**TEORI BALOK-KOLOM BAJA**

1. **Profil *Wide Flange***

Profil *Wide Flange* adalah profil berpenampang H atau I yang dihasilkan dari proses canai panas (*Hot rolling mill*). Baja Profil *WF-beam* memiliki dimensi tinggi badan (H), lebar sayap (B), tebal badan (t1), tebal sayap (t2) merata dari ujung hingga pangkal radius (r) dengan penjelasan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Profil Baja *Wide Flange*.

1. **Definisi Balok-Kolom**

Suatu komponen struktur harus mampu memikul beban aksial (tarik/tekan) serta momen lentur. Apabila besarnya gaya aksial yang bekerja cukup kecil dibandingkan momen lentur yang bekerja, maka efek dari gaya aksial tersebut dapat diabaikan dan komponen struktur tersebut dapat didesain sebagai komponen balok lentur. Namun apabila komponen struktur memikul gaya aksial dan momen lentur yang tidak dapat diabaikan salah satunya, maka komponen struktur tersebut dinamakan balok-kolom (*beam-column*) (Agus Setiawan : 2008).

Elemen balok-kolom umumnya dijumpai pada struktur-struktur statis tak tertentu. Misalkan pada struktur portal statis tak tertentu pada Gambar 2.

P1

P2

A

B

C

D

E

F

Gambar 2. Struktur Portal Statis Tak Tentu.

Akibat kondisi pembebanan yang bekerja, maka batang AB tidak hanya memikul beban merata saja namun juga memikul beban lateral P1. Dalam hal ini efek lentur dan gaya tekan P1 yang bekerja pada batang AB harus dipertimbangkan dalam proses desain penampang batang AB, maka batang AB harus didesain sebagai suatu elemen balok-kolom. Selain, batang AB yang didesain sebagai elemen balok-kolom, batang AC, BD, CE, DF, juga didesain sebagai elemen balok kolom. Karena selain memikul gaya aksial akibat reaksi dari balok-balok AB dan CD, efek lentur dan efek gaya aksial yang bekerja tidak bisa diabaikan salah satunya. Berbeda dengan batang CD yang hanya didominasi oleh efek lentur, gaya lateral P2 telah dipikul oleh pengaku-pengaku (*bracing*) bentuk X. Sehingga batang CD dapat didesain sebagai suatu elemen balok tanpa pengaruh gaya aksial (Agus Setiawan : 2008).

1. **Persamaan Interaksi Gaya Aksial dan Lentur**
2. Perencanaan Batang Tekan

 Batang tekan adalah suatu komponen struktur yang menahan gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor (), harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. ≤

Dimana :

 = Gaya tekan terfaktor.

ø = Faktor reduksi kekuatan, 0.85 (SNI Tabel 6.4-2).

 = Kuat tekan nominal komponen struktur.

 (SNI butir 7.6.2 dan (9.2).

1. Perbandingan Kelangsingan
2. Kelangsingan elemen penampang λelemen < .
3. Kelangsingan komponen struktur tekan , λbatang = < 200 .

Dengan, λelemen = Kelangsingan elemen batas (SNI,Tabel 7.5-1).

 = Kelangsingan batas (kritis).

 λbatang = Kelangsingan batang desak.

 L = Panjang kritis/ Skematis batang.

Jika λelemen = < (Kompak) maka berlaku :

 ……..( 2.1)

Nilai ω (koefisien tekuk) diambil sebesar 3 kemungkinan :

1. Untuk ≤ 0,25 maka ω = 1,0
2. Untuk 0,25 < < 1,2 maka ω =
3. Untuk ≥ 1,2 maka ω = 1,25 . 2

 = . .

Dimana,

 = Luas tampang bruto/gross,mm2.

 = Tegangan kritis tampang, Mpa.

 = Tegangan leleh baja, Mpa.

 = jari-jari girasi komponen struktur terhadap sumbu y-y, mm.

 = Panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu, mm.

