



Jurusan : Teknik Sipil	Hari / Tanggal : Jumat, 13 Mei 2011
Kode Kelas : AIJ	Waktu : 07.15 – 09.00
Mata Ujian : Struktur Baja I	SKS : 2
Dosen : Dr. Ir. Wiryanto Dewobroto, MT	Sifat Ujian : Open notes (hand writing)

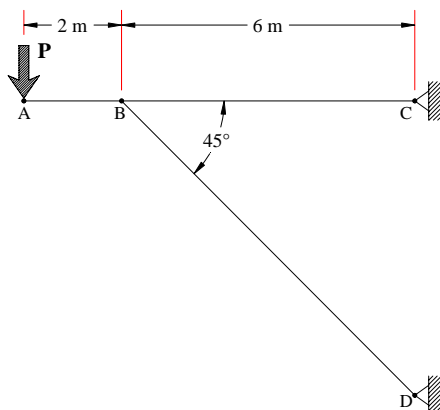
**Soal 1. (10%)**

Soal teori, jawablah secara singkat tetapi tepat sasaran (tidak bertele-tele) pertanyaan-pertanyaan berikut :

- Apa itu *local buckling*, bagaimana cara mengatasinya dalam perencanaan struktur baja.
- Apa itu *global buckling*, ada berapa macam *buckling* jenis tersebut, dan bilamana itu terjadi.
- Gambarkan hubungan antara gaya tekan dan kelangsingan, tunjukkan daerah elastis dan yang bukan.
- Pada code AISC 2005 tidak ada pembatasan kelangsingan batang tekan, meskipun demikian pada penjelasannya disarankan suatu kelangsingan dengan nilai tertentu, berapa itu, mengapa itu perlu.
- Apa itu *yielding* dan *fracture* (buat grafik). Adakah *fracture* pada batang tekan, mengapa demikian.

**Soal 2. (20%)**

Pemahaman tentang  $P_u$  dan  $P_n$  pada suatu elemen struktur

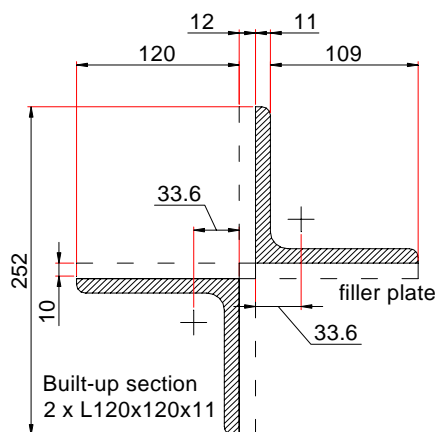


Suatu struktur baja terlihat pada gambar di samping. Elemen ABC adalah balok baja menerus yang ditumpu oleh batang diagonal BD di titik B (sambungan PIN) dan tumpuan sendi di titik C. Jadi batang diagonal BD dipastikan hanya menerima gaya aksial saja.

Struktur tersebut diberi bracing di titik A dan B.

Jika elemen baja di desain dengan code AISC 2005 dan dianggap balok ABC sangat kuat sehingga kekuatan terkecil ditentukan oleh kuat nominal batang diagonal BD, yaitu  $P_n$ , maka hitunglah **berapa P maksimum** (sebagai fungsi  $P_n$ ) yang dapat ditempatkan di titik A secara aman.

**Soal 3. (40%)**



Spesifikasi Bahan :

Baja karbon A36 ,

$E = 200000 \text{ MPa}$ ;  $G = 80000 \text{ MPa}$ ,

$F_y = 250 \text{ MPa}$ ;  $F_u = 400 \text{ MPa}$

Profil built-up profil 2 x L120x120x11, posisi saling berseberangan dengan 2 sumbu simetri (lihat gambar)

