

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah desain struktur dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas tinggi). Karena struktur SRPMK memiliki sifat fleksibel dengan daktilitas yang tinggi, sehingga bisa direncanakan dengan gaya gempa rencana yang minimum Kekuatan dan kekakuan dari struktur juga harus diperhatikan untuk mampu menahan beban rencana, baik beban gravitasi maupun angin dan gempa, dan juga struktur harus menghasilkan *story drift* yang sesuai dengan batasan peraturan. Struktur SRPMK diharapkan memiliki tingkat daktilitas yang tinggi, yaitu mampu menerima mengalami siklus respon inelastis pada saat menerima beban gempa rencana. Pendetailan dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari struktur bersifat daktil. Prinsip ini terdiri dari tiga, yaitu:

a. *Strong-ColumnWeak-beom* yang bekerja menyebar di sebagian besar lantai.

Gedung saat dilanda gempa yang cukup besar, akan timbul momen-momen pada balok atau kolomnya, apabila besar dari momen-momen tersebut melampaui besar momen kapasitas balok atau kolom portal, maka terjadi sendi plastis pada balok atau kolom. Sendi plastis terjadi secara bertahap sampai bangunan gedung tersebut runtuh. Pada saat struktur mengalami gaya lateral gempa, distribusi kerusakan sepanjang ketinggian bangunan bergantung pada distribusi *lateral story drift* (simpangan antar lantai). Jika struktur memiliki kolom yang lemah, simpangan antar lantai akan cenderung terpusat pada satu lantai (a). Sebaliknya jika kolom sangat kuat, maka drift akan tersebar merata, dan keruntuhan lokal di satu lantai

dapat diminimalkan (c dan b). Sebagai contoh dapat dilihat pada perencanaan *Strong-ColumnWeak-Beam*.

b. Tidak terjadi kegagalan geser pada balok, kolom dan joint.

Respon yang bersifat duktail diharapkan terjadi pada balok, dan pada saat yang sama tidak boleh terjadi keruntuhan geser. Keruntuhan geser, khususnya pada kolom, sangat fatal bagi struktur karena kolom pada satu lantai menumpu semua lantai di atasnya. Dalam ketentuan SRPMK keruntuhan geser dihindari dengan pendekatan desain kapasitas. Gaya geser yang diperhitungkan bukan hanya berasal dari gaya geser akibat beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) tetapi mempertimbangkan beban geser yang berasal dari kapasitas momen maksimum balok pada saat balok mengalami *yielding*.

c. Menyediakan detail yang memungkinkan perilaku duktail.

Detailing diperlukan untuk memastikan bahwa pada saat gempa besar, struktur akan berperilaku duktail seperti yang direncanakan. Pada umumnya detailing akan menambah biaya struktur cukup signifikan untuk struktur yang didesain memiliki daktilitas tinggi. Detailing yang akan di rencanakan berupa:

- Sambungan yaitu sambungan di desain kuat sehingga mencegah terjadinya leleh atau fraktur
- Pengaku penampang yaitu memberikan pengaku untuk mencegah terjadinya tekuk pada pelat sayap atau badan.
- Pengaku elemen yaitu memberikan pengaku berupa menambah balok pada daerah bentang panjang untuk mencegah tekuk torsi lateral.

(Moestopo, 2012) juga mengatakan selain daktilitas bahan baja yang harus dijamin spesifikasinya, perlu juga dijamin tercapainya:

a. Daktilitas penampang: momen kurvatur ideal mencapai M_p tanpa terjadi tekuk pada penampang

b. Daktilitas elemen momen defleksi/ rotasi ideal mencapai M_p tanpa terjadi tekuk torsi lateral.

c. Daktilitas struktur mampu mencapai kekuatan batas tanpa terjadi ketidakstabilan struktur. Untuk dijamin tercapainya ketiga persyaratan diatas maka komponen elemen lentur harus mencapai momen plastis sebelum terjadi keruntuhan yang dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$M_n = M_p \quad (2. 1)$$

$$M_{nx} = Z_x \cdot F_y \quad (2. 2)$$

$$M_{ny} = Z_y \cdot F_y \quad (2. 3)$$

dimana :

M_n = kuat lentur nominal

M_p = momen plastis

Z_x = modulus plastis penampang arah - x

Z_y = modulus plastis penampang arah - y

F_y = tegangan leleh baja

Menurut Moestopo (2012) ada beberapa parameter

dalam desain sambungan SRPMK:

a. Lokasi Sendi Plastis

b. Momen maksimum yang mungkin terjadi di lokasi sendi plastis, yang ditentukan oleh: kekuatan bahan, strain hardening, kekangan setempat, perkuatan, atau kondisi sambungan lainnya.

c. Parameter mekanisme leleh pada pelat sayap kolom

d. Konfigurasi baut, yang akan ikut mekanisme kelelahan kekuatan batas sambungan terhadap sobek pelat, dan tekuk pada pelat. Harus dilakukan pengecekan desain sambungan terhadap berbagai kondisi batas yang harus dihadapi oleh sambungan (pelat penyambung dan baut) antara lain:

- a. Leleh pada sayap kolom
- b. Tekuk pelat badan kolom
- c. Leleh pelat ujung balok
- d. Sobek pelat
- e. Tekuk dan leleh pada zona panel kolom

Kemampuan sambungan sebagai alat sambung elemen pemikul beban gempa harus dibuktikan melalui salah satu metoda berikut:

a. Uji kualifikasi terhadap benda uji yang mempresentasikan sambungan yang didesain:

- Melakukan uji siklik sesuai dengan ketentuan Appendix S.
- Menggunakan hasil uji dari laporan penelitian yang telah dilakukan.

b. Menggunakan ketentuan dalam ANSI/AISC 358 – 10:

"Prequalified Connection for Special and Intermediate

Steel Moment Frames for Seismic Applications"

2.2 Struktur Komposit

2.2.1 Sistem Struktur Komposit

Usaha untuk memaksimalkan material terhadap gaya-gaya yang bekerja merupakan motivasi dibuatnya sistem-sistem baru agar efisien. Jika hanya membicarakan tentang kemampuan material untuk menerima tegangan maka sebenarnya untuk baja tidak masalah, tegangan tarik atau tekan sama saja. Ini jelas berbeda dibandingkan dengan beton, dimana dalam desain bahkan kuat tariknya diabaikan, apalagi jika mengalami retak. Oleh karena itulah maka untuk struktur beton diperlukan tulangan baja untuk mengantisipasi. Jadi dalam struktur beton bertulang telah terjadi kerja sama sebagai satu kesatuan antara beton dan baja, sehingga mekanisme seperti itu juga disebut sebagai komposit. Tetapi secara

umum istilah komposit dikaitkan dengan element struktur yang mekanisme kerjanya ditentukan oleh kerja sama beton (bertulang) dan profil baja. Elemen struktur yang dimaksud dapat berupa balok maupun kolom.

Sistem balok komposit paling sesuai diterapkan pada balok yang mendukung lantai (yang terbuat dari beton bertulang), baik digunakan pada bangunan gedung maupun jembatan. Pada sistem balok lantai, agak susah membedakan dari tampilan luar apakah sistemnya komposit atau non-komposit. Perbedaan hanya ditentukan oleh keberadaan shear stud atau shear connector yang tertanam dalam pelat betonnya, yang menyebabkan kedua komponen struktur (profil baja dan lantai beton) berperilaku komposit.

Komponen struktur komposit ini dapat menahan beban sekitar 33 hingga 50% lebih besar daripada beban yang dapat dipikul oleh balok baja saja tanpa adanya perilaku komposit (Setiawan, 2008). Struktur komposit mampu memberikan kinerja struktur yang lebih baik dan efektif dalam meningkatkan kapasitas pembebanan dan kekakuan. Keuntungan penggunaan struktur komposit adalah:

- 1) dapat mereduksi berat profil baja yang dipakai
- 2) tinggi profil baja yang dipakai dapat dikurangi
- 3) meningkatkan kekakuan lantai
- 4) dapat menambah panjang bentang layan

2.2.2 Sistem Pelaksanaan Struktur Komposit

Metode pelaksanaan suatu komponen struktur komposit (khususnya untuk komponen struktur lentur), secara umum dapat dibedakan berdasarkan ada atau tidaknya tumpuan sementara (perancah).

