

## 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

Menurut SNI 1727-2020, beban mati mengacu pada berat semua material konstruksi bangunan yang terpasang secara permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, partisi tetap, pelapis akhir, pelapis dinding, dan komponen arsitektur atau struktural lainnya, serta peralatan operasional seperti derek dan sistem penanganan material. Berat satuan berbagai material konstruksi yang menjadi acuan dalam perhitungan beban mati disajikan 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), dengantebal maksimum 4mm	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 gentin 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: SNI 1727-2019

### 2.1.2 Beban Hidup

Beban hidup mengacu pada beban yang dihasilkan oleh penghuni atau pengguna suatu bangunan atau struktur, tidak termasuk beban konstruksi dan lingkungan. Beban ini mencakup beban dari penggunaan atau hunian bangunan, seperti beban lantai yang disebabkan oleh benda bergerak dan peralatan yang dapat diganti yang merupakan bagian dari bangunan, yang dapat mengubah beban keseluruhan pada struktur. Hal ini juga berlaku untuk bagian atas bangunan, terutama atap, yang menerima beban hidup seperti akumulasi air hujan dan tekanan kinetik. Desain beban hidup mengikuti persyaratan pembebanan yang diuraikan dalam SNI 1727:2020.

**Tabel 2. 2** Tabel Beban Hidup

Hunian Atau Penggunaan	Merata	Terpusat
	Psf (kN/m <sup>2</sup> )	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	
	hdup 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)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in.		300 (1.33)
x 2 in. [50 mm x 50 mm] )		
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan		200 (0.89)
(pada area 1 in.xin.[ 25 mm x 25 mm. ] )		
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4.79)	
• Hunian satu keluarga saja	40 <sup>n</sup> (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	
Susunan tangga, rel pengaman dan		
batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
• Rumah sakit :		

Ruang operasi, laboratorium	60 (2.87)	
Ruang pasien	40 (1.92)	
Hotel ( lihat rumah tinggal )		1000 (4.45)
		1000 (4.45)
		1000 (4.45)
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2.87)	
Ruang penyimpanan	150 (7.18) <sup>a, h</sup>	
Koridor diatas lantai pertama	80 (3.83)	
Pabrik		
Ringan	125 (6.00) <sup>a</sup>	1000 (4.45)
Berat <sup>n</sup>	250 (11.97) <sup>a</sup>	1000 (4.45)
		1000 (4.45)
Gedung perkantoran		
Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		2000 (8.9) 3000 (13.40)
Lobi dan koridor lantai pertama		
	100 (4.79)	
	50 (2.4)	
	80 (3.83)	
Kantor		
Koridor di atas lantai pertama		
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1.92)	
Koridor	100 (4.79)	
		2000 (8.9)
		2000 (8.9)
		2000 (8.9)
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam renang, penggunaan yang sama	75 (3.59) <sup>a</sup>	
Bangsai dansa dan ruang dansa	100 (4.79) <sup>a</sup>	
Gymnasium	100 (4.79) <sup>a</sup>	

Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4.79) <sup>a, k</sup>
Stadium, dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2.87) <sup>a, k</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	
Semua hunian rumah tinggal lainnya	40 (1.92)
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1.92)
Ruang publik <sup>a</sup> dan koridor yang melayani mereka	100 (4.79)
Atap	
Atap datar, berbubung, dan lengkung	
Atap digunakan untuk taman atap	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti hunian dilayani <sup>a</sup>
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya	
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)
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kayu ringan	
Rangka tumpu layar penutup	

Semua konstruksi lainnya  
 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  
 Semua komponen struktur atap utama lainnya  
 a

Semua permukaan atap dengan beban pekerja a pemeliharaan		
Bak-bak/ <i>scuttles</i> , rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		1000 (4.45)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11.79) <sup>a, p</sup>	200 (0.89)
Tangga dan jalan keluar	100 (4.79)	8000 (35.6) <sup>q</sup>
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1.92)	
Gudang diatas langit-langit	20 (0.96)	300 <sup>r</sup>
Gudang penyimpanan barang sebelum, disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang di penyimpanan harus dirancang untuk beban lebih berat).		300 <sup>r</sup>
Ringan		
Berat	125 (6.00) <sup>a</sup>	
		<sup>o</sup> 250 <sup>n</sup> (11.97) <sup>a</sup>
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4.79)	
Lantai diatasnya	75 (3.59)	
Grosir, di semua lantai	125 (6.00) <sup>a</sup>	
Penghalang kendaraan	Lihat pasal 4.5	
		1000 (4.45)

