

## BAB II

### DAFTAR PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Konsep Pembebanan

Setiap struktur bangunan pasti memikul beban, baik dari luar maupun dari dalam gedung itu sendiri seperti beban hidup, beban mati, beban angin, beban hujan dan beban gempa. Untuk itu pada setiap perencanaan gedung perlu mengacu pada pembebanan gedung SNI 1727-2020 tentang pembebanan minimum untuk gedung dan struktur lain.

##### 2.1.1 Beban Mati

Beban mati menurut SNI merupakan 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. Informasi mengenai berat satuan dari berbagai material konstruksi yang dapat digunakan sebagai rujukan perhitungan beban mati adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Tabel Beban Mati

BAHAN BANGUNAN		
Baja	7.850	kg/m <sup>3</sup>
Batu alam	2.600	kg/m <sup>3</sup>
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500	kg/m <sup>3</sup>
Batu karang	700	kg/m <sup>3</sup>
Batu pecah	1.450	kg/m <sup>3</sup>
Besi tuang	7.250	kg/m <sup>3</sup>
Beton <sup>(1)</sup>	2.200	kg/m <sup>3</sup>
Beton bertulang <sup>(2)</sup>	2.400	kg/m <sup>3</sup>
Kayu (kelas 1) <sup>(3)</sup>	1.000	kg/m <sup>3</sup>
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650	kg/m <sup>3</sup>
Pasangan bata merah	1.700	kg/m <sup>3</sup>

Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200	kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu cetak	2.200	kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu karang	1.450	kg/m <sup>3</sup>
Pasir ( kering udara sampai lembab)	1.600	kg/m <sup>3</sup>
Pasir (jenuh air)	1.800	kg/m <sup>3</sup>
Pasir kerikil, koral (kurang udara sampai lembab)	1.850	kg/m <sup>3</sup>
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700	kg/m <sup>3</sup>
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000	kg/m <sup>3</sup>
Timah hitam (timbel)	11.400	kg/m <sup>3</sup>

KOMPONEN GEDUNG

Adukan, per cm tebal :		
dari semen	21	kg/m <sup>2</sup>
dari kapur, semen merah atau tras	17	kg/m <sup>2</sup>
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan bata merah :		
satu batu	450	kg/m <sup>2</sup>
setengah batu	250	kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan batako :		
Berlubang :		
tebal dinding 20 cm (HB 20)	200	kg/m <sup>2</sup>
tebal dinding 10 cm (HB 10)	120	kg/m <sup>2</sup>
Tanpa lubang :		
tebal dinding 15 cm	300	kg/m <sup>2</sup>
tebal dinding 10cm	200	kg/m <sup>2</sup>
Langit – langit dan dinding (termasuk rusuk- rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :		

semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11	kg/m <sup>2</sup>
kaca, dengan tebal 3-4 mm		
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/mm <sup>2</sup>	10	kg/m <sup>2</sup>
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,8 m		
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	7	kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m <sup>2</sup> bidang atap	50	kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gorden		
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	40	kg/m <sup>2</sup>
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	10	kg/m <sup>2</sup>
	24	kg/m <sup>2</sup>
	24	kg/m <sup>2</sup>

(Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983)

### 2.1.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna atau penghuni bangunan gedung atau struktur lain, yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan. Segala beban-beban yang timbul karena ditempati atau dimanfaatkannya suatu bangunan, termasuk beban-beban pada lantai yang disebabkan oleh benda-benda bergerak dan peralatan-peralatan yang dapat diganti-ganti yang merupakan satu kesatuan dengan bangunan itu, dapat menyebabkan perubahan pembebanan keseluruhan pada bangunan itu. Hal ini berlaku pada bagian atas bangunan, khususnya atap, yang terdapat beban hidup berupa air hujan dan tekanan (energi kinetik). Perencanaan beban hidup ini disesuaikan dengan standar pembebanan yang ditentukan dalam SNI 1727:2020.

Tabel 2. 2 Tabel Beban Hidup

Hunian Atau Penggunaan	Merata Psf (kN/m <sup>2</sup> )	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 latihan	150 (7.18) <sup>a</sup>	
• Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4.79) <sup>a</sup>	
Lobi	100 (4.79) <sup>a</sup>	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4.79) <sup>a</sup>	
Panggung pertemuan	100 (4.79) <sup>a</sup>	
Lantai podium	150 (7.18) <sup>a</sup>	
• Balkon dan dek	1.5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4.79 kN/m <sup>2</sup> )	
• Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1.92)	300 (1.33)
• Koridor		
Lantai pertama	100 (4.79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali di sebutkan 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 <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25mm x 25mm ])		200 (0.89)
• Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4.79)	
• Hunian satu keluarga saja	40 (1.92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi / parkir		
Mobil penumpang saja	40 (1.92) <sup>a, b, c</sup>	
Truk dan Bus	c	
Susuran tangga, rel pengaman dan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
• 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) <sup>a, h</sup>	1000 (4.45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3.83)	1000 (4.45)
• Pabrik		
Ringan	125 (6.00) <sup>a</sup>	2000 (8.9)
Berat	250 (11.97) <sup>a</sup>	3000 (13.40)
• 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 (8.9)

Kantor	50 (2.4)	2000 (8.9)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3.83)	2000 (8.9)
• Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1.92)	
Koridor	100 (4.79)	
• Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam renang, penggunaan yang sama	75 (3.59) <sup>a</sup>	
Bangsas dansa dan ruang dansa	100 (4.79) <sup>a</sup>	
Gymnasium	100 (4.79) <sup>a</sup>	
• Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0.48) <sup>l</sup>	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0.96) <sup>m</sup>	
Loteng yang didiami dan ruang tidur	30 (1.44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1.92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang 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	
	penggunaan	
	yang dilayani	
	100 (4.70)	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4.70)	
Atap vegetatif dan atap lansekap		

Atap bukan untuk hunian	20 (0.96)
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4.70)
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama penggunaan yang dilayani.
Awning dan kanopi	5 (0.24) tidak boleh direduksi 5 (0.24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributary dari atap yang ditumpu oleh rangka 20 (0.96)
Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0.24)
Rangka penumpu layar penutup	5 (0.24) Berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka
Semua konstruksi lainnya	20 (0.96)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai	
Titik panel Tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap di atas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi	2000 (8.90)

Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1.33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan.		300 (1.33)
• Sekolah		
Ruang kelas	40 ( 1.92)	1000 (4.45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3.83)	1000 (4.45)
Koridor lantai pertama	100 (4.79)	1000 (4.45)
• <i>Scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses.		
		200 (0.89)
• Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk		
	250 (11.79)	8000 (35.6) <sup>a</sup>
• Tangga dan jalan keluar		
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	100 (4.79)	300 (1.33)
	40 (1.92)	300 (1.33)
• Gudang diatas langit-langit		
	20 (0.96)	
• Gudang penyimpanan dan pekerja		
Harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan		
Ringan		
Berat	125 (6.00)	
	250 (11.97)	
• Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4.79)	1000 (4.45)
Lantai diatasnya	75 (3.59)	1000 (4.45)
Grosir, di semua lantai	125 (6.00)	1000 (4.45)
• Penghalang kendaraan		
		Lihat pasal 4.5

- 
- Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar) 60 (2.87)
  - Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki 100 (4.79)
- 

Sumber: (SNI 1727-2019)

### 2.1.3 Beban Gempa ( *Earthquake load* )

Menurut Pawirodikromo (2012), gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba akibat pecah atau slip massa batuan di lapisan kerak bumi. Beban gempa adalah beban yang di terima struktur bangunan dari permukaan tanah hingga disalurkan ke seluruh struktur utama. Dalam suatu perencanaan struktur, perlu dipertimbangkan daerah dimana bangunan tersebut akan dibangun, karena di Indonesia sendiri merupakan kawasan dengan daerah gempa tinggi.

Menurut (Agus Setiawan, 2008) beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah oleh gempa bumi. Pada umumnya percepatan tanah arah horizontal lebih cepat ketimbang arah vertikal, sehingga pengaruh gaya horizontal lebih besar ketimbang arah vertikal.

#### 2.1.3.1 Kategori Risiko

Kategori resiko bangunan ditentukan melalui pemanfaatan dan fungsi gedung. (SNI 1726-2019) tata cara perencanaan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, seperti pada tabel berikut :

**Tabel 2. 3** Kategori Risiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gudang penyimpanan Rumah jaga dan struktur lainnya</li> </ul>	

---

Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, II, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk

- Perumahan
- Rumah toko dan rumah kantor
- Pasar
- Gedung perkantoran
- Gedung apartemen/rumah susun
- Pusat perbelanjaan mall
- Bangunan inudstri
- Fasilitas manufaktur Pabrik

II

---

Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :

- Bioskop
- Gedung pertemuan
- Stadion
- Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas penitipan anak
- Penjara
- Bangunan untuk orang jompo

Gedung dan non gedung, yang tidak termasuk dalam 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 :

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

III

---

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

---

Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi dibatasi untuk :

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan
- Rumah ibadah
- Rumah sakit dan fasilitas Kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat darurat

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

---

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

(Sumber : SNI 1726-2019)

### 2.1.3.2 Klasifikasi Situs

Menurut (SNI 1726-2019) pasal 5.3 bilamana data tanah spesifik pada situs tidak tersedia hingga kedalaman 30 m, sehingga sifat-sifat tanah harus diperkirakan oleh ahli geoteknik bersertifikat/berlisensi dengan menyiapkan laporan penyelidikan tanah sesuai dengan kondisi geoteknik. Bilamana sifat-sifat tanah yang sesuai tidak tersedia untuk menentukan kelas situs, maka kelas situs SE harus dipergunakan sebagaimana persyaratan 0, terkecuali jika otoritas yang berwenang atau data geoteknik mengungkapkan bahwasanya lokasi tersebut adalah kelas lokasi lain. Tidak diperbolehkan menentukan kelas situs SA dan kelas situs SB apabila ada lapisan tanah setebal lebih dari 3 m diantara dasar telapak atau rakit pondasi dengan permukaan batuan dasar.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$V_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$S_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 hingga 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 hingga 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 hingga 350	15 hingga 50	50 hingga 100
SE (tanah Lunak)	< 175	< 15	< 50

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik, yaitu :

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

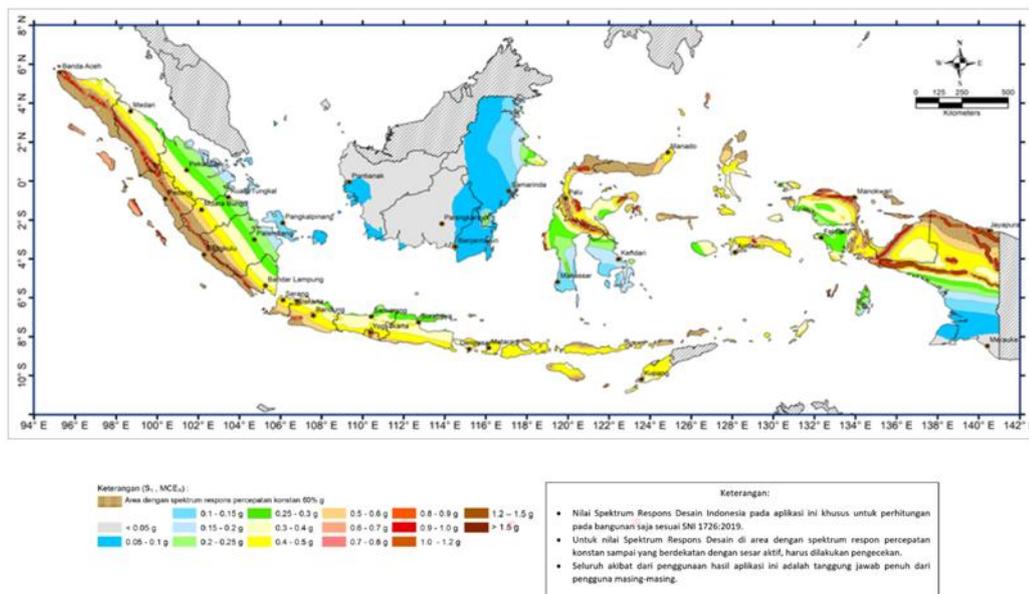
SF (tanah khusus, Setiap profil lapisan tanah mempunyai salah satu memerlukan investigasi atau lebih dari karekteristik, yaitu :  
geoteknik spesifik dan