1. Komponen struktur tekan yang elemen penampang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar daripada nilai λr yang ditentukan dalam Tabel 1 (SNI, Tabel 7.5-1) harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

Tabel 1. Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal Untuk Elemen Tertekan ( dinyatakan dalam Mpa)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Jenis Elemen | Perbandingan terhadap tebal (λ) | Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal |
| (kompak) | (kompak) |
| Elemen tanpa Pengaku | Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur  | b/t | 170/[c] | 370/[c] |
| Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang di las dalam lentur | b/t | - |  |
| Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan | b/t | - | 290 / [f] |
| Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan plat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan | b/t | - | 250/ |
| Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong,sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu, yang ditumpu pada salah satu sisinya | b/t | - | 200/ |
| Pelat badan dari profil T | b/t | - | 335/ |

1. Perencanaan untuk Lentur

Suatu komponen yang mendukung beban transversal seperti beban mati dan beban hidup.

1. Hubungan Antara Pengaruh Beban Luar.

Untuk sumbu kuat (sb x) harus memenuhi ≤ Ø.

Untuk sumbu lemah (sb y) harus memenuhi ≤ Ø.

, = Momen lentur terfaktor arah sumbu x dan y menurut

 butir 7.4, N.mm.

= Kuat nominal dari momen lentur memotong arah y menurut butir 7.4, N.mm.

 Ø = Faktor reduksi (0,9).

 = Kuat nominal dari momen lentur penampang. diambil nilai yang lebih kecil dari kuat nominal penampang, untuk momen lentur terhadap sumbu x yang ditentukan oleh butir 8.2, atau kuat nominal komponen struktur untuk momen lentur terhadap sumbu x yang ditentukan oleh 8.3 pada balok baja, atau butir 8.4 khusus untuk balok pelat berdinding penuh, N-mm.

1. Tegangan Lentur dan Momen Plastis.

 Distribusi tegangan pada sebuah penampang akibat momen lentur, diperlihatkan dalam gambar 3. Pada daerah beban layan, penampang masih elastik (gambar 3.1), kondisi elastik berlangsung hingga tegangan pada serat terluar mencapai kuat lelehnya (). Setelah mencapai tegangan leleh (εy), tegangan akan terus naik tanpa diikuti kenaikan tegangan.

Ketika kuat leleh tercapai pada serat terluar (gambar 3.2), tahanan momen nominal sama dengan momen leleh *Myx*, dan besarnya adalah :

 ......( 2.2)

Dan pada saat kondisi pada gambar 3.4 tercapai, semua serat dalam penampang melampaui regangan lelehnya, dan dinamakan kondisi plastis. Tahanan momen nominal dalam kondisi ini dinamakan momen plastis *Mp*, dan besarnya :

 .........( 2.3)

p

M<Myx

f<fy

p

F=fy

M=Myx

p

F=fy

Myx<M<Mp

p

F=fy

M=Mp

(1)

(2)

(3)

(4)

Gambar 3. Mekanisme Struktur Baja Luluh.

1. Stabilitas

 Jika balok dapat dihitung pada keadaan stabil dalam kondisi plastis penuh maka kekuatan momen nominal dapat diambil sebagai kapasitas momen plastis.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam stabilitas :

LTB = *Lateral Torsional Buckling*

FLB = *Flange Local Buckling*

WLB = *Web Local Buckling*

1. Kuat Nominal Lentur Penampang dengan Pengaruh Tekuk Lokal (FLB)
2. Batasan Momen

 Momen leleh My adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yaitu diambil sama dengan fy.S dengan S adalah modulus penampang elastisitas.

Kuat lentur plastis Mp adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari fy.Z atau 1,5.My dan Z adalah modulus penampang plastis.

 ........( 2.4)

 Dengan :

 A = Luas penampang, cm2

 a = Tinggi efektif, mm

 (a = H – (2 . Cx))

 Cx = Pusat berat arah sumbu x, cm



Cx

Cy



Gambar 4. Pusat berat arah sumbu x (Cx) dan sumbu y (Cy).

1. Kelangsingan Penampang

 Pengertian penampang kompak, tak kompak dan langsing suatu komponen struktur yang memikul lentur, ditentukan oleh kelangsingan elemen tekannya yang ditentukan pada tabel SNI 03-1729-2002 Tabel 7.5-1.

