 1 yang mana tidak lebih 2 tingkatan pada atas dasar	I	I	I
	Gedung tanpa struktur tidak beraturan yang tingginya tidak lebih dari 48,8 m.	I	I	I
	Gedung tanpa struktur tidak beraturan yang tingginya tidak lebih dari 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I

yang tingginya tidak lebih dari 48,8 m dan hanya memiliki bentuk tidak beraturan baik horizontal jenis 2,3,4 atau 5 ataupun bentuk tidak beraturan vertikal jenis 4, 5a atau 5b.	I	I	I
Seluruh struktur selain itu	TI	I	I

*I (diizinkan), *TI (tidak diizinkan)

Sumber: SNI 1726:2019

2.1.5.11 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen dan Koefisien Respons Seismik

Berdasarkan SNI Pasal 7.8.1, gaya geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_S W \dots\dots\dots(2.14)$$

Koefisien respons seismik (C_S), harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.15)$$

Nilai (C_S) yang dihitung tidak perlu melebihi:

Untuk $T \leq T_L$:

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.16)$$

Untuk $T > T_L$:

$$C_S = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.17)$$

C_S harus tidak kurang dari:

$$C_S = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.18)$$

Gedung yang berlokasi pada daerah yang mana nilai S₁ sama dengan bahkan lebih dari 0,6g nilai C_s perlu tidak kurang dari:

$$C_S = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

C_S = faktor respons koefisien pada seismik

W = berat efektif akibat seismik

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

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

R = koefisien modifikasi respons

T = periode fundamental struktur

I_e = faktor gempa keutamaan

2.1.5.12 Gaya terdistribusi vertikal Seismik Tiap Tingkat

Menurut (SNI 1726:2019, 2019) Pasal 12.5.5, gaya lateral arah seismik F_X (kN) disebarkan tingkatan perlu memperhatikan dari perumusan berikut.

$$F_X = C_{VX} V \dots\dots\dots (2.20)$$

Untuk C_{VX} dapat dilakukan dengan:

$$C_{VX} = \frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

C_{VX} = nilai faktor mendatar terdistribusi

V = gaya gempa total geser ataupun desain didasar bangunan (kN)

$w_i w_x$ = beban dari bagian berat efektif seismik seluruh struktur (W) ditaruh ditingkat i atau x

$h_i h_x$ = tingkatan dari dasar hingga tingkatan i atau x (m)

k = nilai kekuatan yang berkaitan dengan periode rentang struktur

2.1.5.13 Kontrol Stabilitas Struktur Dan Simpangan Antara Tingkat

Menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.6, menentukan hasil simpangan antara tingkat (*drift storey*) dan desain kontrol (Δ) harus perlunya dihitung untuk

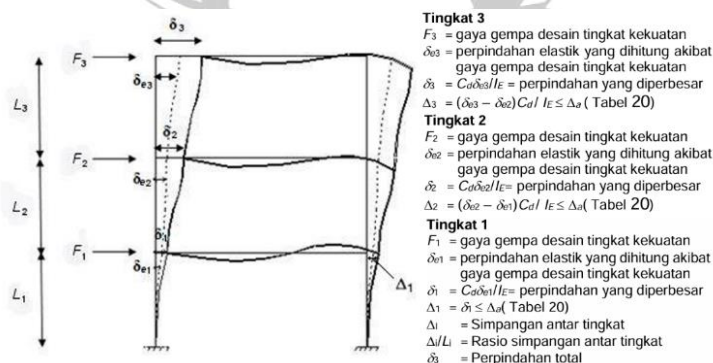
perbedaan simpangan pada pusat massa bagian atas dan di bagian bawah tinjauan. Kontrol stabilitas struktur merupakan analisa dan kontrol struktur yang harus dilakukan sebelum melakukan proses desain kapasitas penampang. Perhitungan simpangan antar lantai (*drift storey*) pusat massa ditingkat x_i perlu kesesuaian dengan ketentuan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6 dan batasan simpangan antara tingkat harus memenuhi kriteria berdasarkan SNI 1726:2019 pada pasal 7.12.1.

Tabel 2.16 simpangan antar tingkat izin, Δ_a

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
selain dinding geser bata dengan 4 tingkat atau kurang dengan partisi, langit-langit, dinding letak interior, dinding letak eksterior yang didesain dalam mengakomodasi simpangan setiap tingkat	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
dinding geser kantilever dengan batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
dinding geser dengan batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
seluruh struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 1726:2019

Perancangan simpangan (Δ) antara tingkat desain perlunya perhitungkan pada perbedaan simpangan dari massa pada pusat atas dan bawah tingkat yang dihitung. Jika pusat gravitasi tidak sejajar vertikal, perlunya dapat menggunakan proyeksi vertikal pusat gravitasi lantai di atasnya untuk menghitung simpangan di lantai atasnya.



Gambar 2.4 Simpangan antara tiap tingkat berdasarkan SNI 1726:2019

Berdasarkan gambar 2.1, Simpangan elastik dapat dihitung dengan persamaan:

$$\delta_{xe} = (\delta_{elastik\ story-3}) - (\delta_{elastik\ story2}) \dots\dots\dots(2.22)$$

simpangan in elastik dapat dihitung dengan persamaan:

$$\delta_x = \frac{\delta_{xe} C_d}{I_e} \dots\dots\dots(2.23)$$

drift rasio pada struktur harus dihitung dengan persamaan:

$$\text{drift rasio} : \frac{\Delta_{top}}{h} \leq 0,0025 \dots\dots\dots(2.24)$$

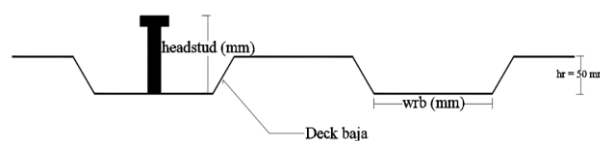
2.2 Perencanaan Komposit Elemen Pelat

Menurut (Setiawan, 2008), Pelat baja gelombang (*ribdeck*) memiliki fungsi yaitu sebagai pelapis yang tetap dan untuk penulangan positif pada arah lantai bangunan. Arah gelombang (*rib*) pada pelat baja ini diaplikasikan dengan letak yang sejajar dengan arah tegak lurus yang sejajar balok.

2.2.1 Syarat Perencanaan Pelat Baja Bergelombang (*Ribdeck*)

Menurut (SNI 1729:2020) Pasal I3-2c., Kuat lentur pada bangunan yang komposit disusun atas pelat beton dan dek gelombang dan tersambungkan pada balok baja yang direncanakan lewat bagian sesuai pada syarat berikut.

- 1.) Ketinggian pada rusuk minimal tidak boleh lebih besar 75 mm dan lebar reratannya tidak boleh kurang 50 mm. Namun, tidak perlu dipakai sebagai hitungan dari lebih pada lebar bersih minimal bagian dek arah atas.
- 2.) Beton dan pelat perlunya dihubungkan pada balok dengan memakai penghubung geser yang di las lewat arah dek dan langsung pada penampang yang melintang pada baja.
- 3.) Pelat beton dengan beton bersih tidak harus kurang 50 mm.
- 4.) Dek perlu di angkur pada semua elemen struktur yang berfungsi mendukung dan tidak lebih 460 mm.



Gambar 2.5 elemen dek baja bergelombang (Sumber: Dokumen Pribadi)

2.2.2 Perencanaan Momen Pada Pelat Metode Pendekatan

Berdasarkan (SNI 2847:2019) Tabel 6.5.2, Perhitungan momen pendekatan pada pelat dapat dihitung manual dengan ketentuan sebagai berikut.

