

BALOK DENGAN PERKUATAN

1. TUJUAN PERKULIAHAN

A. TUJUAN UMUM PERKULIAHAN (TUP)

Setelah mempelajari materi tentang balok dengan perkuatan, secara umum anda diharapkan :

1. Mampu menjelaskan pengertian dan sistem dan analisa balok dengan perkuatan
2. Mampu menghitung balok dengan perkuatan
3. Mampu menggambar hasil perhitungan balok dengan perkuatan

B. TUJUAN KHUSUS PERKULIAHAN (TKP)

Setelah mempelajari materi balok dengan perkuatan, secara khusus anda diharapkan :

1. dapat menjelaskan kembali pengertian balok dengan perkuatan
2. dapat menjelaskan kembali analisa balok dengan metode penampang ekuivalen
3. dapat menjelaskan kembali analisa balok dengan metode pembagian beban
4. dapat menghitung momen inersia (I)
5. dapat menghitung tegangan lentur
6. dapat menghitung tegangan geser
7. dapat menghitung kekuatan kayu terhadap lentur
8. dapat menghitung kekuatan kayu terhadap geser
9. dapat menghitung kekuatan baja terhadap lentur
10. dapat menghitung kekuatan baja terhadap geser
11. dapat menggambar hasil perhitungan balok dengan perkuatan

C. PRASYARAT

Untuk mempermudah pencapaian tujuan perkuliahan di atas, paling sedikit anda dituntut :

1. sudah mengetahui materi Konstruksi Kayu I
2. sudah menguasai Mekanika Teknik I dan II

BALOK DENGAN PERKUATAN

1. Umum

Penampang kayu yang kita desain dalam konstruksi sebaiknya mempunyai dimensi yang tersedia di lapangan. Setiap dimensi hendaknya cukup dengan persediaan di lapangan.

Namun kondisi ini tidak selalu terpenuhi. Sering sekali terjadi dimensi yang dibutuhkan justru tidak tersedia. Konsekwensinya dari tidak tersedianya dimensi tersebut di lapangan ini adalah harus menyediakan sendiri dimensi tersebut. Pilihan ini tentunya bukan pilihan yang ekonomis

Perkuatan yang sering digunakan dalam konstruksi kayu ini adalah baja. Seperti kita ketahui bahwa baja mempunyai kekuatan dan modulus elastis yang jauh lebih tinggi dari kayu

Bahasan ini dibatasi hanya pada perkuatan dengan menggunakan pelat baja saja. Perkuatan dengan profil baja tidak termasuk dalam bahasan ini.

2. Sistem perkuatan

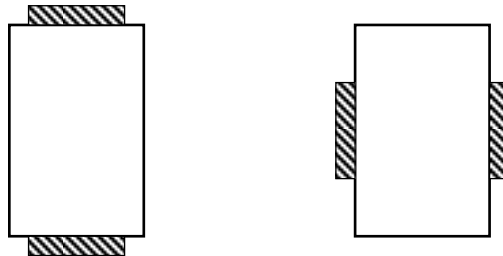
Perkuatan yang cukup sering dijumpai adalah menggunakan pelat baja. Pelat baja tersebut dipasang karena dimensi penampang kayu ternyata tidak cukup untuk memikul beban yang bekerja. Pertimbangan lain yang lebih terutama sekali karena tidak mungkin lagi untuk mengganti/ memperbesar penampang kayu yang ada

Pertimbangan diatas cukup rasionel, mengingat bahwa dalam dimensi yang sama pelat baja akan mempunyai kemampuan memikul beban yang lebih jauh besar dari pada kayu. Dengan menggunakan perkuatan baja ini penambahan dimensi menjadi tidak begitu besar sehingga lebih praktis

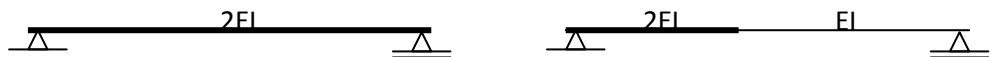
Pemasangan perkuatan baja hendaknya tidak menambah rumit analisa perhitungan. Penempatan pelat baja tidak bisa dalam sembarang tempat, karena harus mengoptimalkan kemampuan dalam memikul beban

Analisa penampang ini akan lebih mudah bila garis netral kayu maupun baja tetap berimpit. Untuk biasanya perkuatan baja yang digunakan akan dipasang simetri terhadap garis netral penampang kayu

Ditinjau dari letaknya dalam penampang, pelat baja yang digunakan dapat dipasang pada sisi horizontal atau pada sisivertikal



Ditinjau dari letaknya dalam bentang gelagar, pelat baja yang digunakan dapat dipasang pada sepanjang bentang atau sebagian panjang bentang



Pada perkuatan sepanjang bentang, struktur tetap prismatis, dimana harga EI konstan sepanjang bentang. E adalah modulus elastis, dan I adalah momen Inersia penampang Hanya saja perlu diingat, bila perkuatan dipasang pada sebagian panjang bentang, struktur menjadi nonprismatis sebab harga EI tidak lagi konstan di sepanjang bentang

Analisa balok perkuatan

Analisa balok perkuatan sekurang-kurangnya dapat dilakukan dalam 2 cara yaitu : metode penampang ekuivalen dan metode pembagian beban

3. Metode penampang ekuivalen

Disebut juga metode transformasi, baja yang kita gunakan sebagai perkuatan harus ditransformasi, atau ditukar sehingga menjadi kayu

Karena sifat baja yang berbeda dengan kayu inilah maka tidaklah tepat bila nilai tukar yang digunakan adalah 1. Jelasnya, tidak logis bila baja hanya ditukar dengan kayu dengan luas yang sama

Yang benar adalah bila baja akan ditransformasikan menjadi kayu, maka luas penampang kayu hasil transformasi ini harus lebih besar dari luas baja, sehingga nilai tukarnya lebih dari 1.