- |   |  |
|---|--|
| <p>analisis respons yang mengikuti 0)</p> | <p>- Rawan dan berpotensi gagal ataupun runtuh yang diakibatkan beban gempa seperti mudah likuifaksi, tanah tersementasi lemah, lempung sangat sensitive.</p> <p>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalannya <math>H &gt; 3m</math>).</p> |
|---|--|

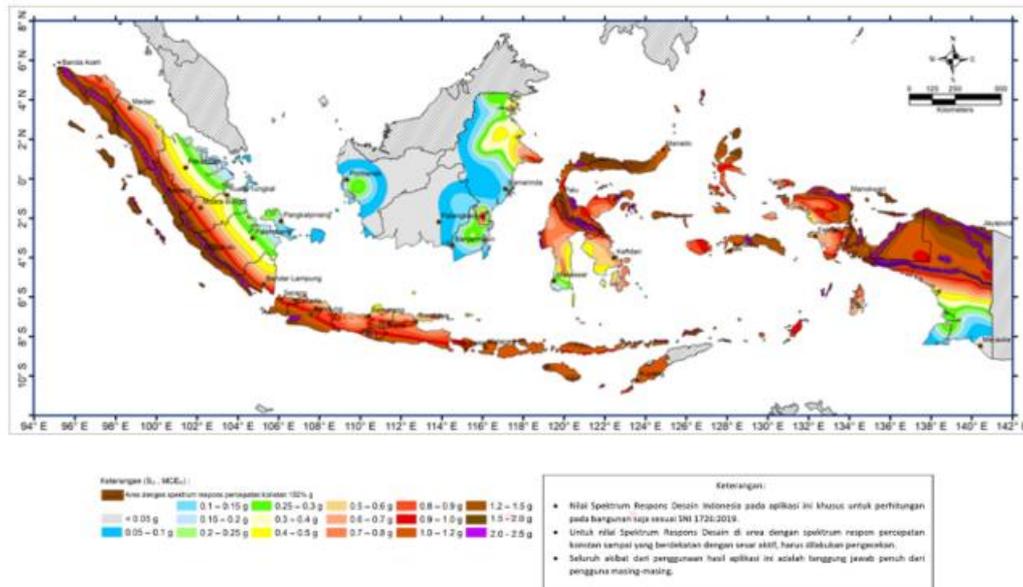
(Sumber : SNI 1726-2019)

### 2.1.3.3 Parameter Respon Spektra

Parameter respon spektra ditentukan dari lokasi daerah pembangunannya, dapat dilihat di peta dibawah. Ada dua macam peta, yakni peta untuk percepatan pada periode 1 detik ( $S_1$ ) dan periode pendek ( $S_s$ ).



Gambar 2. 1 Peta percepatan 1 detik ( $S_1$ )



**Gambar 2. 2** Peta percepatan pendek ( $S_s$ )

### 2.1.3.4 Spektrum Respon Desain

Menurut (SNI 1726-2019) pasal 6.4, Jika spektrum respons desain dan prosedur gerakan tanah spesifik lokasi tidak tersedia, kurva spektrum respons desain harus disesuaikan menggunakan Gambar 2.4 dan spesifikasi yang diberikan.

1. Bila periode yang kurang dari  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain,
 
$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$
2. Bilamana lebih tinggi serta lebih rendah dari atau sama dengan  $T_S$ , respon spektrum percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$
3. Bilamana periode lebih tinggi dari  $T_S$ , respon spektrum percepatan desain,  $S_a$ , digunakan sesuai persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2}$$

Dimana :

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

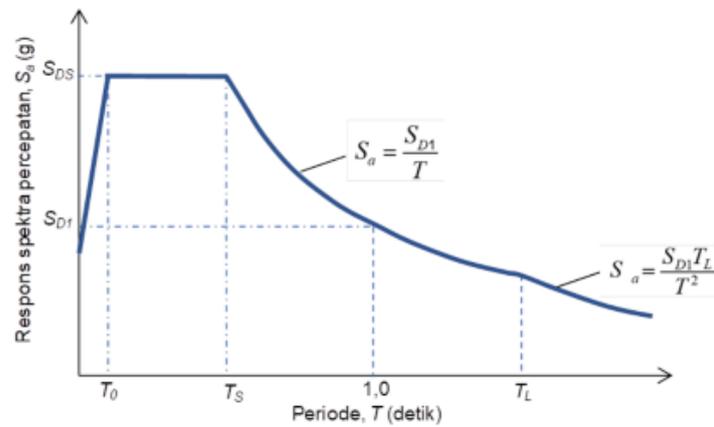
$S_{D1}$  = Parameter respon spektra percepatan desain pada periode 1.0 detik

$T$  = Periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{D2}}$$

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

$T_L$  = Peta transisi periode panjang yang ditunjuk pada gambar



Gambar 2. 3 Grafik Respon Spektrum

Tabel 2. 5 Nilai  $S_{DS}$

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} \leq 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} \leq 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

Tabel 2. 6 Nilai  $S_{D1}$

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} \leq 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} \leq 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI 1726-2019)

### 2.1.3.5 Kombinasi Pembebanan

Dalam perencanaan pembebanan terdapat kombinasi beban yang harus di perhitungkan, yang nantinya hasil dari kombinasi pembebanan ini akan menghasilkan nilai yang digunakan untuk mendesain struktur utama bangunan. Struktur utama harus memiliki hasil nilai yang sama atau lebih besar dari efek yang ditimbulkan pada kombinasi pembebanan. Menurut SNI 1727-2020, kombinasi pembebanan yang dipakai adalah berikut ini :

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

## 2.2 Struktur Baja Komposit

Baja struktural adalah bahan bangunan yang terdiri dari baja yang dicampur dengan bahan kimia tertentu dan dibentuk dengan cara tertentu. Bahan ini digunakan untuk konstruksi pelat, balok, kolom dan berbagai elemen kolom lainnya. Biasanya, jenis konstruksi ini digunakan dalam Pembangunan gedung perkantoran, gudang, hotel, stadion dan struktur yang serupa.

Struktur komposit merupakan struktur yang menggunakan kombinasi setidaknya dua bahan konstruksi dengan sifat material yang berbeda. Diantisipasi bahwa ketika kedua bahan ini digabungkan, mereka akan menghasilkan sifat yang menguntungkan. Dalam kasus baja-beton, bahan yang digunakan adalah beton dan baja. Beton memiliki sifat tekan yang kuat tetapi relatif lebih lemah dalam tarik, sedangkan baja menunjukkan kekuatan baik dalam tekan maupun tarik, tetapi memerlukan pertimbangan sifat tekuknya.

Menurut Widiarsa dan Deskata 2007, struktur komposit antara beton dan baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan. Dalam aplikasinya, baja komposit digunakan untuk balok, kolom dan bisa juga untuk pelat. Struktur komposit terdiri dari dua

jenis yakni pipa baja yang diisi dengan beton atau baja profil yang diselimuti beton dengan tulangan longitudinal dan diikat tulangan lateral.

Suatu studi oleh Kim (2005), dalam Sasongko (2011) mengatakan bahwa sistem struktur komposit terbentuk akibat interaksi antar komponen struktur baja dan beton yang memiliki perbedaan karakteristik. Beton yang memiliki kelebihan tahan api, mudah di bentuk dan murah. Sedangkan karakteristik baja adalah kekuatan tinggi, modulus elastisitas tinggi, serta daktilitas tinggi.

Perilaku komposit hanya dapat terjadi jika selip di antara kedua material tersebut dihentikan. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan konektor geser untuk menahan gaya geser horizontal pada permukaan baja dan beton. Stud, baja tulangan spiral, atau profil kanal pendek biasanya digunakan sebagai konektor geser. Konektor tipe stud adalah yang paling populer dan beberapa stud dapat dipasang di setiap lokasi jika lebar flens cukup. Selain itu, pemasangan stud sederhana dan membutuhkan sedikit tenaga kerja.

Menggunakan struktur komposit memiliki keuntungan yang tidak didapatkan ketika memakai struktur konvensional. Beberapa keuntungannya adalah sebagai berikut :

1. Dapat mereduksi berat profil baja yang dipakai
2. Tinggi profil baja yang dipakai dapat dikurangi
3. Meningkatkan kekakuan lantai
4. Dapat menambah bentang layan

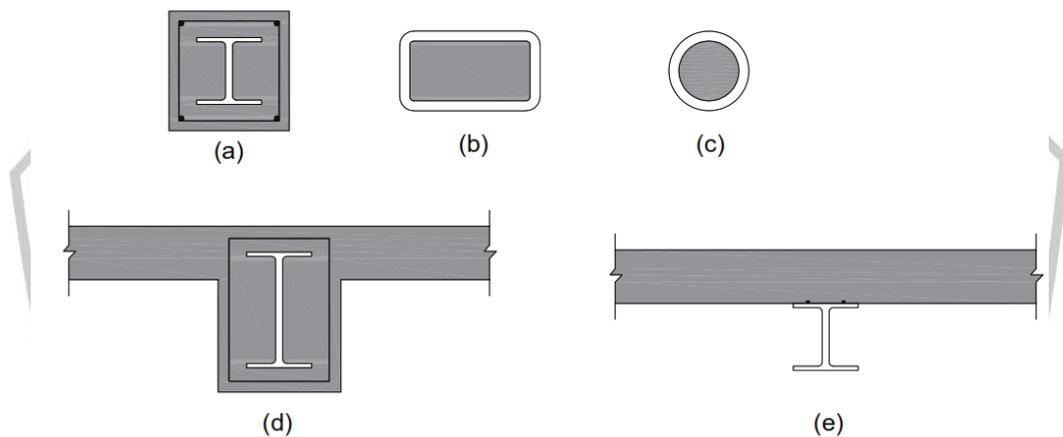
Reduksi berat sekitar 20%-30% dapat diperoleh dengan memanfaatkan perilaku sistem komposit secara penuh. Dengan adanya reduksi berat maka secara tidak langsung akan mengurangi tinggi profil baja yang dipakai, juga akan mengurangi ketinggian lantai. Sehingga berdampak pada penghematan material yang digunakan.

Struktur komposit memiliki defleksi yang lebih kecil dibandingkan struktur non-komposit karena momen inersianya lebih besar. Hal ini disebabkan karena pada struktur komposit, momen inersia yang diberikan oleh beton yang mengeras, sedangkan pada struktur non-komposit, momen inersia hanya berasal dari profil baja. Penggunaan komposit baja dan beton memungkinkan pengurangan tinggi dan

berat profil baja, peningkatan kekakuan pelat lantai, dan rentang servis yang lebih panjang.

Jenis dari struktur komposit ada berbagai macam yakni kolom yang terbungkus beton, balok yang terbungkus beton, balok yang menopang pelat beton, tiang pancang yang terbungkus pelat baja. Dibawah ini adalah gambar dari berbagai jenis struktur komposit yang umum dijumpai di konstruksi :

- Kolom atau balok baja yang terbungkus selimut beton seperti gambar 2.4 (a) dan 2.4 (d)
- Tiang pancang yang diisi dengan beton 2.4 (b) dan 2.4 (c)
- Balok yang menahan pelat beton 2.4 (e)



Gambar 2. 4 Macam-macam Struktur Komposit

### 2.2.1 Metode Perhitungan Struktur Baja Komposit

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan di bidang konstruksi, metode perhitungan struktur baja yang sering digunakan ada 2 macam. Diantaranya yaitu metode ASD (*Allowable Stress Design*), dan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*).

Metode ASD atau metode elastis adalah metode perhitungan yang hasil tegangan tidak boleh melebihi tegangan ijinnya akibat beban layan. Tegangan ijin ditentukan dari peraturan AISC untuk mendapatkan faktor keamanan terhadap tercapainya tegangan batas, seperti tegangan leleh minimum atau tegangan tekuk (*buckling*). Tegangan yang dihitung akibat beban layan harus dalam keadaan elastic.

