

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Sifat-sifat Baja

Baja adalah salah satu dari bahan konstruksi yang paling penting. Sifat-sifatnya yang terutama penting dalam penggunaan konstruksi adalah kekuatannya yang tinggi, dibandingkan dengan bahan yang lain yang tersedia, dan sifat keliatannya. Keliatan (*ductility*) adalah kemampuan untuk berdeformasi secara nyata baik dalam tegangan maupun dalam kompresi sebelum terjadi kegagalan. (Bowles, J.E., 1985).

Baja mempunyai sifat elastis, sehingga setelah pembebanan sampai batas tertentu bentuk struktur masih akan kembali ke bentuk semula. (Spiegel, L. dan Limbrunner, G.F., 1991)

Sifat-sifat mekanis baja struktural (ITB, 2000):

- Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$
- Modulus geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$
- Nisbah poisson : $\mu = 0,3$
- Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat mekanis baja struktural
(Sumber : ITB,2000)

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Menurut (Shahab, 1996), struktur baja mempunyai beberapa keunggulan sebagai berikut:

1. memiliki *mechanical properties* yang relatif tinggi sehingga keunggulan kekuatan per ton bahan sangat kompetitif,
2. berat strukturnya relatif lebih ringan,
3. sedikit banyak mempengaruhi keringanan pondasi (hal ini cukup dominan pengaruhnya di daerah yang tanahnya tidak menguntungkan),
4. periode konstruksinya dapat ditekan (waktu fabrikasi bisa *over lapped* dengan periode konstruksi),
5. memiliki daktilitas tinggi, memiliki kelebihan untuk daerah seismik berat,
6. memiliki kemudahan dalam transport.

Menurut Henry Y. Begenkolb (1970), yang mengamati perilaku bangunan baja akibat gempa di San Fransisco tahun 1906, untuk mengetahui unjuk kerja (*performance*) dari struktur baja akibat gempa ada tiga elemen struktural dasar yang perlu dipelajari yaitu:

1. sambungan balok-kolom,
2. pelenturan pada penampang struktural,

3. tekan dan lentur pada kolom.

Sedangkan menurut Oscar de Buen (1980) gempa dapat menyebabkan struktur baja mengalami kegagalan prematur (*premature failure*). Sebab-sebab terjadinya kegagalan prematur adalah:

1. ketidakmampuan struktur untuk mencapai momen plastis (M_p),
2. kapasitas rotasi yang tidak mencukupi,
3. kegagalan pada elemen dan sambungan,
4. ketidakstabilan dari keseluruhan atau sebagian struktur.

2.1.2. Elemen-elemen Struktur

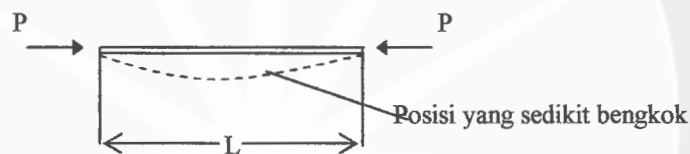
Balok adalah bagian konstruksi yang mengangkut beban transversal yang menghasilkan momen lentur dan gaya lintang dengan tahanan lentur sebagai parameter disain yang mempunyai arti penting khusus (Bowles, J.E., 1985)

Balok-balok dapat digolongkan sebagai :

1. Gelagar (*Girder*), biasanya merupakan balok paling penting yang kerap kali berjarak berjauhan
2. Balok anak (*Joist*), biasanya merupakan balok yang kurang penting dan jaraknya berdekatan
3. *Lintel* : batang yang mendukung dinding di atas bukaan jendela atau pintu.
4. Gording (*Purlin*) : balok atap yang membentang diantara kuda-kuda
5. *Stringer* : balok penghubung longitudinal yang membentang diantara balok-balok lantai
6. *Girt* : balok ringan yang memikul hanya sisi eksterior ringan dari suatu gedung.

Kolom adalah elemen struktur tekan vertikal pada rangka gedung yang mempunyai dimensi panjang jauh lebih besar daripada dimensi penampang melintangnya. Kolom merupakan elemen struktur yang mengalami beban aksial (konsentris), yaitu arah bebannya berimpit dengan sumbu berat longitudinal elemen tersebut (Spiegel,L. dan Limbrunner,G.F.,1991,hal 136).

Akibat adanya pembebanan secara aksial, maka kolom mengalami tekuk. Leonhard Euler mengemukakan teori tentang tekukan kolom, yaitu suatu batang yang semula lurus mendapat pembebanan konsentrik, dimana semua serat tetap dalam keadaan elastik sampai terjadi tekukan, akan sedikit bengkok seperti gambar 2.1. di bawah ini.(Salmon, C.G., dan Johnson,J.E.,1992)



Gambar 2.1. Kolom Euler

Pelat atau *slab* adalah elemen bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan (Wahyudi,1999)

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Analisa beban

Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, struktur gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban angin. Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, pengertian dari beban adalah :

1. Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung.

Beban mati pada perhitungan struktur ini adalah:

- Berat baja : 7500 kg/m^3
 - Berat adukan per cm tebal : 21 kg/m^2
 - Berat pelat beton : 2400 kg/m^3
 - Berat plafon dan penggantung: 18 kg/m^2
2. Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan termasuk beban-beban pada plat lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat dipindahkan.

Beban hidup pada perhitungan struktur ini adalah:

- Beban hidup atap : 100 kg/m^2
 - Beban hidup lantai : 250 kg/m^2
3. Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan akibat gempa itu.

2.2.1.1. Kombinasi beban

Agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam-macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari faktor beban berikut ini :

$$1,4D \dots\dots\dots(2-1)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5(L_a \text{ atau } H) \dots\dots\dots(2-2)$$

$$1,2D + 1,6(L_a \text{ atau } H) + (y_L L \text{ atau } 0,8W) \dots\dots\dots(2-3)$$

$$1,2D + 1,3W + \gamma_L L + 0,5(L_a \text{ atau } H) \dots\dots\dots(2-4)$$

$$1,2D + 1,0E + \gamma_L L \dots\dots\dots(2-5)$$

$$0,9D - (1,3W \text{ atau } 1,0E) \dots\dots\dots(2-6)$$

dengan : $\gamma_L = 0,5$ bila $L < 5\text{kPa}$

$\gamma_L = 1$ bila $L \geq 5\text{kPa}$ atau untuk garasi parkir, dan daerah pertemuan umum

dimana :

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap

L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

L_a = beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak

H = beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

W = beban angin

E = beban gempa

2.2.2. Pelat

Pelat lantai yang dirancang adalah pelat lantai satu arah yang lenturan utama pada arah sisi yang lebih pendek. Tebal pelat harus memenuhi syarat tebal pelat minimum pada SK SNI T-15-1991-03 ayat 3 yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.2. Tebal minimum balok non-pratekan atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung

KOMPONEN STRUKTUR	TEBAL MINIMUM,h			
	DUA TUMPUAN	SATU UJUNG MENERUS	KEDUA UJUNG MENERUS	KANTILEVER
	KOMPONEN TIDAK MENDUKUNG ATAU MENYATU DENGAN PARTISI ATAU KONSTRUKSI LAIN YANG AKAN RUSAK KARENA LENDUTAN YANG BESAR			
Pelat solid satu arah	//20	//24	//28	//10
Balok atau pelat jalur satu arah	//16	//18,5	//21	//8

Langkah-langkah perencanaan pelat satu arah adalah sebagai berikut :

1. Penentuan nilai perbandingan panjang terhadap lebar bentang.
2. Penentuan tebal pelat.
3. Perhitungan beban-beban.
4. Penentuan momen-momen

- Momen lapangan

$$M_u = M_{maks} = \frac{1}{8} \cdot W_u \cdot L^2 \dots\dots\dots(2-7)$$

- Momen tumpuan

$$M_u = 0,5 \cdot M_{maks} \dots\dots\dots(2-8)$$

5. Perhitungan tulangan

- Tinggi efektif d

$$d = h - p - \frac{1}{2} \cdot \phi$$

dengan : h = tebal pelat

p = tebal selimut beton

ϕ = diameter tulangan utama

- Momen lapangan dan tumpuan

$$k = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} \text{ dimana } b \text{ diasumsikan } 1 \text{ m} \dots\dots\dots(2-9)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2-10)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b \dots\dots\dots(2-11)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots(2-12)$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'_c}} \right] \dots\dots\dots(2-13)$$

