DESAIN BALOK KOLOM WF BERPENAMPANG KOMPAK MENURUT AISC-LRFD 2005.

Satuan : $kN := 1000N$ $MPa := 1\frac{N}{mm^2}$ $ksi := 6.8971MPa$

Data Penampang: Profil WF 400x200x8x13

$Ix := 23700cm^4$ $A := 84.1cm^2$ $bf := 200mm$ $d := 400mm$

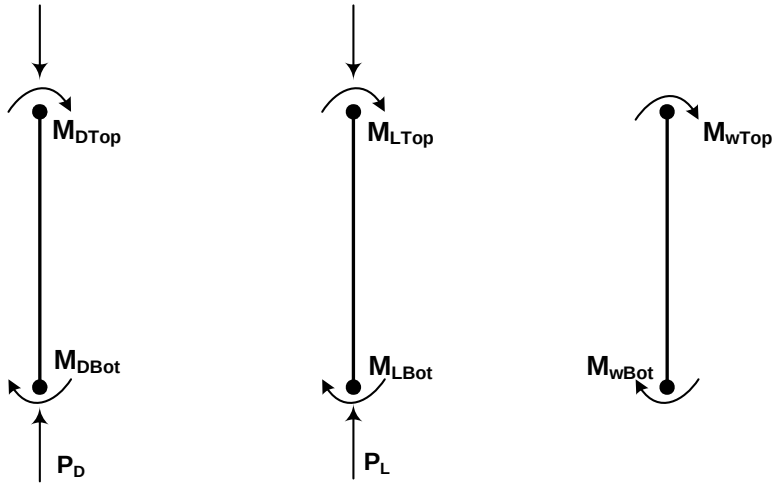
$Iy := 1740cm^4$ $tf := 13mm$ $tw := 8mm$ $r := 16mm$

Data Bahan (Bj. 37) $E := 2\cdot10^5MPa$ $Fy := 240MPa$

Momen Terfaktor $Mu := 50kN\cdot m$

Gaya dalam dari Analisis Orde Pertama:

Akibat beban mati:	$PD := 200kN$	$MDtop := 8kN\cdot m$	$MDbot := 11kN\cdot m$
Akibat beban hidup:	$PL := 300kN$	$MLtop := 30kN\cdot m$	$MLbot := 32kN\cdot m$
Akibat beban angin:	$Mwtop := 55kN\cdot m$	$Mwbot := 55kN\cdot m$	



BEBAN MATI **BEBAN HIDUP** **BEBAN ANGIN**

Perhatikan bahwa momen top dan bottom bertanda sama untuk momen yang searah. Jika berlawanan arah, salah satu harus diberi tanda negatif. Gaya aksial tekan bertanda positif.

Anggap kombinasi pembebanan yang menentukan adalah: 1.2D + 1.6L dan 1.2D+1.3W+0.5L

Panjang efektif: $kLxns := 4m$ untuk kasus tak bergoyang; ns = no sway (tak bergoyang)

$kLy := 4m$ $kLxs := 5m$ untuk kasus bergoyang; s = sway (bergoyang)

Panjang tak tertumpu (unbraced length) $Lb := kLy$

Besaran Penampang yang perlu dihitung (rumus untuk penampang I)

$Sx := \frac{Ix}{0.5\cdot d}$ $Sy := \frac{Iy}{0.5\cdot bf}$ $Sx = 1185.00\,cm^3$ $Sy = 174000.00\,mm^3$

$h0 := d - tf$ $h0 = 387.00\,mm$

$Cw := \frac{Iy\cdot(d - tf)^2}{4}$ $Cw = 651495.15\,cm^6$

$Zy := \frac{2}{4}\cdot tf\cdot bf^2 + \frac{1}{4}(d - 2\cdot tf)\cdot tw^2$ $Zy = 265984.00\,mm^3$

$Zx := bf \cdot tf \cdot (d - tf) + \frac{1}{4} \cdot tw \cdot (d - 2 \cdot tf)^2$ $Zx = 1285.95\,cm^3$

$J := \frac{2bf \cdot tf^3 + (d - tf) \cdot tw^3}{3}$ $J = 100000000.00 \frac{kg}{m^{2.00} \cdot s^{2.00}} cm^4$

$h := d - 2 \cdot tf - 2r$ $h = 34.20\,cm$

$ry := \sqrt{\frac{Iy}{A}}$ $ry = 4.55\,cm$ $rx := \sqrt{\frac{Ix}{A}}$ $rx = 16.79\,cm$