	1000 (4.45)
	1000 (4.45)
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar )	60 (2.87)
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4.79) <sup>a</sup>

Sumber SNI 1727 - 2019

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

Pawirodikromo (2012) menjelaskan bahwa gempa bumi adalah getaran tanah yang dipicu oleh pelepasan energi secara tiba-tiba akibat pecahnya atau perpindahan massa batuan di dalam kerak bumi. Beban seismik adalah gaya yang diberikan pada struktur bangunan oleh gerakan tanah, yang kemudian ditransfer ke seluruh komponen struktur utama. Dalam perencanaan struktur, sangat penting untuk memperhitungkan lokasi tapak, terutama karena Indonesia terletak di zona seismisitas tinggi. Sementara itu, Agus Setiawan (2008) mendefinisikan beban gempa bumi sebagai gaya statis ekuivalen yang bekerja pada suatu struktur akibat pergerakan tanah akibat gerakan seismik. Umumnya, percepatan tanah horizontal lebih besar daripada percepatan vertikal, sehingga pengaruh gaya horizontal lebih signifikan daripada gaya vertikal.

#### 2.1.3.1 Kategori Risiko

Kategori risiko bangunan ditentukan melalui pemanfaatan dan fungsi gedung. SNI1726-2019 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>	I

---

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

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk

III

---

fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang 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

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 5.3, jika data tanah detail hingga kedalaman 30 meter tidak tersedia, karakteristik tanah harus diestimasi oleh ahli geoteknik bersertifikat melalui laporan investigasi tanah yang mencerminkan kondisi geoteknik aktual. Jika data tanah tidak mencukupi untuk menentukan kelas tapak, kelas tapak SE<sub>s</sub> harus diterapkan sesuai dengan ketentuan 0, kecuali jika otoritas yang berwenang atau temuan geoteknik menunjukkan klasifikasi yang berbeda. Lebih lanjut, kelas tapak SA dan SB tidak dapat ditetapkan jika terdapat lapisan tanah yang lebih tebal dari 3 meter antara dasar pondasi (pondasi atau rakit) dan permukaan batuan dasar.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs

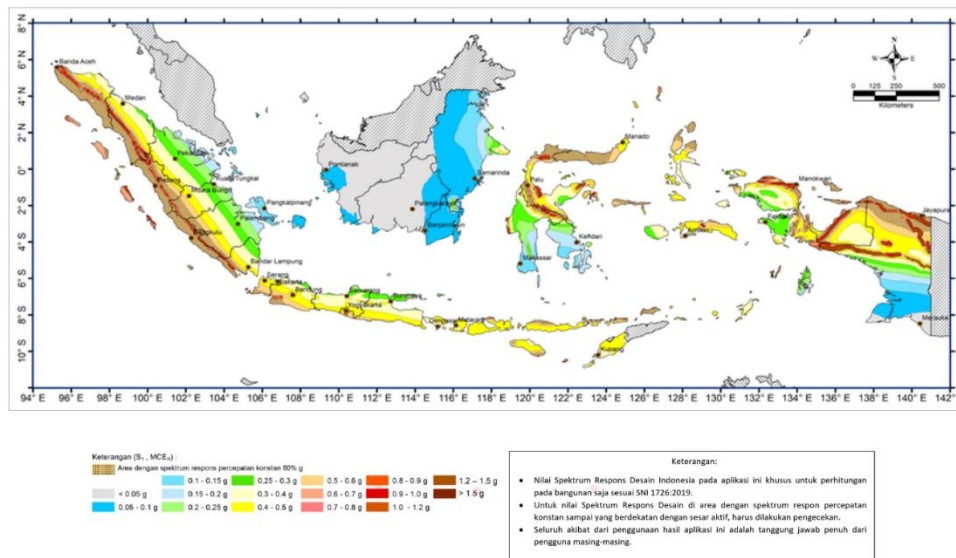
Kelas Situs	$V_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$S_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 hingga 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 hingga 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 hingga 350	15 hingga 50	50 hingga 100
SE <sub>s</sub> (tanah Lunak)	< 175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

- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalannya  $H > 3m$ ).