Jika tumpuan sementara tidak digunakan (unshored) maka profil baja akan berperilaku sebagai penumpu dari bekisting plat beton, selama beton belum mengeras. Dalam tahap ini, balok baja harus mampu memikul beban-beban yang meliputi berat

sendiri, berat bekisting pelat serta berat beton yang masih belum mengeras. Setelah pelat beton mengeras. Setelah pelat beton mengeras maka aksi komposit akan mulai bekerja, sehingga semua beban layan yang ada (meliputi beban mati dan hidup) akan dipikul oleh komponen struktur komposit.

Sistem pelaksanaan yang lain adalah dengan menggunakan tumpuan sementara (shored) selama pelat belum mengeras. Tumpuan sementara ini akan memikul berat dari profil baja, bekisting pelat serta beton yang belum mengeras. Dengan digunakannya tumpuan sementara akan dapat mengurangi tegangan yang timbul pada profil baja selama proses konstruksi. Setelah beton mengeras, pereancah dilepas dan beban-beban layan dipikul melalui aksi komposit baja dengan pelat beton.

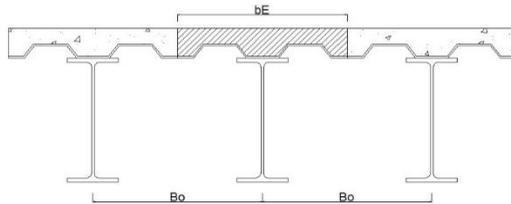
2.2.3 Dasar Perencanaan Struktur Balok Komposit

Seiring berkembangnya metode pengelasan yang baik secara ditemukannya alat-alat penghubung geser yang menahan gaya geser horizontal, maka lekatan antara pelat beton dan balok baja dapat ditingkatkan. Pada akhirnya kedua material ini (baja dan beton) akan menjadi satu kesatuan komponen struktur yang disebut dengan komponen struktur komposit.

Perilaku komposit hanya akan terjadi jika potensi terjadinya slip antara kedua material ini dapat dicegah. Tipe-tipe penghubung geser yang sering digunakan dapat berupa stud, baja tulangan spiral atau profil kanal kecil yang pendek. Penghubung geser ini selanjutnya dihubungkan dengan flens atau balok agar dapat berfungsi komposit secara penuh. Pada sistem pelat lantai komposit, umumnya arah gelombang (rib) diletakkan tegak lurus terhadap balok lantai dan sejajar dengan arah balok induk.

2.2.4 Lebar Efektif Balok Komposit

Konsep lebar efektif sangat berguna dalam proses desain, 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 :



Gambar 2. 1 Lebar efektif balok komposit

(Sumber:Dokumen pribadi)

Sesuai dengan SNI 03-1729-2015 pasal 13.1a.menyatakan bahwa lebar efektif plat beton harus diambil dari jumlah efektif untuk setiap sisi sumbu balok,masing-masing yang tidak melebihi:

$$b_E \leq \frac{L}{4} \quad (2. 4)$$

$$b_E = b_0 \quad (2. 5)$$

2.2.5 Balok Komposit Dengan Angkur Steel Headed Stud atau Angkur Kanal Baja

a) Kuat Lentur Nominal

Menurut SNI 03-1729-2015 pasal 13.2a ditentukan sebagai berikut :

Kekuatan lentur nominal desain, $\phi_b.M_n$ dari suatu komponen struktur komposit (untuk momen positif),dan kekuatan lentur positif yang diizinkan, M_n harus ditentukan untuk keadaan batas leleh sebagai berikut :

$$1) \text{ Untuk } \frac{h}{t_w} > 3,76\sqrt{EI.F_y} \quad (2. 6)$$

M_n harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit untuk keadaan batas leleh (momen plastis). $\phi_b = 0,90$.

$$2) \text{ Untuk } \frac{h}{tw} > 3,76\sqrt{El.Fy} \quad (2. 7)$$

M_n harus ditentukan dari superposisi tegangan elastis, dengan memperhitungkan efek penompangan, untuk keadaan batas leleh (momen leleh). $\phi_b = 0,90$

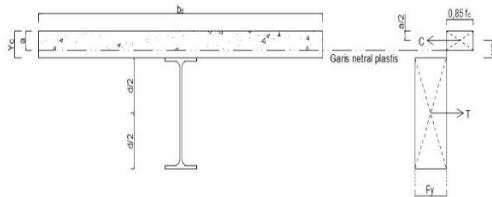
Untuk menghitung momen plastis balok komposit dicari posisi sumbu netral plastis, yang tergantung proporsi C dan T. Dengan nilai resultan gaya tekan dan tarik sebagai berikut.

$$C = 0,85 \cdot f_c \cdot A_c \quad (2. 8)$$

$$T = F_y \cdot A_s \quad (2. 9)$$

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

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



Gambar 2. 2 Distribusi tegangan plastis kondisi a
(Sumber: Charles G.Salmon)

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

$$\alpha = \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot t} \quad (2. 10)$$

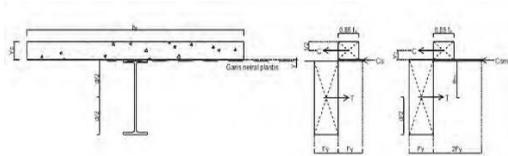
Asumsi benar jika $\alpha < t$ jika pakai dek baja, atau $\alpha < t$ pelat beton solid.

$$Y_c = h_r + f_c \quad (2. 11)$$

$$Y_2 = Y_c - \frac{1}{2} \alpha \quad (2. 12)$$

$$M_n = M_p = F_y \cdot A_s \cdot (Y_2 + \frac{1}{2} d) \quad (2. 13)$$

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



Gambar 2. 3 Distribusi tegangan plastis kondisi c
(Sumber: Charles G. Salmon)

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

$$T = F_y \cdot A_s \quad (2. 14)$$

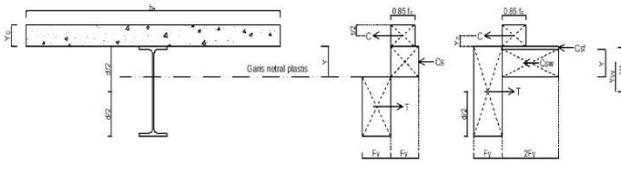
$$C = 0,85 \cdot f_{c'} \cdot B_e \cdot t_c \quad (2. 15)$$

$$y = \frac{T - C}{b_f \cdot F_y} \leq t_f \quad (2. 16)$$

$$C_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2 F_y \quad (2. 17)$$

$$M_n = M_p = C (Y_2 + \frac{1}{2} d) + C_{sm} (d - y) \frac{1}{2} \quad (2. 18)$$

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



Gambar 2. 4 Distribusi tegangan plastis kondisi c
(Sumber: Charles G.Salmon)

Jika $y > t_f$ 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 masih mengalami tekan. Kondisi ini dapat terjadi jika $T - C_{sf} > 0$. Adapun nilai-nilainya dihitung sebagai berikut.

$$T = F_y \cdot A_s \quad (2.19)$$

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot B_e \cdot t_c \quad (2.20)$$

$$y = \frac{T - C - C_{sf}}{t_w \cdot F_y} \leq t_f \quad (2.21)$$

$$C_{sf} = b_f \cdot t_f \cdot 2F_y \quad (2.22)$$

$$C_{sw} = 2 F_y \cdot y \cdot t_w \quad (2.23)$$

$$y_f = \frac{1}{2} \cdot (d - t_f) \quad (2.24)$$

$$y_w = \frac{1}{2} \cdot (d + y) - t_f \quad (2.25)$$

$$M_n = M_p = C(Y_2 + \frac{1}{2}d) + C_{sf} \cdot y_f + C_{sw} \cdot y_w \quad (2.26)$$

b) Penghubung Geser Angkur Baja

Sesuai dengan SNI 03-1729-2015 pasal 18.2 menyatakan bahwa panjang dari angkur steel headed stud tidak boleh kecil dari empat kali diameter batang dari dasar angkur steel headed stud pada bagian atas dari kepala batang sesudah pemasangan.