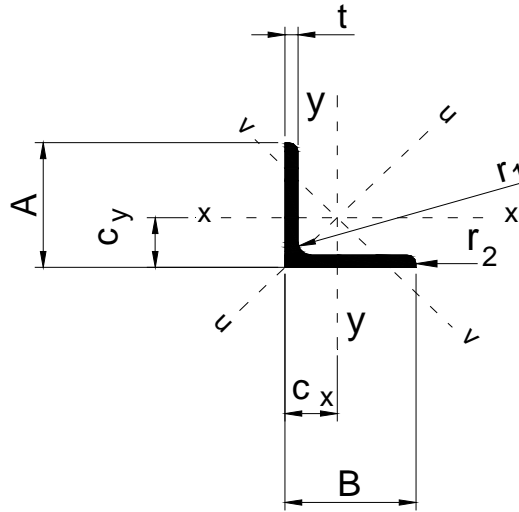
Untuk kolom dengan panjang efektif ( $KL$ ) = 4 m pada kedua sumbu orthogonal, tentukan  $P_u$  maksimum yang dapat dipikulnya. Sebelumnya tentukan terlebih dahulu  $a$ , jarak pelat-pelat pengisi  $t = 12 \text{ mm}$  yang menyatukan ke dua profil siku tersebut.

**Soal 4. (30%)**

Lihat gambar struktur pada soal No.2, anggap balok ABC cukup kuat sehingga tidak perlu dievaluasi ulang, sedangkan batang diagonal BD digunakan profil hot-rolled MH-244 (lihat tabel terlampir) dianggap menentukan. Oleh karena itu , pada konfigurasi tersebut hitung  $P$  maksimum di titik A yang dapat didukung oleh struktur pada soal No.2 tersebut.

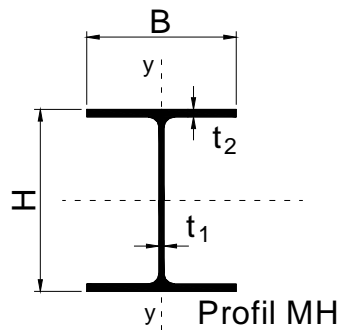
Selamat bekerja secara MANDIRI !

Lampiran :



Tabel 1.1 Siku Sama Kaki

Dimensi Standar Profil Siku Sama Kaki				A	berat satuan	cg	Momen Inersia			Radius Girasi			Modulus Potongan
H x B	t	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>				C <sub>x</sub> =C <sub>y</sub>	I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub>	max I <sub>u</sub>	min I <sub>v</sub>	r <sub>x</sub> =r <sub>y</sub>	max r <sub>u</sub>	
mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>
100 x 100	10	12	6	19.2	15.1	2.82	177	280	73.3	3.04	3.82	1.95	24.7
120 x 120	11	13	6.5	25.4	19.9	3.36	341	541	140	3.66	4.62	2.35	39.5
130 x 130	12	14	7	30.0	23.6	3.64	472	750	194	3.97	5.00	2.54	50.4



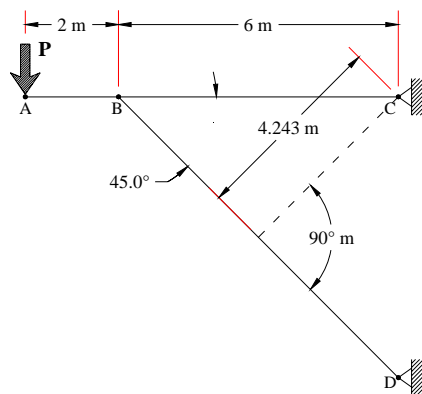
Tabel 1.2 Middle H-Shape

Label	Dimension (mm)					A cm <sup>2</sup>	Mass per meter (kg/m)	Momen of Inertia cm <sup>4</sup>		Radius of Gyration cm		Section Modulus cm <sup>3</sup>	
	H	B	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	r			axis x-x	axis y-y	axis x-x	axis y-y	axis x-x	axis y-y
MH-194	194	150	6	9	13	39.01	30.6	2690	507	8.30	3.61	277	67.6
MH-244	244	175	7	11	16	56.24	44.1	6120	984	10.4	4.18	502	113
MH-294	294	200	8	12	18	72.38	56.8	11300	1600	12.5	4.71	771	160