Nilai tukar yang dimaksud adalah n yang menunjukkan perbandingan relatif antara modulus elastis baja dengan modulus elastis kayu.

$$n = \frac{E_s}{E_k}$$

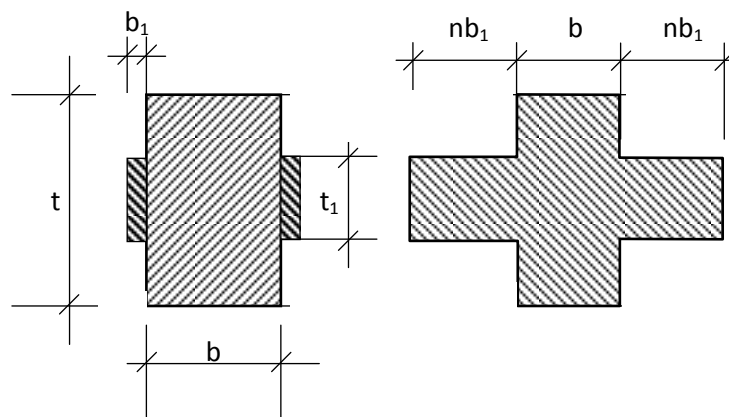
dimana :

$E_s = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ (dianggap konstan, sehingga tidak tergantung dari kelas kuat kayu)

$E_k = \dots \text{ kg/cm}^2$ (tergantung kelas kuat)

Nilai n berbanding terbalik dengan E_k . Semakin besar harga E_k , nilai n akan semakin kecil. Demikian sebaliknya. Nilai n akan selalu lebih besar dari 1.

Artinya bila baja seluas (A_s) akan ditransformasikan menjadi kayu, maka kayu hasil transformasi ini akan mempunyai luas sebesar ($n \cdot A_s$)



Transformasi ini harus tetap memperhitungkan besaran statika penampang, dalam hal ini adalah garis netral dalam momen inersianya.

Pada gambar diatas terlihat bahwa kondisi penampang yang terdiri dari kayu dan baja akan mempunyai momen inersia yang sama dengan kondisi dimana seluruh penampang baja ditransformasikan menjadi kayu

Momen Inersia kayu, $I_k = 1/12 b t^3$

Momen Inersia baja, $I_s = 2 (1/12 b t^3)$

Penampang keseluruhan mempunyai momen inersia

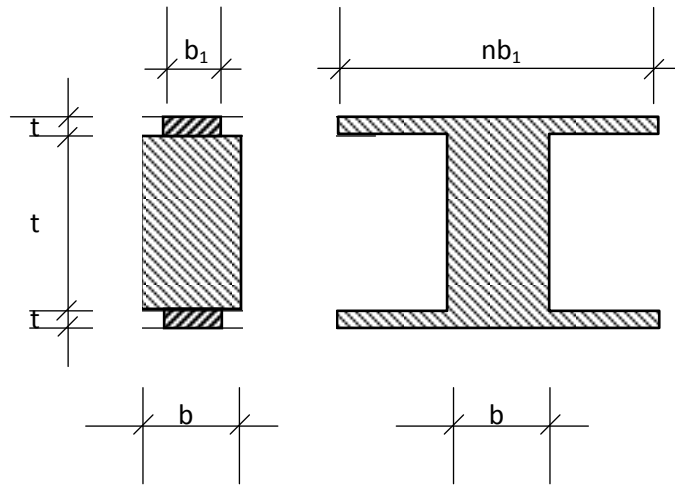
$$I = \frac{1}{12} b t^3 + 2 \frac{1}{12} (n b_1) t_1^3$$

$$= \frac{1}{12} b t^3 + n 2 \frac{1}{12} (b_1) t_1^3$$

Substitusi harga (I_k dan I_s) ke harga I didapat

$$I = I_k + n I_s$$

Pada kondisi dimana baja perkuatan dipasang pada sisi horizontal, maka hasil transformasi penampangnya menjadi sebagai berikut :



Sebelum ditransformasikan $I_k = 1/12 b t^3$

$$I_s = 2 \left[\frac{1}{12} (b_1) t_1^3 + (b_1 t_1) (0,5 t + 0,5 t_1)^2 \right]$$

Setelah ditransformasikan :

$$I = \frac{1}{12} b t^3 + 2 \left[\frac{1}{12} (n b_1) t_1^3 + (n b_1 t_1) (0,5 t + 0,5 t_1)^2 \right]$$

$$= \frac{1}{12} b t^3 + (n) 2 \left[\frac{1}{12} (b_1) t_1^3 + (b_1 t_1) (0,5 t + 0,5 t_1)^2 \right]$$

$$I = I_k + n I_s$$

dari gambar diatas terlihat bahwa bila disebelah kiri terdiri kayu dan baja, maka disebelah kanan hanya ada kayu saja.

Hal ini disebabkan karena baja disebelah kiri yang luasnya $A_s = 2 (b_1 t_1)$ itu kini ditransformasikan menjadi kayu seluas A_k dimana:

$$\begin{aligned}
A_k &= 2 (n b_1 t_1) \\
&= n 2 (b_1 t_1) \\
&= n A_s
\end{aligned}$$

Baik dari perkuatan sisi vertikal maupun horizontal, momen inersia pengganti akibat penampang baja ditransformasikan menjadi kayu dapat dinyatakan sebagai :

$$I = I_k + n I_s$$

Diagram tegangan lentur kayu dan baja

Pengaruh transformasi yang menghasilkan penampang pengganti tersebut diatas, tetap akan menghasilkan 1 diagram tegangan lentur. Dalam hal ini seakan-akan terjadi sebuah kesatuan penampang yang monolit.