Cek KOMBINASI PEMBEBANAN: 1,2D + 1,6L (untuk Mencari MOMEN TERFAKTOR Mux)

tidak ada goyangan karena diketahui rangkanya dan bebannya simetri.
Masukkan momen goyangan apabila rangkanya/bebannya tidak simetris

Beban Aksial Terfaktor: $Pu := 1.2 \cdot PD + 1.6 \cdot PL$ $Pu = 720.00\,kN$

Di atas: $Mtop := 1.2 \cdot MDtop + 1.6 \cdot MLtop$ $Mtop = 57.60\,kN \cdot m$

Di bawah: $Mbot := 1.2 \cdot MDbot + 1.6 \cdot MLbot$ $Mbot = 64.40\,kN \cdot m$

$M2 := \max(|Mtop|, |Mbot|)$ $M2 = 64.40\,kN \cdot m$

$M1 := \min(|Mtop|, |Mbot|)$ $M1 = 57.60\,kN \cdot m$

$Tanda := \begin{cases} 1 & \text{if } Mtop \cdot Mbot \geq 0 \\ (-1) & \text{if } Mtop \cdot Mbot < 0 \end{cases}$ kelengkungan ganda / kelengkungan tunggal

$Cm := 0.6 - 0.4 \cdot Tanda \cdot \left(\frac{M1}{M2}\right)$ $Cm = 0.24$

Momen tak bergoyang $Mnt := M2$ nt = no translation (tak bergoyang)

Momen bergoyang = 0

Kelangsingan terhadap sumbu x (sumbu momen lentur) dihitung dengan menggunakan kLx tidak bergoyang, karena kombinasi pembebanan ini tidak ada goyangan.

$kLx := kLxns$ $\lambda x := \frac{kLx}{rx}$ $\lambda x = 23.83$

Beban kritis Euler (dihitung terhadap sumbu yang sama dengan sumbu momen lentur)

$Pe1 := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{\lambda x^2}$ $Pe1 = 29238.70\,kN$

Faktor amplifikasi untuk momen tak bergoyang

$B1 := \max\left[\frac{Cm}{1 - \left(\frac{Pu}{Pe1}\right)}, 1\right]$ $B1 = 1.00$

Momen Terfaktor Untuk Kombinasi Pembebanan ini: $Mux := B1 \cdot Mnt$ $Mux = 64.40\,kN \cdot m$

Mencari MOMEN NOMINAL LENTUR ($\phi b.Mn$)

Momen Plastis (Mp)

$Mp := Zx \cdot Fy$ $Mp = 308.63\,kN \cdot m$

Cek flens local buckling

$\lambda := \frac{bf}{2tf}$ $\lambda = 7.69$ $\lambda p := 0.38\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ $\lambda p = 10.97$ $\lambda r := 1.0\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ $\lambda r = 28.87$

Cek_Kekompakan_Flens := | "Tidak Ada FLB" if $\lambda \le \lambda p$
| "NON COMPACT" if $(\lambda p < \lambda \le \lambda r)$
| "LANGSING" otherwise

Cek_Kekompakan_Flens = "Tidak Ada FLB"

Cek web local buckling

Untuk profil I/WF tidak ada momen yang menyebabkan tekuk lokal pada web, atau dengan perkataan lain, semua profil WF memiliki **web yang kompak**.(LIHAT TABEL F1.1, PAGE 45 AISC-2005.) Sekedar ilustrasi, berikut ini contoh perhitungannya:

$\lambda := \frac{h}{tw}$ $\lambda = 42.75$ $\lambda p := 3.76\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ $\lambda p = 108.54$ $\lambda r := 5.7\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ $\lambda r = 164.54$

Cek_Kekompakan_Web := | "Tidak Ada WLB" if $\lambda \le \lambda p$
| "NON COMPACT" if $(\lambda p < \lambda \le \lambda r)$
| "LANGSING" otherwise

Cek_Kekompakan_Web = "Tidak Ada WLB"

Cek lateral torsi buckling

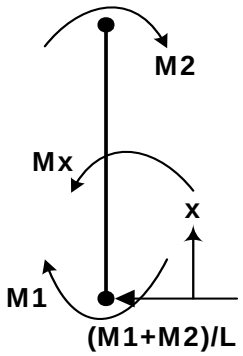
Menghitung Cb

Rumus berikut ini berlaku untuk kelengkungan tunggal maupun ganda. M1 dan M2 bertanda sama jika berkelengkungan tunggal. Dari perhitungan di atas, M1 dan M2 positif

