

ANALISIS MAIN GIRDER PADA DOUBLE GIRDER OVER HEAD CRANE KAPASITAS 7 T DI PT. HEAVYINDO ENGINEERING

Jatira

Staf Pengajar Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana

ABSTRAKSI

Crane biasanya digunakan pada industri transportasi untuk bongkar muat barang berat, pada industri konstruksi untuk memindahkan material, dan pada industri berat yang menggunakan perlengkapan serta alat-alat berat. Crane yang dianalisis ini menggunakan tenaga motor listrik sebagai sumber tenaga geraknya, crane dengan type Double Girder Over Head Crane yaitu crane dengan dua batang utama (girder) sebagai penyangga berat. Dengan spesifikasi berat maksimal 7 ton dan panjang bentangan crane 28 m.

Crane yang dianalisis ini berjenis indoor double girder over head crane, dalam tugas akhir ini penulis hanya membahas tentang perencanaan main girder pada double girder over head crane. Main girder merupakan batang utama yang sangat penting, maka dalam pembuatan dan perencanaannya membutuhkan ketelitian dan kepresisian yang tepat guna menghindari kesalahan dan kecelakaan kerja pada saat pengoperasian crane.

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Pada suatu Industri yang memproduksi komponen-komponen / alat-alat berat seperti PT. Perkasa Heavyindo Engineering (Unit Heavy Engineering), masalah pengangkutan dan pemindahan benda kerja berat dari satu divisi proses permesinan ke divisi lainnya sangat vital. Berbagai sarana-sarana pengangkutan didalam PT. Perkasa Heavyindo Engineering diantaranya: fork-lift, lori, dan crane.

Crane adalah alat bantu pengangkutan barang berupa katrol yang digerakkan oleh motor listrik yang dipasang pada batang penunjang yang disebut *Girder*. Girder sendiri bergerak diatas rel static. Girder pada over head crane berfungsi sebagai ruang gerak pada end carriage yang bergerak pada sumbu yang sama searah dengan girder. Oleh sebab itu maka crane harus benar – benar aman baik operator alat yang diangkut maupun crane itu sendiri. Maka dari itu penulis merasa terpanggil untuk menganalisa crane tersebut supaya dapat membantu bagi perusahaan tersebut

Tujuan

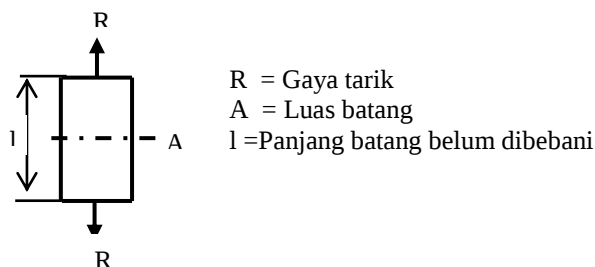
Untuk mencari solusi dan membantu perusahaan dan menyumbangkan pemikiran, supaya produktivitas kerja yang ada pada perusahaan tersebut semakin meningkat.

TINJAUAN PUSTAKA

BAHAN DAN SIFAT-SIFATNYA

Sifat bahan bangunan yang penting bagi perhitungan bisa diterangkan pada suatu batang baja yang dibebani oleh gaya tarik P sampai titik patah.

Tegangan = (σ)

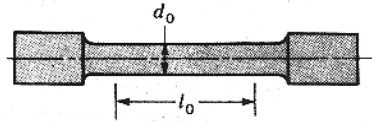


(gambar 2.1)

$$\sigma = \frac{R}{A} \dots\dots\dots(\text{ref. 5, hal. 19})$$

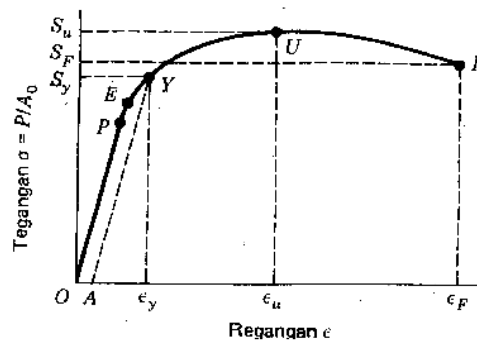
Percobaan-tarik yang baku dipakai untuk mendapatkan keanekaragaman tingkah-laku (karakteristik) dan kekuatan yang dipakai dalam perencanaan. Gambar 2.2 menggambarkan suatu bahan-percobaan (specimen) khusus untuk percobaan-tarik dan beberapa ukuran yang sering dipakai. Diameter awal d_0 dan

panjang ukuran (gauge) l_o ; dipakai untuk mengukur regangan, yang dicatat sebelum percobaan dimulai. Bahan percobaan ini kemudian dipasangkan pada mesin percobaan dan perlahan-lahan diberi beban tarik, sementara beban dan regangan diamati. Kesimpulan dari hasil percobaan, atau selama percobaan, digambarkan sebagai sebuah *diagram tegangan-regangan (stress-strain diagram)* (Gambar 2.2).



Gambar 2.2

Bahan percobaan khusus untuk percobaan tarik. Beberapa harga yang dipakai untuk d_o adalah 0.1, 0.25, dan 0.50 in atau 2.5, 6.25 dan 12.5 mm. Panjang ukuran l_o biasanya dipakai 10, 25, dan 50 mm dalam SI dan 1.0 atau 2.0 IN.