Menurut (Heppy Nur Cahya, 2015) , pada kondisi beban bekerja, tegangan yang terjadi dihitung dengan menganggap struktur bersifat elastis, dengan memenuhi syarat keamanan (kekuatan yang memadai) untuk struktur. Tegangan ijin dalam spesifikasi AISC ditentukan berdasarkan kekuatan yang mampu dicapai apabila struktur dibebani dengan beban yang lebih dari semestinya (beban tambahan). Apabila penampang mampu menahan beban yang diberikan, maka regangan yang lebih besar daripada regangan saat leleh mampu diterima oleh penampang tersebut

Metode LRFD adalah metode perencanaan yang mengacu pada kondisi batas atau limit. Kondisi batas yang ditinjau adalah kekuatan, dan kekakuan. Metode ini mengacu pada AISC 1993 atau yang lebih baru. Kekuatan yang dievaluasi adalah kondisi ultimate, atau kuat maksimum yang dapat dipikul sebelum runtuh. Dalam perencanaannya memang tidak didapatkan secara langsung, namun dikalikan dengan beban terfaktor yang ditentukan berdasarkan studi probabilitas sehingga didapatkan keandalan yang sama untuk setiap kondisi beban.

Menurut (Agus Setiawan, 2008) metode LRFD tidak diperlukan analisis probabilitas secara penuh kecuali untuk keadaan-keadaan tertentu yang tidak diatur dalam aturan yang berlaku. Ada beberapa tingkatan dalam perhitungan probabilitas. Metode probabilitas penuh merupakan metode perhitungan yang paling kompleks. Perhitungan ini membutuhkan data data tentang distribusi dari setiap variable acak seperti tahanan, beban dan lain-lain. Yang kedua adalah metode *First Order Second Moment*. Metode ini lebih sederhana dari metode probabilitas penuh. FOSM mengasumsikan bahwa beban  $Q$  dan tahanan  $R$  saling bebas secara statistik. Perbandingan yang diberikan LRFD lebih spesifik antara beban  $Q$  dan resistensi  $R_n$ , seperti pada persamaan di bawah berikut :

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$\sum$  = Penjumlahan

$i$  = menunjukkan berbagai kondisi

$Q_i$  = pengaruh beban nominal

$\gamma_i$  = factor beban terkait beban  $Q_i$  yang ditinjau

$\phi R_n$  = kuat perlu, dari kondisi batas paling ekstrim

$R_n$  = Kuat nominal, kekuatan elemen yang dihasilkan

$\phi$  = factor tahanan sesuai jenis struktur yang ditinjau

$\phi R_n$  = kuat rencana, kekuatan struktur yang direncanakan

Sisi kiri mewakili ketahan atau kekuatan komponen atau sistem, sedangkan sisi kanan mewakili beban yang diperkirakan akan ditanggungnya untuk menciptakan struktur yang lebih aman. Di sisi kekuatan, factor resistensi (reduksi kekuatan)  $\phi$  digunakan untuk mengalikan nilai nominal resistensi  $R_n$  dan mendapatkan kekuatan desain. Di sisi beban, faktor kelebihan  $\gamma_i$  digunakan untuk mengalikan berbagai efek beban  $Q_i$  (seperti beban mati, beban hidup, dan beban salju) dan mendapatkan jumlah beban terfaktor  $\sum \gamma_i Q_i$ .

Metode LRFD memenuhi ketentuan apabila  $R_u$  lebih rendah dari kuat yang direncanakan  $\phi R_n$ , dengan  $\phi$  adalah koefisien yang berubah- ubah sesuai dengan kondisi yang dihadapi dalam perencanaannya. Konsep dasar metode LRFD adalah sebagai berikut :

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

Kuat perlu  $R_u$ , adalah nilai tertinggi dari kombinasi beban yang didapat dari analisa struktur. Dibutuhkan analisa menyeluruh (global) untuk mengetahui kekuatan perlu ( $R_u$ ) setiap komponen. Hasil Analisa struktur  $R_u$  kemudian digunakan untuk evaluasi setiap komponen utama gedung dan di kontrol melalui kekuatan rencana  $\phi R_n$ , serta dipertimbangkan berdasarkan setiap elemen terhadap gaya-gaya dalam yang bekerja. Berdasarkan

**Tabel 2. 7** Faktor Tahanan

Tahanan Rencana Untuk	Faktor Tahanan
Komponen struktur yang memikul lentur :	
• Balok	0.90
• Pelat badan yang memikul geser	0.90
• Balok pelat berdingding penuh	0.90
• Pelat badan pada tumpuan	0.90
• Pengaku	0.90

Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial :	
• Ketahanan komponen struktur	0.90
• Ketahanan penampang	0.90
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial :	
• Terhadap tahanan tarik fraktur	0.75
• Terhadap tahanan tarik leleh	0.90
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi :	
• Tahanan geser atau lentur	0.90
• Tahanan tekan	0.90
• Tahanan tarik	0.90
Sambungan baut :	
• Baut yang memikul yang tarik	0.75
• Baut yang memikul geser	0.75
• Baut yang memikul tumpu	0.75
• Lapis yang memikul kombinasi geser dan tarik	0.75
Sambungan :	
• Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0.75
• Las tumpul penetrasi penuh	0.90
• Las pengisi	0.75

(Sumber : SNI 2847-2019)

### 2.2.2 Pelat Komposit

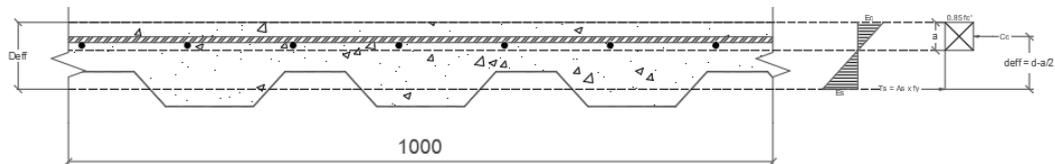
Perkembangan struktur komposit diawali dengan pemanfaatan dek baja bergelombang yang tidak hanya berfungsi sebagai bekisting pada saat penuangan pelat beton tetapi juga berfungsi sebagai perkuatan pelat. Dek baja juga dapat dilihat sebagai penopang lateral balok sebelum beton dipasang.

SNI 1729-2020 mengatur persyaratan dek baja bergelombang dan sambungan gesernya yang digunakan pada komponen struktur komposit. Artikel tersebut menyatakan:

1. Tinggi rusuk nominal tidak lebih besar dari 75 mm. lebar rata-rata rusuk atau hauns beton  $w_r$ , harus tidak kurang dari 50 mm, tetapi tidak boleh

diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dek baja

2. 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, setelah instalasi, harus diperpanjang tidak kurang dari 38 mm di atas bagian paling atas dek baja dan harus ada paling sedikit 13 mm selimut beton terspesifikasi di atas bagian paling atas angkur baja stad berkepala.
3. Tebal slab di atas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm
4. Dek baja harus di angkur ke semua komponen struktur pendukung pada spasi tidak melebihi 460 mm.



Gambar 2. 5 Pelat Floor Deck

Besarnya momen kapasitas penampang floor deck bisa didapatkan dari rumus berikut ini :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d_{eff} - \frac{a}{2}) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots (2.4)$$

Rasio tulangan harus ditentukan sesuai SNI 2847-2019. Berdasarkan aturan tersebut rasio tulangan diambil terbesar antara dua persamaan berikut ini :

$$\rho_{min 1} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \dots\dots\dots (2.5)$$

Atau

$$\rho_{min 2} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

$$As = \rho \times b \times d \dots \dots \dots (2.10)$$

Pengendalian lendutan diambil berdasarkan pelat yang mempunyai bentang dan momen terbesar. Namun sebelumnya dilakukan pemeriksaan ketinggian balok minimum untuk mengetahui batas defleksi yang diijinkan. Dengan berpedoman pada (SNI 2847-2019) pasal 9.3.1, tinggi minimal balok harus dikalikan dengan nilai sesuai tabel 2.8. Persamaan untuk mencari nilai Hmin dijelaskan sebagai berikut:

$$H_{min} = (0,4 + \frac{fy}{700}) \times h \dots \dots \dots (2.11)$$

**Tabel 2. 8** Tinggi Minimum Balok Non-Prategang

Kondisi Perlekatan	Tinggi Minimum
Perlekatan sederhana	L / 16
Menerus satu sisi	L / 18,5
Menerus dua sisi	L / 21
Kantilever	L / 8

(Sumber : SNI 2847:2019)

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

**Tabel 2. 9** Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

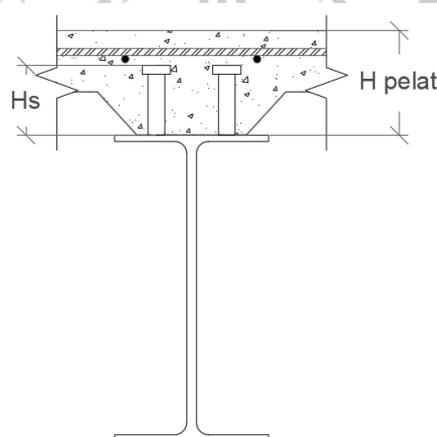
Jenis Komponen Struktur	Kondisi	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak menumpu atau tidak dijadikan satu dengan komponen nonstruktural yang memiliki kemungkinan akan rusak jika	Lendutan seketika karena $L_r$ dan $R$ maksimum	<b>L/180</b>
		Lendutan	
Lantai	terjadi lendutan yang besar	seketika karena $L$ (beban hidup).	<b>L/360</b>



1. Penggunaan dek baja pada dasarnya setara dengan penggunaan pelat tebal sehingga sangat efektif dalam mengurangi ketebalan pelat lantai.
2. Pelat tersebut dapat digunakan sebagai tulangan tegangan lentur positif pada sistem pelat baja komposit karena dek baja memberikan kekuatan lentur yang tinggi.
3. Berfungsi sebagai bekisting permanen untuk pelat beton bertulang konvensional.

### 2.2.2.1 Penghubung Geser

Gaya geser horizontal yang terjadi antara 'pelat' beton dengan balok baja pada saat pembebanan harus dijaga agar penampang komposit dapat berfungsi sebagai satu kesatuan, artinya terjadi interaksi antara 'pelat' beton dengan balok baja. Untuk memastikan sambungan yang kuat antara balok beton dan baja, konektor geser harus dipasang di atas balok, menghubungkannya dengan 'pelat' beton. Selain itu, konektor geser mencegah 'pelat' beton terangkat saat dibebani. Besarnya gaya geser horizontal ( $V_h$ ) diatur dalam SNI 1729-2020. Dalam SNI dinyatakan bahwa untuk aksi komposit dimana beton mengalami gaya tekan akibat lentur, gaya geser horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen positif maksimum dan momen nol yang berdekatan, harus diambil sebagai nilai terkecil dari :



Gambar 2. 6 Penghubung Geser

1.  $A_s \cdot f_y$
2.  $0.85 \cdot f_c' \cdot A_c$  atau  $\sum Q_n$

Jika besarnya ditentukan dari rumusan diatas maka yang terjadi adalah aksi komposit penuh, dan jumlah penghubung geser yang diperlukan antara titik momen nol dan momen maksimum adalah :

$$N = \frac{C_{max}}{Q_n} = \frac{T_{max}}{Q_n} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan  $Q_n$  adalah kuat geser nominal salah satu penghubung geser. Jenis penghubung geser yang di persyaratkan dalam (SNI 1729-2020) berupa paku berkepala (*Stud*) dengan panjang dalam kondisi terpasang tidak kurang dari empat kali diameternya, atau berupa profil baja kanal hasil gilas panas.

a) Kuat nominal jenis Stud

$$Q_n = 0.5 \cdot A_{sc} \sqrt{f_c' \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot f_u \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan,

$A_{sc}$  = Luas penampang stud

$E_c$  = Modulus elastisitas beton

$f_u$  = Tegangan putus penghubung geser jenis stud

$f_c'$  = Kuat tekan beton

b) Kuat nominal jenis kanal

$$Q_n = 0.3 (t_f + 0.5 t_w) L_a \sqrt{f_c' E_c} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan,

$L_a$  = panjang angkur kanal

$t_f$  = tebal sayap angkur kanal

$t_w$  = tebal badan angkur kanal

Persamaan (2.14) memberikan jumlah penghubung geser antara titik dengan momen nol dan momen maksimum, sehingga untuk sebuah balok yang tertumpu sederhana, diperlukan penghubung geser dengan jumlah  $2.N$  yang harus diletakkan dengan jarak/spasi yang sama.

