

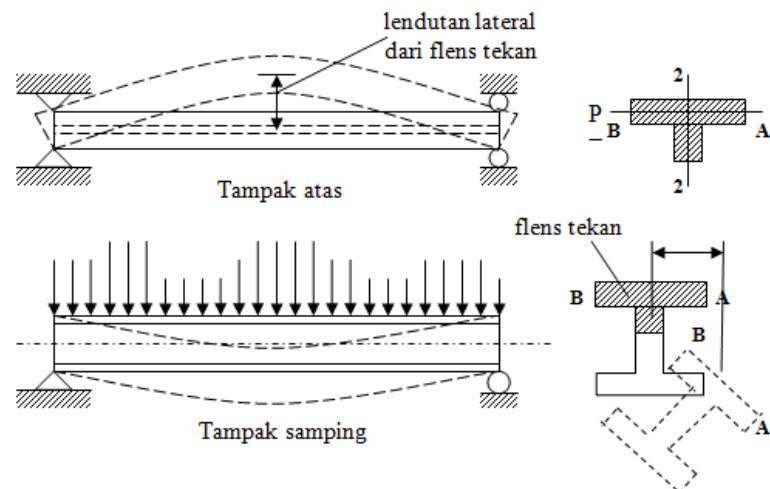
Mata Kuliah : Perancangan Struktur Baja  
Kode : CIV - 303  
SKS : 3 SKS

## *Tekuk Torsi Lateral*

Pertemuan – 13, 14, 15

- **TIU :**
  - Mahasiswa dapat merencanakan kekuatan elemen struktur baja beserta alat sambungnya
- **TIK :**
  - Mahasiswa dapat menjelaskan perilaku balok yang mengalami peristiwa tekuk torsi lateral
- **Sub Pokok Bahasan :**
  - Definisi Tekuk Torsi Lateral
  - Tumpuan Lateral
  - Perilaku Balok I Akibat Beban Momen Seragam
  - Desain LRFD Balok I

- Perhatikan struktur balok tanpa kekangan lateral dalam Gambar
- Pembebanan pada bidang web balok akan menghasilkan tegangan yang sama besar antara titik *A* dan *B* ( menurut teori umum balok ).
- Namun adanya ketidaksempurnaan balok dan eksentrisitas beban, maka akan mengakibatkan perbedaan tegangan antara *A* dan *B*.
- Tegangan residu juga mengakibatkan distribusi tegangan yang tidak sama sepanjang lebar sayap.



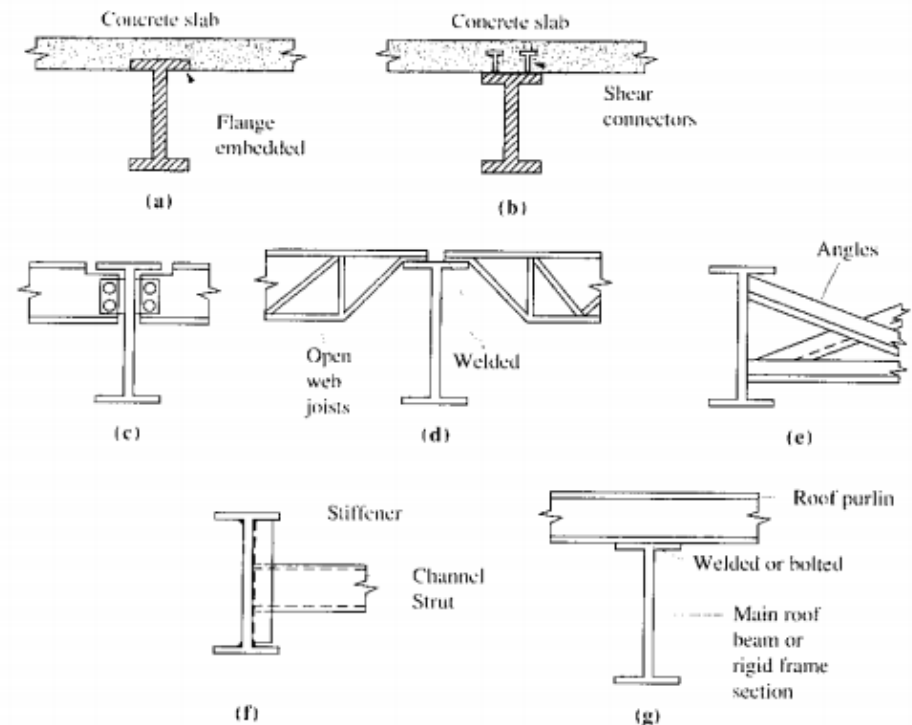
Gambar Balok Terkekang Lateral Pada Ujung – Ujungnya