Kekuatan geser nominal atu angkur steel headed stud yang ditanam pada suatu plat beton solid atau pelat komposit dengan dek harus ditentukan sebagai berikut :

$$Q_n = 0.5 \cdot A_s \cdot \sqrt{f_c' E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_s \cdot F_u \quad (2. 27)$$

Keterangan:

A_s = luas penampang dari angkur steel headed stud (mm^2)

E_c = modulus elastisitas beton

F_u = kekuatan tarik minimum yang diisyaratkandari suatu angkur steel headed stud(Mpa)

Tabel 2. 1. Nilai R_g dan R_p

Kondisi	R_g	R_p
Tanpa dek	1,00	1,00
Dek diorientasi paralel terhadap profil baja		
$\frac{wr}{hr} \geq 1,5$	1,00	0,75
$\frac{wr}{hr} < 1,5$	0,85	0,75
Dek diorientasikan tegak lurus terhadap profil baja Jumlah dari angkur baja steel headed stud yang Memiliki rusuk dek sama		
1	1,00	0,60
2	0,85	0,60
3 atau lebih	0,70	0,60

Sumber : SNI 03-1729-2015

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

$$Q_n = 0,3 \cdot (t_f + 0,5t_w) \cdot l_a \cdot \sqrt{f_c' E_c} \quad (2. 28)$$

Keterangan :

l_a = panjang angkur kanal (mm)

t_f =ketebalan sayap angkur kanal (mm)

t_w =ketebalan badan angkur kanal (mm)

Kekuatan dari kanal harus dikembangkan dengan pengelasan dari 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 :

$$N = \frac{v}{Q_n} \quad (2.29)$$

Keterangan:

N = jumlah angkur konektor yang dibutuhkan

V = gaya geser horizontal

Q_n = kuat geser nominal satu buah angkur konektor

2.2.6 Dek Baja Gelombang

Perkembangan struktur komposit dimulai dengan digunakannya dek baja gelombang, selain berfungsi sebagai bekisting saat pelat beton dicetak, juga berfungsi sebagai tulangan positif bagi pelat beton. Penggunaan dek baja juga dapat dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok sebelum beton mulai mengeras. Arah dari gelombang dek baja biasanya diletakkan tegak lurus dengan balok penopangnya.

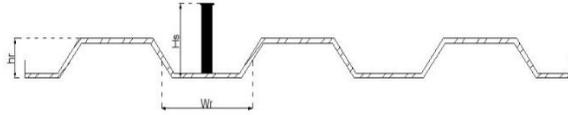
Persyaratan dek baja gelombang dan penghubung gesernya untuk digunakan dalam komponen struktur komposit diatur dalam SNI 03-1729-2015 pasal 13.2c. Dalam pasal ini diisyaratkan :

1. Tinggi maksimum dek baja, $h_r \leq 75$ mm, lebar rata-rata dari dek gelombang, $w_r > 50$ mm tetapi tidak boleh diambil dalam perhitungan sebagai lebih dari lebar bersih minimum di dekat bagian paling atas dari dek baja.

2. Pelat beton harus disambungkan ke balok baja dengan angkur steel headed stud di las baik pada dek atau penampang melintang baja. Diameter stud maksimum 19 mm.

3. Tebal pelat diatas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm

4. Dek baja harus diangkurkan ke semua komponen struktur pendukung pada spasi tidak lebih dari 460 mm



Gambar 2. 5 Penampang melintang dek baja gelombang
(Sumber: SNI 03-1729-2015)

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.

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left[\left(\frac{H_s}{h_r} \right) - 1,0 \right] \leq 1,0 \quad (2.30)$$

Keterangan :

r_s = adalah faktor reduksi

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

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

h_r = tinggi nominal gelombang dek baja

w_r = lebar efektif dek baja

2.3 Dasar 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 batang tarik. Pada batang tekan kapasitasnya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), suatu permasalahan stabilitas yang dipengaruhi konfigurasi geometri (struktur dan penampang), dan tidak hanya materialnya saja.

2.3.1 Batas Kelangsingan

Karena mutu baja relatif tinggi, dimensi batang tariknya bisa sangat langsing. Secara teoritis, kondisi kelangsingan hanya diperhit

ungkan untuk elemen tekan, untuk mengantisipasi tekuk. Batang tarik secara teoritis tidak mengalami tekuk, oleh karena itu batang tarik tidak dibatasi kelangsingannya, hanya disarankan $L/r \leq 300$. 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. Saran tidak berlaku jika batang tariknya merupakan struktur penggantung (*hanger*) atau memakai penampang pejal (*rod*)

2.3.2 Kuat Tarik Nominal

Kuat tarik rencana ϕP_n , dengan ϕ 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 berlobang (tempat sambungan). Kuat tarik penampang utuh terhadap keruntuhan leleh (*yield*) :

$$P_n = F_y \cdot A_g \quad (2.31)$$

Dimana:

$\phi_t = 0,9$ terhadap keruntuhan leleh

A_g = luas penampang bruto (*gross*)

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

$$P_n = F_u \cdot A_e = F_u \cdot A_n \cdot U \quad (2.32)$$

Dimana:

$\phi_t = 0,75$ terhadap keruntuhan fraktur

A_n = luas penampang bersih (*netto*), dikurangi lubang

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 dikalitasnya lebih tinggi dari keruntuhan fraktur, oleh sebab itu maka faktor ketahanan tarik (ϕ_t) antara keduanya berbeda. Faktor keamanan untuk fraktur tentunya lebih tinggi.

2.4. Dasar Perencanaan Batang Tekan

Batang tekan ditunjukkan untuk komponen batang 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.

2.4.1 Tekuk Parameter Penting 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 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). Ke tiganya dapat diringkas lagi menjadi satu parameter tunggal, yaitu rasio kelangsingan batang (KL/r_{min}), dimana r_{min} adalah radius girasi pada arah tekuk. Secara visual, tekuk dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (1) tekuk lokal pada elemen penampang, dan (2) tekuk global pada kolom atau batang secara menyeluruh.

2.4.2 Klasifikasi Penampang dan Tekuk Lokal

Penyelesaian masalah tekuk lokal lebih kompleks dibanding tekuk global. Jika terjadi tekuk lokal, selain penyelesaian tidak sederhana, maka pemakaian penampangnya akan tidak efisien terjadi pada kondisi beban elastis (belum leleh).

Agar strukturnya nominal, maka resiko tekuk lokal harus dihindari. Untuk itu dibuat klasifikasi untuk memisahkan penampang tidak langsing dan langsing, itu dilakukan dengan cara

mengevaluasi rasio lebar-tebal (b/t) tiap-tiap elemen dari penampang. Elemen-elemen dipilah berdasarkan berdasarkan kondisi kekangannya, apakah kedua sisinya tersambung kepada elemen lain atau masih ada sisi bebas. Nilai b/t setiap elemen profil penampang selanjutnya dibandingkan dengan nilai batas rasio b/t . Jika semua elemen tidak melebihi nilai batas rasio b/t , maka penampang diklasifikasikan sebagai penampang tidak langsing (ideal) dan sebaliknya sebagai penampang langsing.

2.4.3 Kuat Tekan Nominal

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

a) 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 dengan Euler. Sampai saat ini rumus tersebut tetap dijadikan dasar menentukan kuat nominal batang tekan (P_n). Agar sesuai 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.

$$P_n = F_y \cdot A_g \quad (2.33)$$

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

$$1) \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25, \text{ tekuk inelastis, maka} \quad (2.34)$$

$$F_{cr} = (0,658 \frac{F_y}{F_e}) \cdot F_y \quad (2.35)$$

$$2) \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ atau } \frac{F_y}{F_e} > 2,25, \text{ tekuk elastis, maka :} \quad (2.36)$$

Dimana F_e = Tegangan tekuk Euler (elastis) sebagai berikut.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(\frac{KL}{r})^2} \quad (2.37)$$

b) Tekuk Torsi dan Tekuk Lentur Torsi

Fenomene 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 tekuk nominal penampang kolom tidak langsing terhadap tekuk torsi dan lentur torsi adalah sebagai berikut.