Jika jumlah penghubung geser tidak cukup banyak untuk mencegah terjadinya slip antara pelat beton dan balok baja, maka analisis harus didasarkan pada perilaku aksi komposit parsial. Untuk komponen struktur komposit yang dianggap berperilaku sebagai komposit parsial, maka momen inersia efektif  $I_{eff}$  balok komposit harus dihitung sebagai berikut :

$$I_{\text{eff}} = I_s + (I_{tr} + I_s) \sqrt{\frac{\sum Q_n}{C_f}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan :

$C_f$  = gaya tekan pada pelat beton untuk kondisi komposit penuh

$I_s$  = momen inersia penampang baja

$I_{tr}$  = momen inersia penampang balok komposit penuh yang belum retak

$\sum Q_n$  = jumlah kekuatan penghubung geser di sepanjang daerah yang dibatasi momen positif dan momen nol.

### 2.2.3 Balok Komposit

Balok adalah bagian dari suatu struktur dan tujuannya adalah untuk memikul beban yang tegak lurus terhadap panjangnya. Akibatnya balok akan bengkok atau mengalami lendutan. Balok komposit tetap melekat erat pada pelat tanpa tergelincir. Gaya geser bekerja pada permukaan bawah pelat, menyebabkan pelat tertekan dan memendek, sedangkan gaya yang sama bekerja pada permukaan atas balok, menyebabkan pelat meregang dan memanjang (Salmon:1995:348).

Kuat rencana dari balok komposit biasanya didasarkan pada kondisi saat terjadi keruntuhan, namun perilaku balok komposit pada saat beban layan merupakan salah satu hal penting yang harus dipahami. Lendutan harus selalu di kontrol pada saat beban layan, dan dalam beberapa kasus kuat rencana bisa ditentukan oleh syarat kemampuan layan. Untuk menghitung tegangan-tegangan yang terjadi pada penampang komposit, diperlukan asumsi bahwa beton ditransformasikan menjadi baja namun memiliki efek yang sama seperti beton. Hubungan antara tegangan dan regangan baja dan beton dapat dinyatakan sebagai berikut :

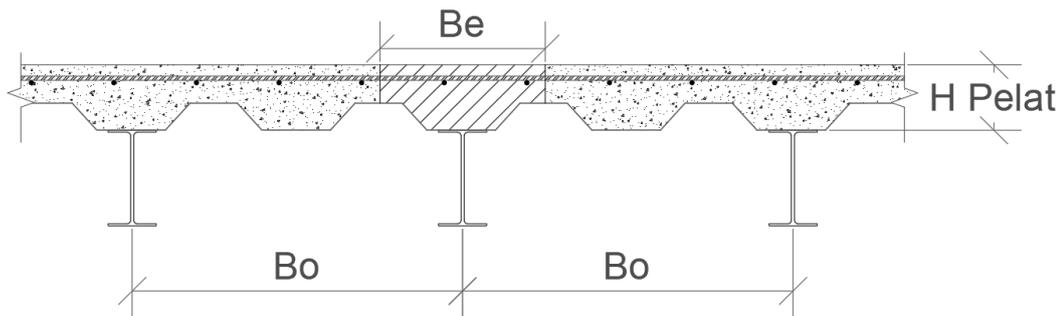
$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \text{ atau } \frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s}{E_s} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n \times f_c \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan :

$E_c$  = Modulus elastisitas beton

$N = \frac{E_s}{E_c}$  = rasio modulus



**Gambar 2. 7** Lebar Efektif Balok Komposit

- Untuk balok-balok interior

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

$$be \leq b_o$$

- Untuk balok- balok eksterior

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

$$be \leq \frac{L}{2} b_o (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat})$$

Dimana :

L = bentang balok komposit

$b_o$  = jarak as ke as antara balok komposit

### 2.2.3.1 Balok Pra Komposit

Dalam perencanaan struktur komposit, struktur baja harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban dari beratnya sendiri dan beban hidup konstruksi sebelum beton mengeras. Besarnya momen nominal struktur baja ditentukan oleh nilai kekompakan penampang baja yang digunakan.

**Tabel 2. 10** Klasifikasi Penampang

Elemen	$\lambda$	$\lambda_p$	$\lambda_y$
Flens	$\frac{b}{t}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{K_c E}{F_t}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

(Sumber : SNI 1729-2019)

1. Penampang kompak

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

$$M_n = M_p \dots\dots\dots (2.19)$$

$$M_p = Z \cdot f_y \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

$M_p$  = momen plastis (N.mm)

$f_y$  = tegangan leleh baja (mpa)

$Z_x = b \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w (d - t_f)^2$  (untuk profil WF, mm<sup>3</sup>)

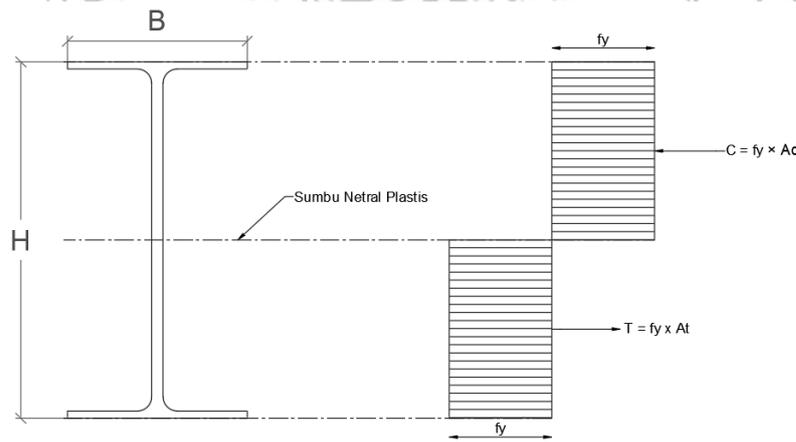
$Z_y = \frac{1}{2} b^2 t_f + \frac{1}{4} t_w^2 (d - 2t_f)$  (untuk profil WF, mm<sup>3</sup>)

$b$  = lebar sayap (mm)

$d$  = tinggi penampang (mm)

$t_f$  = tebal sayap (mm)

$t_w$  = tebal badan (mm)



Gambar 2. 8 Diagram Balok Metode Plastis

2. Penampang tidak kompak

Diklasifikasikan sebagai penampang tidak kompak apabila salah satu atau semua elemen tekan mempunyai batasan  $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$M_r = (f_y - f_r) \times s \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

$M_r$  = momen batas tekuk (n.mm)

$f_r$  = tegangan sisa (mpa)

$f_r$  = 70 mpa untuk penampang gelas panas

$f_r$  = 115 mpa untuk penampang yang dilas

### 3. Penampang langsing

Di klasifikasikan sebagai penampang langsing apabila semua bagian elemen tekan memiliki rasio  $\lambda \geq \lambda_r$

$$M_n = M_r \left(\frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (2.23)$$

### 2.2.3.2 Balok Post Komposit

#### A. Kuat Lentur Positif

Menurut(SNI 1729-2020) I3.2a didefinisikan sebagai berikut: Kuat lentur rencana nominal,  $\phi M_n$  untuk komponen struktur komposit (untuk momen positif), dan kuat lentur positif ijin,  $M_n$  untuk kondisi batas leleh harus ditentukan sebagai berikut:

1) Untuk  $\leq 3.76 \sqrt{EI / F_y}$

$M_n$  harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis penampang komposit untuk keadaan batas leleh (momen plastis)  $\phi_b = 0.9$

2) Untuk  $\geq 3.76 \sqrt{EI / F_y}$

$M_n$  harus ditentukan dari superposisi tegangan elastis, dengan memperhitungkan efek penopangan, untuk keadaan batas leleh (momen leleh).

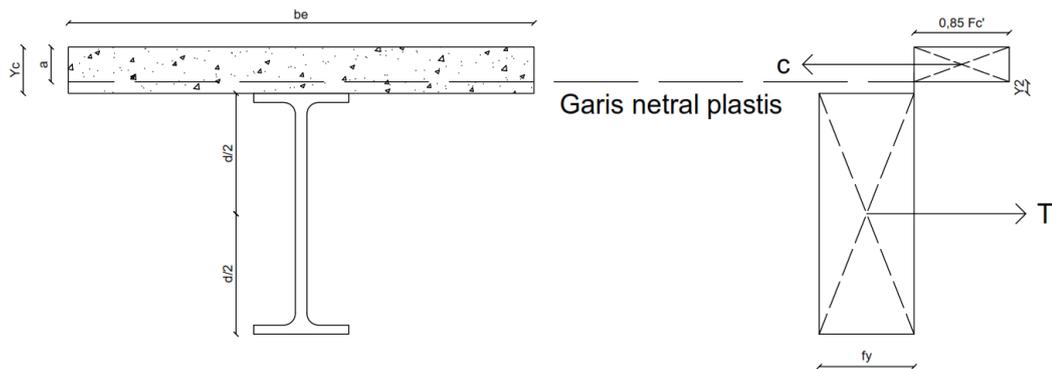
Untuk menentukan momen plastis balok komposit, ditentukan letak sumbu netral plastis yang bergantung pada proporsi C dan T. Perhitungan ini memerlukan nilai gaya tekan dan tarik.

$$C = 0.85 \cdot f_c \cdot A_c \dots\dots\dots (2.24)$$

$$T = f_y \cdot A_s \dots\dots\dots (2.25)$$

Ada tiga kondisi distribusi tegangan plastis yang mungkin terjadi, yaitu :

- a) Jika  $T \leq C$  sumbu netral plastis di dalam pelat beton



Gambar 2. 9 Diagram Regangan  $T \leq C$

Volume pelat betonnya relatif besar, sehingga ketika terjadi momen lentur positif profil baja mengalami leleh terlebih dulu. Tinggi blok tegangan tekan pada pelat beton ( $a$ ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot fc' \cdot be} \dots\dots\dots (2.26)$$

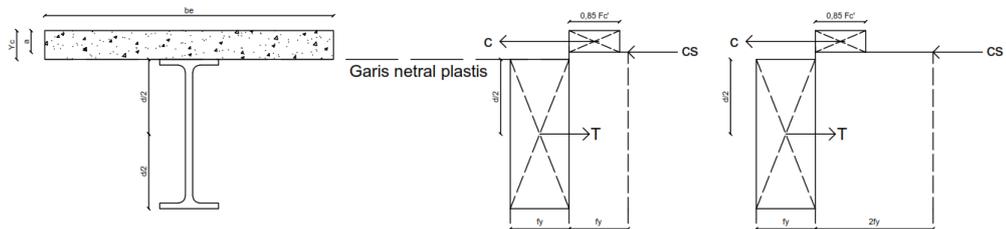
Asumsi benar jika  $a < tc$ , jika pakai dek baja, atau  $a < t$  pelat beton solid.

$$Yc = hr + tc \dots\dots\dots (2.27)$$

$$Y_2 = Yc - \frac{1}{2} a \dots\dots\dots (2.28)$$

$$Mn = Mp = fy \cdot As \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) \dots\dots\dots (2.29)$$

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



Gambar 2. 10 Diagram Regangan  $T > C$

Kondisi ini timbul bila luas pelat beton relatif lebih kecil dibandingkan profil baja tarik. Akibatnya ketika terjadi momen positif, profil baja tetap mengalami tekanan. Hal ini terjadi jika  $tf$  lebih besar dari  $y$  dan  $y$  lebih besar dari 0, sebagaimana ditentukan oleh rumus berikut :

$$T = Fy \cdot As \dots\dots\dots (2.30)$$

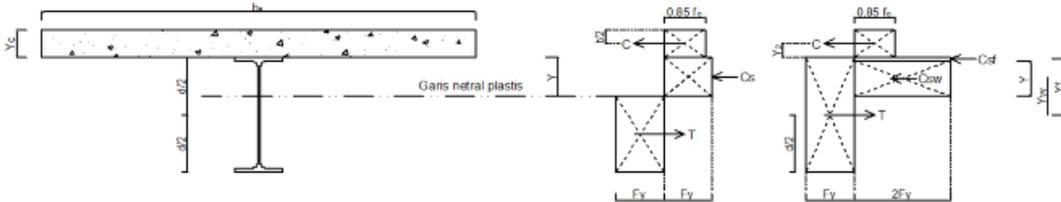
$$C = 0.85 fc' \cdot bE \cdot tc \dots\dots\dots (2.31)$$

$$Y = \frac{T-C}{bf.Fy} \leq tf \dots\dots\dots (2.32)$$

$$Csm = 2 Fy .y \dots\dots\dots (2.33)$$

$$Mn = Mp = C (Y_2 + \frac{1}{2} d) + Csm (d-y) \frac{1}{2} \dots\dots\dots (2.34)$$