- Flens tekan dari balok dapat dianggap sebagai kolom, akan tertekuk dalam arah lemahnya akibat lentur terhadap suatu sumbu seperti 1-1.
- Namun karena web balok memberikan sokongan untuk mencegah tekuk dalam arah ini, maka flens akan cenderung tertekuk oleh lentur pada sumbu 2-2.
- Karena bagian tarik dari balok berada dalam kondisi stabil, maka proses tekuk lentur dalam arah lateral tersebut akan dibarengi dengan proses torsi sehingga terjadilah tekuk torsi lateral ( *lateral torsional buckling* ).

## Tumpuan Lateral

Ada dua macam kategori tumpuan lateral, yakni :

- tumpuan lateral menerus yang diperoleh dengan menanamkan flens tekan balok ke dalam pelat lantai beton
- tumpuan lateral pada jarak – jarak tertentu yang diberikan oleh balok atau rangka melintang dengan kekakuan yang cukup



## Perilaku Balok I Akibat Beban Momen Seragam

A beam can fail by reaching the plastic moment and becoming fully plastic (see last section) or fail prematurely by:

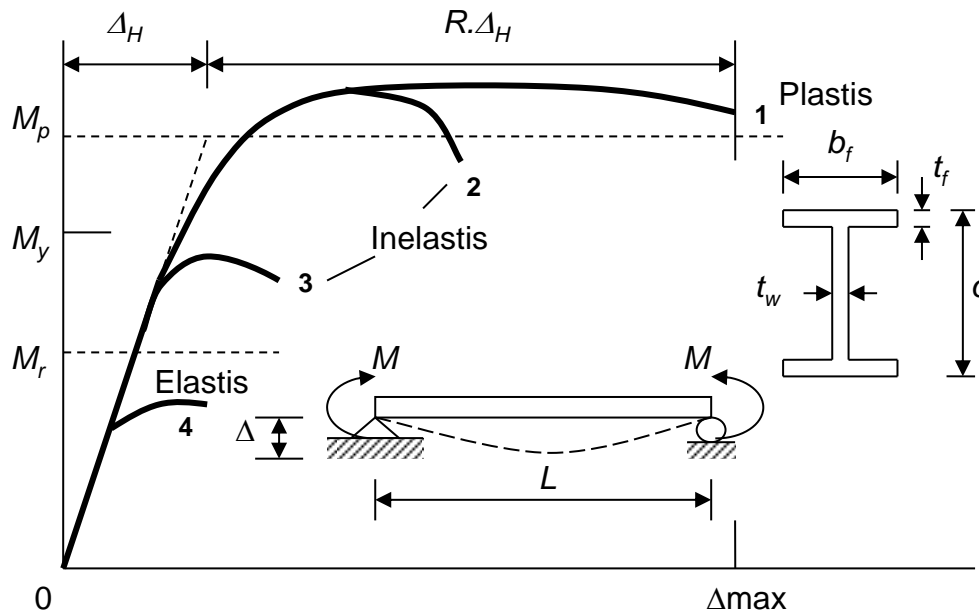
1. **LTB**, Lateral Torsional Buckling
2. **FLB**, Flange Local Buckling
3. **WLB**, Web Local Buckling