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

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

1) Penampang siku ganda atau tee

2.5. Dasar Perencanaan Batang Portal

(Balok-Kolom)

$$\text{a) Jika } \frac{P_r}{P_c} \geq 0,2, \text{ maka : } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.38)$$

$$\text{b) Jika } \frac{P_r}{P_c} \leq 0,2, \text{ maka : } \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.39)$$

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 sebagai berikut:

2.6. Dasar Perencanaan Sambungan Struktur

Pemilihan jenis dan detail sambungan adalah ciri utama perencanaan konstruksi baja, yang jumlahnya sendiri relatif banyak dan bervariasi. Sistem sambungan untuk struktur baja relatif istimewa jika dibanding struktur beton. Umumnya pada struktur beton tidak mengenal istilah sambungan, maklum umumnya cor ditempat. Komponen struktur baja berbeda, tidak bisa dibuat sekaligus, tetapi dalam bentuk elemen-elemen lepas untuk dirakit dengan sambungan di lapangan. Oleh sebab itu sambungan yang dipilih akan mempengaruhi kekuatan, biaya, cara, dan waktu pelaksanaannya sendiri.

Dari berbagai konfigurasi sambungan, juga orientasi pembebanan yang bekerja, maka gaya internal yang terjadi pada alat sambung baut hanya berupa gaya tarik dan gaya geser, atau gabungan keduanya. Berdasarkan hal itu, maka sambungan itu sendiri dapat dikelompokkan menjadi sambungan tipe geser dan sambungan tipe tarik atau gabungan dari keduanya.

2.6.1 Sambungan Baut Tipe Geser

Konfigurasi sambungan baut tipe geser dan cara pemasangan baut mutu tinggi, ternyata saling terkait dan mempengaruhi kekuatan dan kekakuan sambungan itu sendiri. Keterkaitannya menghasilkan dua mekanisme pengalihan gaya-gaya yang berbeda, yaitu mekanisme slip-kritis dan tumpu. Sambungan baut dengan mekanisme slip-kritis atau tumpu, tidak bisa dibedakan dari tampilan fisiknya saja. Mekanisme tersebut hanya akan terlihat setelah diberikan pembebanan. Jika pada beban rencana, baut tidak mengalami slip (tetap ditempat), maka saat itu mekanisme slip-kritis sedang bekerja. Kekuatannya tergantung dari besarnya tahanan friksi yang terjadi. Sebaliknya, jika pada saat dibebani, baut mengalami slip, maka mekanisme tumpu telah bekerja.

Sambungan slip-kritis adalah sambungan yang direncanakan tidak mengalami slip. Sistem itu diperlukan untuk mengatasi

terjadinya beban bolak-balik (misal tarik jadi desak atau sebaliknya),yang umumnya ada pada jembatan.Jika itu terus berlangsung terus-menerus,pada waktu lama maka struktur akan beresiko tinggi mengalami kerusakan fatig,yaitu keruntuhan pada kondisi tegangan elastis.Tentu saja tidak semua sambungan harus mempunyai ketahanan seperti itu.Bangunan gedung misalnya,sambungan cukup direncanakan terhadap mekanisme tumpu saja,agar jumlah baut yang diperlukan lebih sedikit,yang berarti lebih ekonomis.

a) Mekanisme Slip Krisis Baut

Sambungan baut mutu tinggi geser dengan mekanisme slip-kritis atau sambungan slip-kritis dipilih untuk konstruksi yang didominasi beban dinamik atau beban bolak-balik berganti tanda,yang umum terjadi pada jembatan atau mesin industri.

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

$$R_n = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (2. 40)$$

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 mempersentasikan 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 standard atau lubang slot pendek yang dipasang tegak lurus pada arah beban, $\phi = 1,0$ Untuk lubang *Oversize* dan slot pendek tetapi dipasang sejajar arah beban maka $\phi = 0,85$. Jika lubangnyanya adalah slot-panjang maka $\phi = 0,70$.

b) Mekanisme Tumpu Baut

Mekanisme tumpu hanya terjadi jika mekanisme slip-kritis gagal, ditandai dengan terjadinya slip. Istilah gagal, tidak berarti bahwa kondisinya telah runtuh, tetapi karena tahanan fisiknya tidak lagi bekerja. Adapun sambungan tipe geser bermekanisme tumpu adalah didasarkan pada kondisi bagaimana memanfaatkan material secara maksimal, yaitu sampai kondisi inelastis (F_y dan F_u). Mekanisme ini menghasilkan kapasitas yang lebih besar, sehingga jumlah baut perlu relatif lebih sedikit dibanding jika memakai mekanisme slip-kritis.

a) 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.

$$R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u \quad (2. 41)$$

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

$$R_n = 1,5 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 3,0 \cdot d \cdot t \cdot F_u \quad (2. 42)$$

Dimana :

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

$$R_n = 1,0 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2,0 \cdot d \cdot t \cdot F_u \quad (2. 43)$$

b) Kuat Geser Baut

Jika pelat mengalami fenomena tumpu dan geser, maka pada baut juga demikian. Tetapi ukuran baut sudah tertentu, maka kerusakan akan terjadi terlebih dahulu adalah geser. Oleh sebab itu dalam perencanaan yang dievaluasi hanya kuat geser saja, yang relatif lebih lemah dibanding kuat tumpunya. Rumus kuat geser baut per 1 bidang geser adalah

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b \quad (2. 44)$$

Dimana :

F_{nv} = tegangan geser nominal baut

A_b = luas penampang baut, bagian berulir atau polos, tergantung tegangan geser nominal yang dipakai.

c) Kuat Blok Plat

Perhitungan sambungan tipe geser dengan mekanisme tumpu didasarkan pada sambungan kekuatan individu masing-masing baut sambungan dengan jumlah baut yang relatif kecil. Tetapi untuk sambungan dengan jumlah baut yang relatif banyak, dengan penempatan yang berkelompok, dapat menyebabkan keruntuhan blok dalam satu kesatuan. Rumus kuat blok geser pelat adalah.

$$R_n = 0,6 \cdot (F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}) \leq 0,6 F_y \cdot (A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}) \quad (2. 45)$$

Dimana :

F_u = kuat tarik minimum pelat sambungan (Mpa)

F_y = kuat leleh minimum pelat sambungan (Mpa)

A_{nv} = luas netto (dengan lubang) potongan mengalami gaya geser,yaitu garis batas blok searah gaya (mm^2)

A_{gv} = luas utuh (tanpa lubang) potongan mengalami gaya geser,yaitu garis batas blok searah gaya (mm^2)

A_{nt} = luas netto (dengan lubang) potongan mengalami gaya geser,yaitu garis batas blok tegak lurus gaya (mm^2)

U_{bs} = untuk tegangan tarik merata (uniform) $U_{bs}= 1,0$ dan yang tidak merata (gradien) $U_{bs}=0,5$ ini bisa dijumpai misalnya pada sambungan ujung dari balok dengan penempatan kolom baut secara ganda.

d) Kekuatan Sambungan

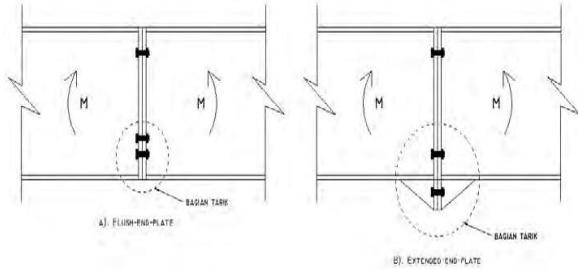
Untuk mendapatkan kuat nominal sambungan,semua mekanisme keruntuhan yang teridentifikasi harus ditinjau,yaitu : (1) kuat tumpu (geser) pelat,yang merupakan jumlah kumulatif tahanan tumpu masing-masing baut yang mengalami kontak dengan pelat; (2) kuat geser baut,tergantung dari jumlah bidang geser per baut,jumlah baut disambungan dan kuat geser nominal baut ; (3) kuat geser blok,khusus untuk sambungan dengan jumlah baut yang relatif banyak dan ditempatkan secara berkelompok.