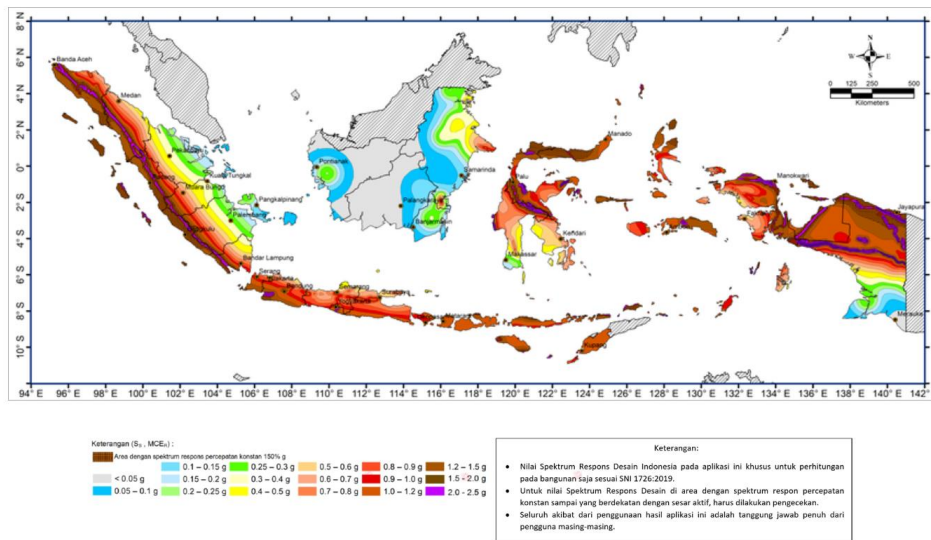
Sumber : SNI 1726-2019

### 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,  $S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0})$
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

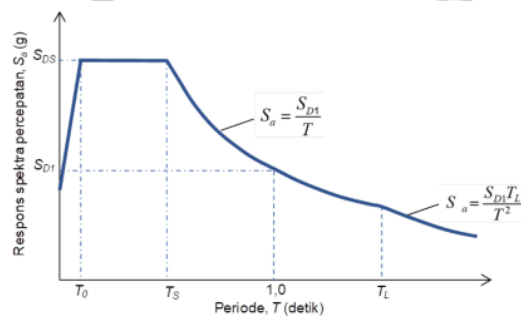
$S_{D1}$  = Parameter respon spektra percepatan desain pada periode 1.0 detik

$T$  = 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.  $1,2 D + 1,0 E_s + L + 0,2 S$
6.  $0,9 D + 1,0 E_s$
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 diselubungi 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.

### 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 elastis.

Menurut Heppy Nur Cahya (2014), 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 memantah 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 :

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

Dimana :

$\sum$  = Penjumlahan

$i$  = menunjukkan berbagai kondisi

$Q_i$  = pengaruh beban nominal

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

$\gamma_i Q_i$  = 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, factor 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 :

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

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.

**Tabel 2. 7** Faktor Tahanan

<b>Tahanan Rencana Untuk</b>	<b>Faktor Tahanan</b>
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