**FLB**



**WLB**



1.  $M_p$  is achieved along with large deformation ( $R \geq 3$ )
2. Inelastic behavior,  $M_p$  is achieved with little rotation capacity ( $R < 3$ )
3. Inelastic behavior,  $M_r$  is achieved, but FLB, WLB and LTB prevent achieving  $M_p$
4. Elastic behavior,  $M_{cr}$  is controlled by elastic buckling (FLB, WLB, LTB)

## Desain LRFD Balok I

Setiap komponen struktur yang memikul momen lentur, harus memenuhi persyaratan :

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

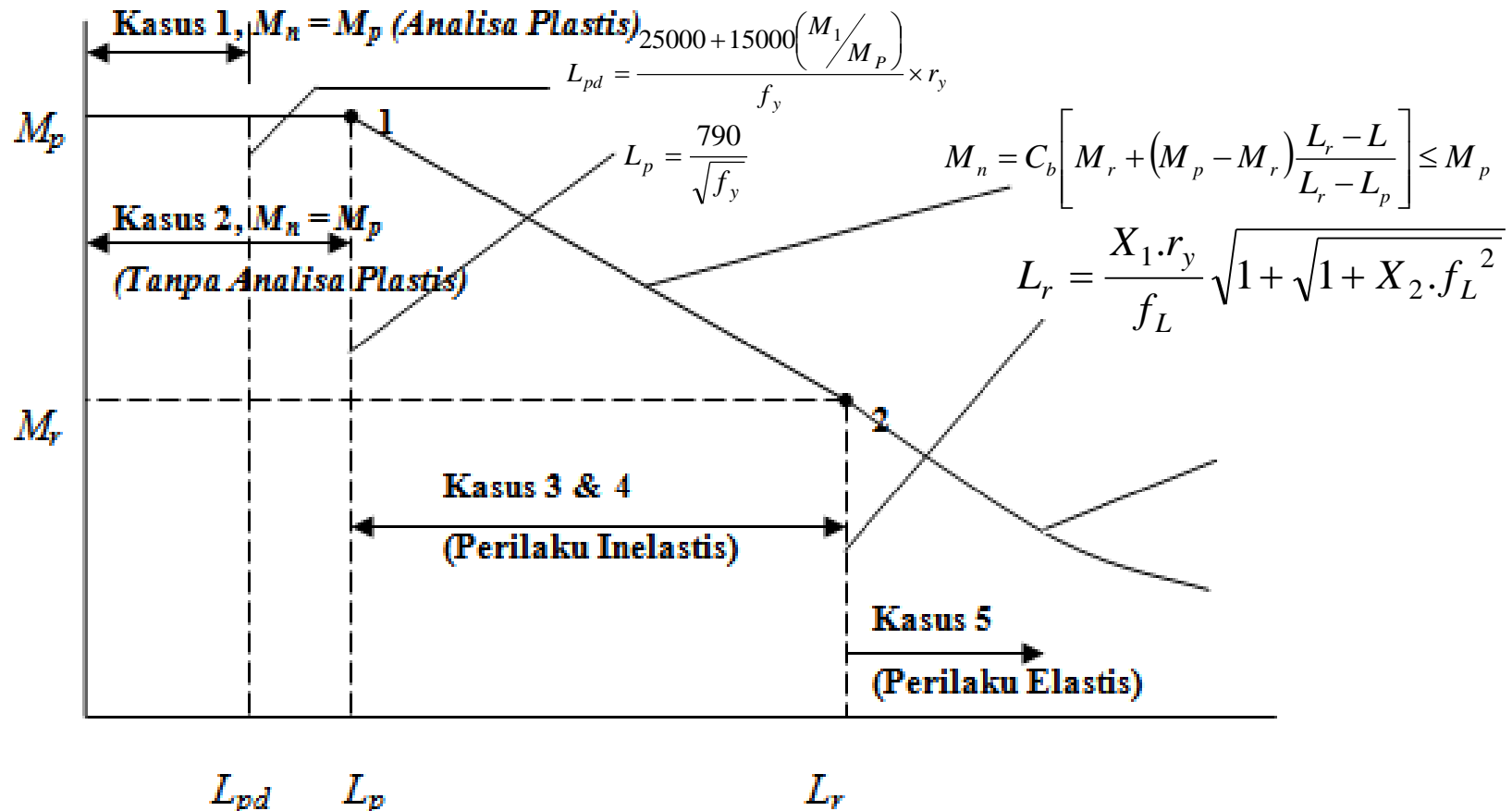
dengan :