Kuat nominal maksimum, R_n dari sambungan ditentukan jika salah satu dari mekanisme diatas dapat tercapai terlebih dahulu.Itu gaya terkecil yang menimbulkan mekanisme keruntuhan adalah yang menentukan.Selanjutnya kuat batas sambungan adalah $R_u= \phi R_n$ dengan faktor tahanan $\phi = 0,75$ untuk keseluruhan mekanisme keruntuhan yang ditinjau.Hal itu menunjukkan bahwa keruntuhan yang terjadi melibatkan keruntuhan fraktur yang relatif kurang daktail dibanding keruntuhan leleh.

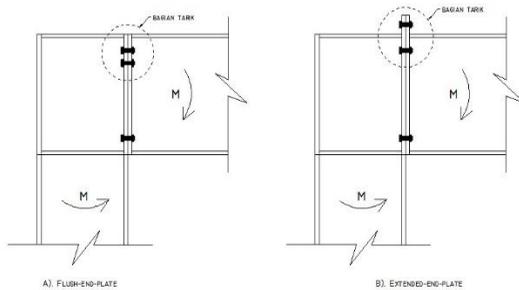
2.6.2 Sambungan End Plate

Sambungan baut tipe tarik memiliki jumlah baut yang relatif sedikit,dan ada tambahan pelat khusus dilas 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 pada balok-balok atau portal (kolom-blok).



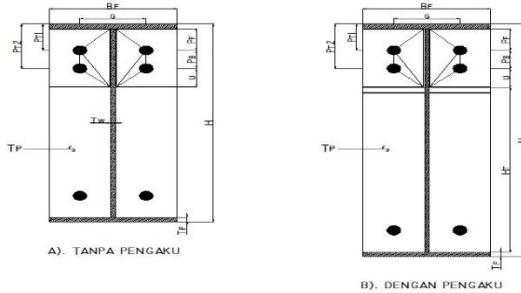
Gambar 2. 6 Sambungan end-plate pada balok
(Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain –AISC 2016, Wiryanto Dewobroto)



Gambar 2. 7 Sambungan end-plate pada portal
(Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain –AISC 2016, Wiryanto Dewobroto)

a) Kapasitas Pelat Ujung

Kinerja sambungan *end-plate* tergantung pelat ujungnya dan baut tarik. Untuk menghitung secara maksimal kekuatan pelat ujung maka cara yang terbukti akurat adalah dengan teori garis leleh (*yield line theory*).



Gambar 2. 8 Pola garis leleh pelat tipe flush-end-plate
(Sumber:Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain –AISC
2016, Wiryanto Dewobroto)

1) *Flash-End-Plate* Polos

Kuat sambungan *end-plate* terhadap kondisi batas terjadinya leleh plat ujungnya yang dicari berdasarkan teori garis leleh yaitu :

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[\frac{b_f}{2} \left(\frac{h-p_t}{p_f} + \frac{h-p_t z}{u} \right) + 2(p_f + p_b + u) \left(\frac{h-p_t}{p_f} \right) \right] \quad (2.46)$$

Jika $M_u \leq \phi M_{pl}$ maka tebal pelat minimum dapat dicari, berikut:

$$u = \frac{1}{2} \sqrt{b_f g \left(\frac{h-p_t z}{h-p_t} \right)} \quad (2.47)$$

$$t_p \geq \left[\frac{M_u / \phi F_{py}}{\frac{b_f}{2} \left(\frac{h-p_t}{p_f} + \frac{h-p_t z}{u} \right) + 2(p_f + p_b + u) \left(\frac{h-p_t}{p_f} \right)} \right] \quad (2.48)$$

2) *Flush-End-Plate* dengan Pengaku

Kuat sambungan *end-plate* terhadap kondisi batas terjadinya leleh pelat ujung yang dicari berdasarkan teori garis leleh yaitu :

$$AA = (h-p_t) \left[\frac{b_f}{2 p_f} + \frac{2}{g} (p_f + p_b) \right] \quad (2.49)$$

$$BB = 1,25 (h-p_t z) \left[\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_s} + \frac{1}{2 h t} \right) + \frac{g}{10 p_s} + \frac{2}{g} \left(\frac{p_b}{s} + p_s \right) \right] \quad (2.50)$$

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left\{ AA + \frac{1}{4} b_f + BB \right\} \quad (2.51)$$

Jika $M_u \leq \phi M_{pl}$ maka tebal pelat perlu dapat dicari, berikut.

$$t_p \geq \left[\frac{M_u / \phi F_{py}}{AA + \frac{1}{4} b_f + BB} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2. 52)$$

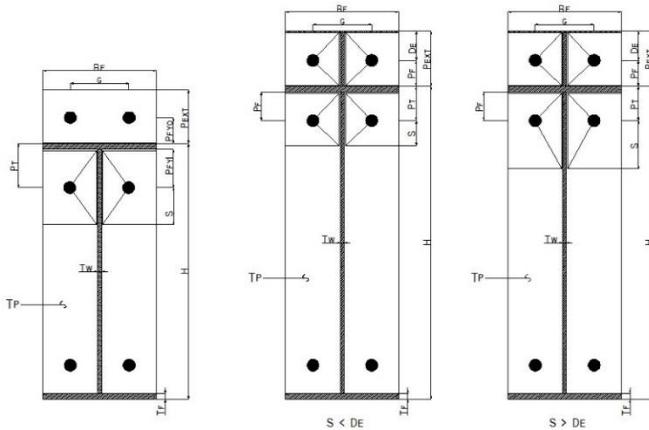
Dimana :

F_{py} = tegangan leleh material pelat ujung

M_{pl} = kapasitas momen plastis pelat ujung

M_u = momen batas sambungan *end-plate*

Φ = keruntuhan lentur akibat leleh, $\phi = 0,9$



Gambar 2. 9 Pola keruntuhan berdasarkan garis leleh tipe extend-end-plate

(Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain – AISC 2016, Wiryanto Dewobroto)

3) *Extend-End-Plate* Polos

Kuat sambungan *end-plate* terhadap kondisi batas leleh pelat berdasarkan teori garis leleh yaitu :

$$M_{pl} = F_{py} t_p^2 \left[\left(\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{s} \right) + (p_{f,i} + s) \frac{2}{g} \right) (h - p_t) + \frac{b_f}{2} \left(\frac{h}{p_{f,0}} + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (2. 53)$$

Jika $s = \frac{1}{2}(b_f \cdot g)^{\frac{1}{2}}$ dan $M_u \leq \emptyset M_{pl}$ maka tebal pelat perlu berdasarkan kuat batas leleh dapat dicari sebagai berikut:

$$t_p \geq \left[\frac{M_u / \emptyset F_{py}}{\left(\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f \cdot i} + \frac{1}{2} \right) + (p_f \cdot i + s) \frac{2}{g} \right) (h - p_t) + \frac{b_f}{2} \left(\frac{h}{p_f \cdot o} + \frac{1}{2} \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.54)$$

4) *Extended-end-plate* dengan pengaku

a. $s < d_e$

Kuat sambungan *end-plate* terhadap kondisi batas leleh pelat berdasarkan teori garis leleh yaitu :

$$M_{pl} = F_{py} t_{p2} \left[\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{2} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} \right] [(h - p_t) + (h + p_f)] \quad (2.55)$$