$L := Lb$

$M1 :=$ | M1 if Tanda = –1 kelengkungan tunggal
| (–M1) otherwise kelengkungan ganda

$M(x) := M1 + \frac{x}{L}(M2 + M1)$ (lihat gambar sebelah kanan)



$MA := |M(0.25 \cdot L)|$ $MA = 55.90\ kN \cdot m$

$MB := |M(0.5 \cdot L)|$ $MB = 54.20\ kN \cdot m$

$MC := |M(0.75 \cdot L)|$ $MC = 52.50\ kN \cdot m$

$Mmaks := |M2|$

$Cb := \frac{12.5Mmaks}{2.5 \cdot Mmaks + 3MA + 4MB + 3MC}$ $Cb = 1.15$

Menghitung Lp dan Lr

$rts := \sqrt{\frac{Iy \cdot h0}{2 \cdot Sx}}$ $rts = 53.30\ mm$

$c := 1$ (penampang bersumbu simetri ganda)

$Fcr := \frac{Cb \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{Lb}{rts}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0.078 \cdot \frac{J \cdot c}{Sx \cdot h0}\left(\frac{Lb}{rts}\right)^2}$ $Fcr = 465.30\ MPa$

$Lp := 1.76 \cdot ry \cdot \sqrt{\frac{E}{Fy}}$ $Lp = 2.31\ m$

$Lr := \pi \cdot rts \cdot \sqrt{\frac{E}{0.7 \cdot Fy}}$ $Lr = 5.78\ m$

Menghitung Mn LTB

$$Mn_LTB := \begin{cases} Mp & \text{if } Lb \le Lp \\ \left[Cb \cdot \left[Mp - (Mp - 0.7 \cdot Sx \cdot Fy) \cdot \frac{Lb - Lp}{Lr - Lp} \right] \right] & \text{if } (Lp < Lb \le Lr) \\ (Fcr \cdot Sx) & \text{if } Lb > Lr \end{cases}$$

$Mn_LTB = 292.29\,kN \cdot m$

$$Cek := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } (Mn_LTB \le Mp) \\ \text{"Tidak OK, gunakan Mp"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Cek = \text{"OK"}$

Momen Nominal Lentur (Mnx)

$Mnx := \min(Mp, Mn_LTB)$ $\quad Mnx = 292.29\,kN \cdot m$

Faktor tahanan untuk lentur $\quad \phi b := 0.9$

$Momen_nominal_lentur := \phi b \cdot Mnx$ $\quad Momen_nominal_lentur = 263.06\,kN \cdot m$

Mencari FLEXURAL BUCKLING ($\phi c.Pn$)

$kLx := kLxs$ karena kLx bergoyang selalu lebih besar dari kLx tak bergoyang

$\lambda := \max\left(\frac{kLx}{rx}, \frac{kLy}{ry}\right)$ $\quad \lambda = 87.94$

$$Cek := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } \lambda \le 200 \\ \text{"Tidak OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Cek = \text{"OK"}$

$$Fe := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

Tegangan Kritis Tekuk Lentur (AISC'05)

$$Fcr := \begin{cases} \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) \cdot Fy & \text{if } \lambda \le 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{Fy}} \\ (0.877 \cdot Fe) & \text{if } \lambda > 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{Fy}} \end{cases}$$

$Fcr = 161.92\,MPa$

$\phi c := 0.8$ $\quad Pn := A \cdot Fcr$ $\quad Pn = 1361.73\,kN$

Kuat Tekuk Lentur : $\quad \phi c \cdot Pn = 1157.47\,kN$

Cek PERSAMAAN INTERAKSI

$\frac{Pu}{\phi c \cdot Pn} = 0.62$

$\frac{Mux}{\phi b \cdot Mnx} = 0.24$

$$Rasio := \begin{cases} \frac{Pu}{\phi c \cdot Pn} + \frac{8}{9} \cdot \frac{Mux}{\phi b \cdot Mnx} & \text{if } \frac{Pu}{\phi c \cdot Pn} \ge 0.2 \\ \frac{Pu}{2\phi c \cdot Pn} + \frac{Mux}{\phi b \cdot Mnx} & \text{if } \frac{Pu}{\phi c \cdot Pn} < 0.2 \end{cases}$$

Rumus interaksi untuk kombinasi gaya aksial tekan dan momen uniaksial terhadap sumbu kuat x