Tegangan lentur yang terjadi adalah :

$$\sigma = \frac{M}{I} y = k \cdot y, \text{ dimana } k = \frac{M}{I}$$

sedangkan perpanjangan/perpendekan serat kayu maupun baja adalah sama besar, sehingga : $d_k = d_s$

Bila regangan dinyatakan dalam ε dan panjang elemen dinyatakan dalam L, maka perpanjangan atau perpendekan kayu dan baja ini masing-masing

$$\begin{aligned}
d_k &= \varepsilon_k L_k = (\sigma_k / E_k) L_k \\
d_s &= \varepsilon_s L_s = (\sigma_s / E_s) L_s
\end{aligned}$$

Dengan menyatakan $d_k = d_s$ dan $L_k = L_s$ didapat :

$$\left(\frac{\sigma_k}{E_k} \right) = \left(\frac{\sigma_s}{E_s} \right), \text{ atau}$$

$$\sigma_s = \frac{E_s}{E_k} \cdot \sigma_k$$

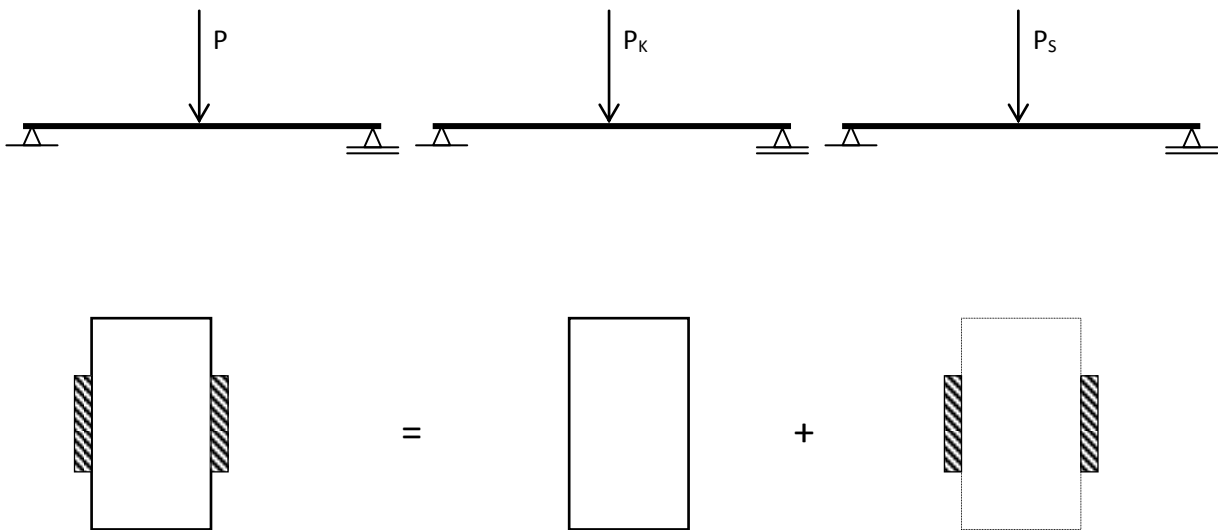
karena $n = \frac{E_s}{E_k}$, maka : $\sigma_s = n \cdot \sigma_k$

Ini menunjukkan bahwa tegangan baja yang sebenarnya terjadi adalah (n) kali tegangan kayunya. Ini karena diagram diatas bukan diagram tegangan baja, melainkan diagram tegangan kayu.

4. Metode Pembagian beban

Dalam metode ini, penampang yang terdiri dari kayu dan baja seakan-akan dipisah sedemikian hingga menjadi kayu dan baja.

Beban yang dipikul oleh kayu maupun baja merupakan sebagian dari beban yang sebenarnya. Dengan kata lain, setiap beban yang bekerja pada struktur akan dibagi-bagi, sebagian dipikul kayu dan sebagian dipikul oleh baja.



Pada gambar diatas, beban P (yang dipikul oleh kayu dan baja) dibagi menjadi :

P_k yang dipikul oleh kayu dan

P_s yang dipikul oleh baja

Permasalahan yang timbul adalah, berapakah P_k dan P_s ?

Pada kasus diatas, terdapat 2 buah variable yaitu P_k dan P_s . Secara matematik, untuk menentukan 2 variable (P_k dan P_s) ini memerlukan 2 buah persamaan

Dua persamaan yang dimaksud dihasilkan melalui :

Kekekalan Pembebanan

Pada suatu sistem pembebanan tertentu, jumlah beban selalu tetap (kekal). Artinya, jumlah dari seluruh beban yang dipikul oleh setiap elemen (baik P_k maupun P_s) akan selalu sama dengan beban semula P .

$$P_k + P_s = P \dots\dots\dots a$$

Kekekalan Garis Elastis

Pada suatu sistem pembebanan tertentu, meskipun penampangnya terdiri dari lebih satu jenis material), maka jumlah garis elastis selalu kekal yaitu hanya 1 buah saja. Artinya, garis elastis struktur kayu akibat P_k akan selalu sama dengan garis elastis struktur baja akibat P_s , dan akan selalu sama dengan garis elastis struktur semula (kayu dan baja) akibat P

Kartena garis elastisnya sama, maka lendutan suatu titik yang sama pun akan sama yaitu : $\delta_k + \delta_s = \delta$

Sebagaimana diketahui bahwa lendutan akan selalu sebanding dengan beban dan terbalik dengan EI-nya. E adalah modulus elastisitas dan I adalah momen inersia. Apabila kita ambil $\delta_k = \delta_s$, maka :