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



**Gambar 2.11** Diagram Regangan  $T > C$

Jika  $y$  lebih besar dari  $tf$ , maka kondisi ini mungkin terjadi. Ukuran pelat beton relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran profil baja. Untuk menjaga keseimbangan gaya, pelat badan profil baja tetap terkena tekanan. Kondisi ini dapat terjadi jika  $T-C-Csf$  lebih besar dari 0. Perhitungan nilainya dilakukan sebagai berikut.

$$T = Fy . As \dots\dots\dots (2.35)$$

$$C = 0.85 .fc' bE . tc \dots\dots\dots (2.36)$$

$$Csf = bf . tf . 2 fy \dots\dots\dots (2.37)$$

$$Y = \frac{T-C-Csf}{tw.Fy} \leq tf \dots\dots\dots (2.38)$$

$$Csw = 2 fy . y . tw \dots\dots\dots (2.39)$$

$$yf = \frac{1}{2} (d-tf) \dots\dots\dots (2.40)$$

$$yw = \frac{1}{2} (d+y) -tf \dots\dots\dots (2.41)$$

$$Mn = Mp = C (Y_2 + \frac{1}{2} d) + Csf . yf + Csw . yw \dots\dots\dots (2.42)$$

Jarak sumbu netral dari tepi bawah sayap :

$$aw = \frac{Tw}{Fy Tw} \dots\dots\dots (2.43)$$

Menentukan jarak gaya dari *center*:

$$d1 = Yc - \frac{Tc}{2} \dots\dots\dots (2.44)$$

$$d2 = \frac{aw}{2} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$d_3 = \frac{1}{2}d \dots\dots\dots (2.46)$$

$$M_n = T_{sr} (d_1 + d_2) + C_{maks} (d_3 - d_2) \dots\dots\dots (2.47)$$

### B. Kuat Lentur Negatif

Secara umum, suatu komponen struktur komposit yang bisa didesain terdapat pada daerah momen positif. Kemudian, untuk daerah momen negatif menggunakan komponen struktur non komposit. Namun pada peraturan (SNI 1729-2020) pasal I3.2b sudah diizinkan menggunakan struktur komposit pada daerah momen negatif. Dengan syarat sebuah struktur harus memenuhi kriteria berikut ini :

- Balok baja termasuk penampang kompak yang memiliki pengaku.
- Pelat dengan balok baja disambung menggunakan angkur kanal baja pada daerah momen negatifnya.
- Tulangan pelat yang sejajar dengan balok baja disalurkan pada lebar efektif pelat.

Tulangan yang ditempatkan sejajar dengan sumbu memanjang balok baja dan terletak di dalam pelat beton dengan lebar efektif ( $b_E$ ) dapat dimanfaatkan sebagai komponen penampang komposit efektif. Aplikasi ini berlaku untuk wilayah momen positif dan negatif. Namun pada daerah momen positif, tulangan hanya memberikan kontribusi yang kecil, berbanding terbalik dengan pelat beton. Sebaliknya pada daerah momen negatif, tulangan mengalami tarik. Hal ini disebabkan beton tidak mempunyai kemampuan menahan gaya tarik yang cukup. Oleh karena itu, pada area momen negatif pelat beton dapat diabaikan.

Gaya yang timbul akibat tulangan yang diperhitungkan kontribusinya pada penampang komposit harus di salurkan melalui penghubung geser. Kuat nominal yang timbul dihitung dengan rumus berikut :

$$T_{sr} = A_{sr} \times F_{ysr} \dots\dots\dots (2.48)$$

Gaya tekan maksimum pada profil baja adalah :

$$C_{Maks} = A_s \times F_y \dots\dots\dots (2.49)$$

Akibat  $C_{maks} > T_{sr}$ , maka sumbu netral plastis jatuh pada profil baja dan kesetimbangan gaya didapat sebagai berikut :

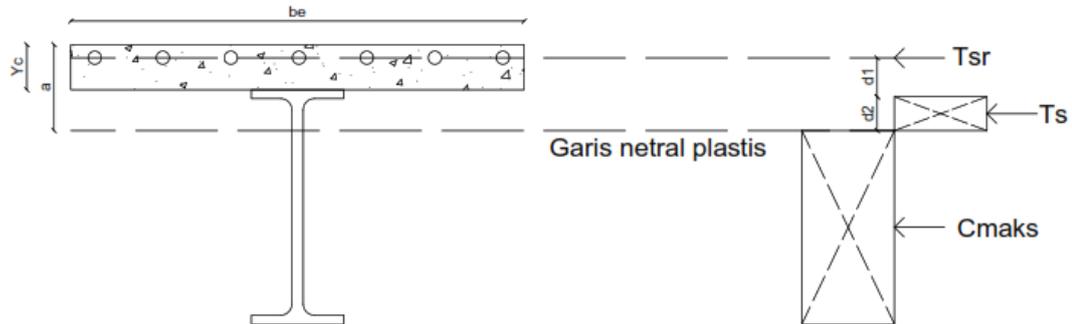
$$T_{sr} + T_s = C_{maks} - T_s \dots\dots\dots (2.50)$$

$$2T_s = C_{maks} - T_{sr} \dots\dots\dots (2.51)$$

$$T_s = \frac{C_{maks} - T_{sr}}{2} \dots\dots\dots (2.52)$$

Gaya pada sayap,  $T_f = b_f \times t_f \times F_y \dots\dots\dots (2.53)$

Gaya pada badan,  $T_w = T_s - T_f \dots\dots\dots (2.54)$



**Gambar 2. 12** Distribusi Tegangan Akibat Momen Negatif

**C. Kuat Geser**

Berdasarkan SNI 1729-2020, diperhitungkan kuat geser nominal dengan rumus berikut ini :

$$\frac{h}{tw} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots (2.55)$$

$$V_n = 0,65 F_y \times A_w \times C_v1 \dots\dots\dots (2.56)$$

Keterangan :

- $V_n$  = Kuat geser nominal
- $\phi_v$  = faktor tahanan geser (0,9)
- $A_w$  = Luas badan ( $mm^2$ )
- $C_v1$  = 1.0

**D. Angkur Baja Stud Berkepala**

Menurut pasal I8 (SNI 1729-2020), diameter angkur tiang berkepala baja harus lebih kecil dari 19 mm dan tidak boleh melebihi 2,5 kali tebal logam dasar. Selain itu, panjang angkur tiang berkepala baja harus empat kali lebih besar dari diameter batang yang dihitung dari pangkal jangkar tiang berkepala baja hingga bagian atas kepala batang setelah dipasang. Persamaan di bawah ini dapat digunakan untuk menentukan kuat geser nominal suatu jangkar yang tertanam pada pelat beton atau pelat komposit dengan dek baja.

$$Q_n = A_{sa} \sqrt{F_c1 \times E_c} \leq R_g \times R_p \times A_{sa} \times F_u \dots\dots\dots (2.57)$$

Keterangan

Asa = Luas penampang dari angkur baja

Ec = Modulus elastisitas beton

Fu = Kuat tarik minimum

**Tabel 2. 11** Nilai Rg dan Rp

Kondisi	Rg	Rp
Dek diorientasikan sejajar dengan profil baja		
$\frac{Wr}{hr} \geq 1,5$	1.00	0.75
$\frac{Wr}{hr} < 1,5$	0.85	0.75
Dek diorientasikan tegak lurus dengan profil baja		
Jumlah angkur <i>Steel headed stud</i> yang mempunyai rusuk dek sama		
1	1.00	0.60
2	0.85	0.60
3	0.70	0.60
Keterangan :		
Wr = Tinggi rusuk nominal		
hr = Lebar rata-rata rusuk		

Sumber SNI 1729:2020

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

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

Keterangan :

la = Panjang angkur

tf = Ketebalan dari sayap angkur

tw = Ketebalan dari badan angkur

Untuk meningkatkan kekuatan angkur kanal, kanal harus dilas ke sayap balok dengan tetap mempertimbangkan eksentrisitas konektor. Rumus di bawah ini dapat digunakan untuk menentukan jumlah jangkar baja yang dibutuhkan.

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

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

Keterangan :

N = Jumlah angkur yang dibutuhkan

V' = Gaya geser horizontal

Qn = Kuat geser nominal satu buah angkur konektor

## 2.2.4 Kolom

Menurut (YUDHA LESMANA, 2021) kolom merupakan suatu struktur utama yang bertugas untuk memikul beban arah vertikal (aksial dan lentur). Karena kapasitasnya menampung momen dari balok maka kolom juga sering disebut sebagai *Beam-Column*.

### 2.2.4.1 Persyaratan Kolom Komposit

Dalam merencanakan kolom komposit ada beberapa syarat yang harus dipenuhi seperti yang tertulis dalam (SNI 1729-2020) pasal I2.1 sebagai berikut ini :

1. Luas penampang melintang inti baja harus terdiri dari setidaknya 1% dari penampang melintang komposit total
2. Beton pembungkus inti baja harus ditulangi dengan batang tulangan longitudinal menerus dan sengkang pengikat lateral atau spiral. Apabila sengkang pengikat lateral digunakan, minimum dari batang tulangan No. 3 (10 mm) berspasi maksimum 12 in. (300 mm) as ke as, atau batang tulangan No. 4 (13 mm) atau lebih besar dengan spasi maksimum 16 in. (400 mm) as ke as harus digunakan. Tulangan kawat ulir atau tulangan kawat yang dilas dengan luas ekuivalen diizinkan. Spasi maksimum sengkang pengikat lateral tidak boleh melebihi 0,5 kali dimensi kolom terkecil.
3. Rasio tulangan minimum  $\rho_{sr}$  sebesar 0,004 digunakan untuk penulangan longitudinal menerus. Rasio  $\rho_{sr}$  adalah:

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \dots\dots\dots (2.61)$$

Keterangan :

A<sub>sr</sub> = luas batang tulangan menerus (mm<sup>2</sup>)

$A_g$  = luas komponen struktur komposit ( $\text{mm}^2$ )

#### 2.2.4.2 Kolom Tak Bergoyang

Kolom tidak bergoyang adalah kolom yang ujung-ujungnya tidak terjadi gerakan lateral (YUDHA LESMANA, 2021). Kolom yang tidak bergoyang mempunyai ujung yang tetap atau tidak bergerak, seperti terlihat pada gambar 2.14 a. Keadaan ini terjadi pada struktur kolom yang menerima beban gravitasi tanpa terpengaruh oleh beban lateral berupa gempa bumi atau angin. Kolom tidak bergoyang terjadi karena adanya sistem penahan khusus seperti *bracing* (*truss*) atau dinding geser. Untuk struktur rangka tidak bergoyang dapat diambil nilai  $K \leq 1,0$ . Walaupun nilai  $K = 1$  hasilnya cukup konservatif (aman). Rumus yang digunakan untuk kolom tidak bergoyang berdasarkan (SNI 1729-2020) Lampiran 8.2.1. sebagai berikut :

$$M_r = B_1 \times M_{nt} \dots\dots\dots (2.62)$$

$$P_r = P_{nt} \dots\dots\dots (2.63)$$

Adapun parameter faktor pembesaran ( $B_1$ ) yaitu :

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{e1}}} \geq 1 \dots\dots\dots (2.64)$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(L_c1)^2} \dots\dots\dots (2.65)$$

Keterangan :

$M_r$  = Momen lentur perlu orde kedua

$M_{nt}$  = Momen perlu dari hasil analisis struktur elastis linier

$P_r$  = Gaya aksial perlu orde kedua

$P_{nt}$  = Gaya aksial dari hasil Analisa struktur elastis linier

$C_m$  = Koefisien untuk kolom tak bergoyang

- Balok kolom yang tidak memikul beban transversal

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

- $C_m = 1,0$

$P_{e1}$  = Kekuatan tekuk kritis

$L_{c1}$  = Panjang efektif dibidang lentur

### 2.2.4.3 Kolom Bergoyang

Kolom bergoyang merupakan kolom yang mengalami perpindahan lateral pada daerah ujungnya (YUDHA LESMANA, 2021). Kolom bergoyang mengalami perpindahan pada bagian ujungnya seperti pada gambar. Kondisi ini terjadi pada struktur kolom yang menerima beban gravitasi dan beban lateral (gempa atau angin). Berikut persamaan yang digunakan untuk kolom bergoyang berdasarkan (SNI 1729-2020):

$$M_r = (B_1 \times M_{nt}) + (B_2 \times M_{lt}) \dots\dots\dots (2.66)$$

$$P_r = P_{nt} + (B_2 \times P_{lt}) \dots\dots\dots (2.67)$$

Parameter faktor pembesaran momen ( $B_1$ ) adalah :

$$B_1 = \frac{1}{1 - a \frac{P_{story}}{P_e \text{ story}}} \geq 1 \dots\dots\dots (2.68)$$

$$P_e \text{ story} = R_m \frac{HL}{\Delta H} \dots\dots\dots (2.69)$$

$$R_m = 1 - 0.15 \frac{p \text{ mf}}{P_e \text{ Story}} \dots\dots\dots (2.70)$$

Keterangan :

$R_m$  = Faktor yang memperhitungkan Efek P- $\Delta$

$P_{story}$  = Total beban vertikal dari semua kolom pada Tingkat yang ditinjau

$P_e \text{ Story}$  = Kekuatan tekuk kritis elastis pada Tingkat yang ditinjau sesuai arah perpindahan.