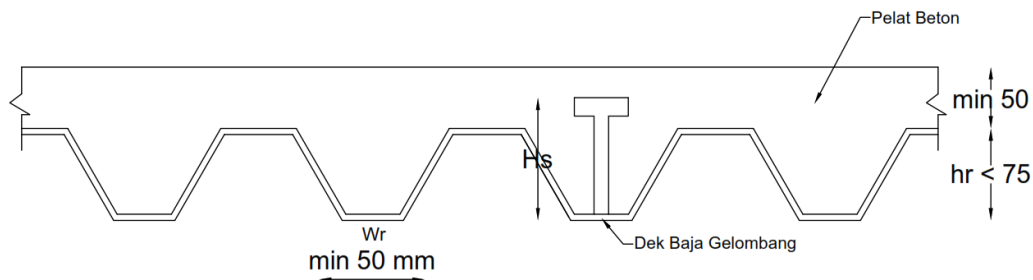
• Lapis yang memikul kombinasi geser dan tarik	0.75
Sambungan :	
• Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0.75
• Las tumpul penetrasi penuh	0.90
• Las pengisi	0.75

### 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 03-1729-2020 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. 4** Pelat Floor Deck

Jika gelombang pada dek baja dipasang tegak lurus terhadap balok penyangga, maka kekuatan nominal konektor geser tipe stud harus dikurangi dengan faktor  $r_s$ , yang ditentukan dengan besaran berikut :

$$r_s = \frac{0.85}{\sqrt{N_r}} \left( \frac{w_r}{h_r} \right) \left( \frac{H_s}{h_r} \right) - 1.0 \leq 1.0$$

keterangan :

$r_s$  = adalah factor reduksi

$N_r$  = jumlah penghubung geser jenis stud pada setiap gelombang pada potongan melintang balok baja

$H_s$  = tinggi penghubung geser jenis stud  $\leq (h_r \pm 75 \text{ mm})$

$h_r$  = tinggi nominal gelombang dek baja

$w_r$  = lebar efektif gelombang dek baja

Beberapa keuntungan yang didapat dari penggunaan dek baja gelombang adalah sebagai berikut :

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 Penghubungan 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 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 :

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

Banyaknya penghubung geser bisa didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$N = \frac{C_{max}}{Q_n} = \frac{T_{max}}{Q_n} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan  $Q_n$  adalah kuat geser nominal salah satu penghubung geser.

Ada dua jenis sambungan geser yang biasa digunakan, diantaranya adalah sambungan Stud dan sambungan canal.

- a) Kuat nominal jenis Stud

$$Q_n = 0.5 \cdot A_{sc} \sqrt{f_c', E_c} \leq A_{sc} \cdot f_u \dots\dots\dots (2.3)$$

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 canal

$$Q_n = 0.3 (t_f + 0.5 t_w) L_a \sqrt{f_c' E_c} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan,

$L_a$  = panjang ankur kanal

$t_f$  = tebal sayap ankur kanal

$t_w$  = tebal badan ankur kanal

### 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 :

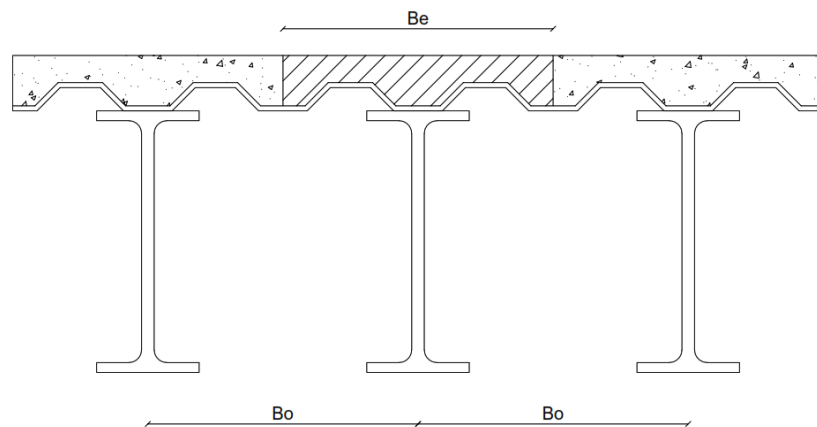
$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \text{ atau } \frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s}{E_s}$$

$$\text{atau } f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n \times f_c$$

dengan :

$$E_c = \text{Modulus elastisitas beton}$$

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



Gambar 2. 5 Balok Komposit

- Untuk balok-balok interior

$$b_{e_s} \leq \frac{L}{4}$$

$$b_{e_s} \leq b_o$$

- Untuk balok- balok eksterior

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

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

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 yaitu 100 kg/m<sup>2</sup> sebelum beton mengeras. Besarnya momen nominal struktur baja ditentukan oleh nilai kekompakan penampang baja yang digunakan.