Syarat $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$

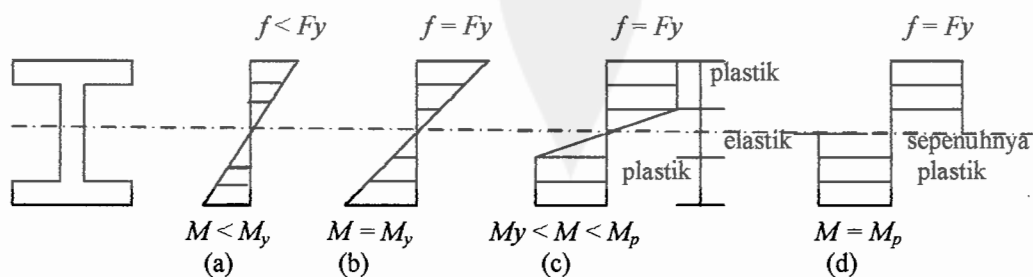
$$A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2-14)$$

2.2.3. Balok

Balok adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Hal ini menyebabkan balok melentur. Sebuah balok juga merupakan kombinasi dari elemen tarik dan tekan.

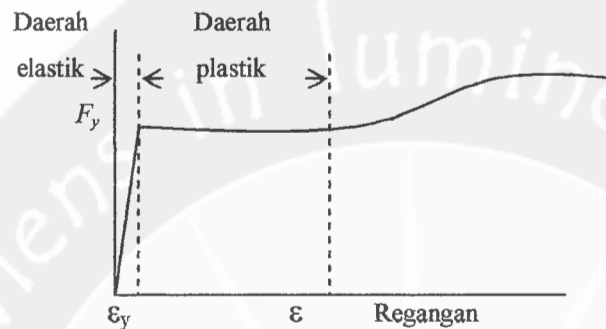
Pada profil baja berbentuk I terjadi peningkatan momen lentur seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.2 dibawah ini. Pada momen lentur dalam rentang beban layanan, penampang tersebut bersifat elastik seperti dalam gambar 2.2a, dan kondisi elastik akan terjadi sampai tegangan pada serat terluar mencapai tegangan leleh F_y (gambar 2.2b) sedangkan kekuatan momen nominalnya M_n disebut sebagai momen leleh M_y .

Pada gambar 2.2d dapat dilihat bahwa lentur telah mencapai kondisi plastik, dan kekuatan momen nominalnya disebut momen plastik M_p . Kekuatan momen plastis merupakan kekuatan momen pada saat semua serat dari penampang lintang berada pada tegangan leleh F_y (satu sisi dari sumbu netral berada dalam keadaan tekan sedang sisi lainnya tarik).



Gambar 2.2 Distribusi tegangan pada berbagai tahap pembebanan

Bila regangan ε mencapai ε_y (gambar 2.3), peningkatan regangan tidak akan mengakibatkan peningkatan tegangan. Peningkatan tegangan-regangan ini merupakan idealisasi yang diterima untuk baja struktural yang memiliki tegangan leleh sekitar 448 MPa dan yang kurang dari itu.



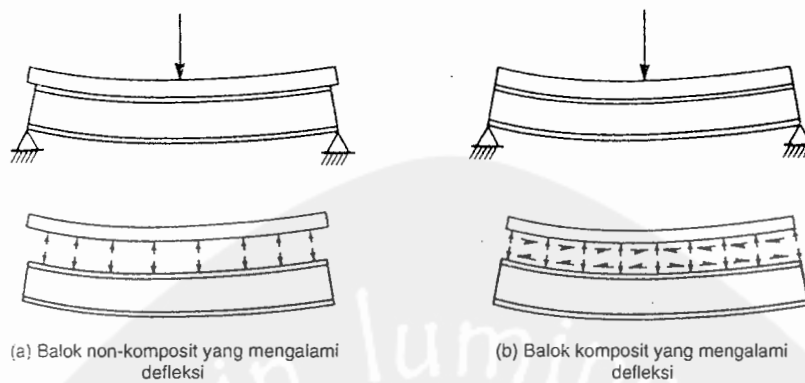
Gambar 2.3 Diagram tegangan-regangan

Secara konservatif kita dapat mengatakan bahwa kekuatan momen plastis M_p dari penampang baja I yang melentur terhadap sumbu kuatnya paling tidak akan 10% lebih besar daripada kekuatan M_y ketika serat terluarnya hanya mencapai tegangan leleh F_y . Untuk itu akan dilakukan analisis penampang balok secara plastis dan kompak.

2.2.3.1. Balok komposit

Balok komposit di dalam konstruksi bangunan dan jembatan adalah sebuah tampang baja yang telah dicor dengan lantai beton atau lantai jembatan, beton tersebut diikatkan secara ketat pada tampang baja dengan perantara konektor geser.

Aksi komposit terjadi bila 2 batang struktural penumpu beban seperti sistem lantai beton dan balok baja penyangga dihubungkan menyeluruh dan mengalami defleksi sebagai satu kesatuan. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.4.

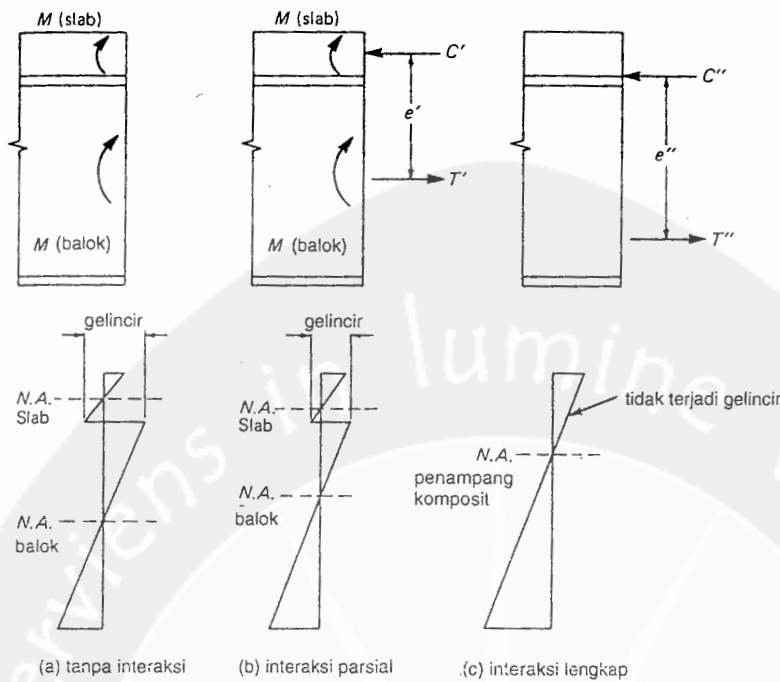


Gambar 2.4. Perbandingan antara balok-balok yang mengalami defleksi dengan dan tanpa aksi komposit
(Sumber: Struktur Baja Desain dan Perilaku 2, 1996)

Pada suatu sistem yang bekerja komposit tidak akan terjadi gelincir relatif diantara slab dan balok. Gaya-gaya horisontal (geser) terjadi dan bekerja pada permukaan bawah slab tersebut sehingga menekan dan membuatnya menjadi lebih pendek; sementara gaya tersebut juga bekerja pada permukaan atas balok dan membuatnya lebih panjang.