1. Penampang Kompak

Untuk penampang-penampang yang memenuhi λ ≤ λp maka kuat lentur nominal penampang adalah :

 ........( 2.5-1)

1. Penampang Tak Kompak

Untuk penampang yang memenuhi λp < λ ≤ λr maka kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut :

 .......( 2.5-2)

1. Penampang Langsing

Untuk pelat sayap yang memenuhi λr ≤ λ maka lentur nominal penampang adalah :

 .......( 2.5-3)

1. Kuat Lentur Nominal dengan Pengaruh Tekuk Lateral (LTB)

 Kuat momen pada tipe kompak merupakan fungsi panjang tanpa pertambatan, . Yang didefinisikan sebagai jarak antara titik-titik pada dukung lateral atau pertambatan.

Gambar 5. Pertambatan Lateral.

Persamaan untuk teori elastis kuat tekuk lateral dapat diperoleh dalam teori stabilitas elastis.

 .....( 2.6)

Keterangan :

 = Panjang tanpa pertambatan.

G = Modulus geser baja, 80.000 Mpa.

J = Konstanta puntir (momen inersia puntir), mm4.

Iw = Konstanta warping atau puntir lengkung, mm6.

E = Modulus elastisitas, 200.000 Mpa.

Iy =Momen inersia pengaku terhadap muka pelat badan,mm4.

Kuat momen nominal pada balok kompak untuk kondisi batas atas Mp untuk inelastik maka momen kritis untuk tekuk lateral (tabel 8.34) pada SNI 03-1729-2002.

Profil I dan kanal ganda.

 ....... (2.7-1)

Profil Kotak Pejal dan Berongga atau Masif.

 .........( 2.7-2)

Dengan :

Keterangan :

Mmax = Momen maksimum pada bentang yang ditinjau.

MA = Momen pada ¼ bentang.

MB = Momen pada ½ bentang.

MC = Momen pada ¾ bentang.

Mcr = Momen kritis terhadap tekuk torsi lateral, N.mm.

Cb = Koefisien pengali momen tekuk torsi lateral.

L = Panjang bentang antara 2 pengekang yang berdekatan, mm.

 = Jari-jari girasi terhadap sumbu tengah, mm.

A = Luas penampang, mm2.

Sx = Modulus penampang, mm3.

Untuk balok kompak

1. Untuk komponen struktur yang memenuhi kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

 ..........( 2.8-1)

1. Untuk komponen struktur yang memenuhi kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

 .........( 2.8-2)

1. Untuk komponen struktur yang memenuhi kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

 .........( 2.8-3)

1. Kuat Geser

 Kuat geser pada badan pelat yang memikul gaya geser perlu () harus memenuhi

Dengan,

 = Kuat geser nominal pelat badan berdasarkan SNI Butir 8.8.2, N.

 = faktor reduksi, (0,9).

Kuat geser nominal () pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan dibawah ini :

1. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel memenuhi:

Maka kuat geser nominal pelat badan adalah :

 ...........( 2.9-1)

 Dimana : adalah luas kotor pelat badan

1. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel memenuhi:

Maka kuat geser nominal pelat badan adalah:

 .......( 2.9-2.a)

Atau,

 ........( 2.9-2b)

Dengan,

1. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel memenuhi:

Maka kuat geser nominal pelat badan adalah:

 .........( 2.9-3.a)

Atau,

 .........( 2.9-3.b)

Dengan

1. Lendutan

 Batas-batas lendutan untuk keadaan kemampuan-layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan, serta elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum(δ) diberikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Batas Lendutan Maksimum(δ)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 |

Dengan syarat Δ < δ

Untuk beban terbagi rata : .......( 2.10.1)

Untuk beban terpusat ditengah bentang : .......(2.10.2)

Dimana,

W = +

P = Beban aksial terfaktor, N.

1. Interaksi Geser dan Lentur
2. Metode Distribusi

Jika momen lentur dianggap dipikul hanya oleh pelat sayap dan momen lentur perlu :

 ≤ Ø

 ...........( 2.11)

Dengan,

 = Kuat lentur nominal dihitung hanya pelat

 sayap.

