

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

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

2.1.1 Sifat Mekanik Baja

Baja sebagai salah satu material pada konstruksi bangunan memiliki beberapa sifat fisik dan mekanis yang dapat mempengaruhi kekuatan pada sebuah konstruksi bangunan (*Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008*). berikut ini adalah sifat mekanis yang ada pada material baja:

a. Kekakuan (*Stiffness*) Yaitu sifat suatu material yang dapat renggang pada saat menerima tegangan yang tinggi tanpa diikuti oleh regangan yang besar, sifat ini merupakan kemampuan material dalam menahan deformasi. Kekakuan bahan yaitu berupa modulus elastisitas (E), sebuah material yang mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dapat berdeformasi lebih kecil pada saat menerima beban, baja sendiri memiliki modulus elastisitas (E) sebesar $E = 200.000 \text{ MPa}$.

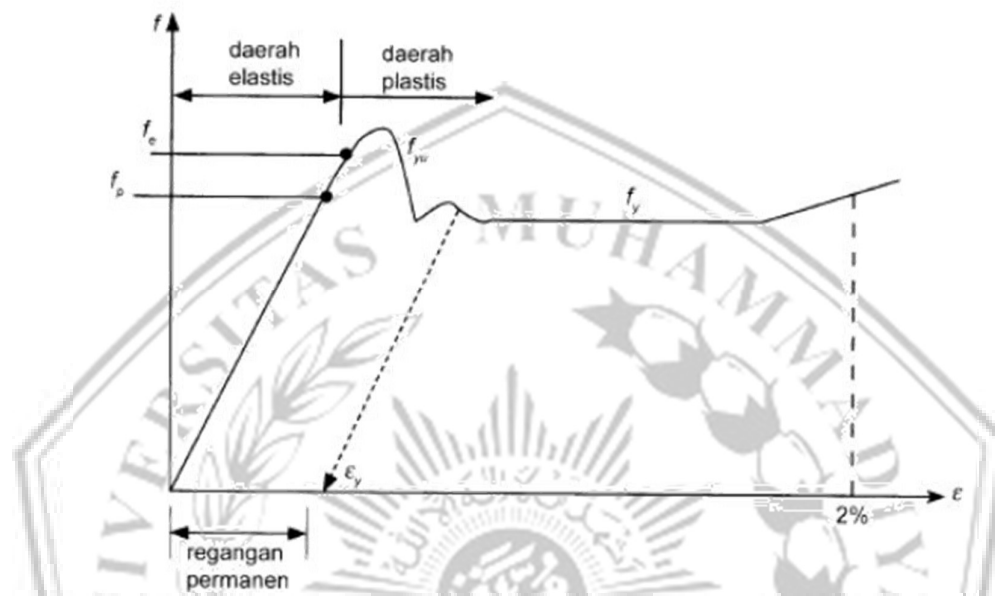
b. Kapabilitas (*Strength*) Sifat suatu bahan yang ditentukan oleh tegangan pada material dapat merenggang sebelum mengalami kegagalan (*failure*). Kapabilitas didefinisikan oleh batas proporsional, titik lentur atau tegangan maksimum.

c. Elastisitas Elastisitas adalah suatu sifat material yang dapat kembali pada bentuk awal setelah diberikan beban.

d. Daktilitas Sifat suatu bahan yang dapat berdeformasi pada beban tarik sebelum material benar – benar patah (*rupture*).

e. Kegetasan Kegetasan adalah tak adanya deformasi plastis pada material sebelum rusak, atau material yang rusak tanpa adanya tanda – tanda kerusakan terlebih dahulu.

f. Kelenturan Kelenturan adalah sifat suatu material yang dapat menahan beban yang tinggi tanpa memunculkan tegangan lebih pada batas elastis.



Gambar 2. 1 Diagram Tegangan – Regangan

Sumber: Struktur Baja SNI 1729-2020 Edisi Pertama, Yudha Lesmana.

Titik – titik yang ada pada kurva antara lain :

f_p : batas proporsional

f_e : batas elastis

f_y, f_u : tegangan leleh atas dan bawah

ϵ_y : regangan pada saat terjadi efek *strain – hardening* (penguatan regangan)

Kekuatan Material ekspetasi

Tegangan leleh ekspetasi

Ry Fy

Tegangan Tarik ekspetasi

Rt Fu

Dimana :

Fy : tegangan leleh minimum menurut spesifikasi

Ft : tegangan tarik minimum menurut spesifikasi

$$R_y = \frac{F_{ye}}{F_y} = \frac{Teg.leleh\ real}{teg.leleh\ nominal} \dots\dots\dots(2.1a)$$

$$R_t = \frac{F_{uy}}{F_u} = \frac{Teg.ultimit\ real}{teg.ultimit\ nominal} \dots\dots\dots(2.1b)$$

R_y : Rasio tegangan leleh ekspektasi terhadap tegangan leleh minimum, F_y

R_t : Rasio Kuat Tarik ekspektasi terhadap kuat Tarik minimum, F_u

2.1.2 Keunggulan dan Kelemahan Struktur Baja

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

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

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

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

4. Sifat leleh harus dipertimbangkan untuk elemen struktur dan sambungannya yang menahan beban perulangan.

2.2 Sistem Struktur Baja Tahan Gempa

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa sangat penting di Indonesia, yang sebagian besar wilayahnya memiliki kerawanan yang tinggi terhadap gempa. Standar dan peraturan yang berlaku pada perencanaan bangunan diperlukan untuk desain struktur tahan gempa untuk menjamin keselamatan penghuni dan meminimalisir kerusakan struktur bangunan akibat gempa. Struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya kegagalan pada bangunan.

Berdasarkan sudut pandang rekayasa sipil terhadap perencanaan struktur bangunan tahan gempa, beberapa kriteria atau persyaratan yang harus dipunyai oleh material dari struktur agar mampu untuk menahan pengaruh beban gempa. Perilaku dari elemen-elemen struktur bangunan terhadap pengaruh gempa tidak dapat dievaluasi hanya dari segi material saja. Faktor-faktor lain seperti kontinuitas sambungan, keseragaman kekakuan, dan detail struktural, harus ikut pula diperhitungkan di dalam mengevaluasi sistem struktur secara keseluruhan, agar tahan terhadap pengaruh gempa.

Struktur baja sangat sesuai digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi (*highrise building*), karena material baja mempunyai kekuatan serta tingkat daktilitas yang tinggi dibandingkan dengan material-material struktur lainnya. Sifat daktil diperlukan agar struktur mampu mengalami deformasi atau perubahan bentuk secara daktil dengan cara memencarkan energi gempa dan membatasi gaya gempa yang masuk ke dalam struktur. Selain itu material baja mempunyai kekuatan tarik dan kekuatan tekan yang sama besar, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai elemen struktur yang memikul beban dinamik yang berarah bolak-balik (*Siswanto & Salim, 2018*)

2.2.1 Sistem Portal kaku (*Rigid Frame*)

a. *Special Moment Frame* atau Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

Special Moment Frame (SRPMK) untuk bangunan tinggi, biasanya digunakan sistem penahan lateral khusus seperti rangka pemikul momen

husus dan dinding struktural khusus. Rangka pemikul momen khusus merupakan elemen balok dan kolom yang mampu mendisipasi energi saat terjadi gempa kuat. *Special Moment Frame* (SMF) atau struktur dengan tingkat daktilitas penuh. Struktur ini dapat digunakan untuk kategori desain seismik D, E dan F. (Patrisko Hirel Karisoh, Servie O. Dupas, 2018).

b. Intermediate Moment Frames

Intermediate Moment Frames (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) yaitu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas sedang dan dapat digunakan di zona 1 hingga zona 4 (Tajunnisa et al., 2014).

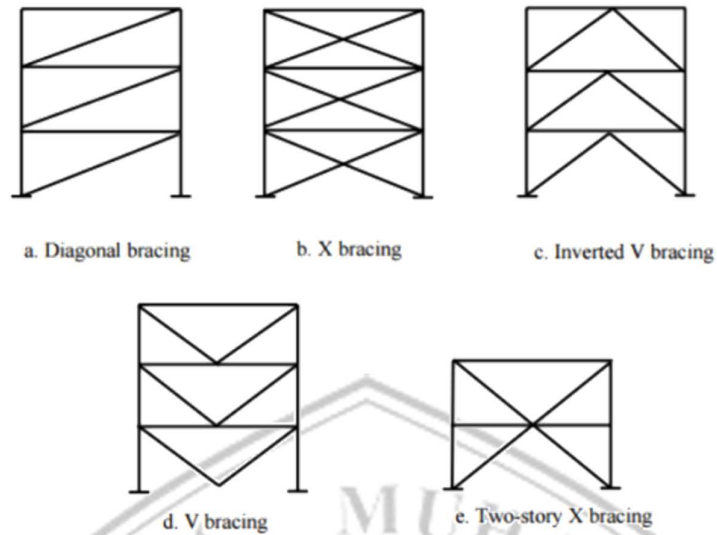
c. Ordinary Moment Frames

Ordinary moment frames (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa) adalah tipe rangka yang memiliki tingkat daktilitas terbatas dan hanya cocok digunakan pada bangunan dengan kategori *seismic* B. Oleh sebab itu hanya bisa digunakan pada sistem struktur dengan beban gravitasi yang dominan, misal bangunan tidak bertingkat yang memiliki bentang panjang dan lebar. (Irianti & Karlinah, 2021).

2.2.2 Sistem Rangka Bracing

a. Special Concentrically Braced Frames (SCBF)

Sistem Rangka Bresing Konsentrik merupakan pengembangan dari sistem portal tak berpengaku atau lebih dikenal dengan Sistem Rangka Pemikul Momen. sistem rangka bresing konsentrik dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik. Hal ini bertolak belakang dengan sistem sistem rangka pemikul momen yang hanya bisa digunakan sebagai penahan momen. Kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Sistem ini penyerapan energinya dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. SCBF digunakan di daerah seismik dengan kategori resiko tinggi dikarenakan struktur yang efisien, Kekakuan elastisitas SCBF jauh lebih tinggi daripada sistem lateral baja lainnya dengan sebagian besar pengaku lateral dan disediakan melalui bresing untuk menahan respon aksial (Syamsu et al., 2021).



Gambar 2. 2 Tipe Rangka Bresing Konsentrik

Sumber: Struktur Baja SNI 1729-2020 Edisi Pertama, Yudha Lesmana.

Bresing adalah elemen struktur tambahan yang dipergunakan apabila hendak menjadikan struktur portal lebih kaku (tidak bergoyang). Bresing direncanakan memikul beban aksial yang dapat menyebabkan tarik dan tekan. Pada saat terjadi gempa, bresing memiliki dua kemungkinan perilaku yakni perilaku tekuk akibat tekan dan leleh atau fraktur akibat tarik. Ada berbagai macam pemasangan bresing diantaranya adalah *Single Diagonal Braced*, *Two Story X-Bracing*, *V-Bracing* dan *Inverted V-Bracing*.

b. Ordinary Concentrically Braced Frames (OCBF)

Bekerja seperti sistem SCBF, namun untuk struktur OCBF digunakan di daerah seismik dengan kategori resiko gempa rendah.

c. Eccentrically Braced Frames (EBF)

Konsep desain *Eccentrically Braced Frames* (EBF) adalah dengan membatasi aksi inelastis pada *link*, dan mendesain kerangka di sekitar *link* untuk mempertahankan tegangan maksimum yang dapat diberikan oleh *link*. EBF mengkombinasikan banyak keuntungan individu dari sistem kerangka konvensional, secara spesifik, EBF memiliki elastisitas tinggi, respons inelastis stabil pada muatan lateral siklis, daktilitas dan kapasitas disipasi energi yang besar (Manope et al., 2019)

2.3 Metode Load Resistance Factor Design (LRFD)

Metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*) adalah spesifikasi yang dikeluarkan oleh AISC (*American Institute of Steel Construction*) untuk desain konstruksi baja, LRFD pada dasarnya adalah mirip dengan ASD *Strength*, membandingkan beban (Q) atau gaya dalam terhadap tahanan atau kekuatan (Rn). Konsep LRFD ini pada prinsipnya dimana beban yang bekerja harus lebih kecil dari kapasitas kekuatan elemen dibagi dengan suatu faktor keamanan *safety factor*.

Kondisi batas adalah suatu kondisi yang menunjukkan batas kemampuan suatu struktur agar bisa digunakan. Kriteria perencanaan memastikan bahwa kondisi batas harus kecil kemungkinan terlampaui, caranya dengan memilih kombinasi gaya, faktor tahanan dan nilai ketahanan yang tidak akan melampaui batas kemampuan suatu struktur berdasarkan kriteria perencanaan yang ada. Ada dua jenis kondisi batas yang diterapkan pada struktur, yaitu:

1. Kondisi batas kekuatan (*ultimate strength*), kondisi yang berhubungan dengan kegagalan akibat kombinasi beban terburuk muncul pada struktur. Konsep desain batas kekuatan sebagai berikut.

Kuat nominal \geq kuat perlu

Nilai kuat perlu didapat dari reaksi maksimum yang terjadi akibat beban yang diterima seperti momen lentur (Mu), gaya geser (Vu), gaya torsi (Tu), gaya normal/aksial (Pu). Jenis utama dari kondisi batas kekuatan adalah keruntuhan plastis, stabilitas terhadap goyangan, guling (*overturning*), dan pergeseran (*sliding*), dan kelelahan (*fatigue*)

2. Kondisi batas layan yang menetapkan batasan-batasan agar struktur dapat berfungsi sesuai yang direncanakan. Konsep dari desain batas layan yaitu :

Perilaku struktur yang diizinkan \geq perilaku struktur yang terjadi

Jenis utama dari kondisi batas layan adalah lendutan (*defleksi*), retak (*crack*), dan getaran (*vibration*).

Dalam merencanakan struktur baja dengan menggunakan metode LRFD, perencanaan difokuskan pada beban tidak boleh lebih besar daripada kekuatan atau tahanan, hal ini tidak ada kondisi batas yang melampaui. ϕR_n berarti tahanan

rencana dari komponen struktur bangunan, sedangkan $\gamma_i \cdot Q_i$ berarti beban yang harus dipikul struktur bangunan. Pernyataan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \dots \dots \dots (2.2a)$$

Dimana:

\sum = Penjumlahan

i = menunjukan berbagai kondisi

Q_i = pengaruh beban nominal

γ_i = faktor beban terkait beban Q_i yang ditinjau

$\gamma_i Q_i$ = kuat perlu, dari kondisi batas yang paling ekstrim

R_n = kuat nominal, kekuatan elemen yang dihasilkan

ϕ = faktor tahanan sesuai jenis struktur yang di tinjau

ϕR_n = kuat rencana, kekuatan struktur yang direncanakan

Desain LRFD memberikan hasil desain yang lebih optimum karena telah mempertimbangkan interaksi antara kekuatan material dan beban. Dimana ruas kiri mewakili resistensi (kekuatan) dari komponen atau sistem, sedangkan ruas kanan mewakili beban yang diharapkan akan ditanggung sehingga cenderung memberikan struktur yang lebih aman, Pada sisi kekuatan harga nominasi resistensi R_n dikalikan dengan faktor resistensi (reduksi kekuatan) ϕ untuk mendapatkan kekuatan desain. Pada sisi beban berbagai efek beban Q_i (seperti beban mati, beban hidup, dan beban lingkungan) dikalikan dengan faktor-faktor kelebihan beban γ_i untuk mendapatkan jumlah $\sum \gamma_i Q_i$ dari beban-beban terfaktor. (Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008)

2.3.1 Ketentuan LRFD

Perencanaan bangunan baja sesuai dengan SNI 1729-2020 Spesifikasi baja untuk bangunan gedung, desain struktur dibuat berdasarkan desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) atau Desain kekuatan ijin (DKI). Ketentuan DFBK atau LRFD dianggap memenuhi syarat apabila kuat perlu, R_u lebih kecil dari kuat rencana, ϕR_n dengan ϕ adalah faktor tahanan yang nilainya bervariasi tergantung perilaku aksi komponen yang ditinjau. Jadi konsep dasar ketentuan LRFD adalah:

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

Keterangan :

R_u = Kuat Perlu dengan menggunakan kombinasi beban LRFD

R_n = kuat nominal, kekuatan elemen yang dihasilkan

ϕ = faktor tahanan sesuai jenis struktur yang di tinjau

ϕR_n = kuat rencana, kekuatan struktur yang direncanakan

Tabel 2. 1 Faktor Tahanan

Komponen Struktur	Faktor Tahanan ϕ
Komponen struktur lentur	0,90
Komponen struktur tekan	0,90
Komponen struktur tarik	
• Kuat tarik untuk leleh tarik	0,90
• Kuat tarik untuk keruntuhan tarik	0,75
Sambungan baut	
• Baut yang memikul geser	0,75
• Baut yang memikul tarik	0,75
• Baut yang memikul kombinasi geser dan tarik	0,75
• Lapis yang memikul tumpu	0,75
Sambungan las	
• Las tumpul penetrasi penuh	0,90
• Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75
• Las pengisi	0,75

Sumber : SNI 1729:2020

2.4 Konsep Pembebanan

2.4.1 Beban Mati

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

Tabel 2. 2 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Baja	7850 kg/m ³
Batu Alam	2600 kg/m ³
Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m ³
Batu Pecah	700 kg/m ³
Besi Tuang	1450 kg/m ³
Beton (¹)	7250 kg/m ³

Beton Bertulang (²)	2200 kg/m ³
Kayu (Kelas I) (³)	2400 kg/m ³
Kerikil, Koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1000 kg/m ³
Pasangan Bata Merah	1650 kg/m ³
Pasangan Batu Belah, Batu Bulat, Batu Gunung	1700 kg/m ³
Pasangan Batu Cetak	2200 kg/m ³
Pasangan Batu Karang	1450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m ³
Pasir Kerikil, Koral (kering udara sampai lembab)	1850 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (basah)	2000 kg/m ³
Timah Hitam (Timbel)	11400 kg/m ³

Sumber : PPIUG, 1983 : 11

Tabel 2. 3 Berat Sendiri Komponen Gedung

Adukan, per cm tebal :	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah :	
- satu batu	450 kg/m ²
- setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako :	
Berlubang :	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa Lubang	
- tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit – langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri atas :	
- semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3 – 4 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk / kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Sumber : SNI 1727-1989 : 3