Jika $s = \frac{1}{2}(b_f \cdot g)^{1/2}$ dan $M_u \leq \emptyset M_{pl}$ maka tebal pelat perlu

$$t_p \geq \left[\frac{M_u / \emptyset F_{py}}{\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{s} \right) + (p_f + s) \frac{2}{g} [(h - p_t) + (h + p_f)]} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.56)$$

berdasarkan kuat batas leleh dapat dicari sebagai berikut

b. $s > d_e$

Kuat sambungan *end-plate* terhadap kondisi batas leleh pelat berdasarkan teori garis leleh yaitu :

$$M_{pl} = F_{py} t_{p2} \left[\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{2s} \right) + (p_f + d_e) \frac{2}{g} \right] [(h - p_t) + (h + p_f)] \quad (2.57)$$

Jika $s = \frac{1}{2}(b_f \cdot g)^{1/2}$ dan $M_u \leq \emptyset M_{pl}$ maka tebal pelat perlu berdasarkan kuat batas leleh dapat dicari sebagai berikut

$$t_p \geq \left[\frac{M_u / \emptyset F_{py}}{\frac{b_f}{2} \left(\frac{1}{p_f} + \frac{1}{2s} \right) + (p_f + d_e) \frac{2}{g} [(h - p_t) + (h + p_f)]} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.58)$$

Dimana:

F_{py} = tegangan leleh material pelat ujung

M_{pl} = kapasitas momen plastis pelat ujung

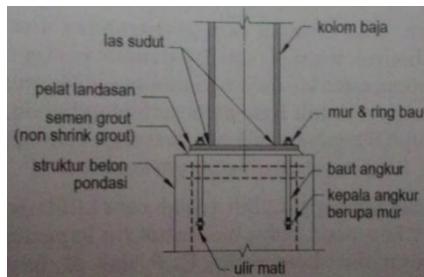
M_u = momen batas sambungan *end-plate*

ϕ = keruntuhan lentur akibat leleh, $\phi = 0,9$

2.6.3 Sambungan Base Plate

Struktur baja umumnya untuk bangunan bagian atas, dibagian bawah khususnya pondasi mengandalkan struktur beton. Untuk menghubungkan keduanya perlu sambungan, yaitu *base-plate*. Pada prinsipnya plat landasan (*base-plate*) dibuat untuk transfer gaya atau momen dari struktur baja yang relatif lebih kuat ke struktur beton yang lebih lemah tanpa menimbulkan kerusakan.

Base plate yang biasa, umumnya terdiri dari pelat landasan dan baut angkur. Adapun pelat landasan tersambung ke kolom baja dengan las. Secara teoritis, biasa saja baut angkur tidak diperlukan, tetapi dalam pelaksanaan harus dipasang. Minimal dua buah, untukantisipasi momen tidak terduga selama masa konstruksi.



Gambar 2. 10 Konfigurasi base plate kolom umumnya
(Sumber: Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain – AISC
2016, Wiryanto Dewobroto)

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.

1) Luas beton = luas pelat landasan maka :

$$p_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 \quad (2.59)$$

Atau dalam format tegangan tumpu nominal maka

$$f_{p(maks)} = \phi_c 0,85 \cdot f_c' \quad (2. 60)$$

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

$$p_p = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f_c' \cdot A_1 \quad (2. 61)$$

$$f_{p(maks)} = \phi_c 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 \cdot f_c' \quad (2. 62)$$

Dimana :

f_c' = kuat tekan beton yang diisyaratkan. Mpa

A_1 = luas beton yang dibebani gaya konsentris, mm^2

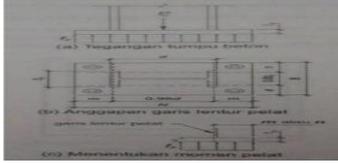
A_2 = luas bawah piramida terpancung yang luas atas adalah A_1 , dimana sisi miringnya mempunyai rasio horizontal : vertikal adalah 2:1, mm^2 .

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

Tekan Konsentris

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

$$f_p = \frac{P_u}{BN} \leq f_p(\text{ maks}) \quad (2. 63)$$



Gambar 2. 11 Base-plate terhadap beban tekan konsentris
(Sumber; Struktur Baja Perilaku, Analisis dan Desain-AISC
2010, Wiryanto Dewobroto)

Kuat perlu pada pelat landasan dapat ditentukan berikut.

$$M_{pl} = \frac{1}{2} f_p l^2 \quad (2. 64)$$

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

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} \quad (2. 65)$$

$$n = \frac{B - 0,8b_f}{2} \quad (2. 66)$$

$$\lambda n' = \frac{1}{4} \lambda \sqrt{db_f} \quad (2. 67)$$

$$\lambda = \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1-x}} \leq 1 \quad (2. 68)$$

$$x = \left\{ \frac{4db_f}{(d+b_f)^2} \right\} \frac{p_u}{\phi c p p} \quad (2. 69)$$

Cukup konservatif jika diambil $\lambda = 1$

Untuk kondisi batas leleh, tebal minimum pelat landasan adalah

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4M_{pl}}{\phi F_y}} = l \sqrt{\frac{2f_p}{\phi F_y}} = l \sqrt{\frac{2P_u}{\phi F_y B N}} \quad (2. 70)$$

Dimana :

ϕ = faktor ketahanan terhadap 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 $m=n$

2.7. Metode LRFD

LRFD adalah metode perencanaan struktur baja yang mendasarkan perencanaan dengan membandingkan kekuatan struktur yang diberi suatu faktor resistensi (ϕ) terhadap kombinasi beban terfaktor yang direncanakan bekerja pada struktur tersebut ($\sum \gamma_i Q_i$)

Kondisi Batas

Kondisi batas menunjukkan kemampuan batas 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 mungkin terlampaui berdasarkan kriteria perencanaan yang ada. Ada dua jenis kondisi batas yang diterapkan pada struktur yaitu :

1) Kondisi batas kekuatan (ultimate strength), yang menetapkan besarnya keamanan terhadap kondisi beban ekstrim selama masa pakai struktur.

2) Kondisi batas layan yang menetapkan batasan-batasan agar struktur dapat berfungsi sesuai yang direncanakan.

Fokus perencanaan struktur LRFD adalah kondisi batas kekuatan (limit state of strength) yang menjamin keselamatan publik (manusia dan barang miliknya). Untuk menerapkan kondisi batas pada perencanaan struktur, terdapat ketentuan LRFD yang pada dasarnya terdiri dari parameter-parameter berikut.

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad (2.71)$$

Dimana :

Σ = adalah penjumlahan

i = menunjukkan berbagai kondisi yang ditinjau

Q_i = pengaruh beban nominal

γ_i = faktor beban terkait beban Q_i yang ditinjau

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

R_n = kuat nominal, kekuatan elemen yang dihasilkan

ϕ = faktor tahanan sesuai jenis struktur yang ditinjau

ϕR_n = kuat rencana, kekuatan struktur yang direncanakan

Ketentuan LRFD-SNI 03-1729-2015 (Mengacu pada AISC 2010)

Perencanaan LRFD dianggap memenuhi syarat jika 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. Konsep dasar ketentuan LRFD adalah:

$$R_u \leq \phi R_n$$

Kuat perlu, R_u adalah nilai maksimum dari berbagai kombinasi beban terfaktor yang dicari dengan bantuan analisis struktur. Untuk mencari kuat perlu, R_u untuk tiap-tiap elemen struktur, maka diperlukan analisa struktur secara menyeluruh (global). Faktor kombinasi beban disiapkan untuk analisa struktur cara elastis. Jika alat analisa struktur dilengkapi opsi memperhitungkan efek $P-\Delta$ (nonlinier geometri), maka ketentuan analisis stabilitas struktur selain memakai Effective Length Method (ELM) juga dapat memakai Direct Analysis Method (DAM).

Hasil analisis struktur secara menyeluruh (global) untuk R_u selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi elemen per-elemen dan dibandingkan dengan kuat rencana, ϕR_n yang ditinjau per-elemen juga, sesuai dengan gaya internal yang terjadi. Tinjauan per-elemen diperlukan karena karakter untuk setiap aksi dan perilaku keruntuhannya bisa berbeda-beda.