Tabel 2. 8 Kapasitas 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 1726-2019

### 1. Penampang kompak

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

$$M_n = M_p$$

$$M_p = Z \cdot f_y$$

Dimana :

$$M_p = \text{momen plastis (N.mm)}$$

$$f_y = \text{tegangan leleh baja (mpa)}$$

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

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

$$b = \text{lebar sayap (mm)}$$

$$d = \text{tinggi penampang (mm)}$$

$$t_f = \text{tebal sayap (mm)}$$

$$t_w = \text{tebal badan (mm)}$$

### 2. Penampang tidak kompak

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

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

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

Dengan :

$$M_r = \text{momen batas tekuk (n.mm)}$$

$$f_r = \text{tegangan sisa (mpa)}$$

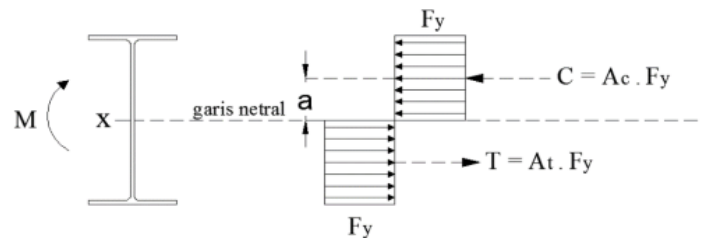
$$f_r = 70 \text{ mpa untuk penampang gilas panas}$$

$$f_r = 115 \text{ mpa untuk penampang yang dilas}$$

### 3. Penampang langsing

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

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



Gambar 2. 6 Diagrams Regangan balok Pra Komposit

### 2.2.3.2 Balok Post Komposit

Menurut SNI 03-1729-2015 I3.2a didefinisikan sebagai berikut: Kuat lentur rencana nominal,  $\phi_b M_n$  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).  $\phi_b = 0.9$

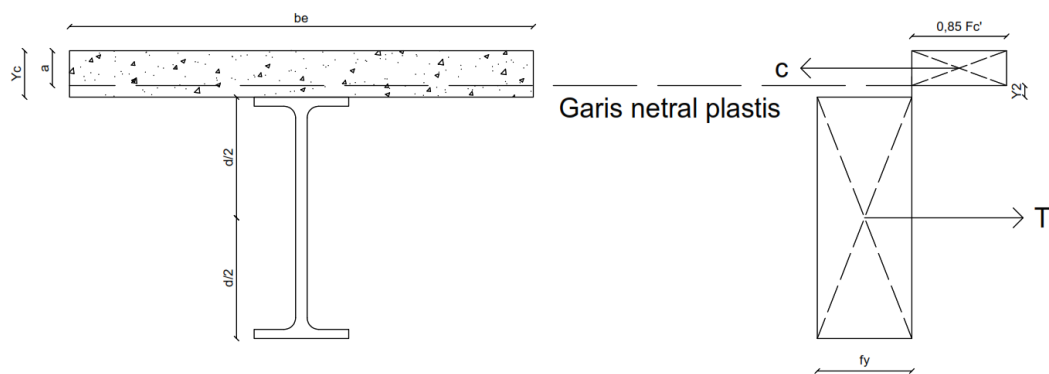
Untuk menentukan momen plastis balok komposit, ditentukan letak sumbu netral plastis yang bergantung pada proporsi C dan T. Perhitungan ini memerlukan nilai gaya tekan dan tarik.