H = Gaya geser pada ujung kolom

L = Tinggi tingkat

$\Delta H$  = Drift antar tingkat

$P_{mf}$  = Total beban vertikal pada kolom yang ditinjau

A = 1,0

### 2.2.4.4 Kuat Tekan Nominal Kolom

Mengacu pada (AISC LRFD, 2003) kuat tekan kolom yang menggunakan profil baja WF yang terbungkus oleh beton nilai kuat tekan nominalnya dapat dicari dengan rumus berikut ini :

$$P_n = A_s \times f_{cr} \dots\dots\dots (2.71)$$

Nilai  $f_{cr}$  diperoleh dari dua rumus, bergantung pada nilai  $\lambda$  yang dapat dicari dengan rumus :

$$\lambda_c = \frac{KL}{r_m \pi} \left( \frac{F_{my}}{E_m} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (2.72)$$

Untuk nilai  $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658 \times \lambda^2) F_{my} \dots \dots \dots (2.73)$$

Untuk nilai  $\lambda_c \geq 1.5$

$$F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_{my} \dots \dots \dots (2.74)$$

dengan :

K = faktor panjang efektif kolom

L = panjang aktual kolom (mm)

$r_m$  = radius girasi kolom komposit (mm)

$F_{my}$  = tegangan leleh yang dimodifikasi untuk kolom komposit

$$= f_y + C1.f_{yr} \left( \frac{A_r}{A_s} \right) + C2.f_c' \left( \frac{A_c}{A_s} \right), \text{ (mpa)}$$

$E_m$  = modulus elastisitas pada kolom komposit yang dimodifikasi

$$= E + C3.E_c \left( \frac{A_c}{A_s} \right), \text{ (mpa)}$$

$f_y$  = tegangan leleh baja profil (mpa)

E = modulus elastisitas baja profil (mpa)

$A_c$  = luas bersih penampang beton

$$= A_g - A_s - A_r \text{ (mm}^2\text{)}$$

$A_g$  = luas kotor penampang kolom komposit (mm<sup>2</sup>)

$A_r$  = luas tulangan longitudinal (mm<sup>2</sup>)

$E_c$  = modulus elastisitas beton

$$= 4700\sqrt{f_c'}, \text{ (mpa)}$$

$f_c'$  = kuat tekan beton (mpa)

$f_{yr}$  = tegangan leleh tulangan longitudinal (mpa)

C1 = 0.7

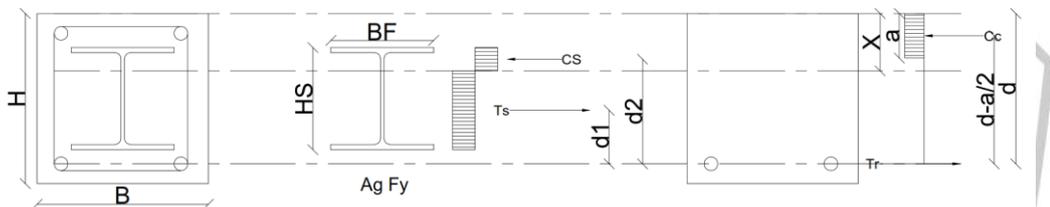
C2 = 0.6

C3 = 0.2

**2.2.4.5 Kuat Lentur Kolom**

Dalam (SNI 1729-2020) diatur tentang kuat lentur kolom dengan 3 metode yaitu sebagai berikut :

1. Superposisi tegangan elastis pada penampang komposit, yang memperhitungkan efek penopangan untuk keadaan batas leleh (momen leleh).
2. Distribusi tegangan plastis pada penampang baja saja untuk keadaan batas leleh (momen plastis) pada penampang baja.
3. Distribusi tegangan plastis pada penampang baja komposit atau metode kompatibilitas regangan, untuk keadaan batas leleh (momen plastis) pada penampang komposit. Untuk komponen struktur terbungkus beton, angkur baja harus diberikan.



**Gambar 2. 13** Distribusi Tegangan Plastis Penampang Komposit

**2.2.4.6 Interaksi Lentur Dan Gaya Tekan (Balok-Kolom)**

Ketika merancang struktur dengan batang yang akan mengalami gaya aksial dan momen, penting untuk menggunakan perhitungan balok portal. Perhitungan ini membantu menentukan kuat lentur dan kuat tekan batang portal. Telah diketahui bahwa kuat tekan dipengaruhi oleh kuat lentur, sedangkan gaya aksial dipengaruhi oleh gaya lentur.

Oleh karena itu, persamaan yang menggambarkan hubungan antara kuat lentur dan kuat tekan akan dibahas kemudian. Menurut SNI 1729:2020 pasal H1, persamaan ini membatasi interaksi lentur dan gaya tekan pada struktur simetri ganda dan komponen struktur simetri tunggal yang membengkok pada sumbu geometri (x atau y).

a) Jika  $\frac{Pr}{Pc} \geq 0,2$  maka :  $\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left( \frac{Mrx+Mry}{Mcx+Mcy} \right) \leq 1,0$  ..... (2.75)

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

Keterangan :

$P_r$  = kekuatan aksial perlu (N)

$P_c$  = Kekuatan aksial desain (N)

$M_r$  = Kekuatan lentur perlu (Nmm)

$M_c$  = Kekuatan lentur desain (Nmm)

### 2.3 Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem struktur penahan gempa berfungsi untuk pendetailan bagian struktur utama supaya kuat untuk menahan gaya gempa arah horizontal maupun arah vertikal. Sistem penahan gaya gempa sendiri ada beberapa macam, seperti untuk struktur baja terdapat penahan gempa *Bracing*. Beberapa jenis *Bracing* untuk bangunan gedung adalah *bracing EBF (Eccentrically Braced Frame)* dan *CBF (Concentrically Braced Frame)*.

Pembebanan gravitasi akibat beban sendiri, beban hidup, beban mati tambahan, beban angin dan beban gempa sedang, diharapkan struktur dapat berperilaku elastis. Yang dimaksud dengan elastis adalah ketika beban hilang maka deformasi juga hilang. Tetapi pada gempa besar jika struktur didesain secara elastis akan sangat tidak praktis dan mahal, maka diijinkan kondisi inelastis.

Perencanaan struktur tahan gempa ini menggunakan metode *capacity code* karena tidak ada jaminan bahwa gempa yang akan terjadi dibawah gempa rencana. Dengan cara tersebut struktur direncanakan sedemikian rupa sehingga bila terjadi kondisi inelastis hanya terjadi pada tempat yang di rencanakan. Sedangkan bagian struktur yang lainnya di desain tetap elastis sehingga ketika terjadi kerusakan masih bisa diperbaiki.

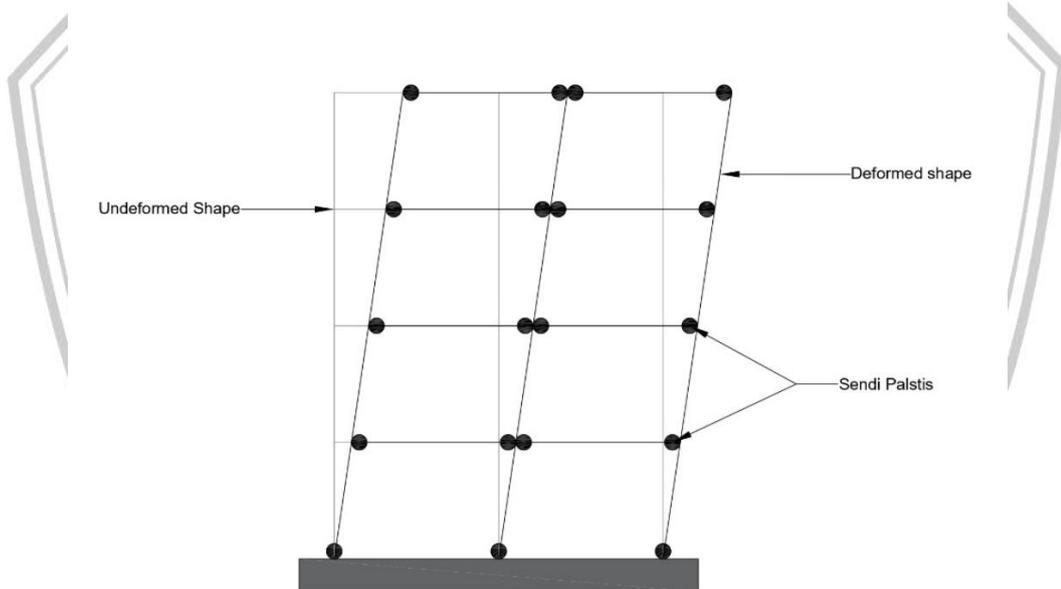
Beberapa jenis sistem panahan gempa untuk bangunan dengan tipe beton struktural ada beberapa jenis tergantung dari letak dimana gedung akan dibangun. Sering dijumpai gedung dengan penahan gempa Sistem Rangka Pemikul Momen. SRPM dibagi menjadi tiga jenis yakni SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Sistem penahan gaya gempa untuk struktur baja memiliki banyak variasi dari struktur beton, seperti sistem portal, *bracing*, eksentrik *bracing*, *plate shear wall* dan masih banyak lagi.

Dalam penelitian ini dipakai penahan gaya gempa Sistem Rangka Pemikul Momen. Karena letak daerah gedung yang memiliki kategori gempa tinggi maka diperbolehkan untuk menggunakan sistem tersebut.

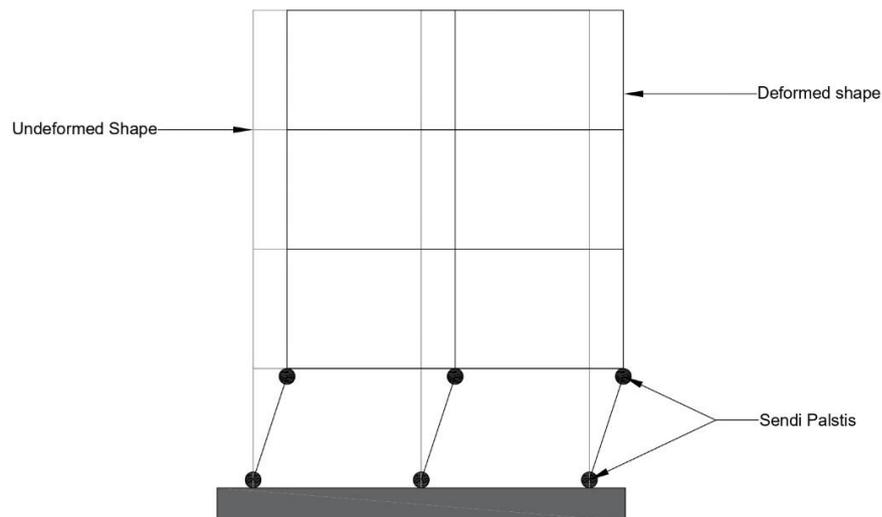
### 2.3.1 Special Moment Frame (SMF)

SMF (*Special Moment Frame*) adalah salah satu sistem rangka yang di desain untuk bekerja secara inelastic penuh. Pada bagian yang akan mengalami sendi plastis perlu disiapkan secara khusus. Sistem ini cocok dipakai untuk perencanaan gedung tinggi yang masih memungkinkan untuk memakai sistem portal. Pada umumnya persyaratan ketinggian diatur oleh persyaratan deformasi lateral.