Pada aksi komposit penuh, diantara slab dan balok, tidak akan terjadi gelincir dan diagram regangan yang dihasilkan terlihat pada gambar 2.5.c. pada kondisi demikian, sumbu netral tunggal yang terletak di bawah sumbu netral slab dan di atas sumbu netral balok. Gaya tekan dan tarik balok komposit penuh lebih besar daripada balok komposit sebagian (interaksi parsial), momen ketahanan penampang yang sepenuhnya komposit menjadi

$$\begin{aligned} \Sigma M &= T'' c'' \text{ atau} \\ \Sigma M &= C'' c'' \end{aligned} \quad (2-15)$$



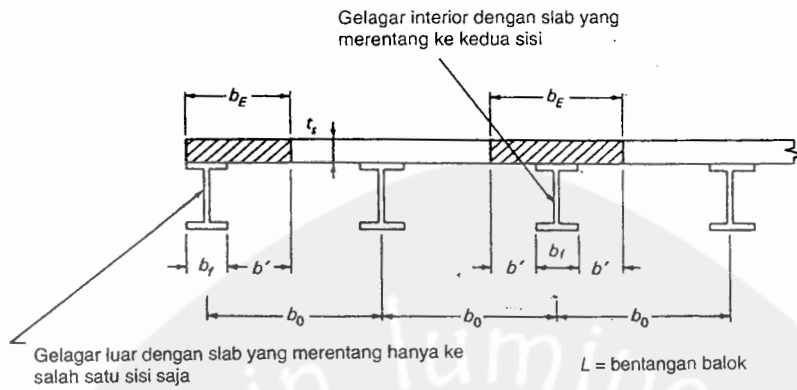
Gambar 2.5 Variasi regangan pada balok-balok komposit
(Sumber: Struktur Baja Desain dan Perilaku 2, 1996)

Kekakuan pada lantai komposit jelas lebih besar daripada lantai beton dengan balok-balok penyangga yang bekerja terpisah. Umumnya slab beton bekerja sebagai pelat satu arah yang membentang diantara balok-balok penyangga. Pada desain komposit diperoleh manfaat tambahan dari slab itu karena aksinya dalam arah sejajar dengan dan dalam kombinasinya dengan balok-balok baja penyangga, efek nettonya adalah memperbesar momen inersia sistem lantai tersebut dalam arah balok bajanya.

Lebar efektif b_E dari suatu flens untuk batang komposit dapat dinyatakan sebagai :

$$b_E = b_f - 2h' \dots\dots\dots(2-16)$$

Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Dimensi yang menentukan lebar efektif b_E pada balok baja-beton komposit
(Sumber: Struktur Baja Desain dan Perilaku 2, 1996)

Lebar efektif pelat beton tidak boleh melebihi :

1. untuk gelagar interior

$$b_E \leq \frac{L}{4} \dots\dots\dots(2-17)$$

$$b_E \leq b_0 \text{ (untuk jarak balok yang sama) } \dots\dots\dots(2-18)$$

2. untuk gelagar eksterior

$$b_E \leq \frac{L}{8} \dots\dots\dots(2-19)$$

$$b_E \leq 0,5b_0 \dots\dots\dots(2-20)$$

Konstruksi yang digunakan adalah konstruksi tanpa *shoring* sementara (tidak disekur) yang dimana balok-balok baja di tempatkan terlebih dahulu dan digunakan untuk memikul *bekisting* slab betonnya. Dalam kasus ini balok baja yang bekerja secara nonkomposit (yakni hanya bekerja sendiri) memikul berat *bekisting*, beton basah, dan beratnya sendiri. Setelah *bekisting* dibuka dan beton mengeras, penampang tersebut akan bekerja secara komposit untuk menahan semua beban mati dan hidup yang ditempatkan setelah perawatan beton tersebut.

Sedangkan untuk konstruksi yang menggunakan sekur (*shoring*) sementara, balok baja. *Bekisting*, dan beton basah dipikul oleh *shore-shore*. Setelah perawatan beton, sekur-sekur tersebut dibuka dan penampang akan bekerja secara komposit menahan semua beban.

Kekuatan nominal M_n berdasarkan distribusi tegangan plastis dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. sumbu netral plastis (PNA) terjadi pada slab.

Dengan mengasumsikan distribusi tegangan persegi Whitney, gaya tekan C adalah:

$$C = 0.85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E \dots \dots \dots (2-21)$$

Gaya tarik T adalah tegangan leleh pada balok kali luasnya:

$$T = A_s \cdot F_y \dots \dots \dots (2-22)$$

Bila gaya tekan C disamakan dengan gaya tarik T akan diperoleh:

$$a = \frac{A_s \cdot F_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b_E} \dots \dots \dots (2-23)$$

dengan : C = gaya tekan

T = gaya tarik

a = jarak antara muka slab ke arah terjadinya gaya tekan, C

A_s = luas penampang balok

b_E = lebar efektif slab beton

Menurut distribusi tegangan persegi yang diterima ACI, jarak sumbu netral x (pada gambar 2.7), sama dengan $a/0.85$ untuk $f'_c \leq 4000$ psi. Kekuatan momen nominal M_n menjadi:

$$M_n = C \cdot d_I \text{ atau } T \cdot d_I \dots \dots \dots (2-24)$$

Bila kekuatan nominal dinyatakan dalam bentuk gaya baja akan diperoleh:

$$M_n = A_s \cdot F_y \left(\frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (2-25)$$

2. sumbu netral plastis terletak pada penampang baja.

Bila kedalaman melampaui ketebalan slab, maka gaya tekan C_c dalam slab sebesar:

$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s \dots \dots \dots (2-26)$$

Gaya tarik T' yang sekarang lebih kecil daripada $A_s \cdot F_y$ harus sama dengan jumlah gaya-gaya tekan:

$$T' = C_c + C_s \dots \dots \dots (2-27)$$

Demikian pula:

$$T' = A_s \cdot F_y - C_s \dots \dots \dots (2-28)$$

Bila persamaan (2-27) disamakan dengan persamaan (2-28) akan diperoleh

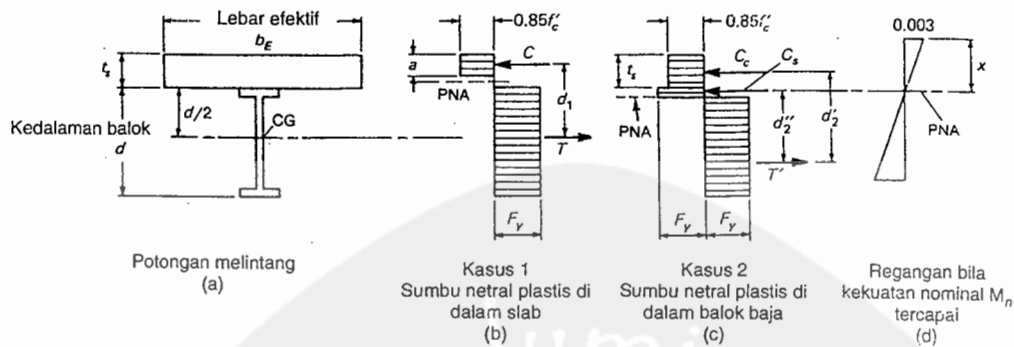
$$C_s = \frac{A_s \cdot F_y - C_c}{2} \dots \dots \dots (2-29)$$

atau

$$C_s = \frac{A_s \cdot F_y - 0.85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s}{2} \dots \dots \dots (2-30)$$

dengan meninjau gaya tekan C_c dan C_s , kekuatan momen nominal M_n adalah:

$$M_n = C_c \cdot d_2' + C_s \cdot d_2'' \dots \dots \dots (2-31)$$



Gambar 2.7. Distribusi tegangan plastis pada kekuatan momen nominal M_n
(Sumber: Struktur Baja Desain dan Perilaku 2, 1996)

Semakin rendah PNA terjadi dalam penampang baja, semakin besar pengaruh tekuk lokal terhadap perilakunya.

2.2.3.2. Konekter Geser

Geser horisontal yang terjadi di antara slab beton dan balok baja selama pembebanan harus ditahan sedemikian rupa sehingga gelincir akan dapat dikekang.

Konekter geser akan memberikan interaksi yang diperlukan bagi slab beton dan balok baja untuk bekerja sebagai satu kesatuan; yakni tidak terjadi gelincir (slip) antara beton dan balok baja yang paralel dengan balok.

Konekter-konekter yang secara khusus dibuat untuk memenuhi spesifikasi AISC adalah konekter stud, konekter kanal dan konekter spiral. Konekter geser yang digunakan pada tugas akhir ini adalah konekter stud berkepala.