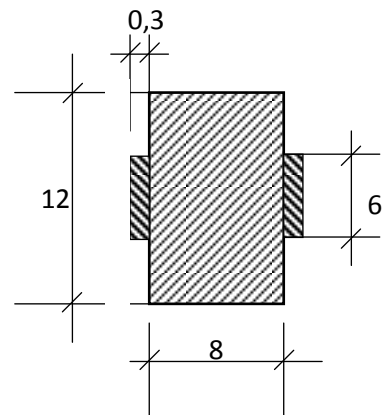
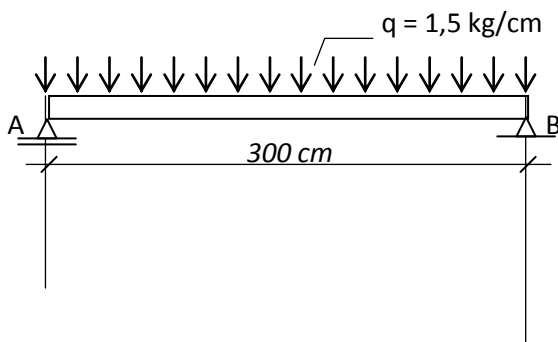
$$\frac{P_k}{E_k I_k} = \frac{P_s}{E_s I_s} \dots\dots\dots b$$

Dengan substitusi dari persamaan (a) dan (b) tersebut maka harga P_k dan P_s dapat ditentukan

5. Contoh

Contoh 1

Kayu kelas II, mutu A. Berat sendiri diabaikan. Perkuatan baja dipasang sepanjang pada sisi vertikal.



a) Berapakah momen Inersia I, bila baja di transformasikan ke kayu ?

Jawab

Kayu kelas II, $E_k = 100000 \text{ Kg/cm}^2$

Baja $E_s = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$$n = \frac{E_s}{E_k} = 21$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 12^3 + 2 \left[\frac{1}{12} (6,3) 6^3 \right] = 1378,8 \text{ cm}^4$$

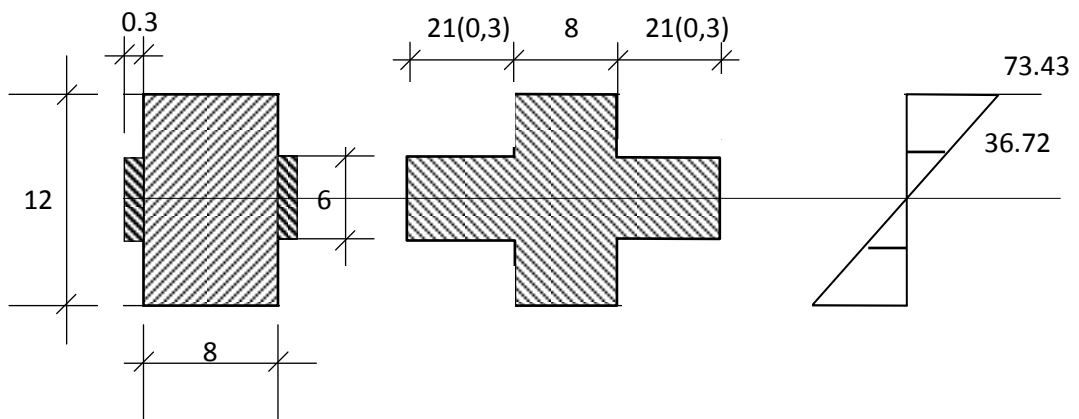
check :

$$I_k = \frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 12^3 = 1152$$

$$I_s = 2 \left[\frac{1}{12} (0,3) 6^3 \right] = 10,8$$

$$I = I_k + 21 (I_s) = 1378,8 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{ok}$$

b) Gambar diagram tegangan lentur ditengah bentang !



Jawab

Momen ditengah bentang, $M = \frac{1}{8} \cdot 1,5 \cdot 300^2 = 16875 \text{ kg cm}$

$$\sigma = \frac{M}{I} y = \frac{16875}{1378,8} \cdot y$$

$$= 12,2389 y \dots\dots\dots \text{linear}$$

$y = 6, \sigma_1 = 73,43$

$y = 3, \sigma_2 = 36,72$

c) Cukup kuatkah kayu terhadap lentur ? ($\bar{\sigma}_k = 100 \text{ kg/cm}^2$):

Jawab :

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 = 73,43 \text{ kg/cm}^2 \leq 100 \rightarrow \text{Ok!}$$

d) Cukup kuatkah Baja terhadap lentur ? ($\bar{\sigma}_s = 1600 \text{ kg/cm}^2$):

Jawab :

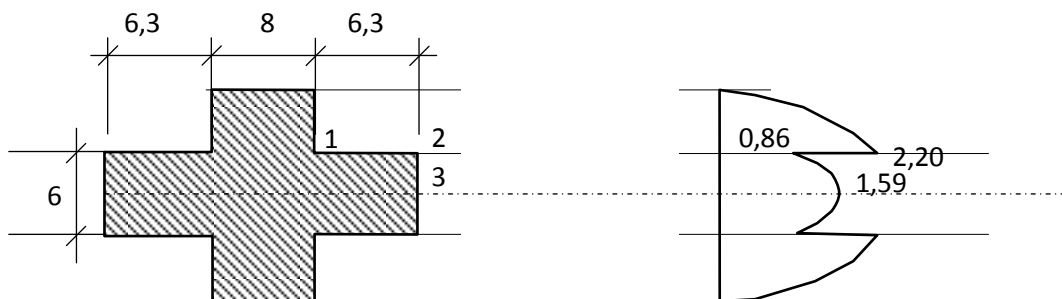
$$\sigma_{\max} = n \cdot \sigma_2 = 21 (36,72) = 771,05 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \rightarrow \text{Ok!}$$

e) Gambar diagram tegangan geser di tumpuan

Jawab :

$$\text{Gaya lintang di tumpuan } D = 0,5 \cdot (1,5) \cdot 300 = 225 \text{ kg}$$

$$\tau = \frac{DS}{bI} = \frac{225 \cdot S}{1378,8 \cdot b} = 0,16319 (s/b) \dots\dots\dots(\text{parabola})$$