Tabel 2.17 Pendekatan dari momen untuk analisis berdasar SNI 2847:2019 Tabel 6.5.2

momen	daerah	penempatan	Wu
positif	bentang terujung	Ujungnya tidak menerus dan monolit dengan letak	$\frac{Wu \times ln^2}{14}$
		Ujungnya tidak menerus dan tidak dikekang	$\frac{Wu \times ln^2}{11}$
negatif	bentang tengah	semua	$\frac{Wu \times ln^2}{16}$
	muka interior dari pendukung eksterior	Balok tersatu dengan monolit pada balok pendukung	$\frac{Wu \times ln^2}{24}$
muka eksterior dari dukungan interior awal		balok dengan monolit pada kolom pendukung	$\frac{Wu \times ln^2}{16}$
	muka dari pendukung lainnya	dua elemen	$\frac{Wu \times ln^2}{9}$
Seluruh muka dari pendukung memenuhi a dan b		> dua elemen	$\frac{Wu \times ln^2}{10}$
		semua	$\frac{Wu \times ln^2}{11}$
		a) pelat dengan bentang < 3 m b) rasio pada balok pada total kekakuan balok dan kolom lebih dari 8 untuk ujung bentang	$\frac{Wu \times ln^2}{12}$

Sumber: SNI 2847:2019

Menurut (SNI 2847:2019), Dalam perhitungan pada tulangan lapis atas, harus dirancang rasio tulangan. nilai rasio tulangan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{\min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c r}}{f_y} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.26)$$

Rasio tulangan maksimum:

$$\rho_b = 0,9 \times \beta_1 \frac{f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\rho_{maksimal} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots(2.28)$$

Rasio tulangan perlu:

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_{c'}}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_{c'}}} \right) \dots\dots\dots(2.29)$$

Dengan diperolehnya angka rasio dari tulangan selanjutnya perlu diperhitungkan hasil luas tulangan yang diperlukan (As teoritis) lalu akan didapatkan tulangan aktualnya sesuai pada tabel 2.15.

Tabel 2.18 penampang tulangan

Diameter batang (mm)	Luas Penampang (mm ²)							
	Jarak Spasi p.k.p (mm)							
	50	100	150	200	250	300	350	400
6	565,5	282,7	188,5	141,4	113,1	94,2	80,8	70,7
8	1005,3	502,7	335,1	251,3	201,1	167,6	143,6	125,7
9	1272,3	636,2	424,1	318,1	254,5	212,1	181,8	159,0
10	1570,8	785,4	523,6	392,7	314,2	261,8	224,4	196,3
12	2261,9	1131,0	754,0	565,5	452,4	377,0	323,1	282,7
13	2654,6	1327,3	884,9	663,7	530,9	442,4	379,2	331,8
14	3078,8	1539,4	1026,3	769,7	615,8	513,1	439,8	384,8
16	4021,2	2010,6	1340,4	1005,3	804,2	670,2	574,5	502,7

As pakai pada tulangan utama pelat:

$$A_s = \rho \times b \times d_{rencana} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dalam merencanakan dek dengan menggunakan dek, besarnya nilai kapasitas momen dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$M_n = A_s f_y \left(d_{ef} - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots(2.31)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \dots\dots\dots(2.32)$$

2.2.3 Kontrol Lendutan Pada Pelat

Menurut (SNI 2847:2019) Tabel 24.2.2, kontrol lendutan diperlukan untuk meninjau komponen struktural, pada komponen terhubung yang memberi pengaruh merusak terhadap elemen kaku struktur. Kontrol defleksi (lendutan) didapat dengan berdasarkan pelat dengan momen dan betang yang besar. Namun sebelumnya,

diharuskan dalam pengecekan terhadap tinggi minimal balok agar mengetahui batas lendutan yang diizinkan. Dengan berpedoman pada SNI 2847:2019, kontrol lendutan dapat ditinjau sebagai berikut.

Dalam mencari h_{min} dapat dihitung dengan persamaan:

$$H_{min} = \left(0,04 + \frac{f_y}{700}\right) \dots \dots \dots (2.33)$$

kontrol terhadap ketebalan minimum pelat solid dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.19 Pelat solid dengan ketebalan minimal pada satu arah

kondisi tumpuan	$h_{minimal}$
Tumpu yang sederhana	$l/20$
Satu ujungnya yang menerus	$l/24$
kedua ujungnya yang menerus	$l/28$
kantilever	$l/10$

Sumber SNI 2847:2019

Kontrol lendutan yang diperhitungkan tidak boleh melebihi batasan sesuai tabel berikut.

Tabel 2.20 Perhitungan lendutan izin maksimum sesuai SNI 2847:2019

jenis komponen struktur	kondisi	lendutan yang diperhitungkan	batas lendutan
atap datar	Tidak memikul atau tidak di satukan dengan elemen-elemen non struktural yang mungkin akan rusak akibat	lendutan seketika akibat L_r dan R maksimum	$l/180$
lantai	lendutan yang besar	lendutan seketika akibat L	$l/360$
atap atau lantai	Memikul atau di satukan dengan elemen penampang non struktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan elemen non struktural, yaitu jumlah dari lendutan jangka waktu yang relatif lama dari semua bentang dan beban tetap
	Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar	akibat lendutan dari beban tambahan	$l/240$

Sumber: SNI 2847:2019

Jika defleksi pelat dek baja diletakkan searah lurus dari penampang balok penyangga, maka kekuatan nominal penghubung geser perlunya dikurangi dengan faktor reduksi, besarnya ditentukan sebagai:

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

keterangan:

r_s = faktor reduksi

Nr = total penghubung geser jenis paku di setiap penampang dari potongan baja

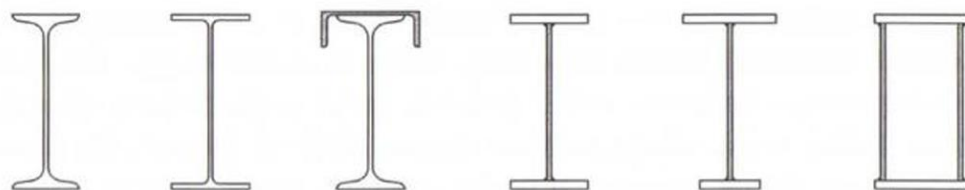
h_s = ketinggian jenis paku dari penghubung geser

h_r = tinggi minimal dek gelombang

w_r = lebar gelombang dek efektif baja

2.3 Perencanaan Komposit Elemen Balok

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), perencanaan profil elemen balok ialah pemilihan bentuk dengan kesesuaian yang tepat terhadap jenis dari beban dan indikasi lateral yang terjadi sedemikian rupa. Kondisi yang disebutkan meliputi beban searah lurus pada penampang profil. Pengaruh beban tersebut dapat menyebabkan lengkungan pada profil balok yang disebut dengan lendutan.



Gambar 2.6 Penampang balok baja berbagai profil

Di saat terjadinya tahanan indeks plastis momen (M_p) tercapai, penampang balok akan terus berubah-ubah dengan indeks konstan tahanan lentur (M_p) peristiwa yang dimaksud yaitu sendi plastis. Pada balok terkonsentrasi sederhana (sendi rol), terjadinya kondisi plastis didaerah pertengahan bentang menimbulkan keadaan tidak stabil yang disebut keruntuhan mekanis.