Ukuran-ukuran konekter stud berkepala yang ada dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3. Kekuatan nominal Q_n (kips) untuk konekter stud geser yang digunakan dengan beton yang beratnya normal
(Sumber: Struktur Baja Desain dan Perilaku 2, 1996)

Konekter	Kekuatan beton f'_c (ksi)		
	3.0	3.5	4.0
1.2" diameter x 2" stud berkepala	9.4	10.5	11.6
5/8" diameter x 2 - 1/2" stud berkepala	14.6	16.4	18.1
3/4" diameter x 3" stud berkepala	21.0	23.6	26.1
7/8" diameter x 3 - 1/2" stud berkepala	28.6	32.1	35.5

Untuk kekuatan nominal, Q_n satu konektor stud berkepala yang dilaskan ke flens adalah:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot F_u^b \text{ untuk } H_s/d_s \geq 4 \dots\dots\dots(2-32)$$

atau :

$$Q_n = 0,4 \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \text{ untuk } H_s/d_s \geq 4 \dots\dots\dots(2-33)$$

dimana :

Q_n = kekuatan nominal satu stud

H_s = tinggi stud

d_s = diameter stud

A_{sc} = luas penampang lintang stud, $= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_s^2$

F_u^b = kekuatan tarik stud minimum yang dispesifikasikan

E_c = modulus elastisitas beton = $4600 \sqrt{f'_c}$

Untuk mencari jumlah konektor gesernya :

$$N = \frac{V_{nh}}{Q_n} \dots\dots\dots(2-34)$$

$$\text{Dimana } V_{nh} = C_{maks} - 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_s \dots\dots\dots(2-35)$$

$$\text{atau : } V_{nh} = T_{maks} = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(2-36)$$

dari keduanya dipilih nilai V_{nh} yang terkecil.

dengan :

N = jumlah konektor geser

V_{nh} = kekuatan geser

C_{maks} = gaya tekan beton

T_{maks} = gaya tarik pada baja

b_E = lebar slab efektif

t_s = tebal slab

A_s = luas penampang baja

2.2.3.3. Defleksi

Defleksi suatu lantai atau atap yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan terhadap elemen-elemen non struktural yang ditempelkan seperti partisi, juga dapat merusak kegunaan struktur, misalnya kusen pintu sehingga tidak dapat dibuka atau ditutup.

Defleksi maksimum pada suatu batang dapat dinyatakan dengan :

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{5.w.L^4}{384.E.I} \dots\dots\dots(2-37)$$

dengan : w = pembebanan merata
 L = panjang bentang
 E = modulus penampang beton
 I = momen inersia

Sedangkan untuk balok komposit membutuhkan momen inersia transformasi retak elastis I_{tr} untuk balok komposit, dan jika tidak disekur, membutuhkan pula momen inersia elastis penampang baja itu sendiri.

Pada balok baja yang disekur, penampang komposit akan memikul baik beban mati maupun beban hidupnya. Tetapi jika balok baja tidak disekur balok bajalah yang harus memikul beban mati. Pada konstruksi tanpa sekur, defleksi total merupakan jumlah dari defleksi beban mati balok baja dan defleksi beban hidup penampang komposit.

Defleksi balok baja tidak disekur adalah :

$$\Delta_{DL} = \frac{5.w.L^4}{384.E_s.I_s} \dots\dots\dots(2-38)$$

$$\Delta_{LL} = \frac{5.w.L^4}{384.E_s.I_{tr}} \dots\dots\dots(2-39)$$

dengan: Δ_{DL} = defleksi beban mati balok baja

- Δ_{LL} = defleksi beban hidup penampang komposit
 E_s = modulus elastisitas baja
 I_s = momen inersia penampang baja
 I_{tr} = momen inersia penampang komposit

Batas-batas lendutan (defleksi) untuk keadaan kemampuan layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan serta elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum diberikan dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4. Batas lendutan maksimum
(Sumber: ITB, 2000)

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

2.2.3.4. Perencanaan balok akibat tekuk

Dalam mendesain kekuatan suatu balok, tekuk puntir lateral merupakan suatu keadaan yang mungkin dapat mengontrol kekuatan suatu balok. Tekuk puntir lateral adalah gejala tertekannya *flens* profil akibat beban luar sehingga menyebabkan flens menekuk ke arah sampinga (lateral) yang disertai torsi (puntir).

Selain itu kegagalan yang dapat terjadi pada balok adalah tekuk lokal *flens* dalam tekan dan tekuk lokal badan balok.

Untuk mencegah tidak terjadinya salah satu dari bentuk kegagalan di atas maka penampang balok haruslah merupakan penampang yang kompak ($\lambda \leq \lambda_p$).

1. untuk mencegah tekuk lokal *flens* dalam tekan ($\lambda \leq \lambda_p$)

$$\lambda = \frac{b}{t} \dots \dots \dots (2-40)$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2-41)$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \dots\dots\dots(2-42)$$

dimana : λ = kelangsingan

λ_p = batas maksimum untuk penampang kompak

λ_r = batas maksimum untuk penampang tak kompak

b = setengah lebar flens

t = tebal flens

f_y = tegangan leleh baja

f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa

2. untuk mencegah tekuk lokal badan balok ($\lambda \leq \lambda_p$)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \dots\dots\dots(2-43)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2-44)$$

$$\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2-45)$$

dimana : h = jarak antar pusat flens

t_w = tebal badan

3. untuk mencegah tekuk puntir lateral ($L \leq L_p$)

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2-46)$$

dimana : L = panjang bentang antara dua pengekang yang berdekatan

L_p = panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis.

r_y = jari-jari girasi terhadap sumbu lemah

E = modulus elastisitas = 200.000 MPa

$$L_r = r_y \cdot \left[\frac{X_1}{f_L} \right] \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}} \dots\dots\dots(2-47)$$

dengan : $f_L = f_y - f_r$ (2-48)

$$X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{E.G.J.A}{2}} \text{(2-49)}$$

$$X_2 = 4 \left(\frac{S}{G.J} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_y} \text{(2-50)}$$

dimana : L_r = panjang bentang minimum untuk balok yang kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral.

f_L = tegangan leleh dikurangi tegangan sisa

f_r = tegangan sisa

S = modulus penampang

G = modulus geser baja

J = konstanta puntir torsi

A = luas penampang

I_w = konstanta puntir lengkung

I_y = momen inersia

Batasan momen

- Apabila penampang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, maka kuat lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = M_p \text{(2-51)}$$

dengan : $M_p = F_y \cdot Z$ atau(2-52)

$$M_p = 1,5 M_y \text{(2-53)}$$

M_p diambil yang terkecil.

$$M_y = f_y \cdot S \text{(2-54)}$$

dimana : M_n = kuat lentur nominal penampang

M_p = momen plastis

M_y = momen leleh

Z = modulus penampang plastis

S = modulus penampang elastis

- Apabila penampang memenuhi $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ maka kuat lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots(2-55)$$

dengan : $M_r = S.(f_y - f_r) \dots\dots\dots(2-56)$

- Apabila penampang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$ maka kuat lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2 \dots\dots\dots(2-57)$$

dimana : M_r = momen batas tekuk

- Apabila komponen struktur memenuhi $L \leq L_p$ (bentang pendek), maka kuat lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = M_p$$

- Apabila komponen struktur memenuhi $L_p \leq L \leq L_r$ (bentang menengah), maka kuat lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p \dots\dots\dots(2-58)$$

dengan : $C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3 \dots\dots\dots(2-59)$

dimana : C_b = koefisien pangali momen tekuk torsi lateral

M_{max} = momen maksimum pada bentang yang ditinjau

M_A = momen pada $\frac{1}{4}$ bentang

M_B = momen pada tengah bentang

M_C = momen pada $\frac{3}{4}$ bentang

- Apabila komponen struktur memenuhi $L_r \leq L$ (bentang panjang), maka kuat lentur nominal penampang adalah :