$$C = 0.85 \cdot f_c \cdot A_c$$

$$T = F_y \cdot A_s$$

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

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



**Gambar 2. 7** Diagrams 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 :

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

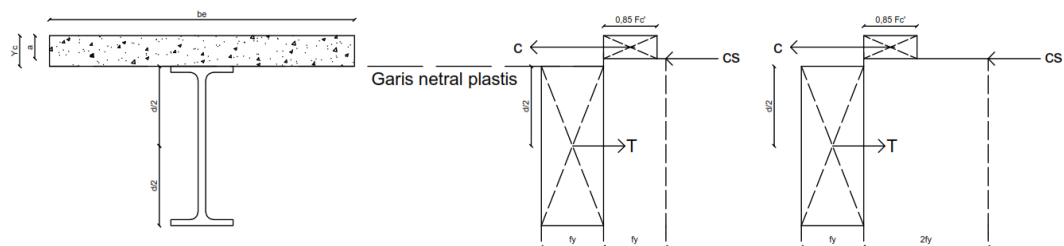
Asumsi benar jika  $a < tc$ , jika pakai dek baja, atau  $a < t$  pelat beton solid.

$$Yc = hr + tc$$

$$Y2 = Yc - \frac{1}{2} a$$

$$Mn = Mp = Fy \cdot As \left( Y2 + \frac{1}{2} d \right)$$

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



**Gambar 2. 8** Diagrams 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 :

$$T = Fy \cdot As$$

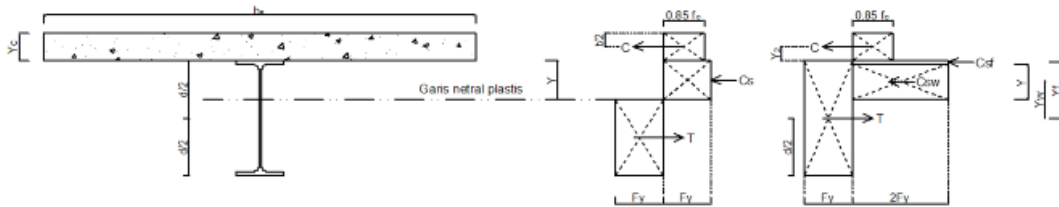
$$C = 0,85 fc' \cdot bEs \cdot tc$$

$$Y = \frac{T-C}{bf \cdot Fy} \leq tf$$

$$Csm_s = 2 Fy \cdot y$$

$$Mn = Mp = C \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + Csm_s (d-y) \frac{1}{2}$$

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



**Gambar 2.9** 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.

$$T = Fy \cdot As$$

$$C = 0.85 \cdot fc' \cdot b \cdot E_s \cdot tc$$

$$Csf = bf \cdot tf \cdot 2 \cdot fy$$

$$Y = \frac{T-C-Csf}{tw \cdot Fy} \leq tf$$

$$Csw = 2 \cdot fy \cdot y \cdot tw$$

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

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

$$Mn = Mp = C \left( Y_2 + \frac{1}{2} d \right) + Csf \cdot yf + Csw \cdot yw$$

#### 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 Panjang Efektif Kolom**

Panjang efektif kolom, juga dikenal sebagai KL, adalah metode yang mudah namun efisien untuk memperkirakan kekuatan kolom. Hal ini dicapai dengan mengidentifikasi korelasi antara bentuk tekuk dan rumus Euler :

$$(P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{KL^2}) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- E<sub>s</sub> = modulus elastisitas
- K = nilai kuat tekan kolom (kN/m)
- I = Inersia penampang (mm<sup>4</sup>)
- L = Panjang struktur tekan (m)

Mengevaluasi kondisi ideal tumpuan di lapangan merupakan hal yang menantang, sehingga disarankan untuk meningkatkan nilai K. Meskipun akurat, namun implementasinya tidak mudah, memerlukan penyederhanaan arsitektur kompleks yang nyata terlebih dahulu. Dalam hal ini cukup mengelompokkannya ke dalam dua kelas yang nilai K nya berbeda, yaitu:

- a. Rangka tidak bergoyang :  $0.5 \leq K \leq 1.0$
- b. Rangka bergoyang :  $1.0 \leq K \leq \infty$

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

Gambar 2. 10 Nilai Kekakuan Kolom.