Tabel 2. 2 Struktur baja

faktor tahanan ϕ	
Komponen struktur	Faktor tahanan ϕ
Lentur	0,90
Tekan aksial	0,90
Tarik leleh	0,90
Tarik fraktur	0,75

Geser	0,90
Sambungan baut	
Baut geser	0,75
Baut Tarik	0,75
Kombinasi geser dan tarik	0,75
Baut tumpu	0,75
Sambungan las	
Las tumpul penetrasi penuh	0,90
Las sudut/tumpul penetrasi sebagai	0,75
Las pengisi	0,75

Sumber:Struktur baja perilaku,Analisis & Desain –AISC 2010,Wiryanto Dewobroto

2.8. Analisa Gaya

a. Gaya Luar (Gaya Gempa)

Beban gempa nominal,yang nilainya ditentukan oleh 3 hal,yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu,oleh tingkat diaktilitas struktur yang mengalaminya dan oleh kekuatan lebih yang terkandung dalam struktur tersebut.Menurut standar ini,peluang dilampauinya beban tersebut dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 10% dan gempa yang menyebabkan disebut gempa rencana (dengan periode ulang 500 tahun),tingkat daktilitas struktur gedung dapat ditetapkan sesuai kebutuhan sedangkan faktor kuat lebih f_1 untuk struktur gedung umum nilainya 1,6.Dengan demikian,bebabn gempa nominal adalah beban akibat pengaruh gempa rencana yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama di dalam struktur gedung,kemudian direduksi dengan faktor kuat lebih f_1

Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi.Beban kejutan ini dapat disebabkan oleh banyak hal,tetapi salah satu faktor yang utama adalah benturan pengesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi.Lokasi terjadinya gesekan ini disebut *fault zones*.Kejutan yang berkaitan dengan benturan tersebut akan menjalar dalam bentuk gelombang.Gelombang ini dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan diatasnya bergetar.Pada saat bangunan bergetar,timbul gaya-gaya pada struktur bangunan karena adanya

kecendrungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya dari gerakan sehingga gempa bumi mempunyai kecendrungan menimbulkan gaya-gaya lateral pada struktur.

b. Gaya Akibat Beban Gravitasi

1. Beban Mati

Beban mati merupakan beban gaya berat pada suatu posisi tertentu. Beban ini disebut demikian karena ia bekerja terus menerus menuju arah bumi pada saat struktur telah berfungsi. Berat struktur dianggap sebagai beban mati, demikian pula segala hal yang tertempel pada struktur tersebut seperti pipa-pipa, saluran listrik, saluran AC dan pemanas, peralatan pencahayaan, penutup lantai, penutup atap, plafond gantung, yakni segala macam hal yang tetap berada pada tempatnya sepanjang umur struktur tersebut.

Beban mati yaitu berasal dari berat sendiri semua bagian dari gedung yang bersifat tetap, termasuk dinding dan sekat peisah, kolom, balok, lantai, atap, penyelesaian, mesin dan peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah sedemikian rupa sehingga probabilitas untuk dilampauinya dalam kurun waktu tertentu terbatas pada suatu persentase tertentu. Pada umumnya probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu gedung 50 tahun dan ditetapkan dalam standar-standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban mati nominal

2. Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja pada struktur gedung merupakan beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung tersebut, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun dari barang yang dipindahkan atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dari gedung, yang nilai seluruhnya adalah rupa. Pada umumnya probabilitas beban tersebut untuk dilampaui adalah dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun dan ditetapkan sebesar 10%. Namun demikian, beban hidup rencana

yang biasa ditetapkan dalam standar pembebanan struktur gedung, dapat dianggap sebagai beban hidup nominal.

Beban hidup merupakan beban-beban gravitasi yang bekerja pada saat struktur telah berfungsi, namun bervariasi dalam besar dan lokasinya. Contohnya adalah beban orang, furniture, perkakas yang dapat bergerak, kendaraan dan barang-barang yang dapat disimpan. Secara praktis beban hidup bersifat tidak permanen sedangkan, yang lainnya sering berpindah-pindah tempatnya. Karena tidak diketahui besar, lokasi dan kepadatannya, besar dan posisi sebenarnya dari beban-beban semacam itu sulit sekali ditentukan.

2.9. Perencanaan Beban dan Kuat Terfaktor

Perencanaan pembebanan ini menggunakan beberapa acuan standar sebagai berikut :

1) Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2012)

2) Beban minimum untuk persyaratan perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727-2013)

Berdasarkan peraturan-peraturan diatas, struktur sebuah gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban berikut :

1. Beban mati (*Dead Load*), dinyatakan dengan lambang DL
2. Beban Hidup (*Live Load*), dinyatakan dengan lambang LL
3. Beban Gempa (*Earthquake Load*), dinyatakan dengan lambang E
4. Beban Angin (*Wind Load*), dinyatakan dengan lambang W

a. kombinasi beban untuk metode ultimit

kombinasi beban yang digunakan dalam metode ultimit ini menggunakan aturan SNI 1726-2012, yaitu sebagai berikut :

$1,4 D$	(2. 72)
$1,2D+1,6L+0,5(Lr \text{ atau } R)$	(2. 73)
$1,2D+1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$	(2. 74)
$1,2D +1,0W+L+0,5(Lr \text{ atau } R)$	(2. 75)
$1,2D+1,0E+L$	(2. 76)
$0,9+1,0W$	(2. 77)
$0,9D+1,0E$	(2. 78)

2.10. Menentukan kategori Resiko Bangunan Gedung

Untuk berbagai resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai tabel 1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I, menurut Tabel 2. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai kategori resiko IV

Tabel 2. 3 SNI 1726:2012

Jenis Pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: -Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan -Fasilitas sementara -Gudang Penyimpanan -Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, IV. termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: -Perumahan -Rumah toko dan rumah kantor -Pasar -Gedung perkantoran -Gedung apartemen/rumah susun -Pusat perbelanjaan/mall	II

-Bangunan industri -Fasilitas manufaktur -Pabrik	
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan,termasuk,tapi tidak dibatasi untuk : -Bioskop -Gedung pertemuan -Stadion -Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat -fasilitas penitipan anak -penjara -Bangunan untuk orang jompo	III
Gedung dan non gedung,tidak termasuk dalam kategori resiko IV,yang memilki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagaglan,termasuk,tapi tidak dibatasi untuk: -Pusat pembangkit listrik biasa -Fasilitas penanganan air -Fasilitas penanganan limbah -Pusat Telekomunikasi	
Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV,termasuk,tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur,proses,penanganan,penyimpanan,penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya,bahan kimia berbahaya,limbah berbahaya,atau bahkan mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran	
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting,termasuk,tetapi tidak dibatasi untuk: -Bangunan-bangunan monumental -Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan -Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat -Fasilitas pemadam kebakaran,ambulans dan kantor polisi,serta garasi kendaraan darurat	IV

-
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai dan tempat perlindungannya lainnya
 - Fasilitas kesiapan darurat komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
 - Pusat Pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat
 - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat

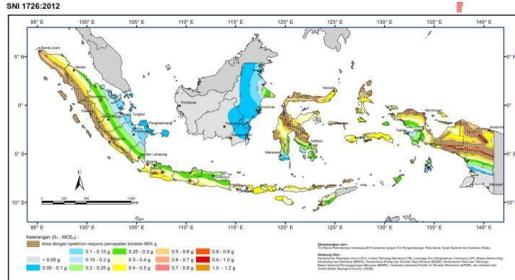
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV

Tabel 2. 4 Faktor keutamaan gempa

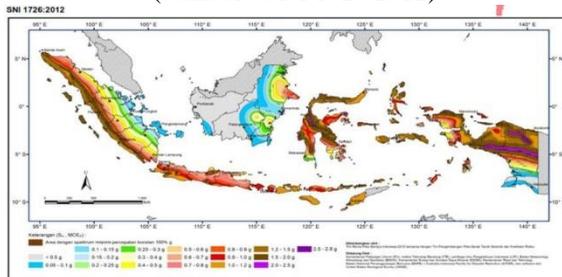
Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