Titik 1 : $b = 8$

$$S = (8 \cdot 3) \cdot 4,5 = 108$$

$$\tau_1 = 0,16139 (108/8) = 2,20 \text{ kg/cm}^2$$

Titik 2 : $b = 8 + 2 (21 \cdot 0,3) = 20,6$

$$S = (8 \cdot 3) \cdot 4,5 = 108$$

$$\tau_2 = 0,16139 (108/20,6) = 0,86 \text{ kg/cm}^2$$

Titik 3 : $b = 8 + 2 (21 \cdot 0,3) = 20,6$

$S = (8 \cdot 6)^3 + 2(21 \cdot 0,3^3 \cdot 1,5) = 200,7$

$\tau_3 = 0,16139 (200,7/20,6) = 1,59 \text{ kg/cm}^2$

f) Cukup kuatkah kayu terhadap geser ? ($\bar{\tau} = 12 \text{ kg/cm}^2$)

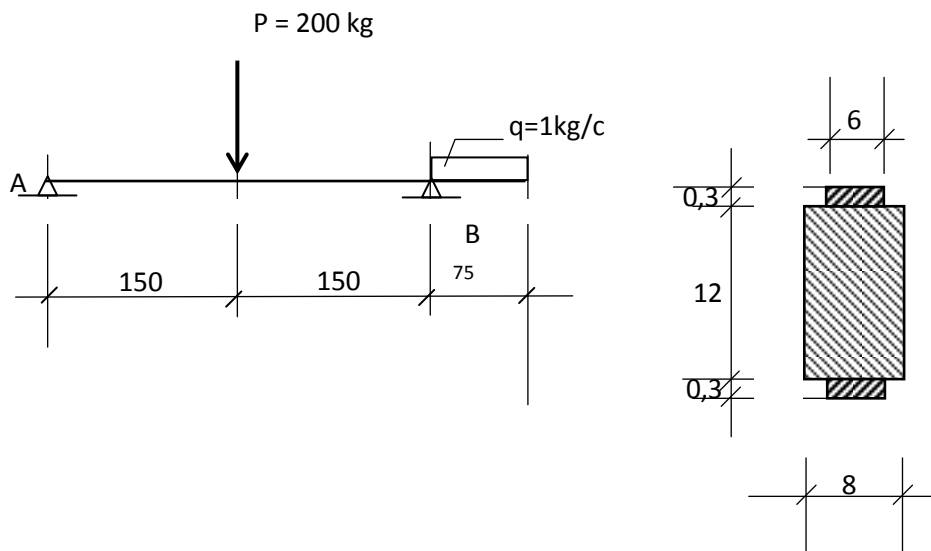
Jawab :

$\tau_k \text{ max} = 2,20 \leq 12 \rightarrow \text{Ok}$

Contoh 2

Kayu kelas II, Mutu A. Berat sendiri diabaikan.

Perekuatan baja dipasang sepanjang bentang pada sisi vertikal



a) Berapakah momen Inersia I, bila baja ditransformasikan kepada kayu ?

Jawab :

Kayu kelas II , $E_k = 100000 \text{ kg/cm}^2$

Baja $E_s = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$n = \frac{E_s}{E_k} = 21$

$I = \frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 12^3 + 2 \left[\frac{1}{12} (126) (0,3)^3 + 126 (0,3) (6 + 0,15)^2 \right] = 4011,948 \text{ cm}^4$

check :

$$I_k = \frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 12^3 = 1152$$

$$I_s = 2 \left[\frac{1}{12} (6) (0,3)^3 + 6 (0,3) (6 + 0,15)^2 \right] = 136,188$$

$$I = I_k + 21 (I_s) =$$

$$= 1152 + 21(136,188) = 4011,948 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{ok}$$

b) Gambar diaram tegangan geser pada saat Dmax

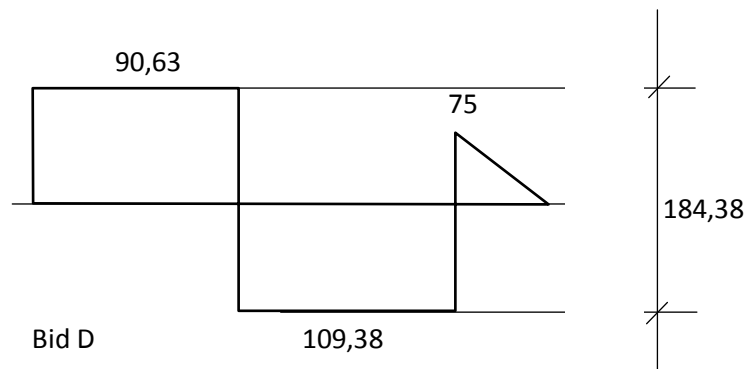
Jawab :

Harus dihitung lebih dahulu harga Dmax

Dari kesetimbangan momen dapat dihitung reaksi-reaksi perletakan.