2.3.1 Lebar Efektif Pada Balok

Efektif minimal lebar pada balok dengan tegangan berupa pelat kedua sisi dapat ditentukan dengan syarat sebagai berikut.

$$B_E \leq L/4 \dots\dots\dots(2.34)$$

$$B_E = b_0 \text{ (untuk jarak antar balok yang sama)}$$

2.3.2 Cek Klasifikasi Penampang Berdasarkan ketahanan Penampang

Menurut (SNI 7860:2020) Pasal D1, elemen struktur rangka momen, rangka kekang, dan dinding geser pada sebuah struktur harus memenuhi spesifikasi kekakuan, baik sebagai struktur dengan tingkat kuat sedang (m_{dm}) atau komponen struktur dengan tingkat kuat tinggi (h_{dm}). Terkhusus balok dengan jenis IWF, sesuai pedoman pada SNI 7860:2020 dapat dituliskan sebagai berikut.

1.) Untuk rasio lebar terhadap tebal (b/t):

$$\lambda_{h_d} : 0,32 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$\lambda_{m_d} : 0,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2.36)$$

2.) Untuk lebar rasio terhadap tebal h/t_w (λ_{h_d})

a.) Untuk $\lambda_{h_d} c_a \leq 0,114$:

$$2,57 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}} (1 - 1,04 c_a) \dots\dots\dots(2.37)$$

b.) Untuk $\lambda_{h_d} c_a > 0,114$:

$$0,88 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}} (2,68 - c_a) \geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}} \dots\dots\dots(2.38)$$

3.) Untuk lebar rasio terhadap tebal h/t_w (λ_{m_d})

c.) Untuk $\lambda_{h_d} c_a \leq 0,114$:

$$3,96 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}} (1 - 3,04 c_a) \dots\dots\dots(2.39)$$

d.) Untuk $\lambda_{h_d} c_a > 0,114$:

$$1,29 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}} (2,12 - c_a) \geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y f_y}} \dots\dots\dots(2.40)$$

4.) Dengan persamaan c_a dan P_y :

$$c_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$P_y = R_y f_y A_g \dots\dots\dots(2.42)$$

2.3.3 Cek Klasifikasi Penampang Dan Kekuatan Lentur Positif

Lentur positif rencana ($\phi b M_n$) dan kuat lentur positif yang diperbolehkan (M_n/Ω_b) harus diperhitungkan batas leleh dan keadaannya sesuai pedoman pada SNI 1729:2020 pasal I3-2a berikut:

1.) Untuk $\frac{h}{t_w} \leq \lambda_p 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

M_n perlunya ditentukan berdasar terdistribusi plastis untuk penampang yang komposit pada kondisi batasan leleh (momen plastis).

2.) Untuk $\frac{h}{t_w} \geq \lambda_p 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

M_n perlunya ditentukan dari daerah posisi dalam daerah tegangan elastis, dengan mempertimbangkan efek pikul, dalam kondisi leleh (momen leleh).

Dalam perhitungan dari keadaan plastis untuk momen pada komposit balok, perlu ditemukan sumbu netral plastis yang tepatnya bergantung dari pada perhitungan C dan T. dengan nilai gaya tekan dan tarik sebagai berikut.

$$C = 0,85 f_c \cdot A_c \dots\dots\dots(2.43)$$

Gaya tarik T pada profil baja:

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

Terdapat 3 keadaan yang terjadi tegangan terdistribusi plastis yang memungkinkan terjadi, yaitu:

1.) sumbu plastis pada pelat beton.

Asumsi dapat dibenarkan apabila $a < t_c$ jika menggunakan dek pelat, dengan persamaan:

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b_E} \dots\dots\dots(2.45)$$

persamaan plastis dari sumbu netral terhadap garis dari beton:

$$C = 0,85 f_c \cdot A_c \dots\dots\dots(2.46)$$

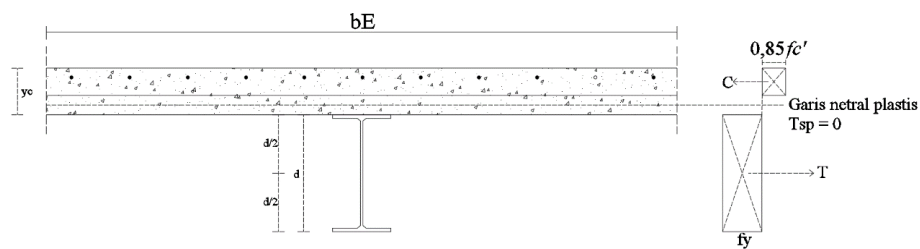
Gaya tarik T pada profil baja sebesar:

$$T = A_s f_y \dots\dots\dots(2.47)$$

lentur nominal kekuatannya dapat diperhitungkan memakai persamaan:

$$M_n = M_p = f_y \times A_s (Y_2 + \frac{1}{2} d) \dots\dots\dots(2.48)$$

$$Y_2 = y_c - \frac{1}{2} a \dots\dots\dots(2.49)$$



Gambar 2.7 lentur kekuatan nominal berdasar tegangan terdistribusi plastis

Apabila dari analisis hitung ternyata $a > t_c$ untuk asumsi tersebut harus dirombak. Hasil tersebut membuktikan bahwa beton dan pelat tidak dapat bertahan untuk menyeimbangkan gaya yang menimbulkan torsi dari baja.

2.) Garis sumbu netral plastis terletak di elemen baja

apabila dalam blok tegangan beton ternyata melebihi tebal plat beton, maka gaya tekan C yang bekerja sebagai berikut.

$$C = 0,85 f_c' b_E t_s \dots\dots\dots(2.50)$$

Dari keseimbangan gaya diperoleh:

$$T' = C + C_s \dots\dots\dots(2.51)$$

Besarnya T' lebih kecil dari $A_s f_y$ yaitu:

$$T' = A_s f_y - C_s \dots\dots\dots(2.52)$$

Dengan persamaan disamakan pada sebelumnya, maka didapat:

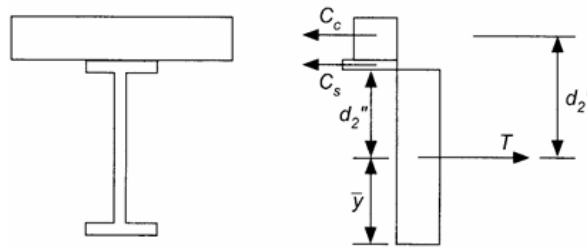
$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - c_c}{2} \dots\dots\dots(2.53)$$

Atau dengan perombakan persamaan C diperoleh:

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot t_s}{2} \dots\dots\dots(2.54)$$

Maka kuat lentur minimal dihasilkan:

$$M_n = C d_2' + C_s d_2'' \dots\dots\dots(2.55)$$



Gambar 2.8 lentur kekuatan nominal berdasar web balok terdistribusi

(Sumber: Setiawan, 2008)

2.3.4 Kekuatan Lentur Negatif

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

- 1.) Balok baja adalah penampang kompak atau terkekang.
- 2.) Angkur baja (*shear headstud*) menyambungkan beton ke balok baja pada daerah momen negatif.
- 3.) Tulangan beton yang paralel pada balok baja disalurkan dilebar efektif pelat beton.