2.4.2 Beban Hidup

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

Tabel 2. 4 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Terpusat Minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat Lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
- Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
- Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang pelatihan	150 (7,18)	
Ruang pertemuan		
- Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
- Lobi	100 (4,79)	
- Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
- Panggung pertemuan	100 (4,79)	
- Lantai podium	150 (7,18)	
	100 (4,79)	
- Tribun penonton stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
- Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
- Lantai pertama	100 (4,79)	
- Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Dudukan mesin elevator (pada area 2 in x 2 in [50 mm x 50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in x 1 in [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan saat kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen		Lihat pasal 4.5.4

Garasi atau parkir (lihat pasal 4.10) - Mobil penumpang saja - Truk dan bus	40 (1,92) Lihat pasal 4.10.2	Lihat pasal 4.10.1 Lihat pasal 4.10.2
Pegangan tangga dan pagar pengaman Batang pegangan	Lihat 4.5.1	Lihat 4.5.1 Lihat 4.5.2
Helipad (Lihat pasal 4.11) Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3000 lb (13,35) atau kurang Helikopter dengan berat lepas landas lebih 3000 lb (13,35)	40 (1,92) 60 (2,87)	Lihat pasal 4.11.2 Lihat pasal 4.11.2
Rumah sakit - Ruang operasi, laboratorium - Ruang pasien - Koridor diatas lantai pertama	60 (2,87) 40 (1,92) 80 (3,83)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan - Ruang baca - Ruang penyimpanan - Koridor diatas lantai pertama	60 (2,87) 150 (7,18) 80 (3,83)	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)
Pabrik - Ringan - Berat	125 (6,00) 250 (11,97)	2000 (8,90) 3000 (13,35)
Gedung perkantoran - Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian - Lobi dan koridor lantai pertama - Kantor - Koridor diatas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	2000 (8,90) 2000 (8,90) 2000 (8,90)
Lembaga hukum - Blok sel - Koridor	40 (1,92) 100 (4,79)	
Tempat rekreasi - Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis - ruang dansa dan ballroom - gimnasium	75 (3,59) 100 (4,79) 100 (4,79)	
Rumah Tinggal Hunian satu dan dua keluarga - Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang - Loteng yang tidak dapat dihuni dengan Gudang - Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur - Semua ruang kecuali tangga Semua hunian rumah tinggal lainnya - Runag pribadi dan koridornya - Ruang publik	10 (0,48) 20 (0,96) 30 (1,44) 40 (1,92) 40 (1,92) 100 (4,79)	

- Koridor ruang publik	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	
Atap vegetatif dan atap lansekap		
- Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
- Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
- Atap untuk penggunaan lainnya	5 (0,24)	
Awning dan kanopi		
- Atap konstruksi fabric yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	
Rangka penumpu layer penutup	Berdasarkan area tributary dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	200 (0,89)
	20 (0,96)	
Semua konstruksi lainnya		
- Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja		2000 (8,90)
- Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, Gudang penyimpanan dan pekerjanya, dan garasi bengkel		300 (1,33)
- Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
- Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		
Dst.		

Sumber : SNI 1727-2020 : 26-29

2.4.3 Beban Gempa

Menurut SNI 1726-2019 : 23, tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum.

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

2.4.3.1 Kategori Resiko Bangunan

Kategori resiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi dari bangunan sesuai dengan kemungkinan besarnya resiko kematian pada bangunan tersebut.

Tabel 2. 5 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan • Fasilitas sementara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen atau rumah susun • Pusat perbelanjaan atau mall • Bangunan industri • Fasilitas manufaktur • Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas penitipana anak • Penjara • Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan,</p>	III

<p>penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau badan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah ibadah • Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat • Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat • Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya. • Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat • Pusat pembangkit energi dan fasilitas public lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat • Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangka air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunanlain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	IV

Sumber : SNI 1726 – 2019 : 24-25

2.4.3.2 Faktor Keutamaan Gempa dan Parameter Percepatan Tanah

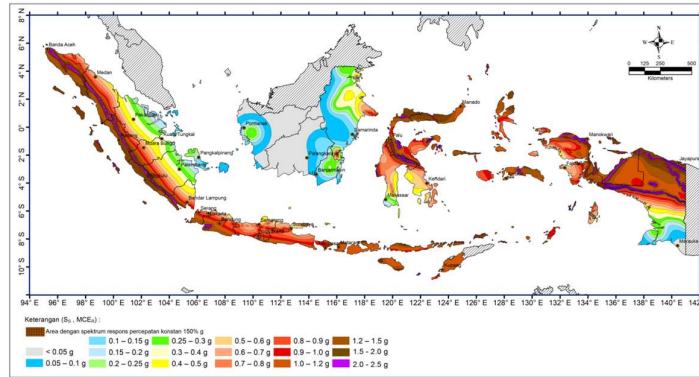
Faktor keutamaan gempa digunakan untuk memperkuat gempa rencana, sehingga struktur dapat memikul beban gempa dengan periode ulang yang panjang.

Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa

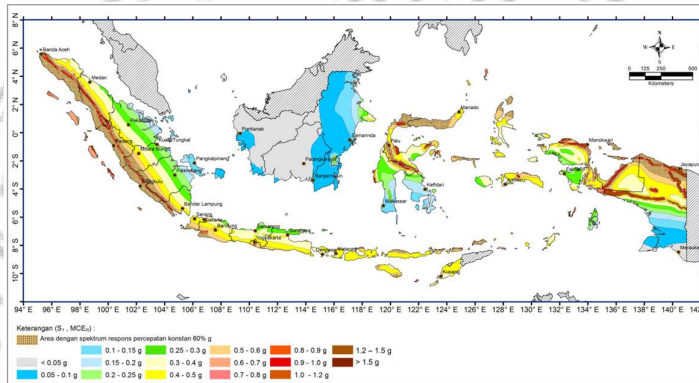
Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726 – 2019 : 25

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



Gambar 2. 3 Parameter gerak tanah S_s, gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik



Gambar 2. 4 Parameter gerak tanah S₁, gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik

2.4.3.3 Klasifikasi Situs dan Koefisien Situs Tanah

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

Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V _s (m/detik)	N-SPT	Su (Kpa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, PI > 20 , 2. Kadar Air, w ≥ 40% , 3. Kuat geser niralir Su < 25 Kpa 		
SF (tanah khusus, yang	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari		

membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	karakteristik berikut : - Rawan dan berpontesi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan $H > 3\text{m}$)
	- Lempung berplastis sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{ m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak atau setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{ m}$ dengan $S_u < 50\text{ Kpa}$

*N/A = tidak dapat dipakai

Sumber : SNI 1726-2019 : 29-30

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

Tabel 2. 8 Klasifikasi Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Tabel 2. 9 Klasifikasi Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

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

Sumber : SNI 1726-2019 : 34-35

2.4.3.4 Parameter Percepatan Desain

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

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2. 1)$$

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

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

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2. 4)$$

Dimana :

S_{DS} = Respons spectra pada percepatan periode pendek

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

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

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

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

2.4.3.5 Kategori Desain Gempa

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

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

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

Sumber : SNI 1726-2019 : 37

Tabel 2. 11 Kategori Desain Gempa berdasarkan S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Resiko	
	I, II, atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2019 : 37

2.4.3.6 Sistem dan Parameter Struktur

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

Tabel 2. 12 Faktor R, Cd, Ω_o untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, R	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_o	Faktor Pembesaran Defleksi, C_d	Beban Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, h_n (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem rangka pemikul momen								
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5 \frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5 \frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TI
Rangka baja pemikul momen menengah	$4 \frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10^k	TI^k	TI^k
Rangka baja pemikul momen biasa	$3 \frac{1}{2}$	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5 \frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4 \frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2 \frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	$5 \frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	$4 \frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI

Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5 ½	48	48	30	TI	TI
Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3 ½	3	3 ½	10	10	10	10	10

*TB = Tidak Dibatasi ; TI = Tidak Diizinkan

Sumber : SNI 1726-2019 : 50

2.4.3.7 Periode Fundamental Pendekatan

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2. 5)$$

Dimana :

h_n = Ketinggian struktur (m)

C_t dan x ditentukan melalui tabel berikut

Tabel 2. 13 Klasifikasi Situs

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

Sumber : SNI 1726-2019 : 72

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

$$T_a = 0,1 x N \dots\dots\dots (2. 6)$$

Dimana :

T_a = Periode fundamental pendekatan (detik)

N = Jumlah tingkat pada bangunan

2.4.3.8 Gaya Geser Dasar Akibat Gempa

Gaya geser dasar akibat gempa merupakan pengganti atau penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan dan selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan Gedung. Pada SNI 1726-2019 Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

2.4.3.9 Koefisien Respon Seismik

Pada SNI 1726-2019 disebutkan bahwa koefisien respon seismik C_s harus ditentukan dengan persamaan :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{R \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

S_{D1} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

2.4.3.10 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Pada SNI 1726-2019 ditentukan bahwa Gaya seismik lateral, F_{x1} (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_{x1} = C_{vx} V$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \dots \dots \dots (2.4)$$

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

W_i dan W_x = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:
 untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, = 1 untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, = 2
 untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, = 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

2.4.3.11 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Pada SNI 1726-2019 disebutkan bahwa Geser tingkat desain seismik di semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x \sum_{i=x}^n F_i \dots\dots\dots(2.5a)$$

Keterangan:

F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN)

Geser tingkat desain seismik, V_x (kN), harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

2.4.4 Kombinasi Pembebanan

Peninjauan dan penghitungan beban pada perancangan gedung ini berdasarkan pada Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726-2019 pasal 4.2.2 dan pasal 7.4.2)

1. 1,4 D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau R)
3. 1,2D + 1,6(Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr atau R)
5. 1,2D + 1,0E + 1,0L
6. 0,9D + 1,0W
7. 0,9D + 1,0E

Dengan pengaruh beban gempa, E ditentukan oleh persamaan :

$$E = E_h + E_v$$

Dengan E_h dan E_v ditentukan oleh persamaan :

- $E_h = \rho Q E$
- $E_v = 0,2 S_{DS} \cdot D$

Dengan :

D = beban mati

L = beban hidup

L_r = beban hidup pada atap

R = beban hujan

W = beban angin

E = beban gempa

E_h = pengaruh beban gempa horizontal

E_v = pengaruh beban gempa vertikal

ρ = faktor redundansi

Q_E = pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p

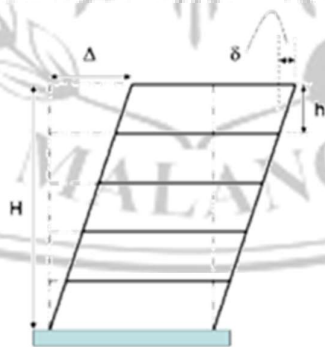
S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

2.5 Perancangan Stabilitas Struktur

Perencanaan Stabilitas struktur memerlukan kombinasi antara analisa dalam menentukan kuat perlu penampang dan desain, agar struktur memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban. Dengan itu bisa dilakukan beberapa pengecekan sebagai berikut:

2.5.1 Drift Ratio

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



Gambar 2. 5 Drift Ratio

Dalam *drift ratio* juga dikenal kegagalan *soft storey* yang terjadi jika simpangan antar lantai pada lantai bawah lebih besar dari lantai atas. Sebaiknya

drift ratio tertinggi berada pada lantai atas. *Drift ratio* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Drift\ ratio = \frac{\Delta Top}{H} \leq 0,0025 \dots\dots\dots(2.5b)$$

Keterangan

ΔTop = Displacement puncak bangunan (m)

H = Tinggi bangunan (m)

2.5.2 Simpangan Antar Tingkat

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

batasan simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi simpangan *drift* antar tingkat ijin (Δa) dengan ketentuan sebagai berikut:

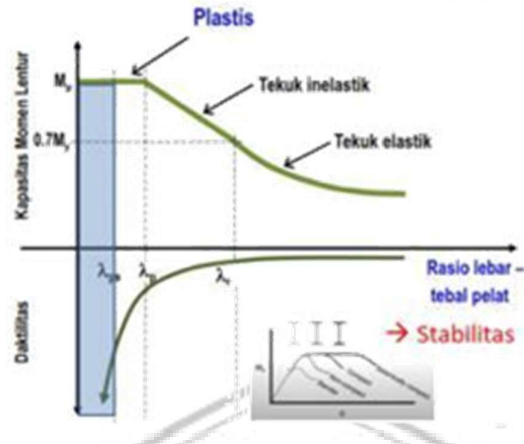
Tabel 2. 14 Batasan Simpangan Antar Tingkat struktur

struktur	Kategori resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025h _{sx}	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata.	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h _{sx}	0,005h _{sx}	0,007h _{sx}
Semua struktur lainnya	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}	0,010h _{sx}

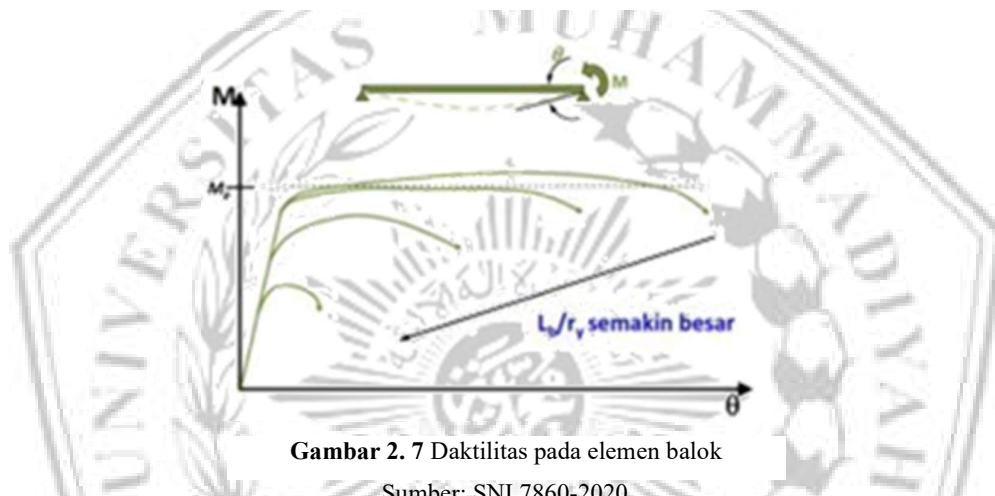
Sumber : SNI 1726:2019

2.5.3 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.(Yudi et al., 2019)



Gambar 2. 6 Duktilitas pada penampang



Gambar 2. 7 Duktilitas pada elemen balok

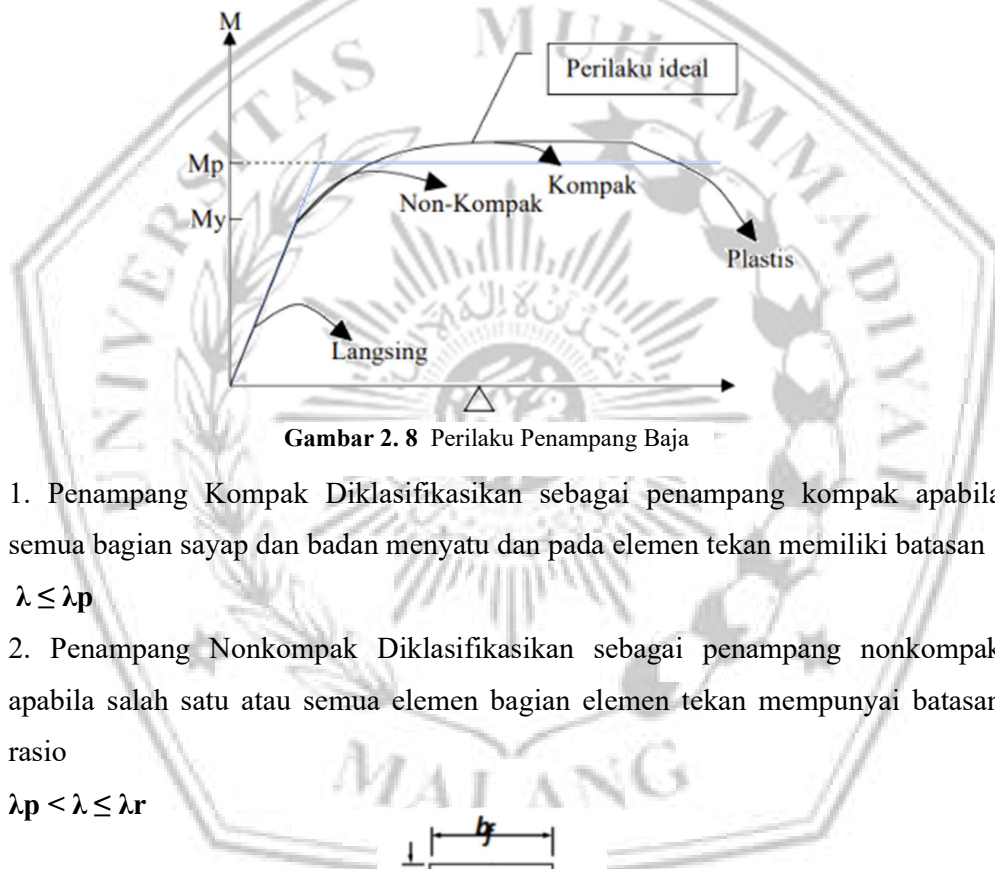
Sumber: SNI 7860-2020

Pada struktur berdeformasi berarti memanjang, memendek, dan bengkok. Faktor duktilitas suatu struktur gedung merupakan dasar bagi penentuan beban gempa yang bekerja pada struktur gedung, karena itu tercapainya tingkat yang diharapkan harus terjamin dengan baik. Hal ini dapat tercapai apabila balok harus leleh terlebih dahulu sebelum terjadi kerusakan-kerusakan pada kolom(konsep *strong coloumn weak beam*). Hal ini berarti bahwa akibat pengaruh gempa rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung hanya berada pada ujung-ujung balok dan pada kaki-kaki kolom.(Ketut Sudarsana et al., 2015)

Pada struktur rangka akan lebih baik apabila disipasi energi gempa melalui pelelehan (sendi plastis) pada komponen balok dan kolom yang diharapkan memberikan kekuatan, kekakuan, dan kestabilan pada waktu menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial.