$$\sum MB = 0, \text{ didapat } R_A = 90,63 \text{ kg}$$

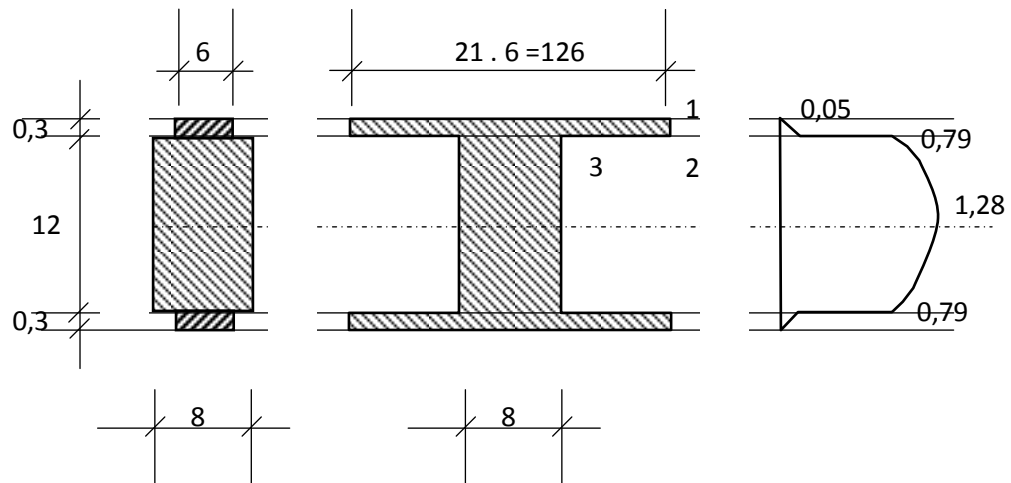
$$\sum MA = 0, \text{ didapat } R_B = 184,38 \text{ kg}$$



$$D_{\max} = 109,38 \text{ kg}$$

Tegangan geser :

$$\tau = \frac{DS}{bI} = \frac{109,38 \cdot S}{4011,95 \cdot b} = 0,02726 (s/b) \dots\dots\dots(\text{parabola})$$



Titik 1 : $b = 126$

$$S = 0$$

$$\tau_1 = 0,02726(0/126) = 0 \text{ kg/cm}^2$$

Titik 2 : $b = 126$

$$S = 126 (0,3) 6 \cdot 15 = 232,47$$

$$\tau_2 = 0,02726(232,47/126) = 0,05 \text{ kg/cm}^2$$

Titik 3 : $b = 8$

$$S = 126 (0,3) 6 \cdot 15 = 232,47$$

$$\tau_3 = 0,02726(200,7/8) = 0,79 \text{ kg/cm}^2$$

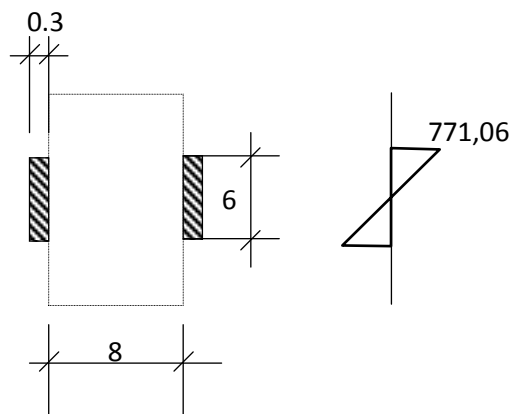
Garis netral : $b = 8$

$$S = 232,47 (8 \cdot 6) 3 = 376,47$$

$$\tau_{\text{netral}} = 0,02726(376,47/8) = 1,28 \text{ kg/cm}^2$$

c) Gambar diagram tegangan lentur saat momen maksimum !

Jawab :



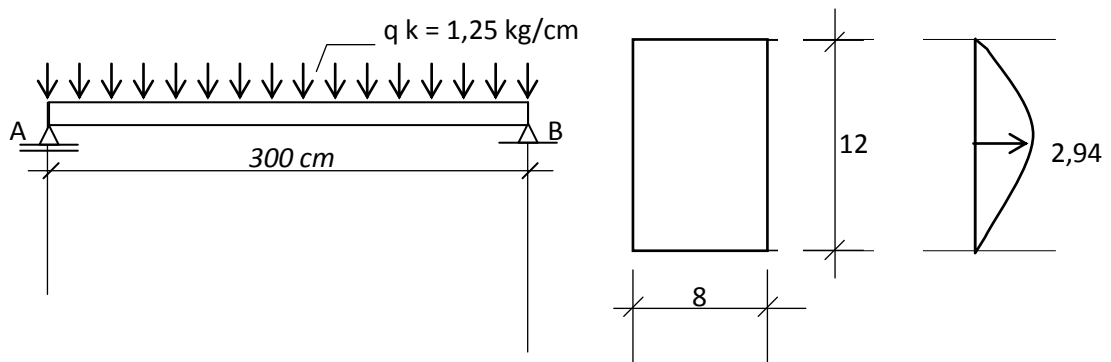
$$M_s \max = \frac{1}{8} q_s 300^2 = 2775,83 \text{ kg cm}$$

tegangan lentur

$$\begin{aligned} \sigma_s &= \frac{M_s}{I_s} y \\ &= \frac{2775,83}{10,8} y \dots\dots\dots(\text{linear}) \end{aligned}$$

untuk $y = 3$, $\sigma_s \max = 771,06 \leq 1600 \rightarrow \text{Ok}$

d) Periksalah apakah struktur kayu kuat terhadap geser ? ($\bar{\tau} = 12 \text{ kg/cm}^2$)