 = Luas efektif pelat sayap, mm2.

 = Jarak antara titik berat sayap, mm.

1. Metode Interaksi Geser dan Lentur

Jika momen lentur dipikul oleh seluruh penampang. Harus memenuhi persyaratan SNI, butir 8.1.1.8 dan 8.8.1. Dan harus sesuai

 .........( 2.12)

1. Lentur Dua Arah (Lentur Biaksial)

 Terjadi ketika beban yang bekerja mengakibatkan lentur kearah sumbu kuat dan sumbu lemah. Misalkan pada struktur gording.

Lentur terhadap sumbu x (kuat)

Lentur terhadap sumbu y (lemah)

Lentur biaksial (x dan y )

1. Balok Kolom
2. Interaksi Momen Aksial

 Dalam perencanaan komponen struktur balok-kolom, diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 11.3 yang menyatakan bahwa suatu komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan untuk memenuhi ketentuan sebagai berikut :

Untuk maka

Untuk maka

Dengan,

 = gaya tekan aksial terfaktor,N.

 = kuat nominal penampang,N.

 Ø = faktor reduksi tahanan tekan (0,85).

 = momen lentur terfaktor sumbu x, sumbu y.

 = momen nominal untuk lentur sumbu x, sumbu y.

 = faktor reduksi tahanan lentur = 0,9.

1. Pembesaran Momen untuk Komponen Struktur Tak Bergoyang

 Untuk suatu komponen struktur tak bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus dihitung sebagai berikut :

...................(persamaan 2.11)

Dengan,

 = momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan.

 = faktor pembesaran momen untuk komponen struktur tak bergoyang.

 = gaya tekan aksial terfaktor.

 = gaya tekan menurut Euler dengan kL/r terhadap sumbu lentur dan k ≤ 1,0 (untuk komponen struktur tak bergoyang).

Nilai ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk komponen struktur tak bergoyang dengan beban tranversal di antara kedua tumpuannya, maka besar dapat ditentukan berdasarkan analisis rasional sebagai berikut :

 = 1,0, untuk komponen struktur dengan ujung sederhana.

 = 0,85, untuk komponen struktur dengan ujung kaku.

1. Sedangkan untuk komponen struktur tak bergoyang dengan beban tranversal di antara kedua tumpuannya, namun mempunyai momen ujung dan ( ) maka akan mengkonversikan momen lentur yang bervariasi secara linear menjadi momen lentur seragam

 .........(2.13)

Rasio bernilai negatif untuk kelengkungan tunggal dan bernilai positif ntuk kelengkungan ganda.

1. Pembesaran Momen untuk Komponen Struktur Bergoyang

 Untuk komponen struktur bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus dihitung sebagai berikut :

 .......( 2.14)

 Atau,

Dengan,

 = momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan.

 = jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat beban gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat yang ditinjau.

 = gaya tekan menurut Euler dengan kL/r terhadap sumbu lentur dan k ≥ 1,0.

 = simpangan antar lantai pada tingkat yang seang ditinjau.

L = tinggi tingkat.

1. Tekuk Lokal Web Pada Komponen Struktur Balok-Kolom

 Untuk menentukan tahanan lentur rencana dari suatu profil, maka terlebih dahulu harus diperiksa kekompakan dari penampang tersebut. Syarat kelangsingan badan atau kekompakan badan sebagai berikut :

Nilai banding , Akan lebih kritis jika h = H – (2.)

H

h

Gambar 6. Profil Wide Flange.

Kelangsingan dari web dapat dikategorikan menjadi tiga bagian :

1. Jika , maka penampang kompak
2. Jika , maka penampang tak kompak
3. Jika , maka penampang lansing

Table 7.5.1 SNI 03-1729-2002 memberikan batasan nilai untuk dan sebagai berikut :

Untuk ,

Untuk ,

Untuk semua nilai,

Dengan adalah gaya aksial yang diperlukan untuk mencapai kondisi batas leleh.