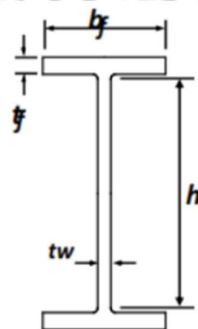
2.6 Stabilitas Penampang Baja

Sebelum melakukan perencanaan struktur baja khususnya elemen lentur, maka perlu adanya mengetahui dahulu klasifikasi elemen - elemen penyusun profil karena akan dipakai sebagai dasar dalam perhitungan kuat lentur nominal (M_n). Penentuan klasifikasinya mengacu pada rasio lebar terhadap ketebalan elemennya (b/t atau λ). Berdasarkan pada SNI 1729:2020 yang mengacu pada AISC 2016 terdapat tiga klasifikasi profil untuk batang lentur, yaitu penampang kompak, nonkompak dan langsing. Perilaku pada setiap klasifikasi bisa dilihat sebagai berikut:



Gambar 2. 8 Perilaku Penampang Baja

1. Penampang Kompak Diklasifikasikan sebagai penampang kompak apabila semua bagian sayap dan badan menyatu dan pada elemen tekan memiliki batasan $\lambda \leq \lambda_p$
2. Penampang Nonkompak Diklasifikasikan sebagai penampang nonkompak apabila salah satu atau semua elemen bagian elemen tekan mempunyai batasan rasio $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$



Gambar 2. 9 Penampang Profil Baja

Daktilitas Tinggi penampang (*Highly Ductile Member*)

Rasio lebar terhadap ketebalan $\leq \lambda_{hdm}$

Bagian sayap

$$\frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_{hd} = 0,32 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Bagian Badan

Untuk $Ca \leq 0,114$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_{hd} = 2,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1-1,04Ca) \dots\dots\dots(2.7a)$$

Untuk $Ca > 0,114$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_{hd} = 0,88 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2,68-Ca) \geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \dots\dots\dots(2.7b)$$

Dimana :

$$Ca = \frac{P_u}{\phi_c P_y} \text{ (LRFD)}$$

Daktilitas Sedang (*Moderately Ductile Member*)

Rasio lebar terhadap ketebalan $\leq \lambda_{mdm}$

Bagian sayap

$$\frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2t_f} \leq \lambda_{md} = 0,40 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Bagian Badan

Untuk $Ca \leq 0,114$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_{md} = 3,96 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1-3,04Ca) \dots\dots\dots(2.8a)$$

Untuk $Ca > 0,114$

$$\frac{h}{t_w} \leq \lambda_{md} = 1,29 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2,12-Ca) \geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \dots\dots\dots(2.8b)$$

Dimana :

$$Ca = \frac{P_u}{\phi_c P_y} \text{ (LRFD)}$$

3. Penampang diklasifikasikan menjadi penampang Langsing dan tidak langsing apabila semua elemen tekan mempunyai rasio

$$\lambda \geq \lambda_r$$

Flens:

$$\lambda = \frac{bf}{2t_f} \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots (2.9a)$$

Web:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \dots\dots\dots (2.9b)$$

a) Penampang Kompak

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y \dots\dots\dots (2.10a)$$

Yang menyatakan bahwa :

M_n = Momen plastis (N.mm)

F_y = Tegangan leleh baja (Mpa)

$$Z_x = b \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (d - t_f)^2 \text{ untuk profil WF, mm}^3 \dots\dots\dots (2.10b)$$

$$Z_y = \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot t_f + \frac{1}{2} \cdot t_w^2 \cdot (d - t_f) \text{ untuk profil WF, mm}^3 \dots\dots\dots (2.10c)$$

b = lebar pada sayap (mm)

d = tinggi pada penampang (mm)

t_f = tebal pada sayap (mm)

t_w = tebal pada badan (mm)

b) Penampang Tak Kompak

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots (2.10d)$$

$$M_r = (f_y - f_r) \times S \dots\dots\dots (2.10e)$$

Dengan :

M_r = momen batas tekuk (Nmm)

f_r = tegangan pada sisa (Mpa)

$f_r = 70$ Mpa ntuk penampang dilas panas

$f_r = 115$ Mpa untuk penampang yang dilas

c) Penampang Langsing

$$M_n = M_r \left(\frac{\lambda}{b}\right)^2 \dots\dots\dots (2.10f)$$

Tabel 2. 15 Perbandingan Rasio Lebar Terhadap Tebal Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Aksi Tekan dengan Aksi Tekan dengan Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tekan Untuk Komponen Struktur Dektail Sedang dan Dektail Tinggi

	Deskripsi dari Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batasan Rasio Terhadap Tebal	
			Δh_{dm}	λ_{mdm}
Elemen Tak Diperkaku	Sayap profil I, Kanal, dan T gilas atau tersusun; kaki profil siku tunggal atau ganda dengan pemisah; kaki bebas sepasang profil siku terhubung menerus	b/t	$0,32\sqrt{E/F_y}$	$0,40\sqrt{E/F_y}$
	Sayap profil fondasi tiang H menurut Pasal D4	b/t	Tidak berlaku	$0,48\sqrt{E/F_y}$
	Badan profil T	d/t	$0,32\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	$0,40\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$
Elemen Diperkaku	Dinding PSR persegi	b/t	$0,65\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	$0,76\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$
	Sayap dari profil I kotak tersusun	b/t		
	Pelat samping profil I kotak tersusun dan dinding profil kotak tersusun yang digunakan sebagai breis diagonal	h/t		
	Sayap profil kotak tersusun yang digunakan sebagai balok perangkai	b/t		
	Badan profil I gilas atau tersusun dan kanal yang digunakan sebagai breis diagonal	h/tw		
Elemen diperkaku	1) Dinding PSR persegi	b/t	$0,65\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$	$1,18\sqrt{\frac{E}{R_yF_y}}$
	2) Sayap dan pelat samping profil I kotak, badan dan sayap profil kotak tersusun	h/t		
	Jika digunakan pada balok,		Untuk $C_a \leq 0,114$	Untuk $C_a \leq 0,114$

	kolom atau perangkai, sebagai pelat badan yang mengalami lentur atau kombinasi aksial-lentur: 1) Badan profil I gilas atau tersusun 2) Pelat samping profil I kotak 3) Badan profil kotak	h/tw h/t h/t	$\frac{h}{tw} \leq \lambda_{hd} = 2,57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1-1,04Ca)$ Untuk $Ca \geq 0,114$ $\frac{h}{tw} \leq \lambda_{hd} 0,88 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2,68-1,04Ca) \geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ Dimana : $Ca = \frac{P_u}{\phi_c P_y} (LRFD)$	$\frac{h}{tw} \leq \lambda_{hd} = 3,96 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1-3,04Ca)$ Untuk $Ca \geq 0,114$ $\frac{h}{tw} \leq \lambda_{hd} 1,29 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2,68-3,04Ca) \geq 1,57 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ Dimana : $Ca = \frac{P_u}{\phi_c P_y} (LRFD)$
Elemen Diperkaku	Badan profil kotak tersusun	h/t	$0,67 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1,75 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	Badan profil fondasi tiang H	h/tw	Tidak berlaku	$1,75 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	Dinding PSR bulat	d/t	$0,053 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0,062 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
Komposit	Dinding komponen struktur komposit terisi beton persegi	b/t	$1,48 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$2,37 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
	Dinding komponen struktur komposit terisi beton bundar	d/t	$0,085 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0,17 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$

Sumber : SNI 7860-2020 (hal 13) Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung

Tabel 2. 16 Rasio Lebar Terhadap Tebal Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas rasio lebar terhadap tebal	
				λp	λr
Elemen kaku	1	Sayap profil I dilas panas, kanal dan sayap T	b/t	$0,38 \frac{E}{f_y}$	$1,00 \frac{E}{f_y}$
	2	Sayap profil I tersusun bentuk I simetris ganda dan tunggal	b/t	$0,38 \frac{E}{f_y}$	$0,95 \frac{E}{f_y}$
	3	Kaki siku tunggal	b/t	$0,54 \frac{E}{f_y}$	$0,91 \frac{E}{f_y}$
	4	Sayap semua profil I dan kanal yang mengalami lentur terhadap sumbu lemah	b/t	$0,38 \frac{E}{f_y}$	$1,00 \frac{E}{f_y}$
Elemen tidak kaku	5	Badan T	d/t	$0,84 \frac{E}{f_y}$	$1,52 \frac{E}{f_y}$
	6	Beban profil simetris ganda dan kanal	h/tw	$3,76 \frac{E}{f_y}$	$5,70 \frac{E}{f_y}$
	7	Badan profil simetris tunggal	hc/tw	$\frac{hc}{hp} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ $(0,54 \frac{M_p}{M_y} - 0,09)$ $< \lambda r$	$5,70 \frac{E}{f_y}$
	8	Sayap PSR Persegi Panjang	b/t	$1,12 \frac{E}{f_y}$	$1,40 \frac{E}{f_y}$

Sumber: SNI 1729:2020 (hal 17) Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural

Tabel 2. 17 Rasio Lebar Terhadap Tebal Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas rasio lebar terhadap tebal λr (lansing/nonlansing)	Batas rasio lebar terhadap tebal	
					$\lambda h d$	$\lambda m d$
Elemen tidak kaku	1	Sayap profil I di gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku sambung dengan kontak menerus, sayap kanal dan sayap T	b/t	$0,56 \frac{E}{f_y}$	$0,32 \frac{E}{f_y}$	$0,4 \frac{E}{f_y}$
	2	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang	b/t	$0,64 \frac{E}{f_y}$	Tidak berlaku	$0,48 \frac{E}{f_y}$

		diproyeksikan dari profil I tersusun				
3		Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak di perkaku lainnya	b/t	$0,45 \frac{E}{fy}$	Tidak berlaku	Tidak berlaku
4		Badan T	d/t	$0,75 \frac{E}{fy}$	$\frac{0,32 E}{Ry \cdot fy}$	$0,4 \frac{E}{Ry \cdot fy}$

Sumber: SNI 1729:2020 (hal 16) tentang Spesifikasi Bangunan Gedung Baja Struktural

2.6.1 Perencanaan Struktur Balok komposit

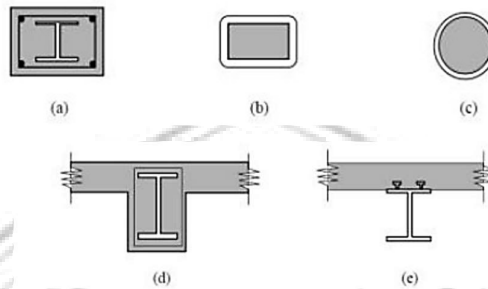
Struktur balok komposit antara beton dan balok baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan. Kelebihan tersebut adalah beton kuat terhadap tekan dan baja kuat terhadap tarik. kinerja dari struktur balok tersebut apabila kedua material tersebut bekerja secara bersama-sama. Kelebihan dari struktur komposit beton-baja yaitu mampu meningkatkan kapasitas momen balok, mampu mencegah korosi jika struktur komposit baja terselimuti oleh beton, meningkatkan kapasitas beban pada balok, dan durabilitas struktur balok komposit yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan balok homogen atau balok dengan satu material saja. Balok komposit memiliki kaitan yang erat dengan shear stud atau penghubung geser. Penghubung geser menjadi sangat penting karena merupakan komponen yang menjamin terjadinya sistem komposit antara beton dan baja (Cahyati, 2016).

2.6.1.1 Balok Komposit

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

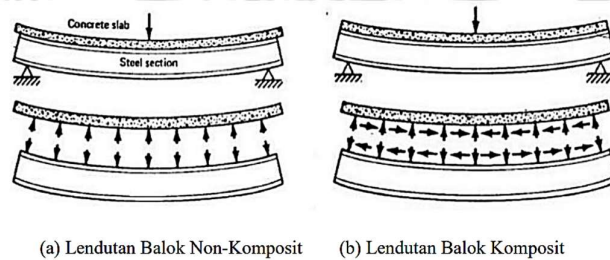
Pada umumnya macam-macam struktur komposit antara lain :

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



Gambar 2. 10 Macam-macam struktur komposit

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



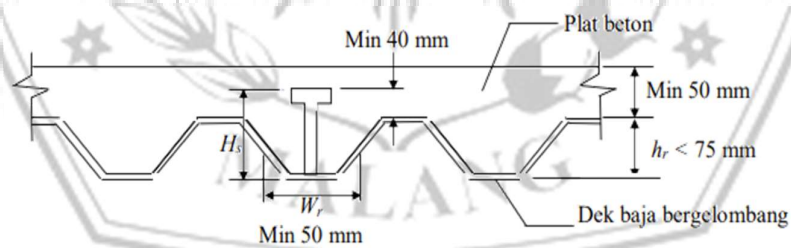
Gambar 2. 11 Perbandingan balok melendut dengan dan tanpa aksi komposit

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

2.6.1.2 Dek Baja Gelombang

Persyaratan dek baja gelombang dan penghubung gesernya untuk digunakan dalam komponen struktur komposit diatur dalam pasal I3.2a dan I3.2b SNI 1729:2020 dengan diisyaratkan:

- Tinggi rusuk nominal tidak lebih besar dari 3 in. (75 mm). Lebar rata-rata rusuk atau hauns beton, w_r , harus tidak kurang dari 2 in. (50 mm), tetapi tidak boleh diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dek baja.
- 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 $1\frac{1}{2}$ in. (38 mm) di atas bagian paling atas dek baja dan harus ada paling sedikit $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) selimut beton terspesifikasi di atas bagian paling atas angkur baja stadberkepala.
- Tebal *slab* di atas dek baja tidak boleh kurang dari 2 in. (50 mm).
- Dek baja harus diangkur ke semua komponen struktur pendukung pada spasi tidak melebihi 18 in. (460 mm). Angkur yang demikian harus diberikan dengan angkur baja stad berkepala, kombinasi dari angkur baja stad berkepala dan las *arc spot (puddle)*, atau perangkat lain yang terspesifikasi dalam dokumen kontrak.



Gambar 2. 12 Penampang Melintang Dek Baja Gelombang

Sumber: SNI 1729-2020

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

$$M_n = A_s \cdot F_y \left(d_{eff} - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (2.11a)$$

Dengan

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \dots\dots\dots (2.11b)$$

Dalam perencanaan tulangan lapis atas terlebih dahulu perlu ditentukan rasio tulangan maksimum dan minimum. Berdasarkan SNI 2487:2019 pasal 9.6.1.2, nilai rasio tulangan minimum diambil yang terbesar antara dua persamaan berikut ini.

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{f_y}\right) \dots\dots\dots (2.12a)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots (2.12b)$$

atau

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.12c)$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \dots\dots\dots (2.12d)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \dots\dots\dots (2.12e)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}}\right) \dots\dots\dots (2.12f)$$

$$As \text{ perlu} = \rho \times b \times d \dots\dots\dots (2.12g)$$

Dengan didapatkannya rasio tulangan maka dihitung luas tulangan yang dibutuhkan (As teoritis) kemudian akan didapatkan tulangan aktualnya.

Tabel 2. 18 Luas Penampang Tulangan Kawat Baja Wire Mesh

Diameter Kawat D (mm)	Luas Kawat D (cm ²)	Jumlah Luas Penampang Kawat (cm ² /m ¹) Menurut Spasinya Setiap Arah								
		Spasi (mm)								
		50	75	100	125	150	175	200	225	250
4,0	0,126	2,51	1,68	1,26	1,01	0,84	0,72	0,63	0,56	0,50
4,5	0,156	3,18	2,12	1,59	1,27	1,06	0,91	0,80	0,71	0,64
5,0	0,196	3,93	2,62	1,96	1,57	1,31	1,12	0,98	0,87	0,79
5,5	0,238	4,75	3,17	2,38	1,90	1,58	1,36	1,19	1,06	0,95
6,0	0,283	5,65	3,77	2,83	2,26	1,88	1,62	1,41	1,26	1,13
6,5	0,332	6,64	4,42	3,32	2,65	2,21	1,90	1,66	1,47	1,33
7,0	0,385	7,70	5,13	3,85	3,08	2,57	2,20	1,92	1,71	1,54
7,5	0,442	8,84	5,89	4,42	3,53	2,95	2,52	2,21	1,96	1,77
8,0	0,503	10,05	6,70	5,03	4,02	3,35	2,87	2,51	2,23	2,01
8,5	0,567	11,35	7,57	5,67	4,54	3,78	3,24	2,84	2,52	2,27
9,0	0,636	12,72	8,48	6,36	5,09	4,24	3,64	3,18	2,83	2,54
9,5	0,709	14,18	9,45	7,09	5,67	4,73	4,05	3,54	3,15	2,84
10,0	0,785	15,71	10,47	7,85	6,28	5,24	4,49	3,93	3,49	3,14
12,0	1,131	22,62	15,08	11,31	9,05	7,54	6,46	5,65	5,03	4,52
16,0	2,011	40,21	26,81	20,11	16,08	13,40	11,49	10,05	8,94	8,04

Sumber : Katalog *Wire Mesh* PT. Union Metal

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

Tabel 2. 19 Tinggi minimum balok non-prategang atau pelat satu arah atau plat solid arah non-prategang

Tinggi minimum, h				
Komponen Struktur	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung menerus	Kantilever
	Untuk balok non prategang yang tidak bertumpu atau melekat pada partisi atau konstruksi lain yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar, ketebalan keseluruhan pelat h tidak boleh kurang dari batas minimum pada Tabel 9.3.1.1, kecuali jika hasil hitungan pada batas lendutan 9.3.2 terpenuhi			
Pelat solid	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu- arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8

Lendutan yang dihitung berdasarkan tabel di atas tidak boleh melebihi batasan berikut :

Tabel 2. 20 Lendutan izin maksimum yang dihitung

Jenis komponen	Kondisi	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat Lr dan R maksimum	L/180
		Lendutan seketika akibat L	L/360
Atap atau Lantai	Memikul atau disatukan dengan elemenelemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	L/480
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar	L/240

Sumber : SNI 2847-2019

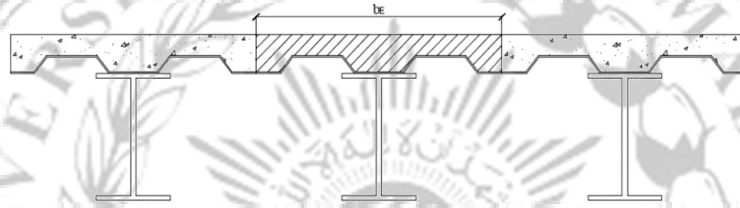
2.6.1.3 Lebar Efektif Balok Baja Komposit

Konsep lebar efektif sangat berguna dalam proses desain suatu komponen struktur (komposit) terutama ketika proses desain harus dilakukan terhadap suatu elemen yang mengalami distribusi tegangan yang tidak seragam. Besarnya lebar efektif dari suatu komponen struktur komposit dapat ditentukan sebagai berikut:

$$b_E \leq \frac{1}{8} \text{ bentang balok, jarak as ke as tumpuan}$$

$$b_E \leq \frac{1}{2} \text{ jarak ke sumbu dari balok yang berdekatan}$$

$$b_E \leq \text{jarak ke tepi slab (pelat)}$$



Gambar 2. 13 Lebar Efektif Balok Komposit
Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