$\phi_b$  adalah faktor reduksi untuk lentur = 0,90

$M_n$  adalah kuat nominal momen lentur dari penampang

$M_u$  adalah beban momen lentur terfaktor





## Kasus 1: $M_n = M_p$ ( $R \geq 3$ )

Syarat :

- $L < L_{pd}$
- $\lambda_f (= b_f/2t_f) < \lambda_p (= 170/\sqrt{f_y})$
- $\lambda_w (= h/t_w) < \lambda_p (= 1680/\sqrt{f_y})$

$$L_{pd} = \frac{25000 + 15000 \left( \frac{M_1}{M_P} \right)}{f_y} \times r_y$$

Tegangan Leleh $f_y$ (MPa)	Tekuk Lokal Flens $\frac{b}{2t_f} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Lokal Web $\frac{h}{t_w} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$	Tekuk Torsi Lateral $\frac{L}{r_y} = \frac{790}{\sqrt{f_y}}$
210	11,73	115,93	54,52
240	10,97	108,44	50,99
250	10,75	106,25	49,96
290	9,98	98,65	46,39
410	8,4	82,97	39,02

## Kasus 2 : $M_n = M_p ( R < 3 )$

Syarat :

- $L < L_p$
- $\lambda_f (= b_f/2t_f) < \lambda_p (= 170/\sqrt{f_y})$
- $\lambda_w (= h/t_w) < \lambda_p (= 1680/\sqrt{f_y})$

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}}$$

### Kasus 3 : $M_p > M_n \geq M_r$

Syarat :

- $L_r < L < L_p$
- $\lambda_f (= b_f/2t_f) < \lambda_p (= 170/\sqrt{f_y})$
- $\lambda_w (= h/t_w) < \lambda_p (= 1680/\sqrt{f_y})$

$$L_r = \frac{X_1 \cdot r_y}{f_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_L^2}}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$$

$$X_2 = 4 \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{C_w}{I_y}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

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

$$M_r = S_x(f_y - f_r)$$

$f_r$  adalah tegangan residu (70 MPa untuk penampang dirol dan 115 MPa untuk penampang dilas)

## Kasus 4 : $M_p > M_n \geq M_r$

Syarat :

- $L_p < L < L_r$
- $\lambda_p < ( \lambda = b/2.t_f ) < \lambda_r (= 370/\sqrt{(f_y - f_r)}, \text{ flens tak kompak } )$
- $\lambda_p < ( \lambda = h/t_w ) < \lambda_r (= 2.550/\sqrt{f_y}, \text{ web tak kompak } )$

$M_n$  diambil dari nilai terkecil antara :

FLB & WLB

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \cdot \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

LTB

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

- faktor pengali momen,  $C_b$ , ditentukan oleh persamaan :

$$C_b = \frac{12,5.M_{max}}{2,5.M_{max} + 3.M_A + 4.M_B + 3.M_C} \leq 2,3$$

Dengan :