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \dots\dots\dots(2-60)$$

$$\text{dengan : } M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E I_y G J + \left(\frac{\pi E}{L} \right)^2 I_y I_w} \dots\dots\dots(2-61)$$

dimana : M_{cr} adalah momen kritis tekuk lateral

$$\text{Kuat lentur harus memenuhi syarat } M_u \leq \phi \cdot M_n \dots\dots\dots(2-62)$$

dengan : $\phi = 0,9$

2.2.3.5. Perencanaan pelat badan balok

Ketebalan pelat badan yang tidak diperkaku dan dibatasi di kedua sisi memanjangnya oleh pelat sayap harus memenuhi :

$$\frac{h}{t_w} \leq 6,36 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2-63)$$

Tebal pelat badan yang mempunyai sendi plastis harus memenuhi :

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,9 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2-64)$$

2.2.3.6. Perencanaan balok terhadap geser

Pelat badan yang memikul gaya geser perlu (V_u) harus memenuhi

$$V_u \leq \phi \cdot V_n \dots\dots\dots(2-65)$$

Kuat geser nominal (V_n) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan di bawah ini :

a. jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi :

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \dots\dots\dots(2-66)$$

$$\text{dengan : } k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2} \dots\dots\dots(2-67)$$

Maka kuat geser nominal pelat badan :

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \dots\dots\dots(2-68)$$

dimana : V_n = kuat geser nominal pelat badan
 V_u = gaya geser perlu
 k_n = koefisien tekuk geser pelat
 a = jarak antara dua pengaku vertikal
 h = tinggi bersih balok

b. jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi :

$$1,1 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \leq h/t_w \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \dots\dots\dots(2-69)$$

Maka kuat tekuk geser elasto-plastis pelat badan adalah sebagai berikut :

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[1,1 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \right] \cdot \frac{1}{(h/t_w)} \dots\dots\dots(2-70)$$

atau ;

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \dots\dots\dots(2-71)$$

$$\text{dengan : } C_v = 1,1 \frac{\sqrt{k_n \cdot E / f_y}}{(h/t_w)} \dots\dots\dots(2-72)$$

dimana : C_v = rasio kuat geser

c. jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi :

$$1,37 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \leq (h/t_w) \dots\dots\dots(2-73)$$

Maka kuat tekuk geser elastis adalah sebagai berikut :

$$V_n = \frac{0,9 \cdot A_w \cdot k_n \cdot E}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2} \dots\dots\dots(2-74)$$

atau sama dengan persamaan (2-28) tapi dengan :

$$C_v = 1,5 \frac{k_n \cdot E}{f_y} \cdot \frac{1}{(h/t_w)^2} \dots\dots\dots(2-75)$$

2.2.3.7. Perencanaan balok terhadap geser dan lentur

Jika momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang, maka balok harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser yaitu :

$$\frac{M_u}{\phi \cdot M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi \cdot V_n} \leq 1,375 \dots\dots\dots(2-76)$$

dengan : $\phi = 0,9$

2.2.4. Kolom

Kolom adalah elemen struktur yang mengalami beban aksial (konsentris). Menurut Euler, kolom yang ideal adalah kolom yang diberikan beban tekuk P untuk kolom homogen, panjang, berujung sendi, semula lurus, dari material elatis yang dibebani tekan konsentris.

Kolom dapat dibagi atas tiga kelompok berdasarkan ragam kegagalannya:

1. Kolom langsing atau panjang, ragam kegagalannya adalah tekuk dalam selang elastis. Tekuk itu terjadi pada tegangan tekan yang masih dalam selang elastis.
2. Kolom pendek dan gemuk, kegagalan karena mencapai leleh, jadi beban runtuh ditentukan sebagai hasil kali f_y dan luas penampang melintang.
3. Kolom sedang, akan gagal dengan tekuk inelastis apabila leleh yang terlokalisasi terjadi. Kegagalan ini diawali dengan adanya perlemahan dan kehancuran.

Panjang efektif kolom adalah panjang ekuivalen berujung sendi yang mempunyai nilai $K = 1$, dimana KL merupakan panjang L sebenarnya. Untuk memudahkan penentuan faktor panjang tekuk K , digunakan nomograf yang dapat dilihat pada lampiran.

Nilai G suatu komponen struktur pada rangka portal dapat ditentukan sebagai berikut:

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b} \dots \dots \dots (2-77)$$

dimana : G = faktor kekangan akibat adanya batang lentur yang merangka ke batang tekan yang sedang dinjau

I = momen inersia

L = tinggi tingkat atau panjang komponen struktur tekan

Gaya tekuk elastik komponen struktur (N_{cr}) ditetapkan sebagai berikut :

$$N_{cr} = \frac{A_b f_y}{\lambda_c^2} \dots \dots \dots (2-78)$$

dengan : A_b = luas penampang bruto

λ_c = parameter kelangsingan kolom

dengan, λ_c , ditetapkan sebagai berikut :

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \dots \dots \dots (2-79)$$

dengan : $L_k = k_c L \dots \dots \dots (2-80)$

dimana : k_c = faktor panjang tekuk

L = panjang teoritis kolom

r = jari-jari girasi

f_y = tegangan leleh material

E = modulus elastisitas

Untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecil daripada nilai λ_r , daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut :

$$N_n = A_g f_{cr} \dots\dots\dots(2-81)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \dots\dots\dots(2-82)$$

untuk : $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1 \dots\dots\dots(2-83)$

$$0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka} \quad \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \dots\dots\dots(2-84)$$

$$\lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka} \quad \omega = 1,25\lambda_c^2 \dots\dots\dots(2-85)$$

dengan: A_g = luas penampang bruto
 f_{cr} = tegangan kritis
 f_y = tegangan leleh
 ω = koefisien tekuk

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor N_u , harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$N_u \leq \phi_n N_n \dots\dots\dots(2-86)$$

dimana : ϕ = faktor reduksi kekuatan = 0,85
 N_n = kuat tekan nominal komponen struktur

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan $\lambda = L_k/r$ dibatasi sebesar 200.

2.2.5. Balok – Kolom

Batang yang terkena tekan aksial dan lentur disebut sebagai balok-kolom. Bila lentur dikombinasikan dengan tarik aksial, kemungkinan ketidakstabilan berkurang dan leleh biasanya biasanya menentukan dalam desain. Untuk lentur yang

dikombinasikan dengan tekan aksial, kemungkinan ketidakstabilan bertambah dan terjadi momen lentur sekunder yang sama dengan gaya tekan aksial kali defleksi.

Dalam peraturan Load and Resistance Factor Design, komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- untuk $\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} \geq 0.2$, digunakan :

$$\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots(2-87)$$

- untuk $\frac{N_u}{\phi \cdot N_n} < 0.2$, digunakan :

$$\frac{P_u}{2 \cdot \phi \cdot P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots(2-88)$$

dimana:

N_u	= gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor
N_n	= kuat nominal penampang
ϕ	= faktor reduksi kekuatan
M_{ux}, M_{uy}	= momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x dan sumbu-y
M_{nx}, M_{ny}	= kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu-x dan sumbu-y
ϕ_b	= faktor reduksi kuat lentur ($\phi_b = 0.90$)

Untuk balok-kolom yang tidak berpenopang, analisis dilakukan dengan orde pertama dan kedua :

$$M_u = \delta_b M_{ntu} + \delta_s M_{ltu} \quad \dots\dots\dots(2-89)$$

$$\text{dimana : } \delta_b = \frac{c_m}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{crb}} \right)} \geq 1 \quad \dots\dots\dots(2-90)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{\sum N_u}{\sum N_{crs}} \right)} \dots\dots\dots(2-91)$$

dengan :

- δ_b = faktor amplikasi momen untuk komponen struktur tak bergoyang
- δ_s = faktor amplikasi momen untuk komponen struktur yang bergoyang
- M_{ntu} = momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan.
- M_{ltu} = momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan.
- N_{crb} = beban kritis elastis untuk komponen struktur tak bergoyang
- N_{crs} = beban kritis elastis untuk komponen struktur dengan goyangan
- c_m = faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan diagram momen ekuivalen

$$c_m = 0,6 - 0,4 \beta_m \dots\dots\dots(2-92)$$

dengan β_m adalah perbandingan terkecil dan terbesar yang bekerja di ujung-ujung komponen struktur, diambil positif bila komponen struktur terlentur dengan kelengkungan yang berbalik tanda dan negatif untuk kasus sebaliknya.