2.6.1.4 Tegangan pada Balok Komposit

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

$$\text{Luas transformasi} = \frac{bE}{n} \dots\dots\dots (2.13)$$

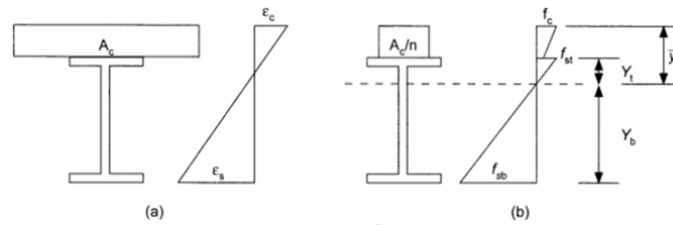
Dimana:

$$n \quad : \text{ rasio modular} = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots (2.13a)$$

E_s : modulus elastis baja (200000 MPa)

E_c : modulus elastis beton = $4700\sqrt{f'_c}$ (MPa)

f'_c : kuat tekan rencana pada usia 28 hari (MPa)



Gambar 2. 14 Diagram Regangan Tegangan Balok
 Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

Setelah ditemukan luas transformasi, perlu dihitung momen inersia penampang, sehingga besarnya tegangan dapat diketahui, besarnya tegangan suatu penampang dapat ditentukan dengan:

$$F_{st} : \frac{M x y_t}{I} \dots\dots\dots (2.13b)$$

$$F_{sb} : \frac{M x y_b}{I} \dots\dots\dots (2.13c)$$

$$F_c : \frac{M x \bar{y}}{n x I} \dots\dots\dots (2.13d)$$

Dimana:

M : momen yang terjadi

I : momen inersia penampang

Yb : jarak titik berat penampang dengan tepi bawah penampang baja

yt : jarak titik berat penampang dengan tepi atas penampang baja

\bar{y} : jarak titik berat penampang dengan tepi atas penampang beton

2.6.1.5 Kekuatan Lentur Nominal

• **Kekuatan Lentur *Positif***

Menurut SNI 1729 – 2020 ditentukan sebagai berikut: Kekuatan lentur nominal desain, $\phi_b \cdot M_n$ dari suatu komponen struktur komposit (untuk momen *positif*) dan kekuatan lentur *positif* yang diizinkan, M_n harus ditentukan untuk keadaan batas leleh sebagai berikut:

a. Apabila $h/t_w \leq 3,76 \sqrt{E/F_y}$ (2.14a)

M_n harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit untuk keadaan batas leleh (momen plastis). $\phi_b = 0.90$

b. Apabila $h/t_w > 3,76 \sqrt{E/F_y}$ (2.14b)

Untuk menghitung momen plastis balok komposit dicari posisi sumbu netral plastis, yang tergantung proporsi C dan T. Dengan nilai resultan gaya tekan dan tarik sebagai berikut:

$$C = 0,85 \cdot f'c \cdot Ac \dots\dots\dots(2.15)$$

$$T = Fy \cdot As \dots\dots\dots(2.16)$$

Terdapat tiga kondisi distribusi tegangan plastis mungkin terjadi, yaitu sebagai berikut

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



Gambar 2. 15 Distribusi Tegangan Plastis Kondisi a
Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

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

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot e} \dots\dots\dots(2.17a)$$

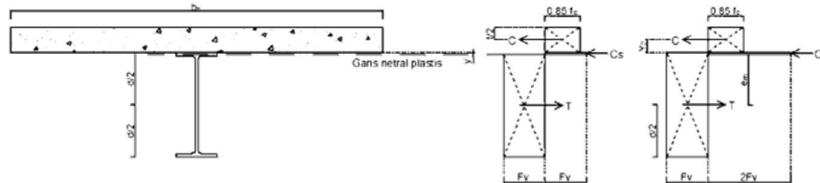
Asumsi benar jika $a < t_c$ jika pakai dek baja, atau $a < t$ pelat beton solid

$$Yc = hr + tc \dots\dots\dots(2.17b)$$

$$Y2 = Yc - 1/2 a \dots\dots\dots(2.17c)$$

$$Mn = Mp = Fy \cdot AS \cdot (Y2 + 1/2 d) \dots\dots\dots(2.17d)$$

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



Gambar 2. 16 Distribusi Tegangan Plastis Kondisi b didalam pelat baja sayap
Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

Kondisi ini terjadi jika luasan pelat beton relatif lebih kecil dibanding kopel tarik profil baja. Oleh sebab itu ketika terjadi momen positif maka profil baja juga masih mengalami desak. Itu terjadi jika $tf > y > 0$ yang dihitung dengan rumusan berikut.

$$T = F_y \cdot A_s \dots\dots\dots (2.18a)$$

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot t_c \dots\dots\dots (2.18b)$$

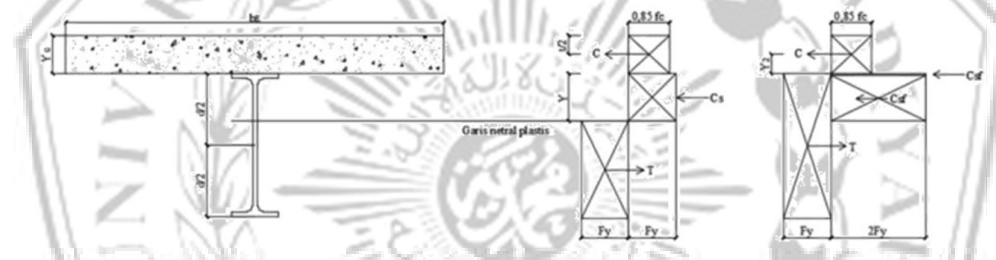
$$Y = \frac{T-C}{b_f \cdot f_y} \leq tf \dots\dots\dots (2.18c)$$

$$C_s = \frac{A_s \cdot F_y - c}{2} \dots\dots\dots (2.18d)$$

$$C_{sm} = 2 F_y \cdot y \dots\dots\dots (2.18e)$$

$$M_n = M_p = C_s (Y_2 + 1/2 d) + C_{sm} (d - y) 1/2 \dots\dots\dots (2.18f)$$

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



Gambar 2. 17 Distribusi Tegangan Plastis Kondisi c

Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

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

$$T = F_y \cdot A_s \dots\dots\dots (2.19a)$$

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot t_c \dots\dots\dots (2.19b)$$

$$C_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2F_y \dots\dots\dots (2.19c)$$

$$Y = \frac{T-C-C}{t_w \cdot f_y} \leq tf \dots\dots\dots (2.19d)$$

$$C_{sw} = 2 F_y \cdot y \cdot t_w \dots\dots\dots (2.19e)$$

$$y_f = 1/2 \cdot (d - t_f) \dots\dots\dots (2.19f)$$

$$y_w = 1/2 \cdot (d + y) - t_f \dots\dots\dots (2.19g)$$

$$M_n = M_p = C (Y_2 + 1/2 d) + C_{sf} \cdot y_f + C_{sw} \cdot y_w \dots\dots\dots (2.19h)$$

- **Kuat Lentur *Negatif***

Menurut pasal I3.2a SNI 1729:2020 Kekuatan lentur *negatif* tersedia harus di tentukan untuk penampang baja sendiri menurut persyaratan Bab F. Alternatif, kekuatan lentur yang tersedia harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit, untuk keadaan batas leleh (momen plastis), dimana $\phi_b = 0,90$ (DFBT) $\Omega_b=1,67$ (DKI) dengan memenuhi batasan sebagai berikut:

- Balok baja adalah penampang kompak dan di breising secara cukup menurut Bab F.
- Steel headed stud* atau angkur kanal baja yang menyambungkan pelat balok baja pada daerah momen negatif.
- Tulangan pelat yang parallel pada balok baja, di lebar efektif pelat, diperhitungkan dengan tepat.

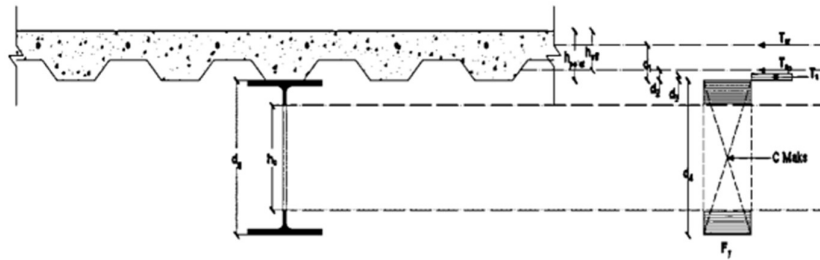
Tulangan yang diletakkan sejajar dengan sumbu longitudinal balok baja dan terletak pada pelat beton yang memiliki lebar efektif (b_E) dapat digunakan sebagai bagian dari penampang komposit efektif. Hal ini dapat digunakan pada daerah momen *positif* maupun *negatif*. Namun pada daerah momen *positif*, tulangan hanya memberikan kontribusi yang sedikit. Hal yang sebaliknya terjadi pada pelat beton, di daerah momen negatif pelat beton berada dalam keadaan tarik, padahal beton tidak memiliki kemampuan yang cukup dalam menahan gaya tarik, sehingga pada daerah momen negatif pelat beton dapat diabaikan.

Jika tulangan yang dipasang pada pelat beton hendak diperhitungkan kontribusinya pada penampang komposit, maka gaya yang timbul pada tulangan harus ditransfer oleh penghubung geser. Kuat nominal yang timbul pada tulangan dapat dihitung sebesar:

$$T_{sr} = A_{sr} \times F_{ysr} \dots\dots\dots (2.20a)$$

Gaya tekan maksimum dari profil baja adalah:

$$C_{maks} = A_s \times F_y \dots\dots\dots (2.20b)$$



Gambar 2. 18 Distribusi Tegangan Akibat Momen Negatif
Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

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

$$T_{sr} + T_s = C_{maks} - T_s \quad \dots\dots\dots (2.20c)$$

$$2T_s = C_{maks} - T_{sr} \quad \dots\dots\dots (2.20d)$$

$$T_s = \frac{C_{maks} - T_{sr}}{2} \quad \dots\dots\dots (2.20e)$$

Gaya pada sayap, $T_f = b_f \cdot t_f \cdot F_y$

Gaya pada badan, $T_w = T_s - T_f$

Jarak sumbu netral dari tepi bawah *flens* adalah:

$$a_w = \frac{T_w}{F_y \cdot t_w} \quad \dots\dots\dots (2.20f)$$

Menentukan jarak gaya yang bekerja dari *centroid*:

$$d1 = Y_c \frac{t_c}{2}$$

$$d2 = \frac{h_r}{2}$$

$$d3 = \frac{a_w}{2}$$

$$d4 = \frac{d_g}{2}$$

$$M_n = T_{sr} \times (d_1 + d_4) + T_{sp} \times (d_2 \times d_4) + T_s (d_4 - d_3) \dots\dots\dots (2.20g)$$

2.6.1.6 Kekuatan geser Nominal

Pada SNI 1729:2020 pasal G2, untuk memperhitungkan kuat geser nominal dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini.

$$\text{Apabila } h/t_w > 2,24 \sqrt{E/F_y} \dots\dots\dots (2.20h)$$

$$V_n = 0,6 F_y \times A_w \times C_{vl} \dots\dots\dots (2.20i)$$

Keterangan:

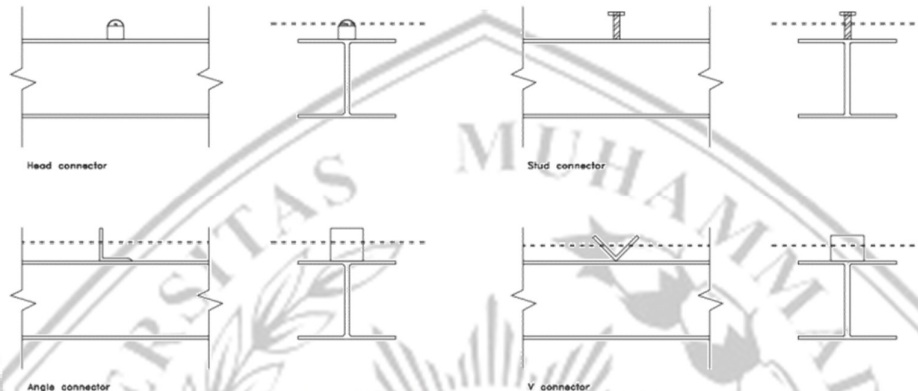
V_n = Kuat geser nominal (N)

ϕ_V = faktor tahanan untuk geser (0,90)

A_w = Luas badan (mm^2)

$C_{vl} = 1,0$

2.6.1.7 Penghubung Geser Angkur Baja Stad Berkepala



Gambar 2. 19 Macam-macam penghubung geser

Sumber: SNI 1729-2020

Pemakaian balok komposit akan menimbulkan gaya geser pada plat beton dan balok baja. Agar penampang komposit bekerja secara kongkrit, untuk mengatasi gaya geser horizontal yang terjadi tersebut maka pada balok komposit perlu dipasang penghubung geser. Penghubung geser yang umumnya dipakai adalah jenis stud dan kanal.

Kekuatan geser nominal satu angkur *steel headed stud* yang ditanamkan pada suatu plat beton *solid* atau pada suatu plat komposit dengan dek harus ditentukan sebagai berikut :

$$Q_n = 0,5 A_{sa} \sqrt{F_c' E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot F_u \dots\dots\dots(2.21a)$$

Keterangan :

A_{sa} : luas penampang dari angkur *steel headed stud* (mm^2)

E_c : modulus elastisitas beton $Wc^{1,5} \sqrt{F_c'}$ Ksi ($0,043Wc^{1,5} \sqrt{F_c'}$)

F_u : kekuatan Tarik minimum yang diisyaratkan dari suatu angkur *steel headed stud* (MPa)

Tabel 2. 21 Nilai R_g dan R_p

Kondisi	R _g	R _p
Tanpa Dek	1,00	0,75
Dek diorientasi paralel terhadap profil baja		
$\frac{W_r}{H_r} \geq 1,5$	1,00	0,75
$\frac{W_r}{H_r} < 1,5$	0,85 ^[a]	0,75
Dek diorientasi tegak lurus terhadap profil baja Jumlah dari angkur <i>steel headed stud</i> yang memiliki rusuk dek sama		
1	1,00	0,60 ^[b]
2	0,85	0,60 ^[b]
3 atau lebih	0,70	0,60 ^[b]

Sumber : SNI 1729-2020

Keterangan :

 h_r = tinggi rusuk nominal, in (mm) W_r = Lebar rata – rata rusuk (mm)^[a] = untuk angkur *steel headed stud* tunggal^[b] = nilai ini dapat ditingkatkan sampai -,75 bila $e_{mid-ht} \geq 2$ in (51 mm)

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

$$Q_n = 0,3 (t_f + 0,5t_w) \cdot l_a \cdot \sqrt{F_c' E_c} \dots\dots\dots (2.21b)$$

Dengan:

 l_a = panjang angkur kanal, in. (mm) t_f = tebal sayap angkur kanal, in. (mm) t_w = tebal badan angkur kanal, in. (mm)

Kekuatan dari angkur kanal harus dikembangkan dengan pengelasan kanal ke sayap balok untuk suatu gaya yang sama dengan Q_n , dengan memperhitungkan eksentrisitas pada konektor. Jumlah angkur baja yang diperlukan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$V' = F_y \times A_s \dots\dots\dots (2.22a)$$

$$N = V Q_n \dots\dots\dots (2.22b)$$

Keterangan:

N = jumlah angkur konektor yang dibutuhkan

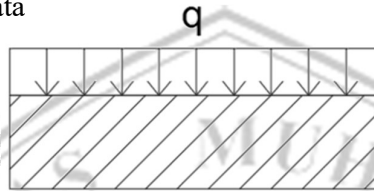
V' = gaya geser horizontal

Q_n = kuat geser nominal satu buah angkur konektor

2.6.1.8 Lendutan

Lendutan ditinjau akibat pengaruh beban mati dan beban hidup, berikut ini adalah perhitungannya :

1 Akibat beban merata



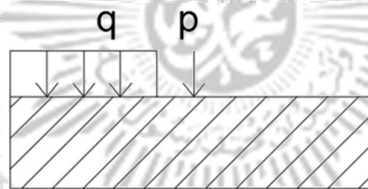
Gambar 2. 20 Balok Statis Tak Tentu Dengan Beban Merata

Lendutan akibat pengaruh beban merata

$$\Delta_{\max} = \frac{(DL)-l^4}{384.EI} \dots\dots\dots (2.23a)$$

$$\Delta x = \frac{(DL)-l^2}{24.EI} (l - x)^2 \dots\dots\dots (2.23b)$$

2 Akibat beban merata dan beban terpusat ditengah



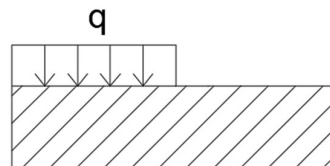
Gambar 2. 21 Balok Statis Tak Tentu Dengan Beban Merata dan Terpusat

Lendutan akibat pengaruh beban merata dan beban terpusat

$$\Delta_{\max} = \frac{Pl^3}{192.EI} \dots\dots\dots (2.23c)$$

$$\Delta x(x < \frac{l}{2}) = \frac{Px^3}{48.EI} (3l - 4x) \dots\dots\dots (2.23d)$$

3 Akibat beban merata diujung balok kantilever

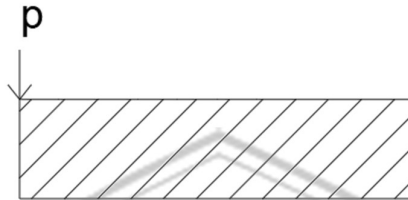


Gambar 2. 22 Balok Statis Tak Tentu Dengan Beban Merata

$$\Delta_{\max} = \frac{wl^4}{8.EI} \dots\dots\dots(2.23e)$$

$$\Delta x = \frac{w}{24.EI} (x^4 - 4l^3x + 3L^3) \dots\dots\dots(2.23f)$$

4 Akibat beban terpusat diujung balok kantilever



Gambar 2. 23 Beban Terpusat di Ujung Balok Kantilever

$$\Delta_{\max} = \frac{Pl^3}{3EI} \dots\dots\dots(2.23g)$$

$$\Delta x = \frac{p}{6EI} (2l^3 - 3l^2x - Tx^3) \dots\dots\dots(2.23h)$$

2.6.2 Perencanaan Batang Tarik

Material baja mempunyai kemampuan sama dalam memikul gaya tarik atau gaya tekan. Mutu bahannya juga relatif tinggi, sehingga dimensi struktur cenderung langsing. Untuk struktur seperti itu, pemakaian material baja hanya efisien untuk batang tarik. Batang tarik banyak dijumpai dalam banyak struktur baja, seperti struktur – struktur jembatan, rangka atap, menara transmisi, ikatan angin dan lain sebagainya. Batang ini dapat terdiri dari profil tunggal ataupun profil – profil tersusun.