$Rasio = 0.84$

$$Cek := \begin{cases} \text{"Ok"} & \text{if } Rasio \le 1 \\ \text{"Tidak Ok"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Cek = \text{"Ok"}$

Cek KOMBINASI PEMBEBANAN: 1,2D + 0,5L + 1.3W (untuk Mencari MOMEN TERFAKTOR Mux)

Akibat 1.2D + 0.5L saja:

$Pu := 1.2 \cdot PD + 0.5 \cdot PL$ $\quad Pu = 390.00\,kN$

$Mtop := 1.2 \cdot MDtop + 0.5 \cdot MLtop$ $\quad Mtop = 24.60\,kN \cdot m$

$Mbot := 1.2 \cdot MDbot + 0.5 \cdot MLbot$ $\quad Mbot = 29.20\,kN \cdot m$

Untuk kondisi braced (tanpa goyangan)

$M2 := \max(|Mtop|, |Mbot|)$ $M2 = 29.20\ kN\cdot m$

$M1 := \min(|Mtop|, |Mbot|)$ $M1 = 24.60\ kN\cdot m$

$$Tanda := \begin{cases} 1 & \text{if } Mtop\cdot Mbot \geq 0 \\ (-1) & \text{if } Mtop\cdot Mbot < 0 \end{cases}$$ kelengkungan ganda / kelengkungan tunggal

$Cm := 0.6 - 0.4\cdot Tanda\cdot\left(\frac{M1}{M2}\right)$ $Cm = 0.26$

Momen tak bergoyang $Mnt := M2$

Momen goyangan: $Mlt := 1.3\cdot\max(|Mwtop|, |Mwbot|)$ $Mlt = 71.50\ kN\cdot m$

Beban kritis Euler untuk kondisi tak bergoyang
(tidak tergantung pada kondisi pembebanan, sama dengan sebelumnya)

$Pe1 := \frac{\pi^2\cdot E\cdot A}{\lambda x^2}$ $Pe1 = 29238.70\ kN$

Faktor amplifikasi untuk momen tak bergoyang

$B1 := \max\left[\frac{Cm}{1-\left(\frac{Pu}{Pe1}\right)}, 1\right]$ $B1 = 1.00$

Beban kritis Euler untuk kondisi bergoyang (dihitung dengan menggunakan kLx bergoyang)

$kLx := kLxs$ $\lambda x := \frac{kLx}{rx}$ $\lambda x = 29.78$

$Pe2 := \frac{\pi^2\cdot E\cdot A}{\lambda x^2}$ $Pe2 = 18712.77\ kN$

Karena data beban aksial di kolom lain pada tingkat yang sama tidak ada, maka diasumsikan bahwa rasio antara beban aksial dan kapasitas beban Euler sama untuk semua kolom di tingkat tersebut.

Faktor amplifikasi untuk momen bergoyang B2

$B2 := \frac{1}{1-\frac{Pu}{Pe2}}$ $B2 = 1.02$

Momen Terfaktor yang telah diamplifikasi $Mux := B1\cdot Mnt + B2\cdot Mlt$ $Mux = 102.22\ kN\cdot m$

Meskipun Mnt dan Mlt berbeda nilainya, namun distribusinya sama (garis lurus), maka Cb akan berharga kurang lebih sama. Jadi, nilai Mnx sama dengan yang telah diperoleh pada kombinasi sebelum ini

Cek PERSAMAAN INTERAKSI

$\frac{Pu}{\phi c\cdot Pn} = 0.34$ $\frac{Mux}{\phi b\cdot Mnx} = 0.39$

$$Rasio := \begin{cases} \frac{Pu}{\phi c\cdot Pn} + \frac{8}{9}\cdot\frac{Mux}{\phi b\cdot Mnx} & \text{if } \frac{Pu}{\phi c\cdot Pn} \geq 0.2 \\ \frac{Pu}{2\phi c\cdot Pn} + \frac{Mux}{\phi b\cdot Mnx} & \text{if } \frac{Pu}{\phi c\cdot Pn} < 0.2 \end{cases}$$

Rumus interaksi untuk kombinasi gaya aksial tekan dan momen uniaksial terhadap sumbu kuat x

$Rasio = 0.68$

$$Cek := \begin{cases} \text{"Ok"} & \text{if } Rasio \leq 1 \\ \text{"Tidak Ok"} & \text{otherwise} \end{cases}$$ $Cek = \text{"Ok"}$