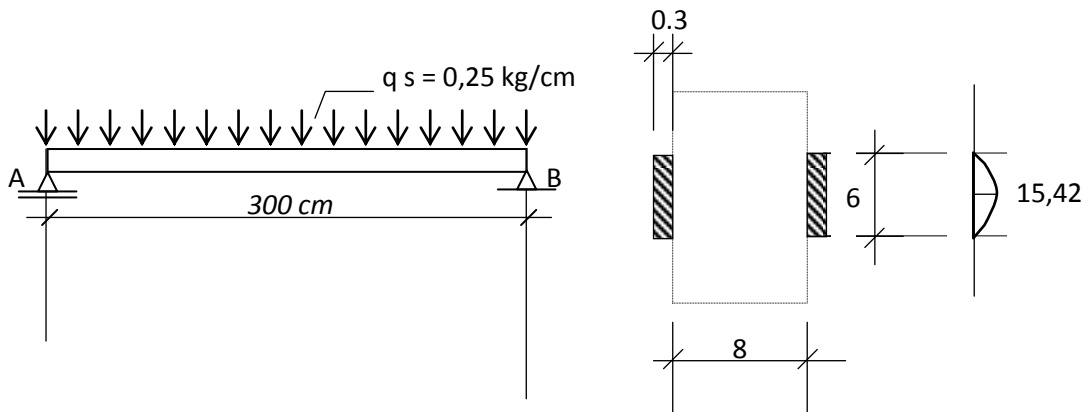


Jawab :

$$D_k = 0,5 \cdot q_k \cdot 300 = 187,99 \text{ kg}$$

$$\tau_k = \frac{3 D_k}{2 A_k} = \frac{3 \cdot 187,99}{2 \cdot (8 \cdot 12)} = 2,94 \leq 12 \rightarrow \text{ok}$$

e) Periksalah apakah struktur kayu kuat terhadap geser ? ($\bar{\tau} = 960 \text{ kg/cm}^2$)

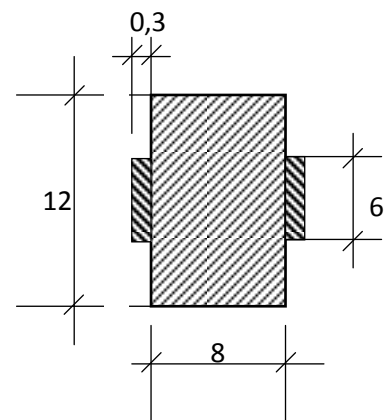
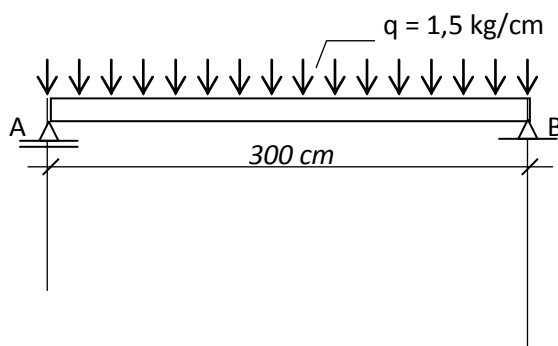


Jawab :

$$D_s = 0,5 \cdot q_s \cdot 300 = 37,01 \text{ kg}$$

$$\tau_k = \frac{3 D_k}{2 A_k} = \frac{3 \cdot 37,011}{2 (2 \cdot 6 \cdot 0,3)} = 15,42 \leq 960 \rightarrow \text{ok}$$

Contoh 3



a) Dengan metode pembagian beban, berapakah q_k dan q_s ?

Jawab :

Kayu kelas II , $E_k = 100000 \text{ kg/cm}^2$

Baja $E_s = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Momen Inersia kayu, $I_k = \frac{1}{12} 8 \cdot 12^3 = 1152$

Momen Inersia baja, $I_s = 2 \left[\frac{1}{12} 0,3 \cdot 6^3 \right] = 10,8$

Dari kekekalan pembebanan, didapat

$$q_k + q_s = 1,5 \dots\dots\dots(a)$$

dari kekekalan garis elastis, didapat

$$\frac{q_k}{E_k \cdot I_k} = \frac{q_s}{E_s \cdot I_s}$$

$$q_k = q_s \cdot \frac{E_k \cdot I_k}{E_s \cdot I_s}$$

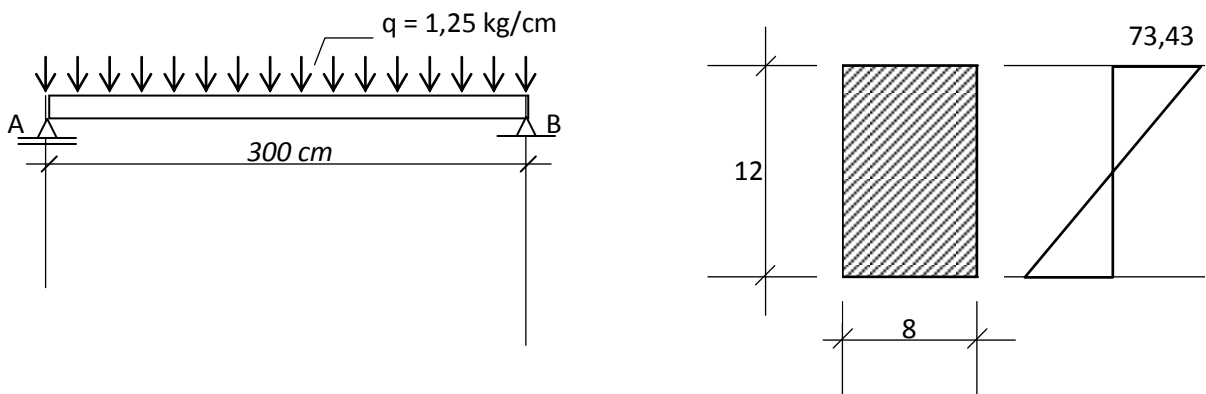
$$= 5,07937 (q_s) \dots\dots\dots(b)$$

Substitusikan persamaan (a) dan (b), didapat

$$q_s = 0,247 \text{ kg/cm}$$

$$q_k = 1253 \text{ kg/cm}$$

b) Periksalah apakah struktur kayu cukup kuat terhadap lentur ? ($\bar{\sigma}_k = 100 \text{ kg/cm}^2$):