Salah satu hal paling penting dalam perencanaan *Special Moment Frame* adalah struktur rangka harus di desain *Strong Colum-Weak Beam* untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis di kolom, yang dapat menyebabkan *Story Mechanisms*.



**Gambar 2. 14** *Strong Column-Weak Beam*



**Gambar 2. 15** *Story Mechanism*

Jenis sambungan kolom-balok dapat dipakai di rangka SMF namun harus dengan perhitungan yang didukung data empiris dari laboratorium bahwa sambung tersebut memiliki daktilitas yang cukup untuk menahan sudut *interstory drift* minimum sebesar 0,04 radian (Wiryanto Dewobroto,2016). Beberapa jenis sambungan yang telah distandarisasi dan terbukti oleh hasil pengujian adalah extended end plate.

Variasi jenis sambungan tergantung pada metode pelaksanaannya, misalnya sambungan jenis *Reduce beam* perlu pekerjaan las di lapangan. Persyaratannya tentu terkait dengan sumber daya pekerja yang ada. Karena pengelasan memerlukan tenaga ahli dalam pengelasan. Berbeda dengan *Extended End Plate* yang menggunakan baut mutu tinggi, memerlukan tingkat presisi pekerjaan pabrikan yang tinggi.

### **2.3.2 Intermediate Moment Frames (IMF)**

*Intermediate Moment Frames (IMF)* merupakan sistem dengan daktilitas sedang yang digunakan pada daerah dengan risiko gempa sedang. Hal ini dirancang untuk menahan gaya yang ada, khususnya kolom untuk menahan geser. Desainnya harus memenuhi persyaratan Badan Standardisasi Nasional (SNI) struktur tahan gempa. Sistem ini menguntungkan karena arsitekturnya sederhana dan memerlukan

penguatan minimal. Namun berisiko juga jika terjadi perubahan alam yang mempengaruhi kondisi tanah. Jenis rangka ini mirip dengan SMF yaitu mampu berperilaku inelastis tetapi terbatas. Sistem cocok digunakan untuk bangunan bertingkat rendah dengan kategori gempa sedang. Sistem sambungan kolom balok mirip dengan SMF namun hanya terbatas pada daktilitasnya yaitu perputaran sudut *interstory drift* minimum 0,02 radian.

Dalam (SNI 1726-2019) *Intermediate Moment Frames (IMF)* di syaratkan dengan kategori berikut :

1. *IMF* didesain untuk kategori desain seismic B dan C
2. Diizinkan memiliki ketinggian gedung sampai  $h_m$  20 m apabila beban mati yang ditanggungnya tidak melebihi  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .
3. Struktur rangka baja pemikul momen menengah yang didesain untuk kategori desain seismic B dan C diizinkan dalam konstruksi rangka ringan sampai ketinggian,  $h_n$ , 10 m, di mana beban mati atap atau beban mati di semua lantai di atas dasar yang didukung dan tributari pada rangka momen tidak melebihi  $1,68 \text{ kN/m}^2$ .
4. Struktur rangka baja pemikul momen menengah satu tingkat yang didesain untuk kategori desain seismic B, diizinkan memiliki tinggi struktur,  $h_n$ , sampai 20 m apabila beban mati yang ditanggungnya dan tributari beban atapnya tidak melebihi  $0,96 \text{ kN/m}^2$ . Sebagai tambahan, tributari beban mati pada rangka pemikul momen dari dinding eksterior yang terletak lebih dari 10 m di atas dasar tidak boleh melebihi  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .

### 2.3.3 Ordinary Moment Frame (OMF)

*Ordinary Moment Frame (OMF)* adalah jenis rangka yang hanya digunakan pada kondisi elastis saja. Hanya dipakai pada sistem struktur dengan beban gravitasi yang dominan, misalnya bangunan tidak bertingkat yang memiliki bentang panjang. Sistem sambungan balok kolom yang digunakan berbeda dengan SMF dan IMF yaitu berupa sambungan momen penuh (*full restrained*) tetapi juga dapat digunakan *semi rigid* atau *partially restrained*.

## 2.4 Perencanaan Sambungan

Ciri utama perencanaan konstruksi baja adalah pemilihan jenis dan detail sambungan yang relatif banyak dan bervariasi. Dibandingkan dengan struktur beton, sistem sambungan pada struktur baja relatif unik. Struktur beton biasanya tidak memiliki sambungan karena biasanya di cor secara bersamaan. Komponen struktur baja tidak dibuat secara keseluruhan, namun sebagai elemen terpisah yang dirakit dengan sambungan di lokasi. Akibatnya, sistem penyambungan yang dipilih akan berdampak pada kekuatan, biaya, metode, dan waktu pelaksanaannya.

Gaya-gaya dalam pada sambungan baut hanya berupa gaya tarik dan gaya geser, atau kombinasi keduanya, tergantung pada berbagai konfigurasi sambungan dan orientasi beban yang diterapkan. Oleh karena itu, sambungan dapat dikategorikan sebagai sambungan tipe geser atau sambungan tipe tarik, atau kombinasi keduanya.

Menurut Wiryanto Dewobotro (2016) sambungan paling kaku adalah sambungan yang mampu menahan momen dengan rotasi paling kecil. Konstruksi baja memiliki ciri khas, yakni menggunakan sambungan untuk menyatukan modul-modul yang telah dipersiapkan dahulu. Sehingga waktu pelaksanaan di lapangan relative lebih cepat.

### 2.4.1 Sambungan Baut

Susunan sambungan baut tipe geser dan cara pemasangan baut mutu tinggi dalam penyambungan berdampak pada kekuatan dan kekakuan sambungan itu sendiri. Hubungan ini mengarah pada dua cara berbeda dalam transfer gaya, yang dikenal sebagai mekanisme slip kritis dan titik tumpu. Tidak mungkin menentukan apakah sambungan baut mempunyai mekanisme slip kritis atau tumpu hanya dengan melihatnya. Mekanismenya hanya dapat diamati ketika sedang diberi beban. Jika baut tidak tergelincir pada beban yang ditentukan, maka mekanisme slip kritis sedang beroperasi. Kekuatannya ditentukan oleh besarnya tahanan gesek yang terjadi. Sebaliknya jika baut tergelincir pada saat dibebani maka mekanisme titik tumpu telah digunakan.

Sambungan slip-kritis mengacu pada sambungan yang dirancang khusus untuk mencegah tergelincir. Sistem ini diperlukan untuk menangkal pengaruh beban bolak-balik, seperti tarikan ke desak atau sebaliknya yang biasa ditemui pada

jembatan. Jika beban-beban ini bertahan dalam jangka waktu yang lama, struktur menjadi sangat rentan terhadap kerusakan dan pada akhirnya dapat runtuh pada kondisi tegangan elastis. Perlu dicatat bahwa tidak semua koneksi memerlukan tingkat resistensi ini. Pada bangunan, misalnya, sambungan direncanakan dengan hati-hati hanya untuk mendukung mekanisme, sehingga baut yang diperlukan lebih sedikit dan efektivitas biaya lebih besar.

Sambungan baut dipilih agar kualitas pelaksanaannya, antara fakta dan rencana sama. Sistem sambungan baut bahkan menggunakan baut mutu tinggi namun masih sulit untuk mencapai sambungan yang monolit. Sambungan baut memiliki beberapa macam jenis. Pemilihan baut ini berdasarkan fungsi pemakaian pada konstruksi di lapangan.

Baut Pass merupakan baut yang digunakan untuk sambungan konstruksi berat. Tipe ini termasuk dengan baja mutu tinggi dengan  $S_t$  kurang dari 420. Baut ini disambung dengan kelonggaran pelat sambungan dan diameter baut yang kecil kurang dari 0,1 mm. baut tipe ini biasa digunakan pada konstruksi berat seperti Jembatan yang berfungsi sekaligus sebagai jalan raya.

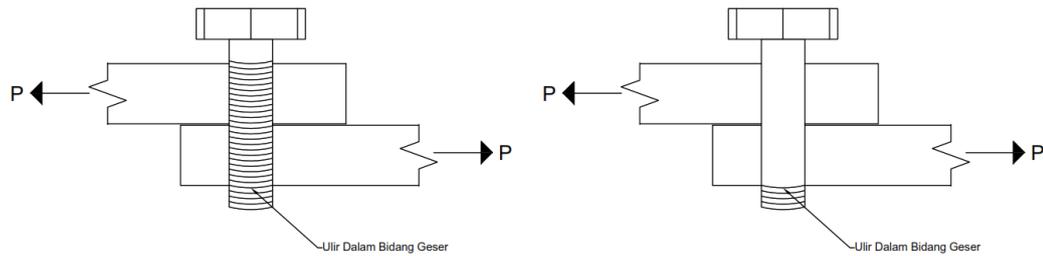
Menurut SNI 1729-2019 baut pas dibagi menjadi 3 golongan diantaranya:

- a. Golongan A meliputi ASTM F3125/ F3125M dengan grade A325, A325, F 1852.
- b. Golongan B meliputi ASTM F3125/F3125M dengan grade A490, A490M, F 2280.
- c. Golongan C yaitu meliputi ASTM F3043 dan F311.

**Tabel 2. 12** Kuat Nominal Baut

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

Sumber SNI 1729:2020



**Gambar 2. 16** Kondisi Bagian Ulir Baut Ddalam Sambungan

Gaya tarik awal yang cukup dibutuhkan untuk pengencangan baut mutu tinggi yang diperoleh dari pengencangan awal. Gaya ini menciptakan gesekan yang cukup untuk menahan beban kerja dan disebut sebagai *proof load*. Pembuktian beban ditentukan dengan mengubah luas daerah tegangan tarik ( $A$ ) dengan kekuatan luluh yang diperoleh baik dari metode regangan 0,2 tangen atau 0,55, yaitu 70%  $f_u$  untuk A325 dan 80%  $f_u$  untuk A490. Baut kualitas normal dikencangkan dengan tangan. Baut berkualitas tinggi pertama-tama dikencangkan dengan tangan, dan kemudian dilakukan setengah putaran tambahan menggunakan metode *Turn Of The Nut Methode*.

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left[ d_b - \frac{0.8743}{n} \right]^2 \dots \dots \dots (2.84)$$

Keterangan :

$d_b$  = diameter nominal baut

$n$  = jumlah ulir per mm

#### 2.4.1.1 Tahanan Nominal Baut

Suatu baut yang memikul beban terfaktor  $R_u$ , sesuai persyaratan LRFD harus memenuhi :

$$R_u \leq \phi R_n \dots \dots \dots (2.85)$$

Dengan  $R_n$  adalah tahanan nominal baut sedangkan  $\phi$  adalah faktor reduksi diambil sebesar 0.75. besarnya nilai  $R_n$  tergantung tipe sambungan yang digunakan.

#### 2.4.1.2 Kuat Geser Tarik dan Geser Baut

Esensi penting perencanaan sambungan adalah dapat memastikan elemen-elemen yang disambung memenuhi kriteria perencanaan. Bagian paling menentukan adalah alat sambung itu sendiri, yang relatif terbatas dan tertentu yaitu

baut. Meskipun distribusi gaya yang bekerja bervariasi, sesuai konfigurasi dari tata letaknya tetapi untuk perencanaan dianggap terbagi rata pada semua baut. Suatu baut yang memikul gaya tarik atau geser harus memiliki tahanan nominal yang memenuhi persyaratan dibawah :

$$R_n = F_n \cdot A_b \dots\dots\dots (2.86)$$

Keterangan :

$A_b$  = Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir

$F_n$  = Tegangan tarik nominal,  $F_{nt}$  atau tegangan geser

### 2.4.1.3 Kombinasi Gaya Tarik Dalam Sambungan Tipe Tumpuan

Kekuatan tarik yang tersedia dari suatu baut yang mampu menahan kombinasi gaya tarik dan gaya geser harus ditentukan menurut keadaan batas keruntuhan geser sebagai berikut:

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b \dots\dots\dots (2.87)$$

Keterangan :

$F'_{nt}$  = Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser

$$F'_{nt} = 1,3 \cdot F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nt}} f_{rv} \leq F_{nt}$$

$F_{nt}$  = Tegangan tarik nominal

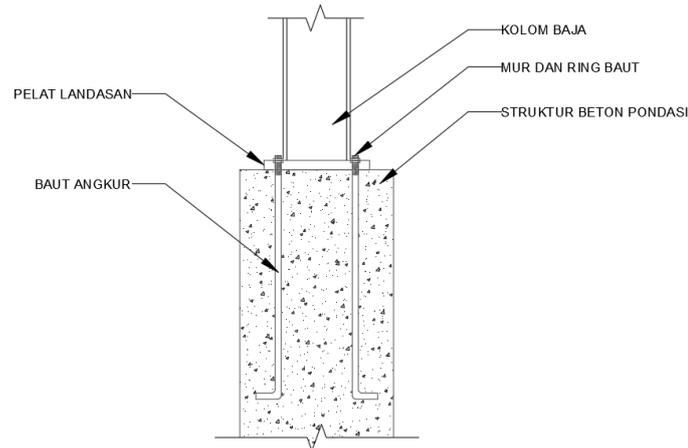
$F_{nv}$  = Tegangan geser

$f_{rv}$  = Tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban.