Saat menghitung kontribusi baja yang dipasang pada pelat beton terhadap penampang komposit, gaya yang dihasilkan pada batang tulangan harus ditransfer melalui ankur komposit. Kekuatan nominal yang dikembangkan pada tulangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$T_{sr} = A_{sr} \cdot F_{yr} \dots \dots \dots (2.56)$$

Tahanan tarik pada dek baja dapat dihitung dengan persamaan:

$$T_{sp} = A_{sp} \cdot F_{yp} \dots \dots \dots (2.57)$$

Gaya tekan maksimal yang di tinjau dari profil baja adalah:

$$C_{maksimal} = A_s f_y \dots \dots \dots (2.58)$$

Apabila $C_{maksimal} > T_{sr}$, sumbu netral plastis akan jatuh pada profil baja dan kesetimbangan gaya dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T_{sr} + T_s = C_{maksimal} - T_s \dots\dots\dots(2.59)$$

$$2T_s = C_{maksimal} - T_{sr} \dots\dots\dots(2.60)$$

$$T_s = \frac{C_{maksimal} - T_{sr}}{2} \dots\dots\dots(2.61)$$

Jarak sumbu netral dari tepi bawah sayap adalah:

$$a_w = \frac{ts}{f_y b_f} \dots\dots\dots(2.62)$$

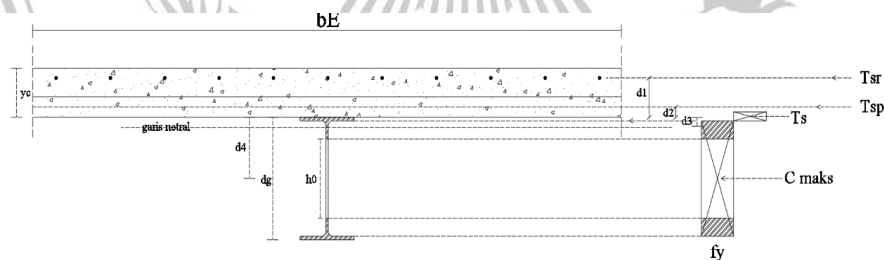
jarak gaya yang bekerja sebagai berikut:

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

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

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

$$d_4 = d \times \frac{1}{2} \dots\dots\dots(2.66)$$



Gambar 2.9 Distribusi tegangan akibat momen negatif

Pemeriksaan momen dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$M_n = T_{sr} (d_1 + d_4) + T_{sp} (d_2 + d_4) + T_s (d_4 - d_3) \dots\dots\dots(2.67)$$

2.3.5 Shear Headed Stud Pada Balok Komposit

Berdasarkan SNI 1729:2020, diameter angkur baja berkepala (*shear headed stud*) harus kurang dari 19 mm dan juga tidak perlu sebesar dari 2,5 ketebalan logam

ke dasar. Kuat geser nominal angkur baja berkepala dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Q_n = 0,5 A_{sa} \sqrt{(f_c' E_c)} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \dots\dots\dots(2.68)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.69)$$

Keterangan:

A_{sa} = Luas dari penampang angkur baja berkepala (mm²)

E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

F_u = kuat tarik minimum (MPa)

Menurut (SNI 1729:2020, 2020) Pasal I3.a gaya geser perlu dihitung dari kuat lentur maksimum balok dengan persamaan:

$$V = F_{yr} \cdot A_{sr} \dots\dots\dots(2.70)$$

Keterangan:

A_{sr} = luas baja tulangan longitudinal di dalam lebar efektif cor beton

F_{yr} = tegangan leleh terspesifikasi pada baja tulangan

2.4 Perencanaan Kolom Dan Elemen Tekan

Menurut (Silvi, 2021) Kolom adalah komponen struktur tekan yang menopang beban dan momen yang disebabkan oleh penampang kolom non-prismatik, beban eksentrik, dan kekangan. Parameter penting yang mempengaruhi suatu elemen tekan kolom baja adalah kekuatan luluh (f_y), kekuatan putus (f_u), dan konfigurasi geometrik fisik.

Menurut (Lesmana, 2021), Struktur kolom merupakan komponen struktur yang menyerap beban yang tertekan dan lentur secara bersamaan. Oleh karena itu elemen pendukung disebut juga penopang balok karena dapat menyerap momen seperti balok sekaligus menyerap gaya tekan seperti elemen rangka. Elemen balok dan kolom umumnya terdapat pada struktur rangka atau portal yang terdiri dari minimal satu balok dan dua kolom. Beban gravitasi yang dibawa oleh balok

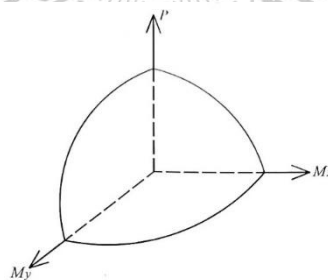
dipindahkan ke kolom melalui ujung-ujung balok dalam bentuk beban tekan dan momen.

Selain kekakuan sambungan balok-kolom, struktur juga mempunyai momen akibat beban lateral (horizontal) seperti gempa dan angin. Hal ini menyebabkan struktur mengalami deformasi ke samping dan menimbulkan momen pada struktur pendukungnya. Pengaruh momen akibat gempa bumi harus diperhitungkan karena sering kali menyebabkan runtuhnya rangka dan struktur portal.

2.4.1 Perilaku Elemen Akibat Tekan Dan Momen

Menurut (Ridwan, 2021), Elemen struktur yang berperan penting dalam menahan beban dan gaya geser, termasuk gempa, adalah tumpuan. Profil baja pada tumpuan sangat dipengaruhi oleh bentang balok sepanjang sumbu.

Menurut (Lesmana, 2021), perilaku struktur yang mengalami beban kombinasi berupa tertekan ke dalam dan momen adalah peristiwa yang sulit di indikasi. Hal ini mempengaruhi karena adanya dua gaya luar yang bekerja pada sebuah penampang secara bersamaan.

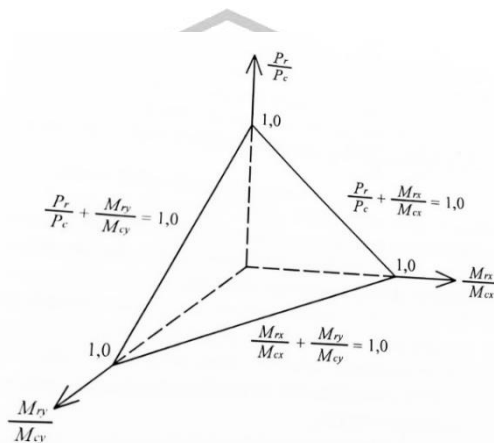


Gambar 2.10 Kurva kapasitas elemen kolom akibat beban tekan-momen

Dari gambar tersebut terlihat bahwa kurva dibentuk oleh tiga parameter yaitu gaya tekan (P), momen tekan (M_x), dan momen tekan lemah (M_y). Setiap sumbu kurva mencerminkan daya dukung kolom (balok dan kolom) di bawah beban tekan dan momen tekan. Interaksi parameter (P , M_x , M_y) membentuk permukaan kapasitas yang mencerminkan kapasitas elemen kolom. Jika nilai tekan dan momen bekerja dalam kurva gaya, maka tumpuan dinyatakan kuat untuk menopang beban yang ditentukan.

2.4.2 Persamaan Interaksi Elemen Kolom (*beam-coloumn*)

Menurut (Lesmana, 2021), Interaksi antara gaya tekan dan momen yang bertumpu pada elemen kolom khususnya pada penampang simetri ganda dan simetri tunggal harus memenuhi syarat $0,1 \leq I_{yc}/I_y \leq 0,9$ adalah momen inersia sayap yang mengalami tegangan tekan dibandingkan dengan momen inersia bagian sumbu lemah.