2.6.2.1 Batas Kelangsingan

Karena mutu material baja relatif tinggi, dimensi batang tariknya bisa sangat langsing. Secara teoritis, kondisi kelangsingan hanya diperhitungkan untuk elemen tekan, untuk mengantisipasi tekuk. Batang tarik secara teoritis tidak mengalami tekuk, oleh karena itu batang tarik tidak dibatasi kelangsingannya, hanya disarankan $L/r \leq 300$ sesuai SNI 1729-2020. Saran didasarkan pengalaman praktis segi ekonomis, kemudahan pembuatan, dan resiko rusak yang kecil selama konstruksi. Selain itu, elemen yang sangat langsing biasanya cenderung bergoyang atau bergetar, dan itu membuat tidak nyaman bagi penghuninya.

2.6.2.2 Kekuatan Tarik

Kuat tarik rencana $\phi_t P_n$, dengan ϕ_t sebagai faktor ketahanan tarik dan P_n sebagai kuat aksi nominal, adalah nilai terkecil dari dua tinjauan batas keruntuhan yang terjadi pada penampang utuh dan penampang berlubang (tempat sambungan). Kuat tarik penampang utuh terhadap keruntuhan leleh (*yield*):

a. Untuk leleh Tarik pada penampang bruto:

$$P_n = F_y A_g \dots\dots\dots (2.24a)$$

$\phi_t = 0,9$ terhadap keruntuhan leleh

b. Untuk keruntuhan Tarik pada penampang neto:

$$P_n = F_u A_e \dots\dots\dots (2.24b)$$

$\phi_t = 0,75$ terhadap keruntuhan fraktur

dimana:

A_g = luas penampang bruto, mm²

A_e = luas neto efektif, mm²

Kuat tarik penampang berlubang (ditempat sambungan) akan memanfaatkan perilaku *strain-hardening* (peningkatan tegangan) pada kondisi regangan inelastis yang dipicu oleh lonjakan tegangan terkonsentrasi di sekitar lubang.

$$P_n = F_u A_e = F_u A_n U \dots\dots\dots (2.24c)$$

dimana:

$\phi_t = 0,75$ terhadap keruntuhan fraktur

A_n = luas penampang bersih (*netto*)

A_e = luas penampang efektif

U = faktor *shear lag*

Nilai F_y dan F_u tergantung dari mutu material, yaitu kuat leleh dan kuat tarik minimum (kuat batas) dari bahannya. Keruntuhan leleh (*yield*) tingkat daktilitasnya lebih tinggi dari keruntuhan fraktur, oleh sebab itu maka faktor ketahanan tarik (ϕ_t) antara keduanya berbeda. Faktor keamanan untuk fraktur tentunya lebih tinggi.

2.6.3 Perencanaan Batang Tekan

Batang tekan ditujukan untuk komponen struktur yang memikul beban tekan sentris tepat pada titik berat penampang, atau kolom dengan gaya aksial

saja. Namun pada umumnya, terdapat eksentrisitas oleh ketidaklurusan batang, atau oleh ketidaktepatan pembebanan, juga kekangan dari tumpuannya yang menimbulkan momen.

2.6.3.1 Parameter Batang Tekan

Parameter material, F_y dan F_u akan menentukan kuat batang tarik, tetapi pada batang tekan hanya F_y yang penting, F_u tidak pernah tercapai. Selain material, maka batang tekan juga dipengaruhi oleh parameter lain, yaitu konfigurasi bentuk fisik atau geometri.

Parameter geometri terdiri dari luas penampang (A), pengaruh bentuk penampang terhadap kekakuan lentur (I_{min}), panjang batang dan kondisi pertambatan atau tumpuan, yang diwakili oleh panjang efektif (KL). Ketiganya dapat diringkas lagi menjadi satu parameter tunggal, yaitu rasio kelangsingan batang (KL/r_{min}), dimana $r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$ adalah radius girasi pada arah tekuk. Secara visual, tekuk dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. tekuk lokal pada elemen penampang
- b. tekuk global pada batang secara menyeluruh.

2.6.3.2 Kuat Tekan Nominal

Tekuk global ditentukan oleh kelangsingan elemen penampang dan bentuknya. Ada tiga perilaku tekuk, yaitu (1) tekuk lentur; (2) tekuk torsi dan (3) tekuk lentur-torsi. Adapun tekuk global atau lokal tergantung klasifikasi penampang, jika penampangnya tidak-langsing maka tidak terjadi tekuk lokal, dan sebaliknya penampang langsing berisiko tekuk lokal terlebih dahulu. Karena tekuk terjadi pada kondisi elastis, sebelum leleh maka agar efisien perlu dipilih penampang tidak langsing.

1. Tekuk Lentur

Tekuk lentur yang dimaksud adalah fenomena tekuk global pada penampang dengan klasifikasi elemen tidak langsing. Beban kritis yang menyebabkan tekuk tersebut telah dirumuskan oleh Euler. Sampai saat ini rumus tersebut tetap dijadikan dasar menentukan kuat nominal batang tekan (P_n). Agar berkesesuaian dengan cara perencanaan batang tarik, maka luas penampang utuh

atau *gross* (A_g) dijadikan konstanta tetap, adapun variabelnya adalah tegangan kritis (F_{cr}), yang dituliskan dalam format berikut.

$$P_n = F_{cr} A_g \dots\dots\dots(2.25a)$$

Tegangan kritis, F_{cr} dihitung berdasarkan syarat berikut, jika:

$$\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25 \text{ tekuk } \textit{inelastis}, \text{ maka:}$$

$$F_{cr} = (0,658 \frac{F_y}{F_e}) \cdot F_y \dots\dots\dots(2.25b)$$

$$\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ atau } \frac{F_y}{F_e} > 2,25 \text{ tekuk } \textit{elastis}, \text{ maka:}$$

$$F_{cr} = 0,877 \cdot F_e \dots\dots\dots(2.25c)$$

dengan :

P_n = Kuat tekan nominal pada kondisi tekuk lentur (N)

ϕ_c = Faktor reduksi kuat tekan (0,90)

A_g = luas penampang melintang bruto komponen struktur, in.2 (mm^2)

E = modulus elastisitas baja = 29.000 ksi (200.000 MPa)

F_e = tegangan tekuk elastis (MPa)

dimana F_e = tegangan tekuk Euler (elastis), yaitu:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{L_c}{r})^2} \dots\dots\dots(2.25d)$$

Dimana,

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi untuk tipe baja yang digunakan, ksi (MPa)

r = radius girasi, in. (mm)

2. Tekuk Torsi dan Tekuk Lentur Torsi

Fenomena tekuk, selain lentur ada lagi yaitu puntir (tekuk torsi), atau gabungan keduanya yaitu tekuk lentur-torsi. Biasa terjadi pada penampang dengan kekakuan torsi yang relatif kecil, atau pusat geser dan pusat beratnya tidak berhimpit. Kapasitas tekan nominal penampang kolom tidak-langsing terhadap tekuk torsi dan lentur-torsi adalah sebagai berikut.

$$P_n = F_{cr} A_g \dots\dots\dots(2.26a)$$

Tegangan Kritis, F_{cr} dihitung berdasarkan syarat berikut, jika:

Penampang siku ganda atau *tee*

$$F_e \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey}F_{ez})^2}} \right] \dots\dots\dots(2.26b)$$

Untuk penampang yang lain, F_{cr} tetap dengan rumus tekuk lentur, tetapi tegangan tekuk elastis F_e dihitung dengan memasukkan pengaruh kekakuan torsi batangnya sebagai berikut:

a. Profil dengan sumbu simetri tunggal, maka:

$$F_e \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey}F_{ez})^2}} \right] \dots\dots\dots(2.26c)$$

b. Profil dengan sumbu simetri tunggal, maka:

$$F_e \left(\frac{\pi^2 ECW}{(K_2 L)^2} + GJ \right) + \frac{1}{I_x} \dots\dots\dots(2.26d)$$

Dimana,

G = Modulus elastisitas geser baja = 11.200 ksi (77.200 MPa)

H = konstanta lentur

J = konstanta torsi, in.4 (mm^4)

I_x, I_y = momen inersia terhadap sumbu utama x dan y, in.4 (mm^4)

2.6.4 Panjang Efektif Kolom

Panjang efektif kolom atau KL adalah cara sederhana tetapi efektif dalam memprediksi kekuatan kolom, yaitu dengan mencari korelasi bentuk tekuk yang berkesesuaian dengan rumus Euler ($P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$).

Panjang efektif (L_c) adalah nilai kekakuan sebuah batang tekan dalam perencanaan struktur. Panjang efektif digunakan untuk menghitung kelangsingan sebuah struktur. Dalam merencanakan panjang efektif dapat diperoleh berdasarkan pedoman SNI 1729:2020 pasal E2 yaitu :

$$L_c = K \times L \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

L_c = Panjang efektif batang tekan (mm)

L = Panjang batang tekan (mm)

K = Faktor panjang efektif (lihat Gambar 2.5)








Nilai kelangsingan ($\frac{L_c}{r}$) dibatasi yaitu tidak lebih dari 200. Hal ini sesuai dengan pedoman pada SNI 1729-2020 pasal E2. Adapun persamaan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{Lc}{r} \leq 200 \dots\dots\dots(2.27a)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots(2.27b)$$

Kondisi ideal tumpuan tidak mudah dievaluasi di lapangan, untuk itu rekomendasinya nilai K diperbesar. Meskipun akurat, tetapi implementasi tidak mudah, diperlukan proses penyederhanaan dari struktur real yang kompleks terlebih dahulu. Dalam hal ini cukup diklasifikasikan menjadi dua kategori dengan nilai K yang berbeda, yaitu:

- a. Rangka tidak bergoyang: $0,5 \leq K \leq 1,0$
- b. Rangka bergoyang: $1,0 \leq K \leq \infty$

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Bentuk tekuk kolom diperlihatkan sebagai garis putus-putus						
Nilai K teoritis	0,50	0,70	1,00	1,00	2,00	2,00
Rekomendasi nilai K untuk desain jika kondisi ideal hanya berupa pendekatan	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,00
Notasi kondisi ujung	 <ul style="list-style-type: none"> Rotasi dan translasi tertahan (jepit) Rotasi bebas translasi tertahan (sendi) Rotasi tertahan translasi bebas Rotasi dan translasi bebas 					

Gambar 2. 24 Nilai K untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal
Sumber: SNI 1729-2020

2.6.5 Perencanaan (Balok-Kolom)

Batang baja terhadap gaya aksial saja (tarik atau tekan) hanya cocok untuk perencanaan struktur rangka batang (*truss*) dibebani pada titik buhul, dan berat sendirinya relatif kecil dibanding beban yang dipikul. Sedangkan batang baja dengan momen lentur hanya cocok untuk struktur balok, yang besar momen lenturnya lebih dominan dibanding gaya geser yang terjadi. Struktur yang elemen batangnya menerima kombinasi gaya aksial dan momen sekaligus harus direncanakan dengan perhitungan batang portal (balok-kolom). Pada dasarnya perencanaan batang portal ditinjau terhadap kuat tekan dan juga kuat lenturnya. Dari tinjauan kuat tekan akibat gaya aksial dan kuat lentur akibat gaya lentur

nantinya dihubungkan dengan persamaan interaksi antara kuat tekan dan kuat lentur sebagai berikut:

Apabila;

$$\frac{Pr}{Pc} \geq 0,2$$

maka :

$$\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2.28a)$$

Apabila; $\frac{Pr}{Pc} < 0,2$

Maka;

$$\frac{Pr}{2P} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2.28b)$$

Berdasarkan SNI 1729-2020

P_r = kekuatan aksial perlu, ditentukan sesuai dengan Bab C, dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI, kips (N)

P_c = kekuatan aksial tersedia, ditentukan sesuai dengan Bab E, kips (N)

M_r = kekuatan lentur perlu, ditentukan sesuai dengan Bab C, menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI, kip-in. (N-mm)

M_c = kekuatan lentur tersedia, ditentukan sesuai dengan Bab F, kip-in. (N-mm)

x = indeks sehubungan dengan lentur sumbu mayor

y = indeks sehubungan dengan lentur sumbu minor

2.6.6 Sistem Rangka Terbreis Kosentris

Untuk *brace*, seperempat bagian tengah dari panjang *brace* dan zona yang berdekatan dengan setiap sambungan sama dengan tinggi komponen *brace* (d) pada bidang tekuk.

Rasio kelangsingan diagonal breis $L_c / r \leq 200$

Kekuatan perlu kolom, balok, strat dan sambungan dalam RBK harus ditentukan menggunakan efek beban seismik yang dibatasi kapasitas. Efek beban seismik horizontal yang dibatasi kapasitas. Breis-breis harus ditentukan dalam

kondisi tekan atau tarik dengan mengabaikan efek beban-beban gravitasi. Analisis harus memperhitungkan kedua arah pembebanan rangka.

a. Kekuatan tarik breis terekspektasi

$$R_y F_y A_g, \dots\dots\dots(2.29a)$$

dengan

$$A_g = \text{luas penampang bruto, in. (mm}^2 \text{)}$$

Kekuatan breis terekspektasi dalam kondisi tekan boleh diambil sebagai nilai terkecil antara

$$R_y F_y A_g \text{ dan } (1/0,877) F_{cr} A_g \dots\dots\dots(2.29b)$$

2.6.6.1 Sambungan Balok ke Kolom

Bila *breis* atau pelat buhul menyambung ke semua komponen struktur pada sambungan balok ke kolom, sambungan harus sesuai dengan salah satu dari yang berikut:

Momen yang berhubungan dengan kekuatan lentur balok terekspektasi, $R_y M_p$, dikalikan dengan 1,1 dan dibagi dengan ϕ

Momen yang berhubungan dengan jumlah dari kekuatan lentur kolom terekspektasi,

$$\sum (R_y F_y Z) \dots\dots\dots(2.29c)$$

2.6.6.2 Sambungan Breis

Kekuatan perlu sambungan breis dalam kondisi tarik, tekan dan lentur (termasuk sambungan balok ke kolom jika merupakan bagian dari sistem rangka terbreis) harus ditentukan seperti yang disyaratkan berikut ini. Kekuatan perlu ini boleh diperhitungkan secara independen tanpa interaksi.

1. Kekuatan Tarik perlu

Kekuatan leleh terekspektasi breis dalam kondisi tarik, ditentukan sebagai :

$$R_y F_y A_g \dots\dots\dots(2.29d)$$

2. Kekuatan Tekan Perlu

Sambungan breis harus didesain untuk kekuatan tekan perlu, berdasarkan kondisi batas tekuk, sebesar kekuatan breis terekspektasi dalam kondisi tekan dibagi dengan ϕ .

Sambungan-sambungan breis harus didesain untuk menahan gaya atau rotasi lentur yang muncul akibat tekuk breis. Sambungan-sambungan yang memenuhi salah satu ketentuan berikut dianggap memenuhi persyaratan tersebut:

a. Kekuatan Lentur Perlu

Sambungan-sambungan breis yang dirancang untuk menahan gaya lentur yang muncul akibat tekuk breis harus memiliki kekuatan perlu sebesar kekuatan lentur breis terekspektasi dikalikan dengan 1,1 dan dibagi dengan α_s . Kekuatan lentur breis terekspektasi harus ditentukan sebagai berikut:

$$R_y M_p \text{ (breis terhadap sumbu tekuk kritis.)} \dots\dots\dots(2.29e)$$

b. Kapasitas Rotasi

Sambungan-sambungan breis yang didesain untuk menahan rotasi yang muncul akibat tekuk breis harus memiliki kapasitas rotasi yang cukup untuk mengakomodasi rotasi yang diperlukan pada drift antar tingkat desain pada tingkat tersebut. Rotasi inelastis sambungan diperbolehkan.

2.6.6.3 Sambungan Breis Balok-kolom

Breis atau pelat buhul menyambung ke semua komponen struktur pada sambungan balok ke kolom, sambungan harus sesuai dengan salah satu dari yang berikut:

(a) Rakitan sambungan harus sambungan sederhana yang memenuhi dengan rotasi yang diperlukan ditetapkan sebesar 0,025 rad atau,

(b) $R_y M_p$, dikalikan dengan 1,1 dan dibagi dengan α_s ,
dengan

M_p = momen lentur plastis, kip-in. (N-mm)

Momen yang berhubungan dengan jumlah dari kekuatan lentur kolom terekspektasi,

$$\sum (R_y F_y Z) \cdot 1,1 / \alpha_s \dots\dots\dots(2.29f)$$

dengan :

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi, ksi (MPa)

Z = modulus penampang plastis terhadap sumbu lentur, in.3 (mm³)

α_s = faktor penyesuaian level beban DFBT-DKI = 1,0 untuk DFBT dan 1,5 untuk DKI.

2.6.6.4 Pelat buhul

Untuk tekuk *breis* keluar bidang, las-las yang menyambungkan pelat buhul ke sayap balok atau sayap kolom secara langsung harus memiliki kekuatan geser tersedia sebesar

$0,6R_yF_y tp/as$ dikalikan dengan panjang *joint*.(2.29g)

dengan :

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi pelat buhul, ksi. (MPa)

R_y = rasio tegangan leleh terekspektasi terhadap tegangan leleh minimum terspesifikasi pelat buhul, R_y

tp = ketebalan pelat buhul, in. (mm)

2.6.7 Sambungan

Sambungan dapat dinyatakan sebagai komponen fisik yang secara mekanis mengikat elemen struktur dan terkonsentrasi pada lokasi pengikatan terjadi. Hal ini penting dalam meneruskan gaya momen dari elemen struktur ke elemen pendukung. Sendi didefinisikan sebagai penghubung dan zona interaksi antara anggota terhubung dan panel zona dari *web* kolom. Sambungan untuk struktur baja *hot – rolled* dibagi menjadi sambungan baut dan sambungan las. Sementara untuk baja *cold – formed*, ada sembilan jenis sendi yang umum digunakan, yaitu baut, *self – tapping screws*, *pin*, pengelasan ditempat, *puddle welding*, *clinchng*, *self – piercing rivets*, dan paku. Terdapat tiga jenis sambungan, yaitu sambungan kaku, sambungan semi kaku, dan sambungan sendi.