### 2.2.4.2 Kuat Tekan Nominal Kolom

Tekuk global mengacu pada ketidakstabilan penampang suatu komponen, yang dipengaruhi oleh kelangsingan dan bentuknya. Ada tiga jenis perilaku lentur yaitu, tekuk torsional, tekuk dan lentur, dan tekuk lentur-torsi. Terjadinya tekuk global biasanya terjadi pada penampang yang tidak langsing. Untuk menentukan suatu penampang langsing atau tidaknya, maka perbandingan lebar terhadap tebal dievaluasi berdasarkan nilai batas yang ditentukan sesuai SNI 1729:2020 tabel B4.1a. Jika nilai rasio lebih rendah dari batas maka dianggap tidak ramping, sedangkan rasio yang lebih tinggi menunjukkan bagian yang ramping. Pembahasan selanjutnya akan mendalami ketiga perilaku tekuk tersebut yang dituangkan dalam pedoman SNI 1729:2020 pasal E3 dan E4.

#### A. Tekuk Lentur

Tekuk lentur hanya terjadi pada penampang dengan klasifikasi tidak langsing. Untuk mengakomodasi terjadinya tekuk lentur maka perlu di ketahui kekuatan tekuk nominal dengan rumus sebagai berikut :

$$\phi_c P_n \geq P_u \dots\dots\dots (2.6)$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots (2.7)$$

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

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

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y \dots\dots\dots (2.8)$$

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

$$F_{cr} = 0,877 \cdot F_y \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

$P_n$  = kuat tekan nominal pada kondisi tekuk lentur (N)

$F_{cr}$  = Tegangan kritis pada batang tekan kondisi tekuk lentur (Mpa)

$A_g$  = Luasan utuh penampang batang tekan ( $\text{mm}^2$ )

$\phi_c$  = Faktor reduksi (0.9)

$F_y$  = Tegangan leleh minimum (Mpa)

$F_e$  = Tegangan tekuk elastis (Mpa)

## B. Tekuk Torsi Dan Tekuk Lentur Torsi

Tekuk torsi dan tekuk lentur torsi hanya ada di klasifikasi penampang tidak langsing yang memiliki bentuk asimetris dan simetris tunggal, simetris ganda, struktur silang, dan juga siku dengan  $b/t > 0,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ . Adapun persamaan kuat tekan nominal adalah sebagai berikut.

$$\phi_c P_n \geq P_u \dots\dots\dots (2.10)$$

$$P_n = F_{cr} \times A_g \dots\dots\dots (2.11)$$

Tegangan kritis,  $F_{cr}$  dihitung sesuai dengan syarat berikut ini :

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

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

- b) Pada struktur simetris tunggal yang menghadap torsi terhadap pusat geser yaitu sumbu simetris :

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

- c) Pada struktur asimetris yang menghadap torsi terhadap pusat geser

$$(F_{e_x} - F_{ex}) \times (F_{e_x} - F_{ey}) \times (F_{e_x} - F_{ez}) \times F_{e_x}^2 (F_{e_x} - F_{ey}) \times \left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2 - F_{e_x}^2 (F_{e_x} - F_{ey}) \left(\frac{y_0}{r_0}\right)^2 = 0 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K \cdot L_x}{r_x}\right)^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K \cdot L_y}{r_x}\right)^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$F_{zy} = \left( \frac{\pi^2 E C_w}{K \cdot L_z^2} + GJ \right) \cdot \frac{1}{A_g + r_0^2} \dots\dots\dots (2.15)$$

## C. 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).

$$\text{a) Jika } \frac{Pr}{Pc} \geq 0,2 \text{ maka : } \frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left( \frac{Mrx+Mry}{Mcx+Mcy} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\text{b) Jika } \frac{Pr}{Pc} \leq 0,2 \text{ maka : } \frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left( \frac{Mrx+Mry}{Mcx+Mcy} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan :

$Pr$  = kekuatan aksial perlu (N)

$Pc$  = Kekuatan aksial desain (N)

$Mr$  = Kekuatan lentur perlu (Nmm)

$Mc$  = 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*).

Beberapa jenis sistem penahan 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 1. SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), 2. SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), 3. SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

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

### 2.3.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) merupakan sistem sederhana dan terjangkau yang hanya cocok untuk wilayah dengan risiko gempa rendah. Namun, keuletannya terbatas dan menjadi berisiko jika terjadi perubahan alami yang mempengaruhi kondisi tanah.