2.2.6. Sambungan

Pertemuan antara balok dan kolom pada suatu bangunan konstruksi perlu diperhatikan karena bila terjadi gempa, maka pertemuan balok dan kolom merupakan bagian yang lemah dari suatu konstruksi, sehingga perlu mendapat perhatian dalam perencanaan suatu bangunan konstruksi, terutama pada konstruksi bangunan gedung bertingkat tinggi di daerah rawan gempa.

2.2.6.1. Alat sambung baut

Sambungan yang dilakukan dapat menggunakan baut dan las. Pada umumnya terdapat dua macam baut yaitu baut mutu tinggi dan keling yang terbuat dari baja

mutu rendah. Selain keling yang bermutu rendah terdapat juga baut tak finis dan baut ber-rusuk. Dewasa ini lebih banyak digunakan baut mutu tinggi yang mempunyai dua jenis yaitu A325 dan A490. Baut A490 mempunyai mutu yang lebih tinggi dari A325 sehingga hanya digunakan pada kondisi tertentu seperti untuk baut jangkar dan jangkar berulir.

Penulisan tugas akhir ini menggunakan baut mutu tinggi A325. Diameter baut yang tersedia adalah $\frac{1}{2}$ " , $\frac{5}{8}$ " , $\frac{3}{4}$ " , $\frac{7}{8}$ " , 1" , $1\frac{1}{8}$ " , dan $1\frac{1}{4}$ ". Pemasangan sambungan dengan baut harus memperhitungkan kemungkinan terjadinya kegagalan geser baut, kegagalan tumpu baut dan tumpu pelat, kegagalan tarik baut, kegagalan lentur baut, dan kegagalan tarik pelat.

Kekuatan penyambung berdasarkan :

1. geser, dengan ulir pada bidang geser

$$\phi.R_n = \phi.(0,45.F_u^b).m.A_b \dots\dots\dots(2-93)$$

dimana : $\phi = 0,65$

F_u^b = kekuatan tarik bahan baut (120 ksi/ 827,4 MPa untuk baut A325,
150ksi/ 1034,25 MPa untuk baut A490)

m = banyaknya bidang geser

A_b = luas baut

2. geser tanpa ulir pada bidang geser

$$\phi.R_n = \phi.(0,45.F_u^b).m.A_b \dots\dots\dots(2-94)$$

3. kekuatan tarik desain berdasarkan kekuatan tarik penyambung

$$\phi.R_n = \phi.(0,75.F_u^b).A_b \dots\dots\dots(2-95)$$

dimana : $\phi = 0,75$

4. kekuatan tumpu desain

Kekuatan desain ϕR_n berdasarkan kekuatan tumpu pada lobang baut :

- a. Untuk kondisi biasa (lobang standar atau lobang beralur pendek, jarak ujung tidak kurang dari $1,5d$, dengan jarak baut dari pusat ke pusat tidak kurang dari $3d$, dengan dua baut atau lebih pada garis gaya)

$$\phi R_n = \phi (2,4 d t F_u) \dots\dots\dots (2-96)$$

dimana : $\phi = 0,75$

d = diameter nominal baut

t = ketebalan bagian yang disambung

F_u = kekuatan tarik baja ($F_u = 550$ MPa)

- b. Untuk lobang beralur pendek yang tegak lurus terhadap arah transmisi beban.

$$\phi R_n = \phi (2 d t F_u) \dots\dots\dots (2-97)$$

- c. Untuk baut yang paling berdekatan dengan pinggir dimana kondisi-kondisi persamaan (2-96) dan (2-97) tidak terpenuhi, maka :

$$\phi R_n = \phi (L t F_u) \dots\dots\dots (2-98)$$

dimana : L = jarak ujung pada garis gaya, dari pusat suatu lobang standar atau lobang berukuran lebih, atau dari pertengahan lebar lobang beralur pendek, sampai panggiran yang disambung

- d. Bila perpanjangan lobang lebih besar dari 0,25 dan ovalisasi lobang dapat ditoleransi, maka :

$$\phi R_n = \phi (3 d t F_u) \dots\dots\dots (2-99)$$

Jarak baut dari tepi ujung tidak boleh kurang dari $1,5d$, sedangkan jarak antar

bautnya tidak boleh kurang dari $3d$ atau

$$\text{Jarak antar baut} \geq \frac{P_u}{\phi F_u t} + \frac{d_b}{2} \dots\dots\dots (2-100)$$

dimana : $\phi = 0,75$

P_u = beban terfaktor yang bekerja pada satu baut

F_u = kekuatan tarik dari bahan pelat

t = ketebalan pelat

d_b = diameter lobang baut

2.2.6.2. Alat sambung las

Pengelasan merupakan proses penggabungan material-material dengan pemanasan sampai ke temperatur yang sesuai sedemikian rupa sehingga bahan-bahan tersebut melebur menjadi satu material.

Las yang paling banyak digunakan adalah las sudut (*fillet weld*) karena hemat, mudah difabrikasi dan adaptibilitasnya baik. Pada pelat yang tebal penghamburan panas secara vertikal maupun horisontal, sementara pelat yang tipis pada hakikatnya hanya menyebarkan panas secara horisontal saja. Dengan kata lain, semakin tebal pelat semakin cepat panas tersingkirkan dari area pengelasan dan dengan demikian akan menurunkan temperatur pada daerah las itu.

Kekuatan dari berbagai las didasarkan atas luas efektifnya. Luas efektifnya pada jenis las *groove* dan *fillet* merupakan hasil kali dalam leher efektif (t_e) dikalikan panjang las. Berikut ini kekuatan normal dari macam-macam las:

1. las *groove*

Kekuatan desain per panjang satuan las *groove* penetrasi penuh tergantung pada tipe tegangan yang digunakan.

a. Tarik dan tekan tegak lurus terhadap luas efektif dan sejajar dengan sumbu las.

- material dasar

$$\phi R_{nw} = 0.9 t_e F_y \dots\dots\dots(2-101)$$

- logam las

$$\phi.R_{nw} = 0.9 t_e F_{yw} \dots\dots\dots(2-102)$$

dimana : F_y = tegangan pada logam dasar
 F_{yw} = tegangan pada logam las.

b. Geser pada luas efektif

- material dasar

$$\phi.R_{nw} = 0.9 t_e (0.6 F_y) \dots\dots\dots(2-103)$$

- logam las

$$\phi.R_{nw} = 0.8 t_e (0.6 F_{EXX}) \dots\dots\dots(2-104)$$

Pada las *groove* penetrasi penuh yang disebut dimensi leher efektif (t_e) adalah ketebalan pelat tipis yang disambungkan.

2. las *fillet*

Kekuatan desain per satuan panjang las *fillet* didasarkan atas resistansi geser melalui leher las sebagai berikut:

$$\phi.R_{nw} = 0.75 t_e (0.6 F_{EXX}) \dots\dots\dots(2-105)$$

Untuk logam dasar :

$$\phi.R_{nw} = 0.75 t (0.6 F_u) \dots\dots\dots(2-106)$$

dimana:

t_e = dimensi leher efektif (pada las *fillet* besarnya adalah 0.707 kali ukuran nominal leher efektif)

F_{EXX} = kekuatan tarik mat elektroda ($F_{EXX} = 70$ ksi untuk elektroda E70)

t = tebal material dasar di sepanjang las

F_u = kekuatan tarik logam dasar

3. las *plug*

Kekuatan nominal dari las *plug*

$$\phi.R_{nw} = 0.75 t_e (0.6 F_{EXX}) \dots\dots\dots(2-107)$$

Luas geser efektif las *plug* adalah luas nominalnya pada bidang geser. Diameter lubang untuk las *plug* tidak kurang daripada ketebalan bagian yang disambung ditambah 5/16 in. Jarak minimum antar lubang dari las *plug* adalah 4 kali diameter lubang. Ketebalan las *plug* untuk material dasar dengan tebal 5/8 in atau kurang akan sama dengan ketebalan material tersebut, sedangkan untuk material dasar dengan tebal lebih dari 5/8 in, ketebalan las akan sedikitnya 1/2 tebal material tapi tidak kurang dari 5/8 in.