1. Sambungan kaku/*rigid connection*

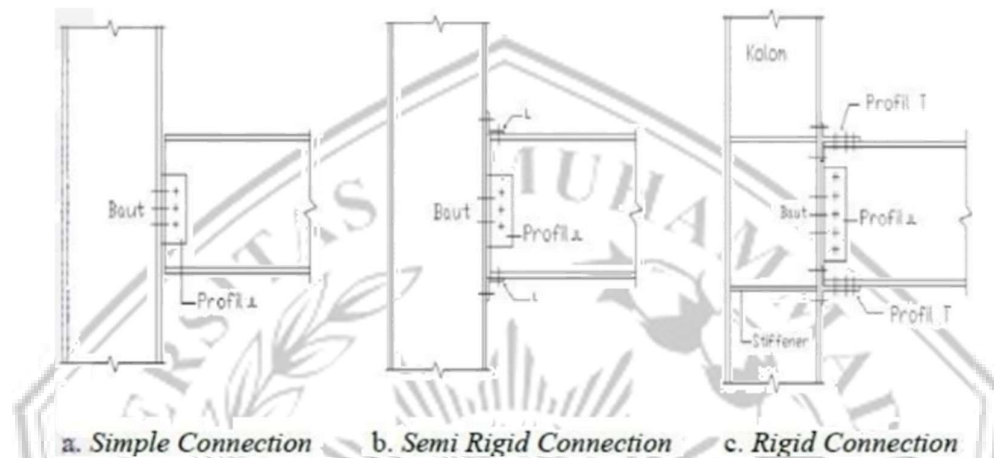
Sambungan yang tidak memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan sudut – sudut diantara komponen – komponen struktur yang akan disambung.

2. Sambungan semi kaku/*semi rigid connection*

Sambungan yang tidak memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan sudut – sudut diantara komponen – komponen struktur yang disambung, namun harus dianggap memiliki kapasitas yang cukup untuk memberikan kekangan yang dapat diukur terhadap perubahan sudut – sudut tersebut.

3. Sambungan sendi/*simple connection*

Sambungan yang pada kedua ujung komponen struktur dianggap bebas momen. Sambungan sendi harus dapat berubah bentuk agar dapat memberikan rotasi yang diperlukan pada sambungan. Sambungan tidak boleh mengakibatkan momen lentur terhadap komponen struktur yang disambung.



Gambar 2. 25 Sambungan Pada Baja
Sumber: SNI 7972-2020

2.6.7.1 Sambungan Baut

Terdapat 3 macam sambungan pada konstruksi baja, yaitu: sambungan baut, sambungan las, dan sambungan paku keeling (*rivet*). Namun yang sering digunakan di lapangan ialah 2 sambungan awal. Dua konsep utama telah muncul dalam menyediakan respon daktilitas yang tinggi dan kinerja yang andal yakni, memperkuat sambungan dan atau memperlemah framing balok ke kolom, dengan tujuan menghindari kerusakan kolom Sambungan sangat penting diperhatikan karena perannya sebagai titik tumpu dari beban yang diterima Gedung

Penggunaan baut pada struktur baja dapat mempercepat proses pelaksanaan dan tidak memerlukan kemampuan tinggi bagi pekerja disbanding dalam sambungan *rivet* dan las. Hal ini menyebabkan struktur baja dengan sambungan baut lebih ekonomis. (Sulistiyo, 2019)

1. Dasar Perencanaan Baut

Salah satu yang membedakan struktur baja dengan yang lainnya terletak pada perencanaan sambungannya. Salah satu sambungan pada struktur baja yang digunakan adalah sambungan baut. Meskipun sambungan baut saat ini sudah

banyak banyak digunakan. Tetapi harus tetap diperhatikan kelebihan dan kegagalan yang dimiliki sambungan baut. Adapun kelebihan yang dimiliki sambungan baut antara lain (Yudha Lesmana, 2021) :

- Pemasangannya lebih mudah, cepat dan tidak diperlukan keahlian khusus untuk pemasangannya
- Jika dibandingkan dengan sambungan las, untuk upah pekerja harganya lebih ekonomis
- Harga peralatan untuk pemasangan sambungan baut relatif lebih murah

Dengan berpedoman pada SNI 1729:2020 tabel J3.2, kuat nominal pengencang baut pada bagian ulir adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 22 Tipe-tipe Baut

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_{nt} (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 dibidang geser)	620	469
Baut A490 (ulir berada di bidang geser)	780	469

Sumber : SNI 1729-2020

2. Tahanan Nominal Baut

Berdasarkan SNI 1729-2020 untuk baut yang memikul beban terfaktor R_u , harus memenuhi persyaratan;

$$R_u \leq \phi R_n \quad \dots\dots\dots (2.30a)$$

Dengan R_n adalah tahanan nominal baut dan ϕ adalah faktor reduksi sebesar 0,75. Besarnya R_n berbeda untuk masing – masing jenis baut.

3. Kekuatan Tarik dan Geser Baut

Kekuatan tarik atau geser desain, ϕR_n , dan kekuatan tarik atau geser izin, R_n / Ω , pada baut yang dikencangkan pas atau baut kekuatan tinggi pratarik atau bagian berulir harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas keruntuhan tarik dan keruntuhan geser sebagai berikut:

$$R_n = F_n \cdot A_b \quad \dots\dots\dots (2.30b)$$

Dengan

Ab: luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir (mm²)

Fn: tegangan tarik nominal, Fnt atau tegangan geser, Fnw ksi (Mpa)

4. Kuat Geser Blok

Analisa geser blok (*block shear*) dilakukan agar pada bagian lubang baut tidak mengalami geser sehingga terjadi kegagalan. *Block shear* sangat dipengaruhi oleh posisi dan jarak antar baut. Jika dibandingkan dengan mekanisme tumpu yang jumlah bautnya relatif sedikit, maka kebalikannya untuk sambungan ini yaitu jumlah baut yang dipakai relatif banyak. Dengan penempatan baut secara berkelompok, maka saat terjadi keruntuhan blok dapat berakibat pada satu kelompok. Berikut adalah persamaan untuk kekuatan desain pada saat keadaan batas keruntuhan *block shear* berdasarkan SNI 1729:2020 :

$$R_n = (0,60 F_u \times A_{nt}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt}) \leq (0,60 \times F_v \times A_{gv}) + (U_{bs} \times F_u \times A_{nt})$$

Keterangan :

$U_{bs} = 1,0$ jika tegangan tarik tidak seragam

= 0,5 jika tegangan yang mengalami geser

A = Luasan neton yang mengalami geser

$\phi = 0,75$

5. Mekanisme Slip Kritis Baut

Merupakan sambungan yang direncanakan tidak akan mengalami slip. Sambungan jenis ini direncanakan terhadap sebuah struktur yang akan menerima beban dinamik.

Tahanan slip-kritis nominal (R_n) untuk baut mutu tinggi adalah sebagai berikut:

$$R_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \dots\dots\dots(2.31a)$$

keterangan:

μ = koefisien *slip* rata-rata, tergantung kondisi permukaan. Pekerjaan persiapan mutu kelas-A adalah $\mu=0,3$ dan untuk mutu kelas-B (lebih ketat) adalah $\mu =0,5$

$D_u = 1,13$, adalah faktor pengali yang mempresentasikan gaya prategang baut rata-rata terpasang dengan gaya tarik baut prategang minimum

h_f = faktor terkait adanya pelat pengisi (*filler*), jika tidak ada *filler* atau hanya 1 *filler* maka $h_f = 1$, jika ada 2 *filler* diantara pelat sambung maka $h_f = 0,85$

T_b = gaya tarik baut prategang minimum

n_s = jumlah permukaan yang menimbulkan bidang kontak

Kuat batas slip-kritis, $R_u = \phi R_n$, dimana nilai ϕ tergantung bentuk dan ukuran lubang bautnya. Jika lubang standar atau lubang slot pendek yang dipasang tegak lurus arah beban, $\phi = 1,0$. Untuk lubang *oversize* dan slot pendek tetapi dipasang sejajar arah beban maka $\phi = 0,85$. Jika lubangya adalah slot-panjang maka $\phi = 0,70$.

Tabel 2. 23 Pratarik Baut Minimum (kN)

Ukuran baut, mm	Kelompok A (Baut A325)	Kelompok B (Baut A490)
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334

Sumber: SNI 1729:2020

6. Kuat Tumpu Baut

Kuat tumpu pelat sambungan memperhitungkan pengaruh *deformasi*. Jika besarnya itu akan mempengaruhi fungsi struktur sehingga kekuatannya perlu dibatasi maka dapat dipakai rumusan berikut dengan mengambil nilai yang terkecil. $R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$ (2.31b)

Selanjutnya jika terjadi *deformasi* pada sambungan dianggap tidak mempengaruhi fungsi maka kuat tumpu dapat ditingkatkan yaitu nilai terkecil persamaan berikut:

$$R_n = 1,5 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$
(2.31c)

dimana:

l_c = jarak bersih (mm) searah gaya, dihitung dari tepi lubang ke tepi pelat terluar (untuk baut pinggir) atau jarak bersih antar tepi lubang (untuk baut dalam)

F_u = kuat tarik minimum baja pelat yang ditinjau (MPa)

Untuk kuat tumpu dengan lubang baut tipe slot panjang yang arah slotnya tegak lurus arah gaya, maka kekuatannya berkurang dan dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_n = 1,0 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,0 \cdot d \cdot t \cdot F_u \dots\dots\dots(2.31d)$$

7. Perhitungan Jarak Antar Baut

Dalam pemasangan baut harus diperhatikan jarak antara baut satu dengan yang lainnya. Hal ini agar baut dapat memikul beban sesuai dengan kekuatannya dan mempermudah saat pemasangan. Pedoman untuk menentukan jarak antar baut menggunakan SNI 1729:2020. Adapun penjelasan tersebut adalah:

- Spasi minimum

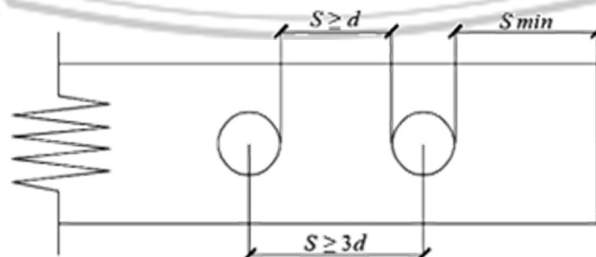
Dengan berpedoman pada SNI 1729:2020 pasal J3.3, jarak as ke as antar lubang baut tidak boleh kurang dari $2 \frac{2}{3}$ kali diameter nominal (d) dan jarak bersih antar lubang baut tidak boleh kurang dari d . Pada saat dilapangan, jarak $2,23 /$ lebih sering dibulatkan mendai 3. Sehingga untuk jarak as ke as dapat digunakan $S \geq 3d$.

- Jarak tepi minimum

Jarak pusat lubang baut ke tepi sambungan tidak bisa kurang dari nilai yang sudah ditetapkan pada SNI 1729:2020 tabel J3.3 dan J3.3M. Hal ini agar posisi baut tidak terlalu dekat dengan tepi yang bisa menyebabkan sobek pada profil baja.

- Spasi maksimum

Berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J3.5, jarak maksimum dari pusat lubang baut ke tepi yang terdekat pada bagian yang tersambung harus 12 kali ketebalan dari bagian yang disambung, namun tidak boleh lebih dari 150 mm



Gambar 2. 26 Jarak Antar Baut

Sumber: SNI 1729-2020

2.6.7.2 Sambungan Las

Suatu proses penyambungan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan dipanaskan hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi

1. Jenis Sambungan Las

Las tumpul, las ini digunakan untuk menyambung batang – batang sebidang, karena las ini harus menyalurkan secara penuh beban yang bekerja, maka las ini haruslah memiliki kekuatan yang sama dengan bidang yang disambung. Las sudut, tipe las ini paling banyak ditemui dibandingkan jenis las yang lain, 80% sambungan las menggunakan las sudut karena tidak memerlukan presisi dalam pengerjaannya. Las baji dan pasak, jenis las ini biasanya digunakan bersama – sama dengan las sudut, manfaat utamanya adalah menyambungkan gata geser pada sambungan lewatan bila ukuran panjang las sudut.

2. Tahanan Nominal

Persyaratan keamanan suatu struktur dalam hal ini adalah terpenuhinya persamaan: $\phi R_{nw} \geq R_u$ (2.32)

Kuat rencana per satuan panjang las sudut, ditentukan sebagai berikut :

$$\phi R_{nw} = 0,75 \cdot t_e (0,6 \cdot f_{uw}) \text{ (las)}$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 \cdot t_e (0,6 \cdot f_u) \text{ (bahan dasar)}$$

Dimana :

ϕ = faktor ketahanan

R_{nw} = tahanan nominal per satuan panjang las

R_u = beban terfaktor per satuan panjang las

2.6.7.3 Sambungan Pada Bracing

Dalam perencanaan sambungan bracing gaya horizontal yang diperhitungkan hanya gaya tarik saja, hal ini dikarenakan sambungan bracing dianggap mampu menahan gaya tekan yang terjadi. Gaya tarik yang terjadi kemudian di distribusikan ke sayap dan badan bracing.

Kuat tumpu sayap brace dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi R_b = \phi f_c \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_f \cdot f_u \geq \phi R_n \text{(2.33a)}$$

Dimana :

ϕR_n = adalah geser baut (kips), db adalah diameter baut (in),

T = adalah tebal yang paling kritis menahan beban (in),

Fu = adalah tegangan Tarik baja struktur (kips) $\phi = 0,75$

Untuk menjamin kekuatan pelat sambung, maka pelat sambung harus dikontrol menurut persamaan :

Kondisi leleh

$$R_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_y \dots\dots\dots(2.33b)$$

Kondisi fraktur

$$R_n = 0,75 \cdot f_u \cdot A_e \dots\dots\dots(2.33c)$$

Kedua nilai (ϕR_n tersebut harus lebih besar dari P_{uf})

1. Pelat Sambung (*gusset plate*)

Kuat tumpu rencana tiap lubang baut dihitung dengan Pengecekan geser blok akibat transfer gaya dari badan dan gaya total:

Apabila, $F_u \cdot A_{nt} > 0,6 \cdot F_u \cdot A_{ns}$ maka,

$$\phi R_n = \phi(F_u \cdot A_{nt} + 0,6 \cdot F_y \cdot A_{gs}) \dots\dots\dots(2.33d)$$

Apabila, $0,6 \cdot F_u \cdot A_{ns} > F_u \cdot A_{nt}$ maka,

$$\phi R_n = \phi(0,6 \cdot F_u \cdot A_{nt} + f_y \cdot A_{gt}) \dots\dots\dots(2.33e)$$

Kontrol kuat tarik leleh pada daerah pertemuan *brace* dengan pelat sambung dapat dicari menurut persamaan :

$$\phi R_n = \phi F_y \cdot A_w \dots\dots\dots(2.33f)$$

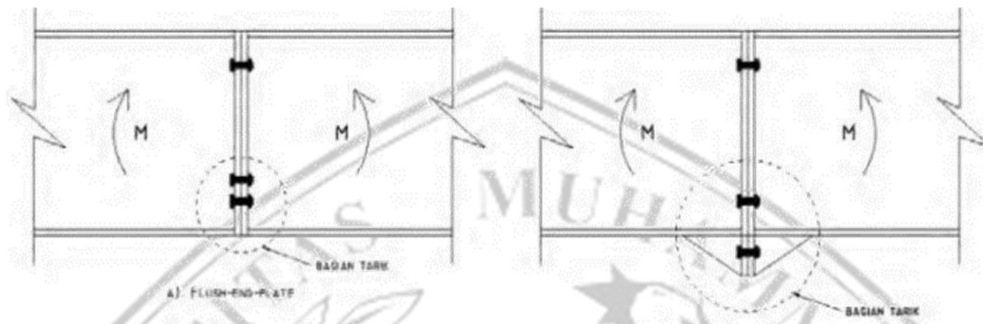
Kontrol kuat desain baut terhadap geser dan tarik dengan persamaan

$$\phi R_n = \phi \cdot 2,4 \cdot d_t \cdot F_u > \phi R_n \dots\dots\dots(2.33g)$$

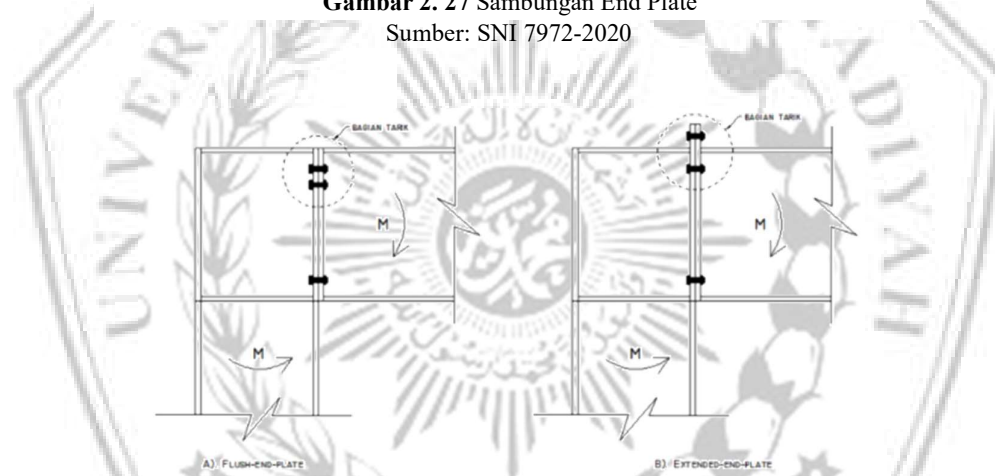
2.6.7.4 Sambungan *End-Plate*

Suatu Struktur baja tidak terlepas dari elemen-elemen seperti balok dan kolom yang harus disambung. Sambungan merupakan bagian terlemah dari struktur baja. Kegagalan struktur baja dapat terjadi pada sambungan ataupun komponen penyambung. Sambungan baut tipe tarik memiliki jumlah baut yang

relative sedikit, dan ada tambahan pelat khusus di las pada ujungnya sehingga sering disebut sebagai sambungan *end-plate*. Jika terpasang komponen sambungan saling menempel rapat dengan lawan sambungannya, yang bisa berupa *end-plate* juga, atau pelat sayap profil kolom. Aplikasi sambungan *end-plate* dapat dipasang untuk balok-balok atau portal kolom-balok (Hayati, 2017).