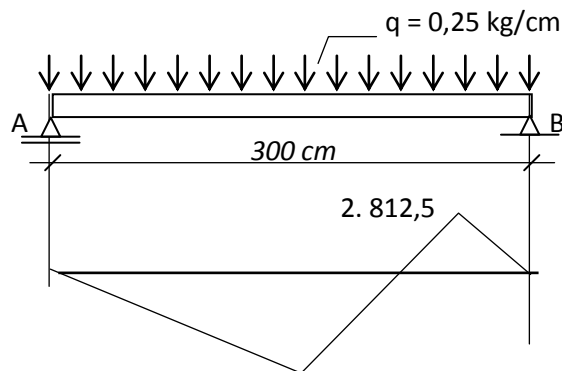
$$\text{Momen ditengah bentang, } M_k \text{ max} = \frac{1}{8} 1,25 \cdot 300^2 = 14099,18 \text{ kg cm}$$

$$\sigma_k = \frac{M_k}{I_k} y = \frac{14099,18}{1152} \cdot y$$

$$= 12,2389 y \dots\dots\dots \text{linear}$$

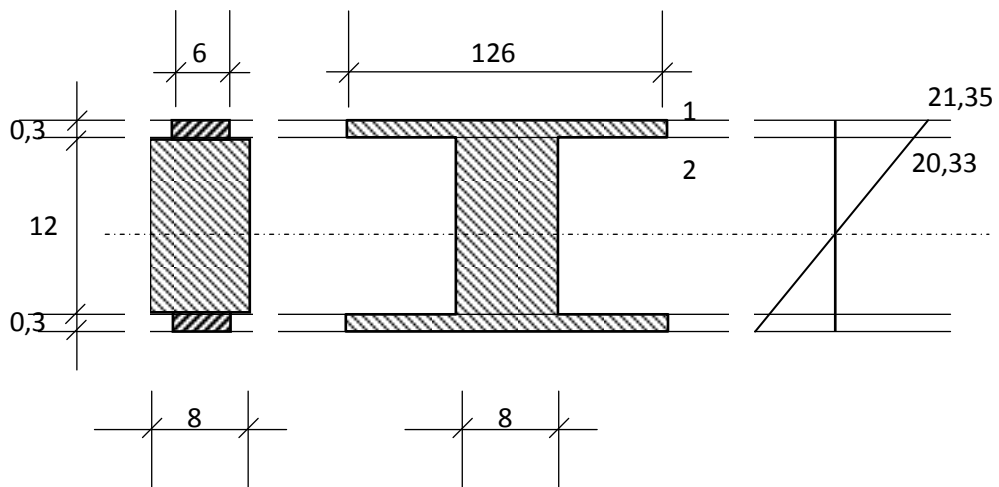
$$y = 6, \sigma_k \text{ max} = 73,43 \rightarrow \text{Ok (bandingkan dg contoh 1.c)}$$

c) Periksalah apakah struktur baja cukup kuat terhadap lentur ? ($\bar{\sigma}_s = 1600 \text{ kg/cm}^2$):



$$M = 13593,75 \text{ kg cm}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{I} y = \frac{13593,75}{4011,948} \cdot y \\ &= 3,28883 y \dots\dots\dots \text{linear} \\ y = 6,3 \quad , \quad \sigma_1 &= 21,35 \\ y = 6 \quad , \quad \sigma_{12} &= 20,33 \end{aligned}$$



d) Cukup kuatkah kayu ? ($\bar{\sigma}_k = 100 \text{ kg/cm}^2$ dan $\bar{\tau} = 12 \text{ kg/cm}^2$):

Jawab :

- Kekuatan terhadap lentur

$$\sigma_k \text{ max} = 21,34 \leq 100 \rightarrow Ok$$

- Kekuatan terhadap geser

$$\tau_k \text{ max} = 1,29 \leq 12 \rightarrow Ok$$

e) Cukup kuatkah Baja terhadap lentur ? ($\bar{\sigma}_s = 1600 \text{ kg/cm}^2$):

Jawab :

$$\sigma_k \text{ max} = 2 \cdot \sigma_2 = 21 \cdot 21,34 = 448,27 \leq 1600$$

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Suryoatmono, *Struktur Kayu*, Fakultas Teknik, Universitas Parahyangan, Bandung.
- Danasasmita, E.Kosasih, *Struktur Kayu I*, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, UPI, 2004.
- Danasasmita, E.Kosasih, *Struktur Kayu II*, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, UPI, 2004.
- DPMB. Dirjen Cipta Karya, *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia*, DPMB, Dirjen Cipta Karya, DPUTL, 1978.
- D.T Gunawan, *Diktat Kuliah Konstruksi Kayu*, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Parahyangan, Bandung.
- Felix Yap, K.H., *Konstruksi Kayu*, Bina Cipta, Bandung, 1965.
- Frick, Heinz, *Ilmu Konstruksi Kayu*, Yayasan Kanisius, Yogyakarta, 1977.
- Sadji, *Konstruksi Kayu*, Fakultas Teknik Sipil, Institut Teknologi 10 November, Surabaya.
- Soeryanto Basar Moelyono, *Pengantar perkayuan*, Yayasan Kanisius, Yogyakarta, 1974.
- Susilohadi, *Struktur kayu*, Teknik Sipil, Universitas Jenderal Ahmad Yani, Bandung.
- Soedibyo, *Konstruksi Kayu*, Teknik Sipil Universitas Winaya Mukti, Bandung