- $M_{max}$  adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau
- $M_A$  adalah momen pada  $\frac{1}{4}$  bentang tak terkekang
- $M_B$  adalah momen pada tengah bentang tak terkekang
- $M_C$  adalah momen pada  $\frac{3}{4}$  bentang tak terkekang

Batasan Rasio Kelangsingan  $\lambda_r$  Untuk Penampang Tak Kompak Balok I  
( Modulus Elastisitas,  $E = 200000$  MPa )

Tegangan Leleh $f_y$ ( MPa )	Tekuk Lokal Flens $\frac{b}{2.t_f} = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$	Tekuk Lokal Web $\frac{h}{t_w} = \frac{2550}{\sqrt{f_y}}$
210	2,64	175,97
240	2,18	164,60
250	2,06	161,28
290	1,68	149,74
410	1,09	125,94

## Kasus 5 : $M_n < M_r$

Syarat :

- $L > L_r$
- $\lambda_p < ( \lambda = b/2.t_f ) < \lambda_r (= 370/\sqrt{(f_y - f_r)}, \text{ flens tak kompak } )$
- $\lambda_p < ( \lambda = h/t_w ) < \lambda_r (= 2.550/\sqrt{f_y}, \text{ web tak kompak } )$

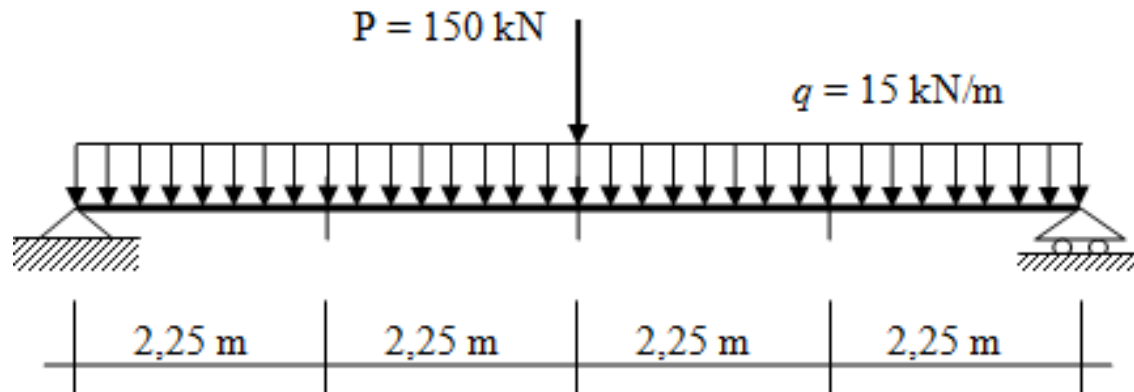
$$M_n = M_{cr} = C_b \cdot \frac{\pi}{L} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left( \frac{\pi E}{L} \right)^2 I_y \cdot C_w}$$

- Atau :

$$M_n = M_{cr} = \frac{C_b \cdot S_x \cdot X_1 \cdot \sqrt{2}}{L / r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 \cdot X_2}{2(L / r_y)^2}}$$

## Contoh 1 :

- Desainlah sebuah balok tertumpu sederhana dengan beban seperti dalam gambar di bawah ini. Beban merata terdiri dari 15% DL dan 85% LL, beban terpusat terdiri dari 40% DL serta 60% LL. Balok tersebut diberi sokongan lateral pada ujung – ujungnya serta setiap jarak 2,25 m. Mutu baja adalah BJ 37.





- Jika penampang bentuk I dibebani oleh momen  $M_x$  yang mengakibatkan lentur dalam sumbu kuat, serta momen  $M_y$  yang mengakibatkan lentur pada sumbu lemah, maka kondisi batas kekuatan komponen struktur tersebut ditentukan oleh leleh akibat tegangan kombinasi yang bekerja atau oleh tekuk torsi lateral.
- Contoh komponen yang mengalami lentur dalam dua arah adalah struktur gording atau struktur balok *crane (crane support girder)*.