Gambar 2.11 Kurva kapasitas elemen kolom dalam bentuk linier

Interaksi momen lentur dan gaya pada penampang simetri ganda atau simetri tunggal dengan $0,1 \leq I_{yc}/I_y \leq 0,9$ yang momennya dapat dikondisikan melentur pada sumbu simetrinya, harus memenuhi persamaan pada SNI 1729:2020 Pasal H1-1a dan H1-1b. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

Jika $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$

$$\text{maka } = \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2.71)$$

Jika $\frac{P_r}{P_c} < 0,2$

$$\text{maka } = \frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2.72)$$

Keterangan:

P_r = kuat tekan perlu elemen hasil analisis dengan beban berfaktor (P_u)

P_c = kuat rencana (kapasitas) elemen kolom untuk memikul beban rencana (P_n)

M_{rx} = momen atau kuat lentur perlu elemen kolom sumbu kuat (sumbu-x)

M_{ry} = momen atau kuat lentur perlu elemen kolom sumbu lemah (sumbu-y)

M_{cx} = kapasitas momen dari elemen kolom pada sumbu kuat (sumbu-x)

M_{cy} = kapasitas momen dari elemen kolom pada sumbu kuat (sumbu-y)

2.4.3 Konsep Euler Pada Struktur Tekan

Menurut (Lesmana, 2021), Euler melibatkan beberapa jenis persamaan yakni panjang bentang (L), material (E), dan inersia (I). Konsep euler di wujudkan dalam persamaan berikut.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \dots\dots\dots(2.73)$$

Persamaan tersebut merupakan beban tekuk kritis euler. Apabila faktor kekakuan struktur (panjang efektif) diperhitungkan, maka persamaan tersebut menjadi:

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

Perlu diketahui bahwa persamaan euler dipakai hanya untuk memperkirakan struktur tekan dalam kondisi elastis. Sehingga sering kali perumusan euler dihasilkan dengan bentuk regangan berikut.

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{A (KL)^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \dots\dots\dots(2.75)$$

keterangan:

P_{cr} = gaya yang menyebabkan kritis struktur tekuk (N)

σ_{cr} = kritis yang mengakibatkan tekuk pada struktur (MPa)

$E I$ = elastisitas elemen (MPa) dan penampang inersia (mm^4)

K = angka kekakuan dari penampang (kN/m)

L = tinggi dan panjangnya struktur (m)

r = radius jari (mm)

A = luas dari penampang (mm²)

2.4.4 Kekakuan Struktur Tekan

2.4.4.1 Panjang Efektif Elemen Tekan

Menurut (Lesmana, 2021), Kekakuan di dalam perencanaan elemen tekan dinyatakan dengan istilah panjang efektif (L_c) yang sangat dipengaruhi oleh kondisi terletak (dalam ketahanan translasi rotasi) dari kekuatan penampang.

Panjang dan tinggi efektif diatur dalam SNI 1729:2020 Pasal E2 34. Adapun persamaan panjang efektif adalah yaitu berikut.







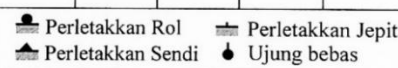
$$L_c = K L \dots\dots\dots(2.76)$$

keterangan:

K = faktor panjang efektif

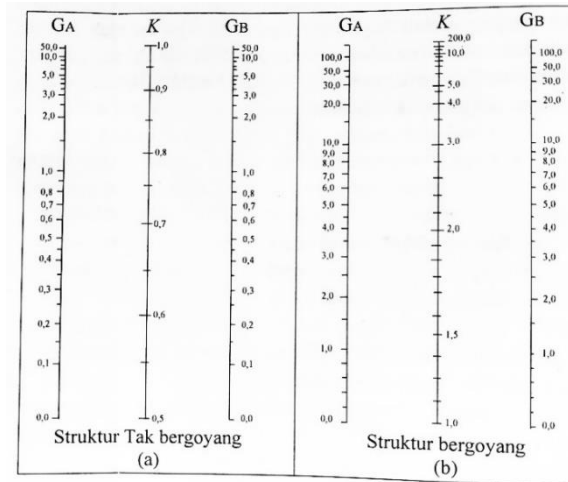
L = panjang elemen struktur tekan (mm)

Adapun nilai faktor panjang efektif (K) untuk kondisi terpasti perlu dilihat pada gambar berikut.

Fenomena tekuk						
Nilai k (teoritis)	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai k (ideal)	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Arti simbol						

Gambar 2.12 nilai panjang faktor efektif (K) untuk kondisi pasti dan teoritis

(sumber: Lesmana, 2021)



Gambar 2.13 diagram faktor nilai panjang efektif (*K*) untuk struktur
(sumber: Lesmana, 2021)

Berdasarkan gambar di atas, dapat diketahui bahwa Struktur dibagi menjadi dua jenis: struktur tergoyang dan struktur yang tidak bergoyang. Perbedaannya adalah ketika struktur tidak bergoyang, ujung-ujung struktur tetap berada pada sumbu linier. Namun, pada kasus struktur yang bergoyang, tepi struktur akan bergerak ke samping. Kolom yang tidak bergoyang mempunyai hambatan translasi tak terhingga, sedangkan kolom yang bergerak mempunyai hambatan translasi 0.

Adapun persamaan dalam memperoleh nilai G_A dan G_B adalah sebagai berikut.

$$G = \frac{\sum (\frac{I}{L})_{kolom}}{\sum (\frac{I}{L})_{balok}} \dots\dots\dots(2.77)$$

Selain menggunakan nomogram, untuk menentukan nilai *K* ada rumus empiris dapat dipakai sebagai pemahaman definisi, sebagai berikut.

Untuk rangka tidak bergoyang ($0,5 \leq k \leq 1,0$):

$$K = \frac{3G_A G_B + 1,4 (G_A + G_B) + 0,64}{3 G_A G_B + 2,0 (G_A + G_B) + 1,28} \dots\dots\dots(2.78)$$

Untuk rangka tidak bergoyang ($1 \leq k \leq \infty$):

$$K = \sqrt{\frac{G_A (1,6 G_B + 4,0) + (4 G_B + 7,5)}{G_A + G_B + 7,5}} \dots\dots\dots(2.79)$$

keterangan:

GA = angka berbanding dari kekakuan kolom dan balok (ujung atas)

GB = angka berbanding dari kekakuan kolom dan balok (ujung bawah)

I = inersia terhadap momen balok dan kolom (mm^4)

L = dimensi panjang balok kolom (mm)

2.4.4.2 Angka kelangsingan elemen tekan

Menurut (Lesmana, 2021), faktor langsing (λ) merupakan perbedaan dibanding tinggi dan panjang (L_c) elemen tekan terhadap jari-jari kelembaman atau jari-jari radius penampang elemen. Dalam perencanaan, nilai tingkat kelangsingan pada penampang dengan struktur tertekan ialah keperluan yang diperhatikan sehingga terjaminnya struktur yang tidak mengakibatkan kegagalan tertekuk. Adapun persamaan nilai dari kelangsingan adalah sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{L_c}{r} = \frac{KL}{r} \dots\dots\dots (2.80)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots (2.81)$$

keterangan:

λ = nilai langsing penampang

L_c = panjang efektif elemen tekan (mm)

K = faktor panjang efektif

L = panjang struktur tekan (mm)

r = radius jari (mm)

A = luas penampang elemen tekan

I = inersia penampang (mm^4)

Berdasar SNI 1729:2020 Pasal E2, nilai dari kelangsingan pada penampang yang tekan dibatasi, dan tidak boleh lebih dengan 200 ($\lambda \leq 200$)

2.4.5 Aksi Tekuk Pada Penampang

2.4.5.1 Perilaku Tekuk Pada Elemen Tekan

Menurut (Lesmana, 2021), Tekuk adalah faktor terpenting dalam desain elemen tekan. Dari segi perilaku, fenomena ini dapat dibagi menjadi dua bagian:.