Dalam SNI 1726-2019 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa di syaratkan dengan kategori berikut:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa didesain untuk kategori desain seismic A atau B.
2. Diizinkan memiliki ketinggian gedung  $h_m$  sampai 20 m, apabila beban mati yang dipikul dan tributary atapnya tidak melebihi  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .
3. Diizinkan untuk konstruksi rangka ringan sampai ketinggian  $h_m$  10 m dengan beban seluruh lantai atas dasar yang didukung tributari pada rangka momen tidak melebihi  $1,68 \text{ kN/m}^2$ .

### 2.3.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) 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.

Dalam SNI 1726-2019 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa di syaratkan dengan kategori berikut :

1. SRPMM didesain untuk kategori desain seismic B dan C
2. Diizinkan memiliki ketinggian gedung sampai  $h_m$  20 m, apabila beban mati yang ditanggungnya tidak lebih  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .
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 seismik 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 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan sistem dengan daktilitas tinggi yang direkomendasikan untuk digunakan pada daerah yang mempunyai resiko gempa bumi yang tinggi. Sistem ini mengikuti prinsip kolom kuat dan balok lemah, memberikan ketahanan terhadap geser dan menggabungkan detail khusus. Keuntungan dari sistem ini adalah memiliki arsitektur yang sederhana, namun kelemahannya adalah detailnya bisa rumit, sehingga membuat proses konstruksi menjadi lebih menantang. Pemilihan sistem ini tergantung pada kategori desain seismik, dengan SRPMB direkomendasikan untuk KDS A-B, SRPMM untuk KDS B-C, dan SRPMK untuk KDS D-E-F sesuai SNI 1726-2012 tabel 9.

### 2.4 Perancangan 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 Dewobotr (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. Macam-macam baut yang sering digunakan di lapangan adalah sebagai berikut

### 1. Baut Hitam

Baut hitam bisa digunakan pada konstruksi ringan hingga sedang seperti konstruksi gedung. Baut ini terbuat dari bahan baja lunak (St-34) dengan ukuran kelonggaran 1 mm antara diameter lubang sambungan dan diameter batang baut. Baut ini termasuk baut mutu normal dan terbuat dari baja karbon mutu rendah.

### 2. Baut Pass

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

#### 2.4.2 Sambungan Las

Sambungan las adalah salah satu cara penyambungan baja dengan cara pemanasan bahan baja hingga mencapai suhu leleh yang menyebabkan bahan plastis hingga cair, dengan maupun tanpa penambahan pengisi. Pemanasan baja ini kemudian didiamkan hingga dingin. Proses pendinginan yang terjadi akan membuat bahan baja yang leleh mengeras kembali. Pengerasan inilah yang nantinya menjadi kekuatan bagi sambungan las.

Dalam pemasangannya sambungan las memiliki beberapa metode. Metode metode tersebut adalah sebagai berikut:

1. Metode Las Karbid (las otogen)

Las karbid merupakan metode las menggunakan gas sebagai bahan bakarnya. Gas yang digunakan dalam metode ini adalah gas oksigen (zat asam)

dan gas acetylene. Metode hanya diterapkan pada konstruksi ringan seperti pagar besi, teralis rumah dan lainnya. Las karbid tidak disarankan untuk dipakai dalam konstruksi yang memiliki kapasitas berat seperti konstruksi gedung dan jembatan.

## 2. Las Listrik

Metode ini adalah metode pengelasan yang dilakukan dengan cara menggunakan bahan energi Listrik. Pengelasan bahan Listrik perlu menggunakan seperangkat pesawat las. Alat tersebut terdiri dari dua buah kabel, kabel pertama akan dihubungkan langsung dengan benda kerja dan kabel yang lainnya akan terhubung pada elektroda las. Cara kerjanya adalah dengan menempelkan alat elektroda gas pada benda kerja. Cara las ini mampu digunakan pada konstruksi dengan skala besar seperti pengelasan sambungan struktur baja pada gedung dan jembatan.