Perencanaan struktur baja metode LRFD untuk balok yang mengalami lentur dalam dua arah, mensyaratkan pemeriksaan terhadap :

- **kondisi batas leleh :** 
$$f_{un} = \frac{M_{ux}}{S_x} + \frac{M_{uy}}{S_y} \leq \phi_b \cdot f_y$$
- **kondisi batas tekuk torsi lateral :** 
$$\phi_b \cdot M_{nx} \geq M_{ux}$$

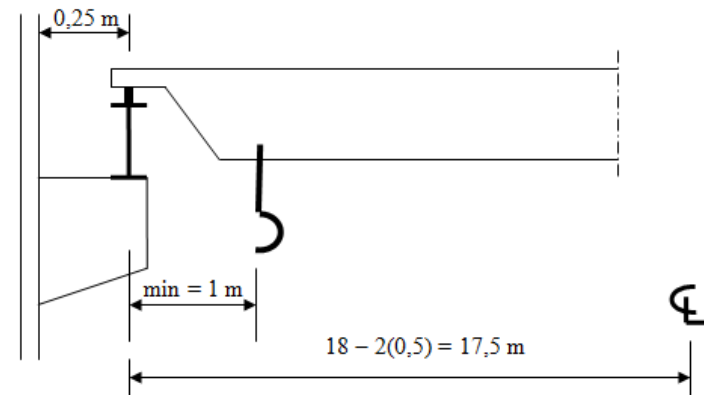
dengan :

- $f_{un}$  adalah tegangan normal (tarik atau tekan) akibat beban terfaktor
- $M_{ux}$  adalah momen terfaktor terhadap sumbu-x (sumbu kuat)
- $M_{uy}$  adalah momen terfaktor terhadap sumbu-y (sumbu lemah)
- $\phi_b$  adalah faktor reduksi untuk lentur = 0,90
- $M_{nx}$  adalah kuat momen nominal penampang  
(dihitung seperti pada pemeriksaan tekuk torsi lateral)

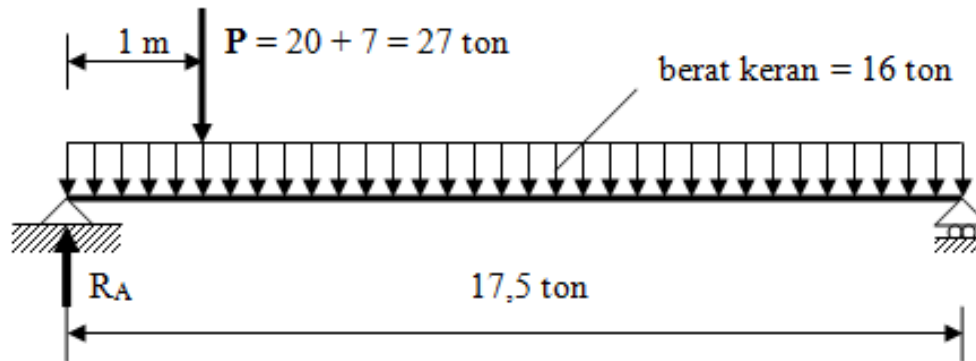
## Contoh 1 :

Rencanakanlah sebuah komponen struktur balok crane (BJ 37) dalam gambar di bawah ini, jika diketahui data – data sebagai berikut :

- Bentang bangunan = 18 m
- Kapasitas crane = 20 ton
- Berat sendiri crane = 16 ton
- Berat takel = 7 ton
- Berat sendiri rel = 30 kg/m
- Jarak roda – roda = 3,8 m
- Jarak antar kolom = 6 m
- Jarak minimum lokasi takel terhadap rel = 1 m



- Menentukan reaksi pada roda – roda crane :