Jawaban Soal :

**Soal 2. (20%)**

Pemahaman tentang  $P_u$  dan  $P_n$  pada suatu elemen struktur



Pertama, cari gaya batang BD akibat P di titik A. Sambungan BD ke ABC adalah sendi sehingga di batang BD hanya terjadi gaya aksial tekan saja. Tinjau keseimbangan titik C, jarak tegak lurus BD ke C diperoleh = 4.243 m, sehingga:

$$P * 8 - F_{BD} * 4.243 = 0$$

$$\text{Jadi } F_{BD} = 1.885P \quad \text{or} \quad P = 0.53F_{BD}$$

$$\text{Jika } P = P_u \text{ maka } \phi P_{n-BD} \geq 1.885P_u \text{ atau } P_{n-BD} \geq \frac{1.885P_u}{\phi}$$

$$\text{jika } \phi = 0.9 \text{ maka } P_{n-BD} \geq 2.095P_u \text{ or } P_u \leq P_{n-BD}/2.095$$

**Soal 4. (30%)**

Jika batang diagonal BD (dari Soal 2) digunakan profil hot-rolled MH-244 maka dapat dihitung P maksimum di titik A berdasarkan jawaban soal no.2 tersebut.

Dalam pengertian ini maka yang disebut beban maksimum adalah beban ultimate sehingga  $P_{max} = P_u = \frac{P_{n-BD}}{2.095}$ .

Jadi langkah selanjutnya adalah mencari kuat nominal batang BD.

Label	Dimension (mm)					A cm <sup>2</sup>	Mass per meter (kg/m)	Momen of Inertia cm <sup>4</sup>		Radius of Gyration cm		Section Modulus cm <sup>3</sup>	
	H	B	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	r			axis x-x	axis y-y	axis x-x	axis y-y	axis x-x	axis y-y
MH-244	244	175	7	11	16	56.24	44.1	6120	984	10.4	4.18	502	113

\*\* Check tekuk lokal \*\*

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{175}{2 * 11} = 7.95 \lll 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 * \sqrt{\frac{200000}{250}} = 15.8$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{244}{7} = 35 \lll 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 * \sqrt{\frac{200000}{250}} = 42 \rightarrow \text{profil tidak langsing.}$$

\*\* Kapasitas aksial \*\*

$$\phi_c = 0.9; A_g = 5624 \text{ mm}^2; L = L_{BD} = 8485 \text{ mm.}; r_{min} = r_y = 41.8 \text{ mm.}$$

$$\text{Sendi-sendii maka } K=1 \rightarrow \frac{KL}{r_{min}} = \frac{1 * 8485}{41.8} = 203 > 200 \text{ tetapi AISC 2005 mengijinkan}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 * 200000}{(203)^2} = 47.9 \text{ MPa}$$

$$KL/r_{min} = 203 > 4.71 \sqrt{E/F_y} = 113 \rightarrow F_{cr} = 0.877 F_e = 0.877 * 47.9 = 42 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 42 * 5624 * 1/1000 = 236.2 \text{ kN}$$

$$P_{max} = P_u = \frac{P_{n-BD}}{2.095} = \frac{236.2}{2.095} = 112.7 \text{ kN}$$

Catatan : jika P maksimum dianggap sebagai beban kerja, yaitu beban hidup dengan faktor beban = 1.6 maka

$$P_{max} = \frac{P_u}{1.6} = \frac{P_{n-BD}}{2.095 * 1.6} = \frac{236.2}{3.352} = 70.47 \text{ kN}$$

### Soal 3. (40%)

Spesifikasi Bahan :