### 2.4.2 Sambungan Base Plate

Dalam perencanaan suatu struktur bangunan baja, bagian tumpuan penghubung antara kolom struktur dengan pondasi sering disebut dengan istilah *base plate*. Pada umumnya suatu struktur base plate terdiri dari suatu pelat dasar, angkur serta sirip-sirip pengaku (*stiffener*). Suatu struktur base plate dan angkur harus memiliki kemampuan untuk mentransfer gaya geser, gaya aksial dan momen lentur ke pondasi.

Suatu base plate penahan momen, sesuai konsep dasar LRFD harus didesain agar kuat rencana minimal sama atau lebih besar daripada kuat perlu, yaitu momen lentur ( $M_u$ ), gaya aksial ( $P_u$ ), dan gaya geser ( $V_u$ ) untuk semua macam kombinasi pembebanan yang dipersyaratkan.



**Gambar 2. 17** Potongan Melintang Base Plate

**Kategori A**, adalah struktur base plate tanpa beban lentur, atau dalam bentuk idealisasi tumpuan, adalah berupa tumpuan sendi. Dalam kasus ini suatu struktur base plate harus memikul gaya aksial serta gaya geser. Karena tidak ada momen lentur yang bekerja, maka akan terjadi distribusi tegangan yang merata sepanjang bidang kontak antara base plate dan beton penumpu. Sedangkan anchor yang dipasang berfungsi untuk menahan gaya geser yang terjadi. Untuk memenuhi syarat kesetimbangan statis, reaksi tumpuan beton ( $P_p$ ) harus sejaris dengan beban aksial yang bekerja:

$$P_u \leq \phi_c P_p \dots\dots\dots (2.88)$$

$$P_p = 0.85 \cdot f_c' A_1 \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \dots\dots\dots (2.89)$$

Dengan :

$f_c'$  = mutu kuat tekan beton

$A_1$  = luas penampang baja yang secara konsentris menumpu pada permukaan beton

$A_2$  = Luas maksimum bagian permukaan beton yang secara geometris sama dengan dan konsentris dengan daerah yang dibebani

Untuk base plate yang termasuk kategori 1 (tidak ada momen lentur), maka

$$A_1 = B \cdot N \dots\dots\dots (2.90)$$

Sehingga,

$$P_u \leq (0.6)(0.85) f_c' B \cdot N \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \dots\dots\dots (2.91)$$

$$P_u \leq (0.6)(0.85)fc'BN \dots\dots\dots (2.92)$$

**Kategori B**, dalam kategori ini base plate selain harus memikul gaya aksial dan gaya geser, juga memikul momen lentur dalam intensitas yang cukup kecil. Distribusi tegangan tidak terjadi di sepanjang base plate, namun momen lentur yang bekerja masih belum mengakibatkan base plate terangkat dari beton penumpu. Angkur yang terpasang hanya berfungsi sebagai penahan gaya geser, di samping itu angkur tersebut juga berfungsi menjaga stabilitas struktur selama masa konstruksi. Momen lentur yang bekerja dianggap sebagai beban terpusat  $P_u$  yang bekerja dengan eksentrisitas,  $e$  dari sumbu kolom.

Untuk base plate dalam kategori B, berlaku hubungan sebagai berikut :

$$A_1 = B \cdot Y \dots\dots\dots (2.93)$$

$$P_u \leq (0.6)(0.85)fc' B \cdot Y \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq (0.6)(0.85)fc' B \cdot Y \dots\dots\dots (2.94)$$

**Kategori C**, intensitas momen lentur kian meningkat, pada kondisi ini dapat dikatakan bahwa base plate berada pada batas elastisitasnya, karena dengan penambahan sedikit intensitas momen lentur saja akan mengakibatkan pengangkatan/uplift base plate terhadap plat beton penumpu. Seperti pada kategori B, momen lentur diasumsikan sebagai gaya aksial yang bekerja pada eksentrisitas  $e$ , dari sumbu kolom. Dalam kategori ini, jarak eksentrisitas maksimum yang belum mengakibatkan gaya uplift pada base plate adalah sebesar  $N/6$ .

Untuk base plate dalam kategori C, berlaku hubungan :

$$A_1 = B \cdot Y \dots\dots\dots (2.95)$$

$$P_u \leq (0.6)(0.85)fc' B \cdot Y \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq (0.6)(0.85)fc' B \cdot Y \dots\dots\dots (2.96)$$

$$P_u \leq (0.51)fc' B \cdot \left(\frac{2}{3}N\right) \cdot \sqrt{\frac{A_2}{B\left(\frac{2N}{3}\right)}} \leq (1.02)fc' B \cdot Y \left(\frac{2}{3}N\right) \dots\dots\dots (2.97)$$

### 2.4.3 Sambungan Las

Pengelasan adalah proses penyambungan bahan logam atau non logam dengan cara meleburkannya menjadi satu. Saat ini pengelasan telah mengalami kemajuan teknik modern. Namun, kemajuan penggunaan pengelasan relatif lambat dan terbatas pada struktur tertentu. Hal ini disebabkan oleh persepsi negatif yang muncul di bidang teknik yang mencakup dua faktor. Pertama, pengelasan dapat

menurunkan kekuatan leleh material baja dibandingkan paku keling dan baut. Kedua, memastikan kualitas sambungan las tanpa pengawasan yang tepat dan inspeksi yang mahal merupakan suatu tantangan. Karena alasan ini, sebagian besar desainer lebih memilih metode penyambungan alternatif, kecuali pengelasan diperlukan untuk keadaan khusus.

Penggunaan sambungan las di atur dalam SNI 1729-2020, AISC dan *American Welding Society (AWS)*. Jenis las yang ada hingga saat ini antara lain :

- a) *Arc Welding* adalah jenis las yang sering digunakan di dalam dunia konstruksi/industry. Nama lain jenis ini adalah las Listrik.
- b) *Gas Shielded stud welding*
- c) *Sub merged arc welding*
- d) *Gas tungsten arc welding*
- e) *Gas metal arc welding*
- f) *Shielded metal are welding (SMAW)*
- g) *Atomic hydrogen*
- h) *Arc Spot welding*

Klasifikasi las berdasarkan penggunaan sambungan las pada struktur dibagi menjadi tiga jenis, antara lain :

- a) *Fillet Welds* (las sudut) las ini digunakan pada bagian struktur yang saling overlap satu dengan lain. Jenis las ini paling sering digunakan dikarenakan di nilai paling ekonomis, proses pengerjaan lebih simple dan lebih mudah pengerjaannya meskipun dikerjakan oleh orang yang memiliki skill menengah.
- b) *Grove welds* (las tumupul) las yang digunakan untuk menghubungkan elemen dalam satu level bidang yang sama tanpa adanya overlap antara elemen. Jenis las ini lebih mahal dibandingkan *Fillet welds* dikarenakan adanya biaya yang harus di keluarkan selama proses persiapan las (*cost preparation*).
- c) *Plug and slot welds* merupakan jenis las yang tidak umum digunakan di dunia konstruksi. Hal ini karena las ini tidak cocok untuk menahan beban yang bekerja tegak lurus dari arah las. Ketidakmampuan ini

karena jenis las yang tidak termasuk (*penetration*) kedalam bagian profil baja padahal hal tersebut sangat penting memikul beban tarik.

#### 2.4.3.1 Tebal Efektif Las Sudut

Dalam Proses Analisa dan desain dari las sudut, ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan, salah satunya ketebalan efektif las sudut ( $t_e$ ). Nilai tebal efektif las sudut dapat diperoleh dari rumus berikut :

- Las sudut sama kaki

$$t_e = 0,707 \times w \dots\dots\dots (2.98)$$

- Las sudut tidak sama kaki

$$t_e = \frac{w \times b}{\sqrt{w^2 + b^2}} \dots\dots\dots (2.99)$$

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

$$A_{we} = t_e \times l_e \dots\dots\dots (2.100)$$

Keterangan :

$t_e$  = Tebal efektif las

$w$  = Ukuran kaki las

$A_{we}$  = Luasan efektif las

$l_e$  = Panjang efektif las

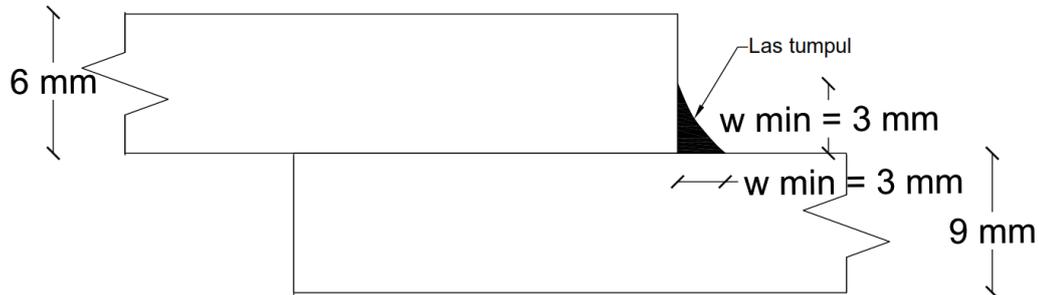
#### 2.4.4 Tebal Minimum Las Sudut

Dalam SNI 1729-2020 ketebalan minimum las sudut diatur guna memastikan kekuatan sambungan yang direncanakan.

**Tabel 2. 13** Tebal Minimum Las Sudut

No	Ketebalan profil dari bagian yang paling tipis yang tersambung. (mm)	Ukuran kaki (w) minimum las sudut (mm)
1.	Sampai dengan 6	3
2.	Lebih besar dari 6-13	5
3.	Lebih besar dari 13-19	6
4.	Lebih besar dari 19	8

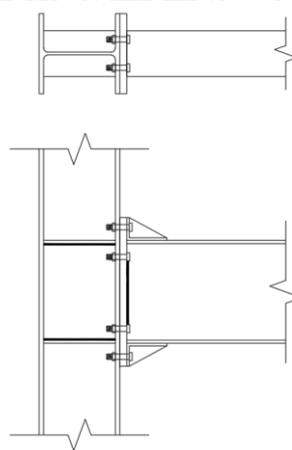
Ilustrasi dari tabel diatas dapat dilihat pada gambar 2.17, ukuran minimum dari dua pelat yang disambung 6 mm, sehingga berdasarkan tabel maka ukuran kaki minimum yang dipakai adalah 3 mm.



**Gambar 2. 18** Ketebalan Las Berdasarkan Tebal Profil Yang Disambung

#### 2.4.5 Sambungan Momen *End Plate*

Untuk tipe sambungan *end plate* diatur dalam (SNI 7972-2020) yang berisikan tata cara perencanaan sambungan momen *end plate*. Terkhusus untuk perencanaan gedung menggunakan sistem penahan gempa *MRF (Moment Resisting Frame)*. Dalam bukunya (Wiryanto Dewobroto, 2016) menjelaskan bahwa implementasi sambungan *end plate* pada bangunan portal baja relatif sederhana baik untuk kolom sisi kuat maupun sisi lemah.



**Gambar 2. 19** Aplikasi Sambungan *End Plate* Pada Portal Baja

Sambungan pelat ujung berbaut dilakukan dengan mengelas balok ke pelat-ujung, lalu menghubungkan pelat-ujung ke sayap kolom menggunakan baut. Untuk struktur yang terletak daerah rawan gempa, sistem kolom didesain memenuhi kriteria *strong column weak beam*, memastikan kondisi inelastis terjadi pada balok. Sehingga sistem sambungan *end plate* yang diperlukan sekuat profil, namun untuk

sistem struktur daktail gempa, kapasitas momen rencana harus diperbesar untuk memastikan bahwa kondisi inelastis hanya terjadi pada balok.