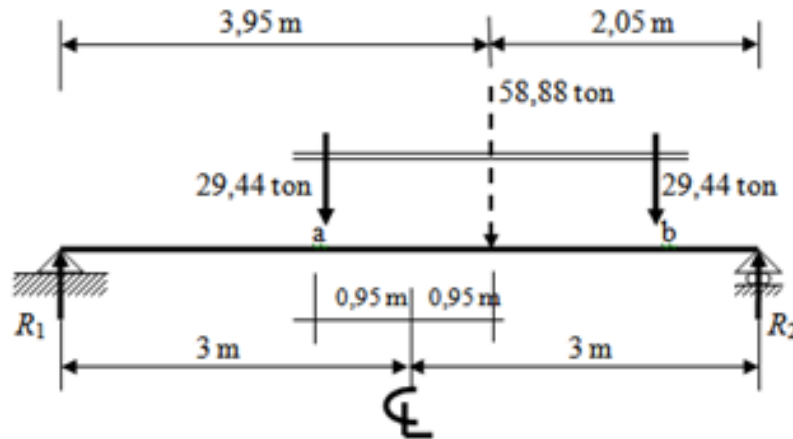
Berat takel + kapasitas crane = 7 + 20 = 27 ton

$$R_A = 1,6 \left( 27 \frac{16,5}{17,5} + \frac{16}{2} \right) = 53,5312 \text{ ton}$$

$$\text{Impak, 10 \%} = \frac{5,35312 \text{ ton}}{\quad} +$$

$$R_A = 58,88432 \text{ ton}$$

- Tinjau balok crane bentang 6 m



$$R_1 = 58,88 \times \frac{2,05}{6} = 20,12 \text{ ton}$$

$$R_2 = 58,88 \times \frac{3,95}{6} = 38,76 \text{ ton}$$

## Akibat beban hidup :

- Momen maksimum akibat beban hidup tercapai jika titik tengah dari salah satu roda dengan gaya resultan berada tepat pada tengah – tengah bentang balok.
- Dari gambar di atas, momen maksimum akan terjadi di titik  $a$  atau di titik  $b$ .
- Momen maksimum di  $a$  =  $20,12(3 - 0,95) = 41,24$  ton.m
- Momen maksimum di  $b$  =  $38,76 (2,05 - 1,9) = 5,81$  ton.m
- Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh momen maksimum sebesar 41,24 ton.m, dengan mempertimbangkan koefisien kejut sebesar 1,15, maka momen maksimum pada balok keran akibat beban hidup adalah sebesar  $1,15(41,24) = \mathbf{47,43}$  ton m.

## Akibat beban mati :

- Berat sendiri rel = 30 kg/m
- Berat sendiri balok crane = 150 kg/m +
- Total = 180 kg/m
- $M_{DL} = 1,2 \cdot (180)(6)^2 = 972 \text{ kg.m} = 0,972 \text{ ton.m}$
- Sehingga momen total :

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 47,73 \text{ ton.m} + 0,972 \text{ ton.m} \\ &= 48,402 \text{ ton.m} = \mathbf{484,02 \text{ kN.m}} \end{aligned}$$

- **Momen akibat gaya rem melintang**

- Gaya rem melintang biasanya diambil sebesar 1/15 dari beban kapasitas keran + berat takel (untuk 2 roda). Sehingga :

- beban lateral per roda =  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{15} \cdot (20+7)(1,6) = 1,44$  ton

- Telah dihitung sebelumnya bahwa akibat beban roda 29,4422 ton menimbulkan momen maksimum sebesar 41,24354 ton m.

- Sehingga dapat dihitung momen akibat gaya lateral sebesar 1,44 ton adalah :

- $$M_{uy} = \frac{1,44}{29,4422} \times 41,24354 = 2,0172 \text{ ton m} = \mathbf{20,172 \text{ kN.m}}$$

Sebagai balok keran dicoba profil **WF 400.400.13.21**.

Selanjutnya profil ini harus diperiksa terhadap kondisi batas leleh dan kondisi tekuk torsi lateral.