Baja karbon A36 ,

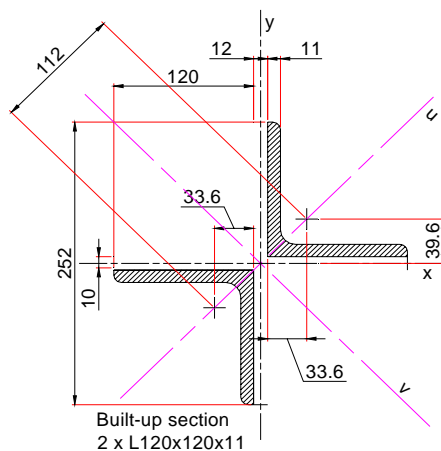
$E = 200000 \text{ MPa}$ ;  $G = 80000 \text{ MPa}$ ,

$F_y = 250 \text{ MPa}$ ;  $F_u = 400 \text{ MPa}$

Profil built-up profil 2 x L120x120x11, posisi saling berseberangan dengan 2 sumbu simetri (lihat gambar)

Untuk kolom dengan panjang efektif (KL) = 4 m pada kedua sumbu orthogonal, tentukan  $P_u$  maksimum yang dapat dipikulnya. Sebelumnya tentukan terlebih dahulu  $a$ , jarak pelat-pelat pengisi  $t = 12 \text{ mm}$  yang menyatukan ke dua profil siku tersebut.

Dimensi Standar Profil Siku Sama Kaki				A	berat satuan	cg	Momen Inersia				Radius Girasi			Modulus Potongan
H x B	t	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>				$C_x=C_y$	$I_x=I_y$	max $I_u$	min $I_v$	$r_x=r_y$	max $r_u$	min $r_v$	
mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm	cm <sup>3</sup>	
120 x 120	11	13	6.5	25.4	19.9	3.36	341	541	140	3.66	4.62	2.35	39.5	



$$\frac{b}{t} = \frac{120}{11} = 10.9 \lll$$

$$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.45 * \sqrt{\frac{200000}{250}} = 12.7$$

→ profil tidak langsing.

Ditinjau sumbu x-x atau sumbu y-y

$$I_{xg} = I_{yg} = 2I_{xo} + 2(A_o * y_x^2) = 2 * 341 + 2(25.4 * 3.96^2) = 1478.6253 \text{ cm}^4 = 14.786 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Ditinjau sumbu utama v-v

$$I_{vg} = 2I_{vo} + 2(A_o * y_v^2) = 2 * 140 + 2\left(25.4 * \left(\frac{11.2}{2}\right)^2\right) = 1873.088 \text{ cm}^4 = 18.781 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Ditinjau sumbu utama u-u

$$I_{ug} = 2I_{uo} = 2 * 541 = 1082 \text{ cm}^4 = 10.82 * 10^6 \text{ mm}^4 \rightarrow \text{minimum tekuk akan terjadi}$$

$$A_g = 2A_o = 2 * 25.4 = 50.8 \text{ cm}^2 = 5080 \text{ mm}^2$$

$$r_{\text{min\_gab}} = r_u = \sqrt{\frac{I_{ug}}{A_g}} = \sqrt{\frac{10.82 * 10^6}{5080}} = 46.15 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r_{\text{min\_gab}}} = \frac{1 * 4000}{46.15} = 87$$

Pelat penghubung diberikan pada arah x dan arah y, saling silang pada jarak  $a$ .

$$\frac{Ka}{r_{\text{min\_tunggal}}} \leq \frac{3}{4} \frac{KL}{r_{\text{min\_gab}}} \rightarrow a \leq \frac{3}{4} L \frac{r_{\text{min\_tunggal}}}{r_{\text{min\_gab}}} \rightarrow a_{\text{max}} = \frac{3}{4} * 4000 \frac{23.5}{46.15} = 1527 \text{ mm}$$

$$\text{Pakai } a \approx \frac{L}{3} = \frac{4000}{3} = 1333 \text{ mm} \lll a_{\text{max}} = 1527 \text{ mm} \rightarrow \text{ok}$$

Karena pelat penghubung tidak terletak pada garis netral sumbu tekuk, yaitu sb utama u-u, maka akan terjadi gaya geser. Gaya geser dapat menyebabkan deformasi geser pelat penghubung, itu berpengaruh pada panjang tekuk batang gabungan (ada pelemahan). Jadi perlu modifikasi panjang tekuk .