Ukuran las fillet efektif maksimum :

$$a_{eff maks} = 1,41 \frac{F_y t_s}{F_{EXX}} = \frac{0,9.F_y t_s}{2.0,707.0,75.(0,6F_{EXX})} \dots\dots\dots(2-108)$$

dimana : t_s = tebal material dasar

2.2.6.3. Sambungan balok-kolom

Sambungan balok-kolom didesain untuk membuat transfer momen secara penuh dan sedikit atau tidak ada rotasi relatif dari batang-batang yang disambungkan.

Sambungan balok-kolom dapat didesain sebagai :

1. Rangka kaku (rangka menerus)

Pada konstruksi ini hubungan balok ke kolom mempunyai kekakuan yang cukup sehingga dapat mempertahankan sudut antara elemen-elemen yang saling bertemu.

2. Rangka sederhana (tidak ditahan atau berhubungan sendi)

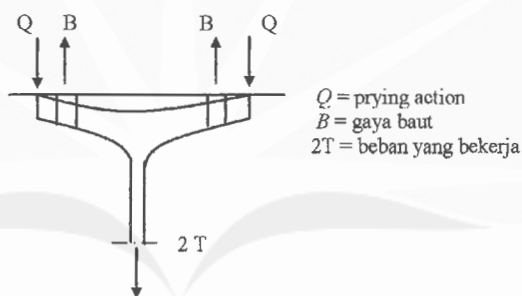
Pada konstruksi ini apabila mengalami beban gravitasi, ujung-ujung balok dan *girder* hanya dihubungkan untuk geser saja dan bebas berotasi.

3. Rangka semikaku (ditahan sebagian)

Pada konstruksi ini hubungan balok dan girder mempunyai kapasitas momen dan mempunyai kekakuan antara 1 dan 2.

Untuk sambungan balok ke sayap kolom digunakan *Split Beam Connection* atau sambungan profil-T balok terpisah. Perencanaan sambungan ini melibatkan cara pemindahan gaya tarik melalui pelat tebal yang disambung dengan baut, seperti penampang T yang disambungkan ke flens, memerlukan peninjauan *prying action*.

Perhatikan deformasi dari suatu penampang T seperti dalam gambar 2.8. dimana bila tarikan pada badan membuat deformasi *flens* dan membengkokkannya ke arah luar, tepi dari *flens* penampang-T menumpu pada bagian yang disambungkan sehingga meningkatkan gaya Q , dikenal sebagai *prying force*.



Gambar 2.8. *Prying action*

Gaya tarik di baut memberikan keseimbangan gaya:

$$B = T + Q \dots\dots\dots(2-109)$$

Persamaan *prying action*nya :

$$Q = T \left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right) \left(\frac{b}{a} \right) \dots\dots\dots(2-110)$$

dengan : $\delta = \frac{\text{lebar bersih pada garis baut}}{\text{lebar bruto penampang kritis di dekat muka badan}} \dots\dots\dots(2-111)$

$$\beta = \left(\frac{B}{T} - 1 \right) \frac{a'}{b} \dots\dots\dots(2-112)$$

Jika $\beta \geq 1$ digunakan $\alpha = 1$ (berarti *prying force* besar)

$$\beta < 1 \text{ digunakan } \alpha = \text{yang terkecil dari 1 dan } \frac{1}{\delta} \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right) \dots\dots\dots(2-113)$$

$$a' = a + \frac{d}{2} \dots\dots\dots(2-114)$$

$$b' = b - \frac{d}{2} \dots\dots\dots(2-115)$$

dimana : B = gaya tarik baut
 Q = prying force
 T = gaya tarik beban
 α = konstanta
 δ = defleksi
 b = jarak dari pusat baut terluar dengan ujung tebal badan
 a = jarak dari pusat baut terluar dengan ujung penampang sayap ST
 d = diameter baut

Untuk tebal *flens*, t_f yang diperlukan :

$$t_f \geq \sqrt{\frac{4,44 T b'}{w \cdot f_y (1 + \alpha \cdot \delta)}} \dots\dots\dots(2-116)$$

dimana : w = lebar daerah pengaruh penampang penahan(yakni, panjang penampang-T) yang dibagikan pada satu baut.

2.2.6.4. Pengaku horisontal

Bila gaya-gaya pada *flens* balok ditransmisikan ke *flens* kolom sebagai suatu gaya tarik atau tekan, maka diperlukan pengaku horisontal. Pengaku tersebut berfungsi untuk mencegah lenturan *flens* lokal dari gaya tarik, pelelehan pelat badan lokal, pelipatan pelat badan, dan tekuk tekan yang disebabkan oleh gaya tekan

2.2.6.4.1. Pengaku Horisontal dalam daerah tekan sambungan

Pemasangan pengaku horisontal pada daerah tekan sambungan harus memenuhi syarat P_{bf} kolom harus lebih besar dari gaya tekan balok yang diberikan ke flens kolom.

1. Kuat desain badan kolom terhadap pelelehan badan lokal

$$P_{bf} = \phi \cdot (5k + t_{fb}) \cdot F_{yc} \cdot t_{wc} \dots \dots \dots (2-117)$$

dimana : P_{bf} = kuat desain dari kolom
 ϕ = factor resistansi = 1
 k = jarak dari muka luar flens ke tumit badan = $t_f + r$
 t_{fb} = tebal sayap balok
 t_{wc} = tebal pelat badan kolom
 F_{yc} = tegangan leleh untuk badan kolom

2. Kuat desain badan kolom terhadap pelipatan pelat badan

$$P_{bf} = \phi \cdot 125 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{t_{fb}}{d} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{F_{yc} \cdot t_{fc}}{t_{wc}}} \dots \dots \dots (2-118)$$

dimana : ϕ = faktor resistansi = 0,75
 t_{fc} = tebal sayap kolom

3. Kuat desain badan kolom terhadap tekuk tekan pelat badan kolom

$$P_{bf} = \frac{\phi \cdot 4100 t_{wc}^3 \sqrt{F_{yc}}}{d_c} \dots \dots \dots (2-119)$$

dimana : ϕ = 0,9
 d_c = tinggi pelat badan bebas dari bagian fillet = $d - 2k$

Aturan dari pemasangan pengaku horisontal pada daerah tekan sambungan:

1. Bila tekuk tekan dari pelat badan mengendalikan, pengaku tersebut harus dipasang sepanjang kedalaman penampang kolom.

2. Jika pelepasan pelat badan lokal mengendalikan, dan beban terpusat P_{bf} diterapkan hanya pada satu flens kolom, maka pengaku tidak perlu membentang lebih dari setengah dari kedalaman badan kolom.

3. Jika pelepasan pelat badan lokal mengendalikan, maka luas pengaku, A_{st} yang diperlukan adalah : $A_{st} \geq \frac{P_{bf} - \phi F_{yc} (t_{fb} + 5k) t_{wc}}{\phi F_{yst}}$ (2-120)

dimana : $\phi = 1$

4. Untuk ukuran pengaku, lebar pengaku yang diperlukan

$$b_{st} \geq \frac{b_{fb}}{3} - \frac{t_{wc}}{2} \text{(2-121)}$$

5. Tebal pengaku yang diperlukan

$$t_s \geq \frac{t_{fb}}{2} \text{(2-122)}$$

6. Las yang menyatukan pengaku ke pelat badan kolom harus berukuran cukup untuk membawa beban di dalam pengaku yang disebabkan oleh momen takimbang pada kedua sisi yang berlawanan dari kolom itu.

2.2.6.4.2. Pengaku Horizontal dalam daerah tarik sambungan

Pada pelekatan flens tarik balok ke kolom, tarikan pada flens kolom dapat menyebabkan deformasi yang cukup untuk mengurangi kekuatan kolom.