Gambar 2. 27 Sambungan End Plate
Sumber: SNI 7972-2020



Gambar 2. 28 Sambungan End Plate
Sumber: SNI 7972-2020

2.6.7.5 Sambungan Balok-Kolom

1. Bolted Untiffened End Plate (BUEP) Connection

BUEP adalah sambungan yang harus didesain sedemikian rupa sehingga saat terjadi leleh pada saat kombinasi balok lentur dengan *panel zone* atau leleh pada balok lentur saja. Pelat ujung, baut dan las harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak terjadi leleh pada elemen-elemen tersebut. Desain harus dilakukan dengan menggunakan langkah-langkah di bawah ini :

$$M_f < 2 T_{ub} (d_0 + d_1) \dots \dots \dots (2.34a)$$

$$T_{ub} = A_b \times F_{nt} \dots \dots \dots (2.34b)$$

Keterangan :

M_f = Momen rencana (kNm)

T_{ub} = Gaya tarik yang terjadi (N)

d_0 = Jarak baut paling atas dengan sayap profil bagian bawah (mm)

d_1 = Jarak baut sayap bagian atas dengan sayap profil bagian bawah (mm)

A_b = Luat baut (mm^2)

F_{nt} = Kuat tarik nominal (Mpa)

Untuk mencegah kegagalan geser maka diperlukan ukuran baut yang sesuai dengan memastikan nilai A_b harus memenuhi :

$$A_b \geq \frac{\frac{2M_f}{L-dc} + Vg}{3F_v} \dots\dots\dots (2.34c)$$

Keterangan :

dc = Lebar badan profil (mm)

Vg = Gaya geser nominal (kN)

F_v = Kuat geser nominal (MPa)

Menentukan tebal pelat ujung minimum berdasarkan lentur dengan persamaan :

$$s = \sqrt{b_p \times g} \dots\dots\dots (2.34d)$$

$$t_p = \sqrt{\frac{M_f}{0,8 F_{yp} \left\{ d_b - P_i \left[\frac{b_p}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right] + \frac{b_p}{2} \left(\frac{d_b}{p_f} + \frac{1}{2} \right) \right\}} \dots\dots\dots (2.34e)$$

Keterangan :

B_p = Lebar pelat sambung (mm)

F_{yp} = Mutu pelat yang digunakan (Mpa)

d_b = Tinggi badan profil (mm)

P_i = Jarak bagian sayap atas profil dengan baut di bawahnya (mm)

P_f = jarak bagian sayap atas profil dengan baut di atasnya (mm)

Menentukan tebal pelat ujung minimum berdasarkan geser melalui persamaan :

$$T_p = \frac{M_f}{1,1 F_{yp} \times b_p (d_b - t)} \dots\dots\dots (2.34f)$$

Menentukan kebutuhan pengaku pada panel zone. Pelat pengaku tidak diperlukan bila memenuhi syarat berikut ini :

$$T_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \dots\dots\dots (2.34f)$$

Keterangan :

b_{bf} = Ukuran sayap profil (mm)

t_{bf} = Ukuran tebal profil (mm)

F_{yb} = Mutu pelat yang digunakan (Mpa)

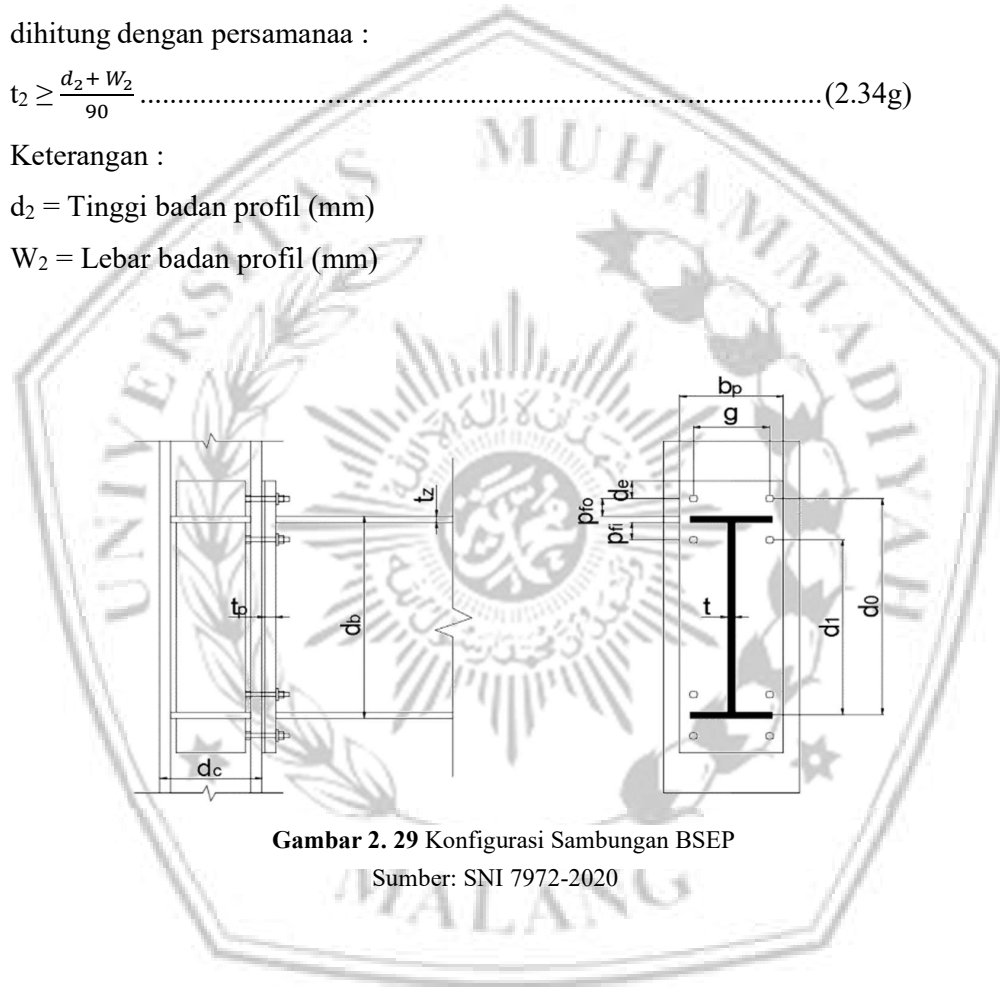
Tetapi jika persamaan diatas tidak terpenuhi, maka tebal pelat pengaku dapat dihitung dengan persamaan :

$$t_2 \geq \frac{d_2 + W_2}{90} \dots\dots\dots (2.34g)$$

Keterangan :

d_2 = Tinggi badan profil (mm)

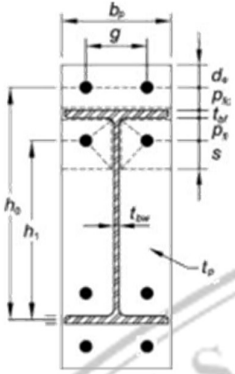
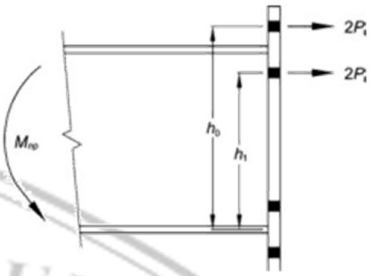
W_2 = Lebar badan profil (mm)



Gambar 2. 29 Konfigurasi Sambungan BSEP

Sumber: SNI 7972-2020

Tabel 2. 24 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang Tanpa Pengaku Dengan Empat Baut

Geometri Pelat-Ujung dan Pola Garis Leleh	Model Gaya Baut
	

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{fo}} - \frac{1}{2} \right) + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s)] \right] \dots\dots\dots(2.34h)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p \times g} \text{ catatan : Jika } p_{fi} > s, \text{ gunakan } p_{fi} = s \dots\dots\dots(2.34i)$$

2. Stiffened End Plate Connection

Sambungan ini harus didesain sedemikian rupa sehingga saat terjadi leleh pada saat kombinasi balok lentur dengan *panel zone* atau leleh pada balok lentur saja.

Desain harus dilakukan dengan menggunakan langkah-langkah di bawah ini :

$$M_f = M_{pr} + V_u \times S_h \dots\dots\dots(2.35a)$$

$$M_{pr} = C_{pr} \times Z_x \times R_y \times F_y$$

$$C_{pr} = \frac{f_y + f_u}{2 \times f_y} < 1,2 \dots\dots\dots(2.35b)$$

$$V_u = 2 \times \frac{M_{pr}}{L_h} \pm v \text{ gravitasi} \dots\dots\dots(2.35c)$$

a. Desain Bagian Balok

Panjang Pelat Pengaku pelat ujung

$$L_{st} = \frac{Hst}{\tan 30} \dots\dots\dots(2.35d)$$

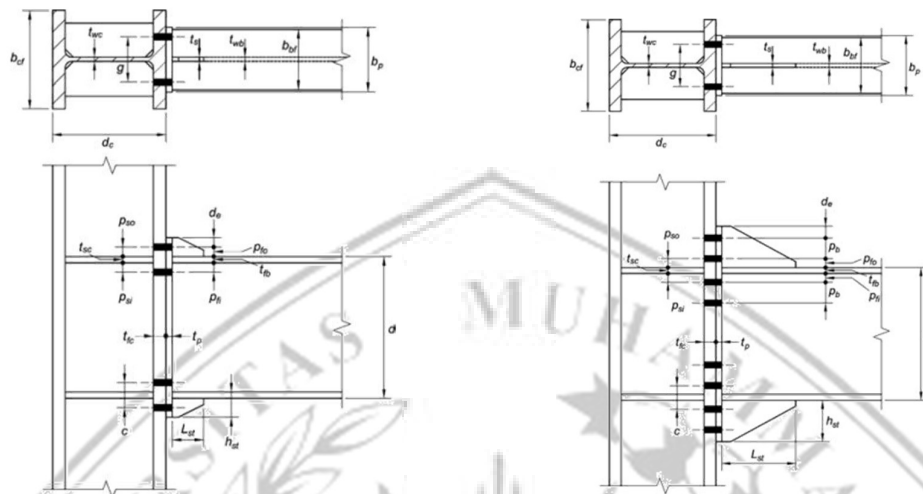
$$S_h = t_p + L_{st}$$

Desain ketebalan pengaku pelat ujung :

$$T_s > t_{bw} \left(\frac{f_y b}{f_{ys}} \right) \dots\dots\dots(2.35e)$$

Pemeriksaan Tekuk pada pengaku pelat ujung :

$$\frac{h_{st}}{t_s} < 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_{ys}}} \quad (2.35f)$$



Gambar 2. 30 Stiffened End Plate Connection 4Es dan 8 Es

Sumber: SNI 7972-2020

Tabel 2. 25 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang Tanpa Pengaku Dengan Empat Baut

Geometri Pelat – Ujung dan Pola Garis Leleh		Model Gaya Baut
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	Kasus 2 ($d_e > s$)	

Untuk kasus 1 ($d_e \leq s$),

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{fo}} + \frac{1}{2s} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(d_e + p_{fo})] \quad (2.35d)$$

Untuk kasus 2 ($d_e > s$),

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{fo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1(p_{fi} + s) + h_0(s + p_{fo})] \quad (2.35e)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p x g} \quad \text{Catatan : Jika } p_{fi} > s, \text{ gunakan } p_{fi} = s$$

Tabel 2. 26 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Pelat Ujung Diperpanjang Dengan Pengaku Dengan Delapan Baut

Geometri Pelat – Ujung dan Pola Garis Leleh		Model Gaya Baut
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	Kasus 2 ($d_e > s$)	

Kasus 1 ($d_e \leq s$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{f1}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(d_e + \frac{3p_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{p_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{f1} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{p_b}{4} \right) \right] + g \dots \dots \dots (2.35f)$$

Kasus 2 ($d_e > s$)

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{s} \right) + h_2 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \left(\frac{1}{p_{f1}} \right) + h_4 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_1 \left(s + \frac{p_b}{4} \right) + h_2 \left(p_{fo} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_3 \left(p_{f1} + \frac{p_b}{4} \right) + h_4 \left(s + \frac{3p_b}{4} \right) \right] + g \dots \dots \dots (2.35g)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p x g} \quad \text{Catatan : Jika } p_{fi} > s, \text{ gunakan } p_{fi} = s \dots \dots \dots (2.35h)$$

Keterangan :

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

A_n = luas netto pelat ujung

$$= T_p, \left[b_p - 2(d_b + \frac{1}{8}) \right] \text{ bila lubang - lubang standar digunakan, in}$$

$$= T_p, \left[b_p - 2(d_b + \frac{1}{8}) \right] \text{ bila lubang - lubang standar digunakan, mm}^2$$

d_b = diameter baut, in (mm)

b. Desain Bagian Kolom

Tabel 2. 27 Ringkasan Parameter Mekanisme Garis Leleh Sayap Kolom Diperpanjang Dengan Empat Baut

Geometri Pelat – Ujung dan Pola Garis Leleh		Model Gaya Baut
Kasus 1 ($d_e \leq s$)	Kasus 2 ($d_e > s$)	

Sayap Kolom Tanpa Pengaku

$$Y_c = \frac{bcf}{2} \left(h_1 \left(\frac{1}{s} + h_0 \frac{1}{s} \right) + \frac{2}{g} \left(h_1 \left(s + \frac{3c}{4} \right) h_0 + \left(s + \frac{c^2}{4} \right) \frac{2}{g} \right) \dots\dots\dots (2.35i)$$

Sayap Kolom Diperkaku

$$Y_c = \frac{bcf}{2} \left(h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{psi} \right) + h_0 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{ps0} \right) \right) + \frac{2}{g} \times \left(h_1 \times (s + psi) h_0 (s + ps0) \right)$$

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{b_p \times g} \text{ Catatan : Jika } p_{fi} > s, \text{ gunakan } p_{fi} = s \dots\dots\dots (2.35j)$$

Pemeriksaan Ketebalan Sayap Kolom

$$T_{cfmin} = \sqrt{\frac{1,11 M_f}{1 \times f_{yc} \times y_c}} < t_{cf}$$

Pemeriksaan Kuat lentur Sayap kolom tanpa pelat menerus

$$\phi d M_{cf} = \phi d \times F_{yc} \times Y_c \times t_{cf}^2$$

Memeriksa kekuatan pelebaran badan kolom tanpa pelat penerus

$$\phi d R_n = \phi d \times C_t \times (6k_c + t_{bf} + 2t_p) \times F_{yc} \times t_{cw}$$

$$C_t = 1$$

$$\phi d = 1$$

K_c = jarak dari sisi terluar sayap IWF sampai ujung penebalan badan

Memeriksa kekuatan tekuk badan kolom tanpa pelat penerus

$$F_{fu} \leq \phi R_n$$

$$R_n = \frac{24 \times t^3 \times \sqrt{E f_{yc}}}{h}$$

Memeriksa Lipat Badan Kolom tanpa Plat menerus

$$R_n = 0,8 \times t^2 c_w \left(1 + 3 \times \left(\frac{N}{d_c}\right) \times \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}}\right) \times 1,5\right) \times \sqrt{\frac{E x F_{yc} \times t_{cf}}{t_{cw}}}$$

3. Bolted Flange Plate (BFP) Connection

Pada BFP, ketebalan *panel zone* tidak melebihi kekuatan dari *panel zone* untuk sambungan ini. Jika ketebalan *zona panel* lebih dari 1,5 kali yang dibutuhkan, disarankan untuk menggunakan kombinasi ukuran balok dan kolom yang berbeda.