Pelat penyambung memakai sistem sambungan las yang menyatu, untuk itu maka digunakan rumus panjang tekuk modifikasi berikut.

$$\left(\frac{KL}{r_{\min\_gab}}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r_{\min\_gab}}\right)_o^2 + 0.82 \frac{\alpha^2}{(1 + \alpha^2)} \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2} \dots\dots\dots \text{(AISC Eq. E6-2)}$$

$$\left(\frac{KL}{r_{\min\_gab}}\right)_o = 87 \dots\dots\dots \text{original un-modified slenderness ratio}$$

$r_{ib}$  .....radius of gyration of component about axis parallel to member of buckling (axis u-u)

$$r_{ib} = r_u = 46.2 \text{ mm} \dots\dots\dots$$

$h$  ..... distance between component centroids (perpendicular to member axis of buckling)

$$h = 0 \dots\dots\dots$$

$$\alpha = h/2r_{ib} = 0 \dots\dots\dots$$

Maka

$$\left(\frac{KL}{r_{\min\_gab}}\right)_m = \left(\frac{KL}{r_{\min\_gab}}\right)_o = 87 \text{ ternyata tidak memberi berpengaruh.}$$

Tinjau tekuk sumbu u-u sebagai **tekuk lentur** :

Baja A36  $F_y = 250 \text{ MPa}$

$$A_g = 2A_o = 2 * 25.4 = 50.8 \text{ cm}^2 = 5080 \text{ mm}^2$$

$$\frac{KL}{r} = \left(\frac{KL}{r_{\min\_gab}}\right) = 87 \text{ dan } F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 * 200000}{(87)^2} = 261 \text{ MPa}$$

$$KL/r_{\min} = 87 < 4.71\sqrt{E/F_y} = 133 \rightarrow F_{cr} = [0.658^{F_y/F_e}] F_y = [0.658^{250/261}] 250 = 167.4 \text{ MPa}$$

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.9 * 167.4 * 5080 * 1/1000 = 765.4 \text{ kN} \rightarrow \text{kapasitas tekuk lentur}$$

Karena berbentuk palang dan simetri ganda maka perlu ditinjau **tekuk torsi** terhadap sumbu Z (longitudinal) :

$$F_e = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \dots\dots\dots \text{(AISC Eq. E4-4)}$$

$G = 77200 \text{ MPa}$  ..... shear modulus for steel structure

$C_w \approx 0 \text{ mm}^6$  so small and it will be neglected (see Gaylord p.268) ..... warping constant

$K_z L = 4000 \text{ mm}$  .....effective length factor for torsional buckling

$$J = 4 * \frac{1}{3} * 120 * 11^3 = 212960 \text{ mm}^4 \dots\dots\dots \text{torsional constant}$$

$$I_x = I_{ug} = 10.82 * 10^6 \text{ mm}^4 \dots\dots\dots \text{moment of inertia about the principal axes}$$

$$I_y = I_{vg} = 18.781 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$F_e = GJ \frac{1}{I_x + I_y} = 77200 * 212960 * \frac{1}{(10.82 + 18.781) * 10^6} = 555 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{(AISC Eq. E4-4)}$$

$$KL/r_{\min} = 87 < 4.71\sqrt{E/F_y} = 133 \rightarrow F_{cr} = [0.658^{F_y/F_e}] F_y = [0.658^{250/555}] 250 = 207 \text{ MPa}$$

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.9 * 207 * 5080 * 1/1000 = 946 \text{ kN} \text{ kapasitas tekuk torsi } \gg \text{ kapasitas tekuk lentur}$$

Jadi kapasitas **tekuk lentur** yang menentukan.  $P_u \leq \phi_c P_n = 765.4 \text{ kN}$