1.) Tekuk global

Menurut (Lesmana, 2021), tekuk global merupakan aksi tekuk penampang tekan yang terjadi pada suatu elemen tekan dan dapat terjadi sepanjang elemen tersebut. Hal ini biasanya disebabkan oleh rasio langsing terhadap penampang tekan yang terlalu besar (terlalu tipis), sehingga menyebabkan puntiran pada titik-titik tertentu pada seluruh area penampang tertekan.

2.) Tekuk lokal

Menurut (Lesmana, 2021), tekuk lokal merupakan dampak tekuk yang terjadi hanya pada beberapa bagian dari penampang suatu batang tekan. Misalnya, penampang WF mungkin mengalami tekuk lokal di daerah sayap atau tekuk lokal di daerah badan web. Tekuk lokal ini disebabkan oleh perbedaan dari lebar profil dan tebal elemen penampang web. Mengingat kondisi ini tekuk global dan tekuk lokal yang dapat terjadi pada elemen struktur tekan, maka SNI 1729: 2020 membagi penampang menjadi dua kategori yaitu langsing dan tak langsing. Rumusnya berdasarkan SNI 1729: 2020 adalah:

Pada sayap $\leq \lambda_r$:

$$(b/t) \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2.82)$$

Pada badan $\leq \lambda_r$:

$$(h/t_w) \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2.83)$$

2.4.5.2 Tekuk Akibat Pengaruh Penampang

Menurut (Lesmana, 2021), aksi tekuk ini dipengaruhi oleh bentuk elemen khas penampang golongan tak langsing. Tekuk dari efek dari pada elemen diklasifikasikan sebagai tekuk global. Perilaku ini yaitu elemen tekanan oleh kelangsingan dipengaruhi oleh bentuk penampang elemen. Parameter utama analisis tekuk adalah inersia penampang (I) dan luas penampang (A). Kaitan antara

kedua jenis parameter ini disebutkan dengan istilah radius atau radius jari (r). Karena penampang yang berpengaruh, fenomena tekuk elemen tekan dibagi menjadi tiga kelompok yang mana tekuk lentur, tekuk ter puntir, dan kombinasi keduanya (tekuk dan ter puntir). Untuk mengetahui apakah penampang Anda termasuk dalam ketiga kategori tersebut, berdasar tabel E1.1 SNI 1729:2020.

Menurut (Lesmana, 2021), Tekuk lentur merupakan aksi tekuk global dari elemen profil tekan dengan klasifikasi tak langsing. Tujuan adalah untuk mengetahui kritis beban yang menjadi penyebab kondisi tekuk pada struktur penampang tekan. Oleh karena itu, perlu diketahui kekuatan nominal elemen tekan untuk mencegah terjadinya lentur. Hal tersebut diungkapkan sebagai berikut pada rumus menurut SNI 1729: 2020 Pasal E3 (rumus E3-1):.

$$P_n = F_{cr} A_g \dots\dots\dots(2.84)$$

$$\phi_c P_n \geq P_u \dots\dots\dots(2.85)$$

Keterangan:

P_n = Kuat tekan nominal (MPa)

F_{cr} = tegangan kritis elemen tekan pada kondisi tekuk lentur (MPa)

A_g = Luas penampang bruto komponen struktur (mm^2)

ϕ_c = faktor reduksi kuat tekan (0,90)

Adapun persamaan F_{cr} sesuai SNI 1729:2020 Pasal E3 sebagai berikut.

Jika $\frac{Lc}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$):

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y \dots\dots\dots(2.86)$$

Jika $\frac{Lc}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$):

$$F_{cr} = 0,877 F_e \dots\dots\dots(2.87)$$

Keterangan:

A_g = penampang bruto terhadap luas profil (mm^2)

E = Elastisitas baja (MPa)

F_e = tekuk tegangan elastis (MPa)

F_y = tekuk tegangan leleh minimal (MPa)

L_c = panjang efektif elemen batang tekan (mm)

r = radius (mm)

1.) Tekuk torsi dan tekuk lentur torsi

Menurut (Lesmana, 2021), Elemen yang mengalami tekuk lentur torsi akan terlentur dan ter puntir secara bersamaan. Tekuk lentur torsi dapat dilihat pada persamaan berikut.

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

Untuk penampang sumbu simetri ganda, dengan persamaan:

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 E c_w}{(KL)^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y} \dots\dots\dots (2.89)$$

Untuk penampang sumbu simetri tunggal, dengan persamaan:

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \dots\dots\dots (2.90)$$

Keterangan:

A_g = penampang bruto terhadap luas profil (mm²)

G = elastisitas geser (77200 MPa atau 11200 kSi)

H = tinggi keseluruhan komponen struktur PSR

F_{cr} = tegangan kritis (MPa)

F_e = Tegangan tekuk elastis (MPa)

2.5 Perencanaan Sambungan Dan Mekanisme Sambungan Struktur

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), Struktur baja terdiri dari elemen penampang kecil yang digabungkan untuk membentuk elemen penampang yang lebih besar. Elemen ini terdiri dari profil baja dengan bentuk dan ukuran yang relatif

tertentu. Ada berbagai jenis sambungan untuk elemen baja, paku keling, baut, las, dan lainnya. Fungsi sambungan adalah untuk menyalurkan gaya dan tekan dari komponen yang satu ke komponen yang lain, sehingga beban luar yang bekerja pada struktur dapat dipindahkan ke fondasi. Setiap komponen struktur, termasuk alat penyambung, harus dirancang mempunyai kekuatan sama atau bahkan lebih besar dari kekuatan yang ditentukan yang diperoleh dari analisis struktur beban faktor atau ditentukan dari kekuatan elemen yang akan disambung.

2.5.1 Sambungan Las

2.5.1.1 Jenis Sambungan Las

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), Struktur dengan sambungan las perlu hindari adanya retak yang menyebabkan pelemahan. Bila retak terjadi pada struktur untuk menghasilkan beban dinamis atau beban bolak-balik dalam jangka waktu untuk rentang lama, akan ada risiko terjadi keruntuhan.

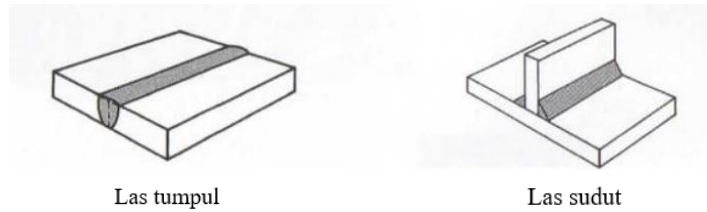
Menurut (Lesmana, 2021), Berdasarkan penggunaan sambungan las pada struktur, las umumnya dibagi menjadi beberapa klasifikasi, sebagai berikut.

1.) las sudut.

las sudut merupakan las yang paling sering digunakan dikonstruksi dan industri. Berdasarkan hasil tes dan penelitian, las sudut lebih kuat dalam memikul beban tarik dan tekan. Las ini biasa digunakan pada bagian elemen struktur yang saling tumpu satu dengan yang lain. Jenis las ini paling sering digunakan dikarenakan dinilai paling ekonomis, proses pengerjaan lebih simpel dan lebih mudah pengerjaannya.

2.) las tumpul.