Untuk menghindari pemakaian pengaku, maka gaya tarik yang diberikan tidak dapat melebihi P_n yang didesain.

$$P_n = 6,25 \cdot t_{fc}^2 \cdot F_{yc} \text{(2-123)}$$

Tebal flens minimum yang diperlukan untuk menghindari pemakaian

pengaku : $t_{fc} \geq 0,4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{\phi \cdot F_{yc}}} \text{(2-124)}$

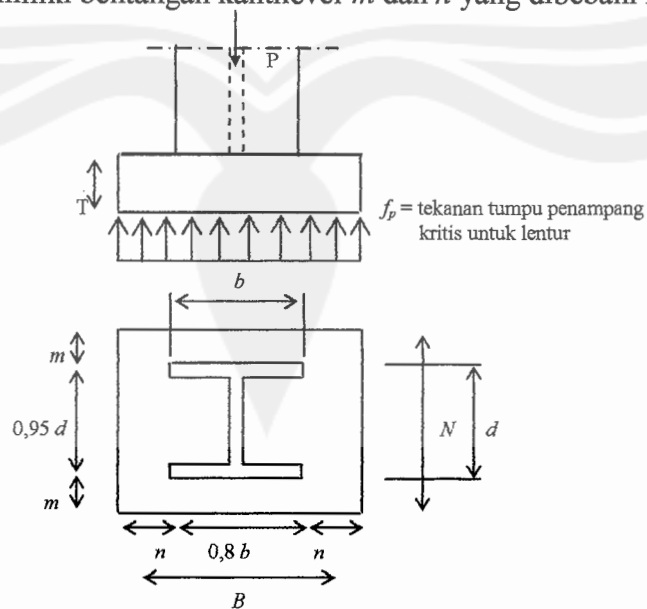
dimana : P_n = kekuatan nominal batang tekan
 P_{bf} = beban tarik terpusat terfaktor
 $\phi = 0,9$

2.2.7. Pelat Dasar Kolom

Pelat dasar kolom (*column base plate*) berfungsi untuk mendistribusikan beban terpusat yang bekerja pada elemen kolom ke media penumpu, yang biasanya berupa lantai beton. Beban-beban berat tersebut harus disebarakan untuk mencegah kehancuran beton penumpu.

Desain pelat dasar melibatkan beberapa pertimbangan berikut:

1. Luas pelat dasar akan bergantung pada kekuatan tumpu dari beton di bawah pelat baja.
2. Tebal pelat akan dikendalikan oleh kekuatan lentur pelat. Bila dimensi pelat B dan N cukup besar (dapat dilihat pada gambar 2.9.) dibandingkan dimensi profil b dan d dari penampang baja, maka pendekatan tradisional adalah dengan mendesain pelat memiliki bentangan kantilever m dan n yang dibebani merata.



Gambar 2.9. Pelat dasar kolom

Untuk menghitung luas perlu pelat dasar akibat gaya tekan dari kolom, maka:

$$A_{l \text{ perlu}} = \frac{P_u}{\phi \cdot (0,85) \cdot f'_c} \dots\dots\dots(2-125)$$

Sedangkan untuk tebal pelatnya :

$$t_{\text{perlu}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_u \cdot n^2}{B \cdot N \cdot (0,9) \cdot f_y}} \dots\dots\dots(2-126)$$

$$\text{atau } t_{\text{perlu}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_u \cdot m^2}{B \cdot N \cdot (0,9) \cdot f_y}} \dots\dots\dots(2-127)$$

$$\text{dengan : } m = 0,5 \cdot (N - 0,95 d) \dots\dots\dots(2-128)$$

$$n = 0,5 \cdot (M - 0,8 b_f) \dots\dots\dots(2-129)$$

dari kedua nilai tersebut digunakan nilai m/n yang terbesar untuk tebal pelat.

• Baut Angkur

Baut angkur pada pelat dasar berfungsi untuk menahan gaya tarik yang disebabkan oleh momen yang bekerja pada kolom, selain itu baut angkur juga berfungsi untuk menyatukan pelat dasar dengan pelat beton.

Apabila momen yang terjadi cukup besar dan eksentrisitasnya melebihi $1/6 N$ ($e > 1/6 N$), maka akan terjadi tegangan tarik pada baut dan tekan pada pelat betonnya. Gambar tegangan yang terjadi dapat dilihat pada gambar 2.10.

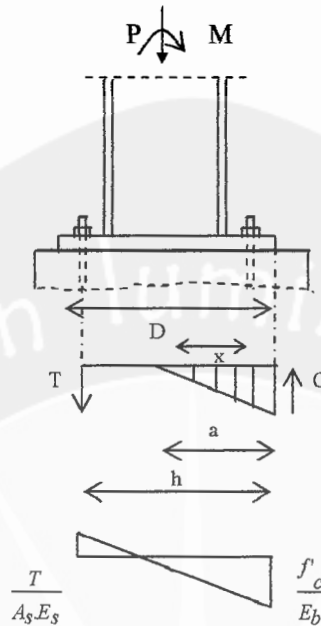
Dengan syarat eksentrisitas :

$$e = \frac{M}{P} > \frac{1}{6} N \dots\dots\dots(2-130)$$

Baut angkur akan mengalami tarik dan tekan pada pelat beton. Momen terhadap baut tarik :

$$C \cdot \frac{2}{3} h = P \cdot x + M \dots\dots\dots(2-131)$$

dengan : $C = \frac{1}{2} f'_c a B$ (2-132)



Gambar 2.10. Gaya dan tegangan yang terjadi pada angkur

Gaya vertikal yang terjadi :

$$T + P = C \text{(2-133)}$$

dimana : e = eksentrisitas

M = momen yang terjadi pada kolom

P = gaya aksial yang terjadi pada kolom

T = gaya tarik pada baut

C = gaya tekan pada pelat beton

x = jarak antara as kolom dan baut angkur

a = jarak pada gaya tekan pelat beton

h = jarak dari tepi pelat tekan sampai dengan as baut tarik

Tegangan yang terjadi pada pada baut angkur :

$$\sigma_s = \frac{T}{A_s} \text{(2-134)}$$

Dari gambar regangan yang terjadi pada gambar 2.10 di dapat :

$$\frac{T}{A_s E_s} : \frac{f'_c}{E_b} = (h - a) : a \text{(2-135)}$$

$$\text{sehingga : } \sigma_s = \frac{f_c(h-a)E_s}{aE_b} \dots\dots\dots(2-136)$$

dimana : σ_s = tegangan pada baut
 T = gaya tarik pada baut angkur
 A_s = luas baut angkur
 E_s = modulus elastisitas baja
 E_b = modulus elastisitas beton

2.2.8. Analisis beban gempa

Pengaruh gempa terhadap struktur bangunan dapat dianalisis dengan menggunakan analisis beban statik ekuivalen atau dengan analisis dinamik.

Tabel 2.5. Perbedaan analisis statik dan dinamis

Perbedaan	Statik	Dinamik
Struktur gedung	simetri/beraturan	sangat tidak beraturan
Loncatan-loncatan bidang muka gedung	kecil	besar
Kekakuan pada gedung	merata	tidak merata
Tinggi gedung	≤ 40 m	40 m
Bentuk, ukuran dan penggunaannya	umum	tidak umum

Daktalitas adalah kemampuan dari struktur untuk berdeformasi setelah batas elastis. Pada saat terjadi daktalitas, struktur baja dapat mengalami deformasi yang besar melebihi batas elastis tanpa mengalami kerusakan yang berbahaya.

Langkah-langkah perhitungan beban gempa :

- a. Untuk menentukan beban geser dasar gempa pada analisis beban statik ekuivalen dapat dinyatakan dalam :

$$V = C . I . K . Wt \dots\dots\dots(2-137)$$

dengan :

V = beban gempa horisontal
 C = koefisien gempa dasar
 I = faktor keutamaan gedung
 K = faktor jenis bangunan
 W_t = berat total bangunan

b. Untuk menentukan beban gempa horisontal pada setiap lantai adalah :

$$F_i = \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i} \cdot V \dots\dots\dots(2-138)$$

dengan :

F_i = beban gempa horisontal pada lantai
 W_i = berat lantai
 H_i = tinggi lantai
 V = beban geser dasar akibat gempa