Menentukan ketebalan minimum *flens* pelat yang diperlukan dengan persamaan :

$$t_{pl} = \frac{d_b - \sqrt{d_b^2 - \frac{4,4 M_{yf}}{F_y \times b_p}}}{2} \dots \dots \dots (2.36a)$$

Untuk mencegah kegagalan penampang neto dan kegagalan perpanjangan lubang baut, maka sebuah baut harus memenuhi persamaan :

$$1,2 M_{yf} < M_{fail}$$

Keterangan :

M_{yf} = Momen di ujung kolom saat terjadi leleh pada sayap balok (N-mm)

M_{fail} = Momen di ujung kolom pada saat terjadi kegagalan (N-mm)

Menentukan M_{fail} untuk kegagalan geser baut :

$$M_{failbolt} = 2N \times A_b \times F_{ybolt} \times d_b \times L_{TFI}$$

$$L_{TFI} = \frac{L - d_c}{L - d_c - (2s_1 + s_3)} \dots \dots \dots (2.36b)$$

Keterangan :

$F_{v bolt}$ = Kekuatan geser nominal baut (N)

L_{TF1} = Rasio panjang untuk meneruskan momen dari pusat baut ke ujung kolom
 S_1 = Jarak profil kolom ke baut pertama (mm)

Menentukan M_{fail} untuk patah penampang netto pelat sayap :

$$M_{fail\ yf} = 0,85 F_{u-pl} \times [b_p - 2(d_{bt\ bolt} + 0,062)] \times t_{pl} \times (d_b + t_{pl}) \times L_{TF2} \quad (2.36c)$$

$$L_{TF2} = \frac{L-d_c}{L-d_c-2s_1} \quad (2.36c)$$

Keterangan :

d_{bt} = Diameter baut (mm)

L_{TF2} = Rasio untuk meneruskan momen pada lubang baut yang paling dekat dengan ujung kolom

Menentukan M_{fail} muka kolom untuk patah penampang netto dari sayap balok :

$$M_{fail} = F_{u-b} \times [Z_b - 2 \times (d_{bt\ hole} + 0,062) \times t_{fb} \times (d_b - t_{fb})] \times L_{TF3} \quad (2.36d)$$

$$L_{TF3} = \frac{L-d_c}{L-d_c-2(s_1+s_2)} \quad (2.36e)$$

Keterangan :

$d_{bt\ hole}$ = Diameter lubang baut (mm)

L_{TF3} = Rasio untuk meneruskan momen dari lubang baut terjauh dari ujung kolom ke ujung kolom

Menentukan M_{fail} pada muka kolom untuk pemanjangan lubang baut:

$$M_{fail} = T_n \times \left(d_b + \frac{t_{PL-t} + t_{PL-b}}{2} \right) \times L_{TF1} \quad (2.36f)$$

Dimana nilai T_n diambil yang terkecil dari kedua persamaan ini

$$T_n = 2,4 F_{u-b} \times (S_3 + S_1 - c) \times t_{fb} \quad (2.36g)$$

$$T_n = 2,4 F_{u-pl} \times (S_3 + S_4) \times t_{pl} \quad (2.36h)$$

Memeriksa geser blok untuk memastikan bahwa momen pada ujung kolom sesuai dengan syarat sambungan. Pada desain pelat tunggal, sambungan *shear-tab* yang dibuat cukup menahan geser yang diberikan :

$$V_{web} = \frac{2M_f}{L-d_c} + V_g \quad (2.36i)$$

Menentukan tebal pelat ujung terspesifikasi, t_p

$$T_{p, req} = \sqrt{\frac{1,11 M_f}{\phi \cdot b \cdot F_{yp} Y_p}} \quad (2.37)$$

Keterangan :

F_{yp} = tegangan leleh minimum terspesifikasi material pelat-ujung, ksi (MPa)

Y_p = parameter mekanisme garis leleh pelat-ujung dari Tabel 6.2, 6.3 atau 6.4, in. (mm)

$\phi = 1,0$

Tabel 2. 28 Pembatasan Parametrik pada Prakuifikasi

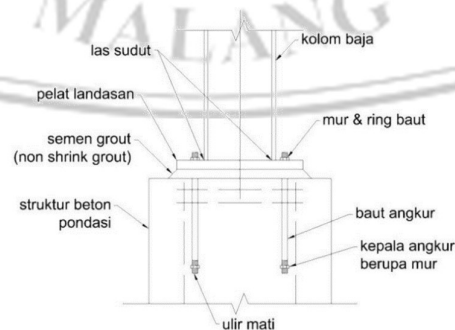
Parameter	Tanpa pengaku dengan Empat-Baut (4E)		Dengan pengaku dengan Empat-Baut (4ES)		Dengan pengaku dengan Delapan-Baut (8ES)	
	Maksimum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maksimum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maksimum in. (mm)	Minimum in. (mm)
t_{bf}	$\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{8}$ (10)	$\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{8}$ (10)	1 (25)	$\frac{9}{16}$ (14)
b_{bf}	$9 \frac{1}{4}$ (235)	6 (152)	9 (229)	6 (152)	$12 \frac{1}{4}$ (311)	$7 \frac{1}{2}$ (190)
d	55 (1 400)	$13 \frac{3}{4}$ (349)	24 (610)	$13 \frac{3}{4}$ (349)	36 (914)	18 (457)
t_p	$2 \frac{1}{4}$ (57)	$\frac{1}{2}$ (13)	$1 \frac{1}{2}$ (38)	$\frac{1}{2}$ (13)	$2 \frac{1}{2}$ (64)	$\frac{3}{4}$ (19)
b_p	$10 \frac{3}{4}$ (273)	7 (178)	$10 \frac{3}{4}$ (273)	7 (178)	15 (381)	19 (229)
g	6 (152)	4 (102)	6 (152)	$3 \frac{1}{4}$ (83)	6 (152)	5 (127)
p_s, p_{to}	$4 \frac{1}{2}$ (114)	$1 \frac{1}{2}$ (38)	$5 \frac{1}{2}$ (140)	$1 \frac{1}{4}$ (44)	2 (51)	$1 \frac{5}{8}$ (41)
p_o	-	-	-	-	$3 \frac{3}{4}$ (95)	$3 \frac{1}{2}$ (89)

d_{bf} = lebar sayap balok, in. (mm)
 b_p = lebar pelat-ujung, in. (mm)
 d = tinggi penampang balok penyambung, in. (mm)
 g = jarak horizontal antara baut-baut, in. (mm)
 p_o = jarak vertikal antara baris baut sebelah dalam dan sebelah luar dalam sambungan 8ES, in. (mm)
 p_s = jarak vertikal dari bagian dalam dari suatu sayap tarik balok ke baris baut bagian dalam terdekat, in. (mm)
 p_{to} = jarak vertikal dari bagian luar dari suatu sayap tarik balok ke baris baut bagian luar terdekat, in. (mm)
 t_{bf} = tebal sayap balok, in. (mm)
 t_p = tebal pelat-ujung, in. (mm)

Sumber SNI 7972 : 2020

2.6.7.6 Kategori Plat Dasar Kolom

Plat dasar kolom pada konsep pembebanan LRFD didesain supaya kuat rencana lebih besar atau sama dengan kuat perlu dalam menahan beban Momen lentur (M_u), gaya geser (V_u) serta gaya aksial (N_u) untuk segala macam jenis kombinasi pembebanan yang disyaratkan. Secara geometris pelat dasar kolom ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. 31 Base Plate

Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Wiryanto Dewobroto

1. Kuat tumpu beton

Kuat tumpu rencana yaitu $\phi_c P_p$, dengan $\phi = 0,65$. Adapun kuat tumpu nominal P_p tergantung dari luasan beton tumpuan yang tersedia sebagai berikut:

- a. Luas beton = luas pelat landasan, maka:

$$P_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 \dots\dots\dots(2.38a)$$

Atau dalam format tegangan tumpu nominal maka:

$$f_p(\text{maks}) = \phi_c 0,85 \cdot f_c' \dots\dots\dots(2.38b)$$

- b. Luas beton tumpuan > luas pelat landasan yang besarnya merata pada semua sisi. Untuk itu kuat tumpu beton dapat ditingkatkan maksimum sampai dua kalinya :

$$P_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f_c' \cdot A_1 \dots\dots\dots(2.38c)$$

$$f_p(\text{maks}) = \phi_c 0,85 \cdot f_c' \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f_c' \dots\dots\dots(2.38d)$$

Dimana:

f_c' = tegangan leleh material pelat ujung

A_1 = luas beton yang dibebani gaya konsentris. mm²

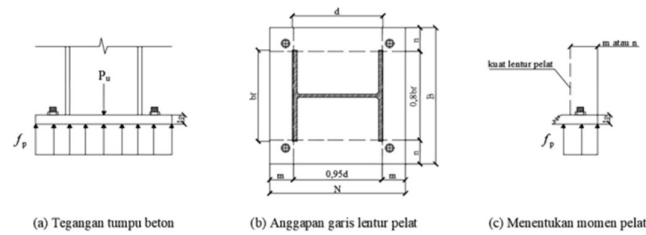
A_2 = luas bawah piramida terpancung yang luas atas adalah A_1 , dimana sisi miringnya mempunyai rasio horizontal: vertikal adalah 2:1, mm²

Jika luas beton tumpuan > luas pelat landasan secara merata, maka bagian beton tumpuan yang lebih besar dapat berfungsi sebagai struktur pengekang untuk bagian beton yang dibebani. Itu mengapa kuat tumpunya bisa ditingkatkan lagi.

2. Tekan konsentris

Jika base-plate bertumpu pada permukaan beton pondasi, maka dimensi pelat landasan (BxN) harus dipilih agar beton dibawahnya tidak rusak, dengan memenuhi ketentuan berikut:

$$f_p = \frac{P_u}{BN} \leq f_p(\text{maks}) \dots\dots\dots(2.39a)$$



Gambar 2.32 Base Plate Terhadap Beban Tekan Konsentris

Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Wiryanto Dewobroto

Kuat perlu pada pelat landasan dapat ditentukan berikut:

$$m_p l = \frac{1}{2} f_p l^2 \dots\dots\dots (2.39b)$$

Dimana l adalah nilai terbesar dari m , n , dan $\lambda n'$

$$m = \frac{N - 0,95}{2} \dots\dots\dots (2.39c)$$

$$n = \frac{B - 0,8bf}{2} \dots\dots\dots (2.39d)$$

$$\lambda n' = \frac{1}{4} \lambda \sqrt{dbf} \dots\dots\dots (2.39e)$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1-x}} \leq 1 \dots\dots\dots (2.39f)$$

$$x = \left\{ \frac{4dbf}{(d+bf)^2} \right\} \frac{p_u}{\phi c p p} \dots\dots\dots (2.39g)$$

Cukup konservatif jika diambil $\lambda = 1$ Untuk kondisi batas leleh, tebal minimum pelat landasan adalah:

$$T_p \geq \sqrt{\frac{4M_p l}{\phi F_y}} = l \sqrt{\frac{2f_p}{\phi F_y}} = l \sqrt{\frac{2P_u}{\phi F_y B N}} \dots\dots\dots (2.39h)$$

Dimana:

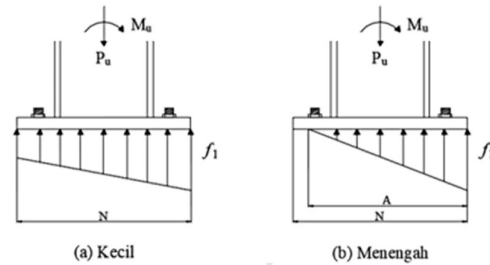
ϕ = factor ketahanan lentur, $\phi = 0,9$

l = nilai maksimum dari m , n , dan $\lambda n'$, agar tebal pelat landasannya ekonomis

maka parameter tersebut dibuat minimum, salah satunya adalah menetapkan $m = n$

3. Tegangan beton Segitiga-elastis

a. Momen kecil tanpa angkur



Gambar 2. 33 Distribusi Tegangan Segitiga Akibat Eksentrisitas Kecil
Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Wiryanto Dewobroto

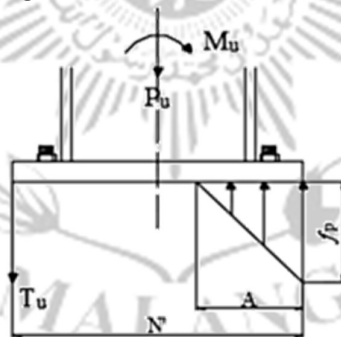
Pendekatan tegangan tumpu beton pada kondisi elastis (segitiga) sengaja dipilih karena memberi gambaran cukup rasional tentang efek eksentrisitas (e) akibat gaya tekan P_u terhadap *base-plate*. Nilai e disebut sedang jika tidak perlu baut angkur untuk keseimbangannya.

Maka nilai eksentrisitas (e) terbagi menjadi dua keadaan:

1. kecil, jika $e = \frac{M_u}{P_u} \leq \frac{N}{6}$ (2.40a)

2. Menengah jika $e = \frac{N}{6} \leq \frac{N}{2}$ (2.40b)

b. Momen besar dengan angkur



Gambar 2. 34 Distribusi Tegangan Segitiga Akibat Eksentrisitas Besar
Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Wiryanto Dewobroto

Bila eksentrisitas gaya P_u besar, maka *base-plate* dapat terguling. Untuk menghindarinya harus dipasang baut angkur untuk menahan gaya tarik sebesar T_u akibat momen guling tersebut. Ukuran pelat landasan dipilih sedemikian sehingga tegangan tekan beton, f_p tidak melebihi tegangan tumpu nominal beton. Untuk mencari nilai T_u dan A , dipergunakan persamaan keseimbangan vertikal dan momen sebagai berikut:

$$T_u + P_u = \frac{1}{2} f_p AB \dots\dots\dots(2.41a)$$

$$P_u \left(\frac{N}{2} - x\right) + M_u = \frac{1}{2} f_p AB \left(N - x - \frac{A}{3}\right) \dots\dots\dots(2.41b)$$

Jika $A' = \left(\frac{N}{2} - x\right)$ dan $f' = f_n B \frac{N-x}{2}$ dari persamaan diatas didapatkan;

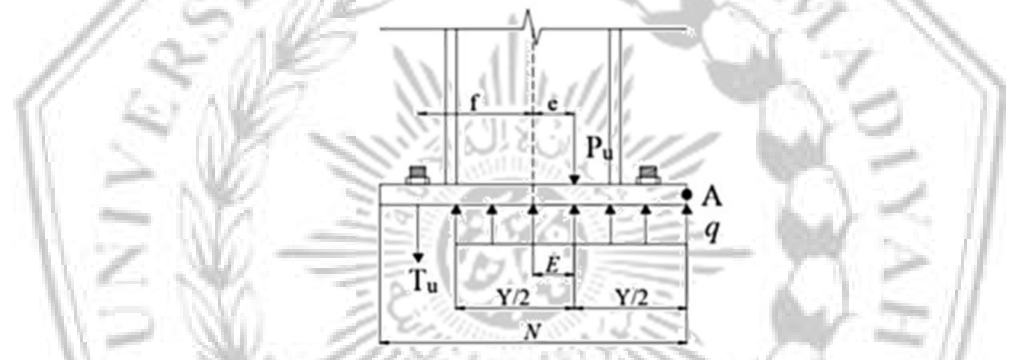
$$A = \frac{f' \pm \sqrt{f'^2 2f_p B (P_u A' + M_u)}}{\frac{1}{2} f_p B} \dots\dots\dots(2.41c)$$

nilai $A \leq N'$, jika tidak memenuhi maka ukuran pelat landas tidak mencukupi, perlu ukuran lain. Gaya tarik baut angkur adalah:

$$T_u = \frac{1}{2} f_p AB - P_u \dots\dots\dots(2.41d)$$

4. Tegangan beton persegi - *Ultimate*

a. Momen Kecil Tanpa Angkur



Gambar 2. 35 Distribusi Tegangan Persegi Akibat Eksentrisitas Kecil

Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Wiryanto Dewobroto

Perencanaan *base-plate* dengan beban eksentris bisa berdasarkan asumsi distribusi tegangan beton berbentuk segitiga atau kondisi tegangan elastis. Jika beban bertambah sampai kondisi batas, perilaku elastis terlewati dan masuk kondisi inelastis, yaitu beton pada kondisi batas (*ultimate*)

$$q_{maks} = Fp_{(maks)} \cdot B \dots\dots\dots(2.42a)$$

$$y_{min} = \frac{P_u}{2q_{maks}} \dots\dots\dots(2.42b)$$

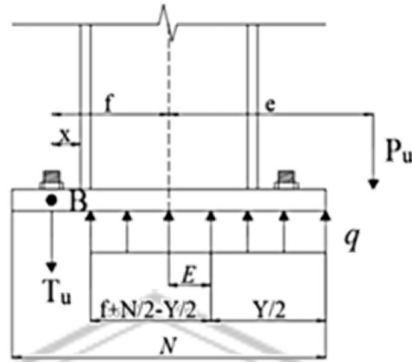
jika ϵ jarak resultan tumpu beton terhadap pusat berat kolom:

$$\epsilon_{maks} = \frac{N}{2} - \frac{y_{min}}{2} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2qm} \dots\dots\dots(2.42c)$$

$$e_{kritis} = e_{maks} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2qm} \dots\dots\dots(2.42d)$$

eksentrisitas beban \leq kritis maka baut angkur tidak diperlukan.

b. Momen Besar Dengan Angkur



Gambar 2.36 Distribusi Tegangan Persegi Akibat Eksentrisitas

Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Wiryanto Dewobroto

Jika eksentrisitas beban tekan $e = Mu + Pu > e_{kritis}$ maka baut angkur diperlukan untuk mencegah *base plate* mengalami puntir. Untuk mencari nilai T_u dan Y , dipergunakan persamaan keseimbangan gaya vertikal sebagai berikut:

$$T_u + Pu = qY \quad \dots\dots\dots (2.43a)$$

$$T_u + Pu = \frac{1}{2} f_p AB \quad \dots\dots\dots (2.43b)$$

$$Q_{maks} Y \frac{N}{2} - \frac{Y}{2} + f - Pu (e + f) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.43c)$$

setelah pengaturan diperoleh persamaan kuadrat berikut:

$$Y^2 - 2\left(\frac{N}{2} + f\right)Y + \frac{2Pu(e+f)}{2qma} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.43d)$$

Dan penyelesaian untuk Y adalah:

$$Y = \left(\frac{N}{2} + f\right) \sqrt{\left(\frac{N}{2} + f\right)^2 - \frac{2Pu(e+f)}{qma}} \quad \dots\dots\dots (2.43e)$$

Pada suatu kombinasi gaya, momen dan ukuran *base plate* tidak diperoleh penyelesaian, sehingga dimensi *base plate* perlu diperbesar. Agar persamaan bisa diselesaikan, maka:

$$\left(\frac{N}{2} + f\right)^2 \geq \frac{2Pu(e+f)}{2qma} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.43f)$$

Gaya pada angkur adalah:

$$T_u = qY - Pu \quad \dots\dots\dots (2.43g)$$

Untuk kondisi batas leleh, tebal minimum pelat landasan adalah

$$T_p \geq \sqrt{\frac{4MPL}{\phi F_y}} \dots\dots\dots(2.43h)$$

Pada kondisi desak: momen terjadi akibat tegangan reaksi beton pada kantilever m dari tumpuannya.

Jika $Y \geq m$, maka:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4MPL}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{2(1/2 f_p m^2)}{0,9 \cdot F_y}} = 1,5 \cdot m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \dots\dots\dots(2.43i)$$

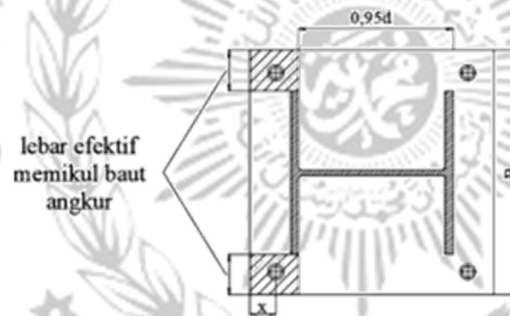
Jika $Y < m$, maka:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4MPL}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{4(f_y (m^2/2))}{0,9 \cdot F_y}} = 2,11 \cdot m \sqrt{\frac{f_p y (m^2/2)}{F_y}} \dots\dots\dots(2.43j)$$

Dimana

$$f_p = \frac{P_u}{B_y}$$

Pada sisi Tarik, momen terjadi akibat reaksi baut angkur yang bekerja seperti beban terpusat di pelat. Oleh sebab itu jumlah baut juga berpengaruh, khususnya terhadap lebar efektif pelat.



Gambar 2. 37 Lebar Efektif Pelat Pemikul Baut Angkur

Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010, Wiryanto Dewobroto

Tebal pelat landasan minimum untuk memikul baut angkur adalah:

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4MPL}{\phi F_y}} = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{T_u \cdot a}{nb \cdot 2a} \right)}{0,9 \cdot F_y}} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{T_u}{nb f_y}} \dots\dots\dots(2.43k)$$

dimana:

nb = jumlah baut angkur yang dipasang