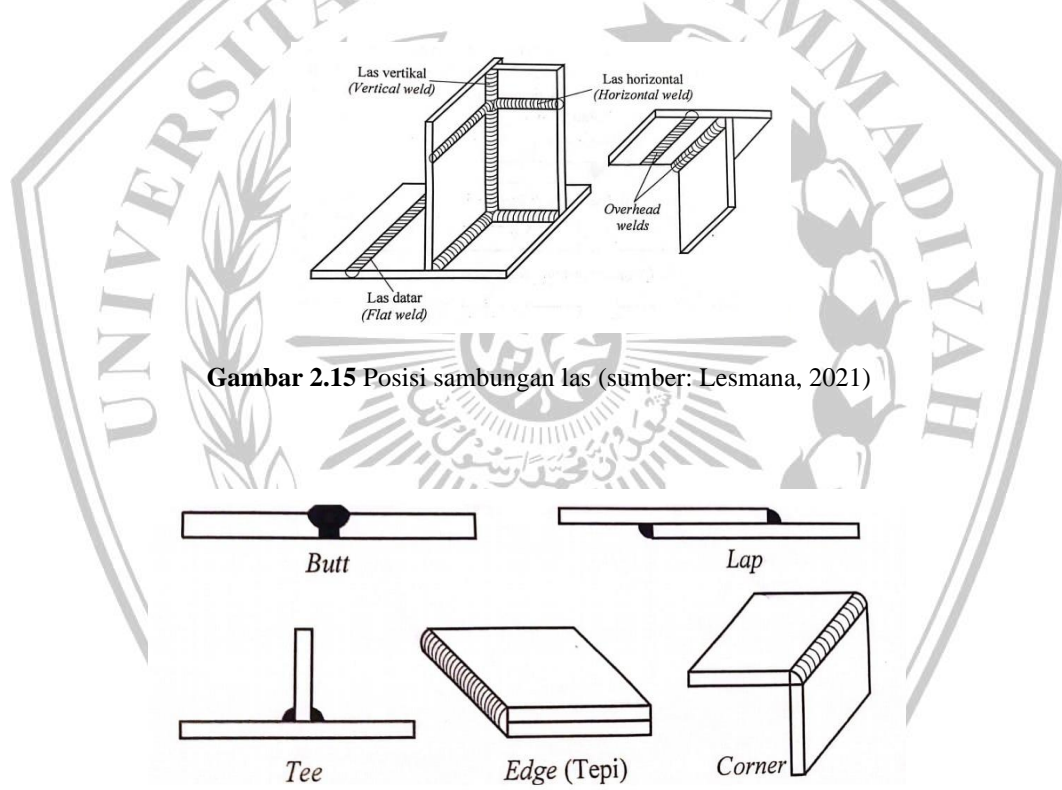
Las yang digunakan untuk menghubungkan elemen dalam satu level bidang yang sama tanpa adanya tumpu antara elemen. Jenis las ini memiliki dua tipe, yaitu las penetrasi sepenuhnya dan las partisi sebagian. Jenis las ini lebih mahal dibandingkan las tumpul dikarenakan adanya biaya yang harus dikeluarkan selama proses persiapan las. Besaran biaya dibandingkan, bisa mencapai 50% hingga 100% lebih mahal dibandingkan las sudut.



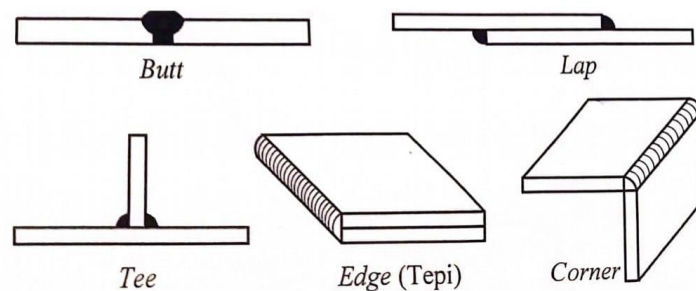
Gambar 2.14 Sambungan las tumpul dan las sudut (sumber: Wiryanto Dewobroto, 2015)

2.5.1.2 Posisi Dan Tipe Sambungan Las

Menurut (Lesmana, 2021), sambungan las bisa diklasifikasikan berdasarkan tipe las dan yang diaplikasikan pada struktur. Posisi sambungan las dibagi menjadi 4 jenis yaitu *flat* (datar), horizontal, vertikal dan di atas. Berdasarkan tipe las, sambungan las dibagi menjadi beberapa jenis yaitu berikut.



Gambar 2.15 Posisi sambungan las (sumber: Lesmana, 2021)



Gambar 2.16 Tipe sambungan las berdasarkan letak penampang (sumber: Lesmana, 2021)

Berdasarkan SNI 1729:2020, Pasal J2.4, nilai berdasar kekuatan rancang faktor ϕR_n sambungan las secara umum diambil nilai terendah dari kuat nominal logam las. Adapun persamaannya sebagai berikut.

$$P_u \leq \phi R_n \dots \dots \dots (2.91)$$

$$R_n = F_{nv} A_{we} \dots \dots \dots (2.92)$$

Keterangan:

P_u = beban faktor

ϕR_n = kuat nominal tahanan las (faktor nilai 0,75)

F_{nv} = tegangan nominal (MPa)

A_{we} = luas efektif (mm²)

2.5.2 Sambungan Baut

Menurut (Lesmana, 2021), baut yaitu jenis sambungan struktur yang punya kelebihan dari proses pemasangan yang mudah, waktu pengerjaan yang relatif singkat, dan ekonomis yang relatif. Terdapat beberapa jenis baut yang umumnya dipakai sebagai alat penyambung pada konstruksi baja, antara lain sebagai berikut.

1.) Baut Biasa.

Jenis baut ini terbuat dari baja karbon dengan karakter yang mirip dengan material baja A36. Bila menilik pada ASTM dan SNI 1729:2020, baut jenis ini disebut dengan baut A307. Pada umumnya jenis baut A307 ini memiliki kepala baut yang berbentuk persegi untuk mengurangi biaya produksi namun kadang ada juga jenis baut ini yang memiliki bentuk heksagonal karena bentuk heksagonal lebih menarik secara estetika. Selain itu, bentuk kepala yang berbentuk heksagonal memudahkan tahap pengencangan pada baut. Pada umumnya jenis baut ini digunakan pada struktur ringan atau pada elemen struktur sekunder.

2.) Baut kekuatan tinggi.

Baut ini merupakan jenis baut mutu tinggi yang terbuat dari medium karbon dan baja serat. Baut jenis ini memiliki kekuatan tarik dua kali atau lebih dari *Baut* biasa. Baut mutu tinggi paling banyak digunakan untuk struktur utama, khususnya struktur yang menahan beban dinamis (gempa dan getaran) terutama pada struktur gedung. Mutu baut dan diameter baut dapat dilihat pada tabel berikut. (SNI 1727:2020)

Tabel 2.22 diameter baut dan jarak tepi minimum sesuai SNI 179:2020 Tabel J3.4M

Ukuran baut (mm)	Minimal pada jarak tepian (mm)
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
> 36	1,25 <i>d</i>

Sumber: SNI 1729:2020

Menurut (Sulandari et al., 2023), Untuk struktur baja dengan tinggi lebih dari 38 meter yang menggunakan sambungan berulir sebagai drat kencang, sekrup tekan berkualitas tinggi harus dipergunakan pada rancangan.