2.11. Wilayah Gempa

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 14, wilayah gempa ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Pada peta wilayah gempa SNI 03-1726-2012, wilayah gempa dibagi berdasarkan percepatan maksimum batuan dasar dan respon spektra di batuan dasar. Pada SNI 03-1726-2012 ini, zonasi peta gempa menggunakan peta gempa probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun. Untuk klasifikasi wilayah gempa, peta gempa terbaru ini menggunakan warna-warni yang menunjukkan parameter S_s dan S_1 untuk setiap besaran spektrum respon percepatan. Untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan pada gambar di bawah ini



Gambar 2. 12 Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_s)
dibatuan dasar S_B
(Sumber : SNI 1726 2012)



Gambar 2. 13 Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_s)
dibatuan dasar S_B
(Sumber:SNI 1726 2012)

Untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berdasarkan SNI-03-1726-2012 Di dalam peta zonasi gempa ini, setiap warna mewakili besaran parameter percepatan batuan dasar mulai dari yang terendah hingga yang paling tinggi. Daerah yang tidak memiliki warna (Daerah abu-abu) adalah daerah yang tidak berpengaruh oleh gempa karena berada jauh dari lempeng benua yang merupakan pusat gempa buni terjadi. Untuk mengetahui nilai percepatan batuan pada tiap-tiap kota yang ingin direncanakan maupun lokasi yang lebih akurat dari peta diatas, bisa dilakukan analisa menggunakan program bantu **Desain Spektra Indonesia** yang bisa diakses pada situs :



Gambar 2. 14 Desain Spektra Indonesia
 Sumber : (Puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain spektra indonesia 2011)

Tabel 2. 5 Jenis-jenis tanah

Jenis tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata, V_s (m/det)	Nilai hasil Test Penetrasi Standar rata-rata N	Kuat gesernila rir rata-rata S_u (kPa)
Tanah Keras	$V_s \geq 350$	$N \geq 350$	$S_u \geq 350$
Tanah Sedang	$175 \leq V_s < 350$	$15 \leq N < 350$	$50 \leq S_u < 100$
Tanah Lunak	$V_s < 175$	$N <$	$S_u < 50$
	atau, setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3 m dengan $PI > 20$, $W_n \geq 40$ % dan $S_u < 25$ kPa		
Tanah Khusus	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi		

Berdasarkan SNI 2847-2013 nilai respon gempa bergantung pada waktu getar alami struktur dan kurvanya ditampilkan dalam spektrum respon gempa.

Kinerja struktur gedung

a.Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat efek dari gempa rencana,ialah untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan,di samping mencegah kerusakan non struktur dan ketidaknyamanan penghuni.Simpangan antar tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi faktor skala.

Untuk memenuhi kinerja batas layan struktur gedung,dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung menurut pasal 8.1.1 tidak boleh melapau $\frac{0,03}{R}$ kali tingkat tinggi yang bersangkutan atau 30 mm,bergantung yang mana nilainya terkecil.

b.Kinerja batas ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan,yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan mencegah benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan celah pemisah (sela dilatasi).simpangan antar tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal,untuk struktur gedung beraturan dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ dibawah ini:

$$\xi = 0,7 R \quad (2. 79)$$

di mana R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut dan faktor skala.Simpangan struktur gedung tidak boleh

melampaui 0,02 kalitngkat tinggi yang bersangkutan. Jarak pemisah antar gedung harus ditentukan paling sedikit sama dengan jumlah simpangan maksimum masing-masing struktur gedung. Dalam segala hal masing-masing jarak tersebut tidak boleh dari 0,025 kali ketinggian taraf itu diukur dari taraf penjepitan lateral. Dua bagian struktur gedung yang tidak direncanakan untuk bekerja sama sebagai satu kesatuan dalam mengatasi gempa rencana, harus dipisahkan yang satu terhadap yang lainnya dengan suatu sela pemisah (sela dilatasi) yang lebarnya paling sedikit harus sama dengan jumlah simpangan masing-masing bagian struktur gedung pada taraf itu. Dalam segala hal lebar sela pemisah tidak boleh ditetapkan kurang dari 75 mm.

1. Perencanaan pelat

Bila pelat mengalami rotasi bebas pada tumpuan, pelat dan tumpuan sangat kaku terhadap momen puntir, maka pelat itu dikatakan jepit penuh. Bila balok tepi tidak cukup kuat untuk mencegah rotasi, maka dikatakan terjepit sebagian.

Penulangan lentur dihitung analisa tulangan tunggal dengan langkah-langkah rumus persamaan 2.2 s/d 2.8 :

$$a) Mn = \frac{Mu}{\phi} \quad (2. 80)$$

dimana $\phi = 0,80$

$$b) Rn = \frac{Mn}{bxd^2} \quad (2. 81)$$

$$c) m = \frac{fy}{0,85xf'c} \quad (2. 82)$$

$$d) \rho = \frac{1}{m} \times \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.RN.m}{fy}} \right\} \quad (2. 83)$$

ρ min untuk plat digunakan 0,0025

$$e) As = \rho . b . d \quad (2. 84)$$

$$f) n = \frac{As}{\frac{1}{4} . \pi . d^2} \quad (2. 85)$$

$$g) s = \frac{b}{h} \quad (2. 86)$$

2. Perencanaan balok

Pembebanan balok disesuaikan dengan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung (PPIUG) 1983, sedangkan pemakaian profil dihitung sesuai dengan ketentuan pada AISC – LRFD dengan menggunakan rumus persamaan 2.9-2.15 :

a) Kontrol Momen

Apabila $L_p \leq L_b \leq L_r$

$$M_p = F_y \cdot Z_x \quad (2. 87)$$

$$M_r = S_x (F_y - F_r) \quad (2. 88)$$

$$M_n = C_b [M_p - (M_p - M_r) \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right]] \leq M_p \quad (2. 89)$$

b) Kontrol penampang kompak

Tekuk Badan :

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{640}{\sqrt{f_y}} \quad (2. 90)$$

c) Kontrol Defleksi

$$\Delta_{maks} = \frac{L}{360} \quad (2. 91)$$

$$\Delta = \frac{4}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I_x} \quad (2. 92)$$

3. Perencanaan Kolom

Perencanaan kolom berdasarkan perhitungan beban dari balok anak dan tidak mengindahkan beban angin dan beban gempa. Pemakaian ukuran profil dihitung sesuai dengan ketentuan AISC – LRFD.

Analisis elemen kolom dapat dipergunakan persamaan sebagai berikut :

a. Kolom Pendek

$$\lambda_c \geq 1,5 \quad (2. 93)$$

$$F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) F_y \quad (2. 94)$$

b. Kolom Panjang

$$\lambda c \geq 1,5 \quad (2.95)$$

$$F_{cr} = \left[\frac{0,877}{\lambda c^2} \right] F_y \quad (2.96)$$

$$\lambda c = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}} \quad (2.97)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.98)$$

Dimana : F_y : Tegangan leleh

E : Modulus elastisitas

K : Angka koefisien

L : Panjang kolom

r : Jari – jari girasi

c. Cek stabilitas penampang

$$\frac{bf}{2tf} < \frac{95}{\sqrt{fy}} \quad (2.99)$$

$$\frac{h}{tw} < \frac{253}{\sqrt{fy}} \quad (2.100)$$

d. Sebagai balok – kolom

perencanaan momen lentur dan gaya aksial :

$$\frac{Pu}{\phi Pn} \geq 0.2 \quad \frac{Pu}{\phi Pn} + \frac{8}{9} \cdot \frac{Mu}{Mn} \leq 1 \quad (2.101)$$

$$\frac{Pu}{\phi Pn} < 0.2 \quad \frac{Pu}{2\phi Pn} + \frac{Mu}{\phi Mn} \leq 1 \quad (2.102)$$

$$Pn = A_g F_{cr} \quad (2.103)$$

Dimana : P_u : Gaya aksial terfaktor

P_n : Kuat nominal penampang

A_g : luas penampang

Mu : Momen lentur terfaktor

Mn : Kuat nominal lentur penampang