Tabel 2.23 jenis diameter baut dan tarik minimum sesuai SNI 1729:2020 Tabel J3.1M

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

Sumber: SNI 1729:2020

Tabel 2.24 Kuat nominal baut dan batang berulir (Wiryanto Dewobroto, 2015)

baut atau alat sambung ulir	tarik (F_{nt})	Geser (F_{nv})	keterangan
A307 (baut biasa)	188 310	188 (165)	non gedung
A325	620	372 (330)	geser ulir drat
(baut mutu tinggi)		457 (414)	geser grip polos
A490	780	457 (414)	geser ulir drat
(baut mutu tinggi)		579	geser grip polos

		(520)	
		0,45 F_u	
		(0,40 F_u)	geser ulir drat
Alat sambung dengan ulir	0,75 F_u	0,563 F_u	
		(0,50 F_u)	geser grip polos

sumber: Wiryanto Dewobroto, 2015

2.5.3 Sambungan baut tipe geser

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015) rancangan sambungan baut geser dan cara pemasangan baut mutu saling berkaitan dan berpengaruh dari kekuatan dan kekakuan sambungan. Sambungan ini menciptakan dua jenis mekanisme untuk mentransmisikan gaya yang berbeda mekanisme yaitu slip kritis dan mekanisme pendukung. Sambungan berulir dengan mekanisme slip yang kritis atau penahan beban tidak dapat dibedakan secara visual. Mekanisme ini hanya muncul setelah stres. Jika baut tidak tergelincir (tetap di tempatnya) di bawah beban desain, maka mekanisme geser kritis berfungsi. Tahanan geser kritis suatu sekrup ditentukan oleh tahanan gesek yang terjadi. Namun, jika baut tergelincir karena beban, mekanisme pendukung akan bekerja.

2.5.3.1 Mekanisme slip kritis baut

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015) mekanisme slip kritis baut dapat dilihat pada perumusan berikut.

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \dots\dots\dots (2.93)$$

Keterangan:

μ = koefisien slip rata-rata berdasarkan kondisi permukaan

D_u = faktor pengali gaya tegang baut rata-rata yang terpasang

H_f = faktor pengait pelat pengisi

T_b = aksi tarik baut tegang minimum

n_s = jumlah permukaan yang menimbulkan bidang

2.5.3.2 Mekanisme Tumpu Baut

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), Mekanisme pendukung hanya akan beroperasi jika mekanisme slip kritis gagal dan menunjukkan slip. Istilah putus bukan berarti sambungannya putus, melainkan ketahanan fisik bautnya sudah tidak

berfungsi lagi. Sambungan ulir gesekan dengan mekanisme penyangga didasarkan pada kondisi pemanfaatan material yang maksimal, yaitu sampai kondisi in elastik (F_y dan F_u).

2.5.4 Kuat Geser Baut

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), apabila dalam pelat terjadi indikasi mekanisme tumpu serta geser, maka baut demikian. Namun, karena dari ukuran baut tersebut telah di tentukan, maka kerusakan yang akan terjadi terlebih dahulu adalah geser. Oleh karena itu, dalam perencanaan sambungan baut, yang perlu di amati hanya kuat geser saja, karena relatif lebih lemah berbanding dengan kuat tumpunya. Persamaan kuat baut untuk satu bidang geser ditentukan dalam persamaan sebagai berikut.

$$R_n = F_{nv} A_b \dots\dots\dots(2.94)$$

keterangan:

F_{nv} = tegangan geser nominal baut

A_b = luas penampang baut, tergantung tegangan geser nominal yang dipakai

2.5.5 Kuat Blok Pelat

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), Perhitungan kekuatan sambungan tipe geser dengan mekanisme tumpu telah dijelaskan dan berdasarkan pada kekuatan sendiri dari masing-masing baut sambungan. Untuk jumlah baut yang relatif kecil dengan konfigurasi tertentu konfigurasi tersebut berlaku. Namun untuk sambungan dengan jumlah yang relatif banyak dan penempatan yang berkelompok, perilakunya berbeda, dan bisa saja menyebabkan keruntuhan. **Sambungan Baut**

2.5.6 Konfigurasi *End-Plate*

Menurut (Miryahyavi et al., 2023) jenis sistem Rangka Pemikul Momen (MRF) merupakan salah satu sistem yang berguna pada struktur baja terhadap beban gempa di mana sambungan berperan utama dalam menghantar beban lateral. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan jenis sambungan yang baik dalam kinerja terhadap beban gempa. Penentuan penampang kolom dan balok diperlukan dalam mempertimbangkan jenis dan perilaku sambungan.

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), sambungan jenis *end-plate* merupakan sambungan tipe tarik yang terlihat sederhana, baut cukup sedikit, dan ada terdapat tambahan pada khususnya pelat dilas pada ujungnya.

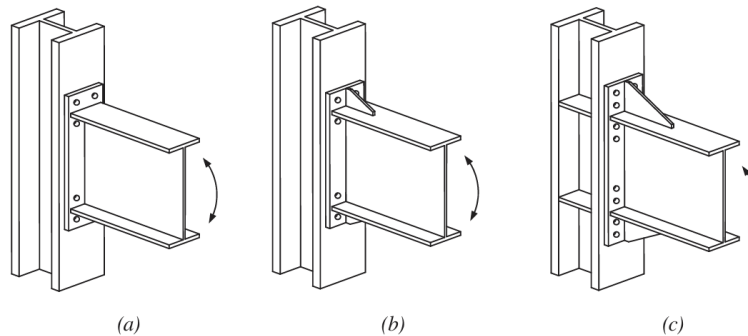


Fig. 6.1. Extended end-plate configurations: (a) four-bolt unstiffened, 4E; (b) four-bolt stiffened, 4ES; (c) eight-bolt stiffened, 8ES.

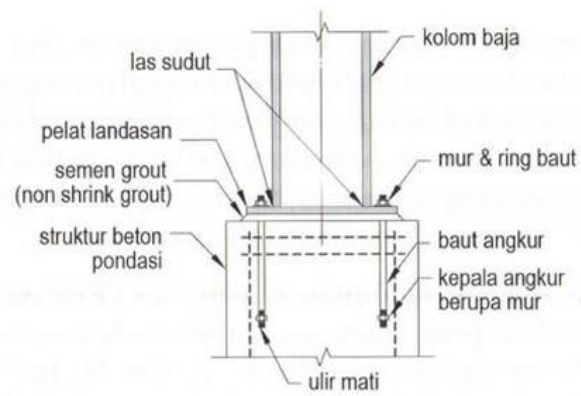
Gambar 2.17 Extended End Plates (sumber: AISC 358, 2016)

Sambungan *end-plates* Sambungan baut dengan jenis atau jenis tarik memiliki ukuran spesifik yang lebih sedikit, dan ditambahkan khusus untuk pelat area ujung yang disebut *end-plate*. *End-plate* atau pelat ujung disambung kaku pada bagian las yang lain yang tentu perlu memperhatikan akurasi pemasangan yang presisi dibandingkan dengan sambungan baut bertipe geser. Maka dari itu, adanya plat ujung menyebabkan gaya tekan pada area yang di mana baut tersebut berada akan langsung diambil alih dan di lakukan oleh pelat tersebut.

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), kekuatan dan kinerja sebuah *end-plate* atau pelat ujung bergantung pada pelat kekuatannya tersebut dan baut tariknya. Dalam menghitung secara keseluruhan dari pelat ujung kekakuan yaitu dengan cara teori garis leleh (*yield line theory*).

2.5.6 Sambungan Base Plate-Angkur

Menurut (Wiryanto Dewobroto, 2015), pelat dasar kolom dalam konsep beban LRFD dirancang untuk memiliki tahanan desain yang terbesar atau sama dengan tahanan yang dibutuhkan untuk menahan momen.



Gambar 2.18 penampang angkur (sumber: Wiryanto Dewobroto, 2015)