Gambar 2.3

Kekuatan akhir (*ultimate strength*) atau kekuatan tarik (*tensile strength*) S_u atau S_{ut} sesuai dengan titik U dalam Gambar 2.3, adalah tegangan maksimum yang dicapai dalam diagram tegangan-regangan. Beberapa bahan menunjukkan arah yang menurun setelah tegangan maksimum tersebut tercapai. Dimana bahan akan mengalami retak (*fracture*) pada titik F dalam diagram pada Gambar 2.3. Beberapa bahan lainnya, seperti besi tuang dan baja berkekuatan tinggi, mengalami keretakan ini sementara diagram masih naik.

Untuk mencari persamaan perpanjangan pada percobaan tegangan-regangan tersebut, diambil;

- panjang ukuran mula-mula
- panjang ukuran untuk setiap beban P_i
- luas penampang mula-mula
- luas penampang terkecil pada P_i

Perpanjangan adalah:

$$\epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} \dots\dots\dots (\text{Ref.6 hal.172})$$

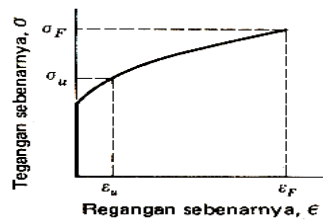
Istilah *tegangan sebenarnya (true stress)* dipakai untuk menyatakan hasil yang didapat bila setiap beban yang dipakai dalam percobaan tarik tersebut dibagi dengan luas penampang yang sebenarnya (*true atau actual*) dari benda percobaan tersebut. Ini berarti, baik beban maupun luas penampang harus diukur bersamaan selama percobaan. Bila benda percobaan telah mengecil membentuk leher (*necked*).

Dalam menggambarkan diagram tegangan-regangan yang sebenarnya biasanya dipakai istilah *regangan sebenarnya (true strain)*, yang kadang-kadang disebut *regangan logaritmik (logarithmic strain)*. Regangan sebenarnya adalah hasil penjumlahan setiap pertambahan regangan dibagi dengan panjang total pada saat tersebut, atau

$$\epsilon = \int_{l_o}^{l_i} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_i}{l_o} \dots\dots\dots (\text{Ref.6 hal.172})$$

dimana l_o adalah panjang ukuran mula-mula, dan l_i adalah panjang ukuran beban P_i .

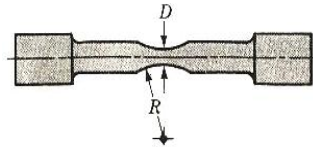
Perilaku yang paling penting dari suatu diagram tegangan-regangan sebenarnya (Gambar 2.4) adalah bahwa tegangan sebenarnya terus naik sampai terjadinya keretakan. Jadi, seperti yang terlihat dalam Gambar 2.4, tegangan patah sebenarnya σ_F adalah lebih besar dari tegangan akhir sebenarnya σ_u . Bandingkan hal ini dengan Gambar 2.4, dimana kekuatan patah S_F adalah lebih kecil dari tegangan akhir S_u .



Gambar 2.4

Diagram tegangan-regangan sebenarnya digambarkan dengan menggunakan sistem koordinat Cartesian (Dikutip dari gambar 2.3, Mulyana, A. ITS, 1986, hal. 11)

Bridgman telah menjelaskan bahwa diagram tegangan-regangan sebenarnya pada Gambar 2.4 perlu dikoreksi, karena adanya keadaan tegangan ruang pada leher benda-percobaan. Beliau mengamati bahwa tegangan terbesar terjadi pada sumbu dan yang terkecil pada lingkaran luar, dan bahwa tegangan ini terdiri dari suatu tegangan aksial yang merata di sepanjang leher, ditambah dengan suatu tegangan hidrostatika, yang pada lingkaran luarnya sama dengan nol dan semakin membesar sampai pada suatu harga maksimum pada sumbu.



Gambar 2.5

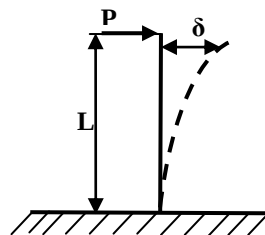
Benda percobaan tarik sesudah pengecilan leher. Jari-jariblengkungan leher adalah R ; diameter leher terkecil adalah D .

Koreksi Bridgman terhadap tegangan sebenarnya selama pengecilan leher ternyata cukup besar. Dengan menyatakan σ_c sebagai tegangan sebenarnya berdasarkan perhitungan, dan σ_{act} sebagai tegangan sebenarnya setelah koreksi, R sebagai jari-jari lengkungan leher (Gambar 2.4), dan D sebagai diameter leher terkecil, persamaannya adalah:

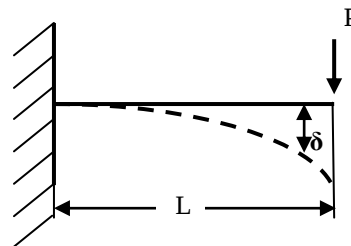
$$\sigma_{act} = \frac{\sigma_c}{\left(1 + \frac{4R}{D}\right) \left[\ln\left(1 + \frac{D}{4R}\right)\right]}$$

Lendutan Balok

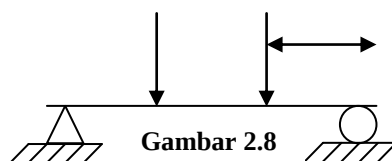
Lendutan balok merupakan penyimpangan permukaan netral, atau kurva elastis berbeban dari kedudukan awal balok yang tidak berbeban, karena biasanya balok horizontal, maka lendutan merupakan penyimpangan vertikal dan yang vertikal adalah sebaliknya, δ seperti ditunjukkan pada gambar 2.6 ; 2.7 ; 2.8.



(Gambar 2.6)



Gambar 2.7



Gambar 2.8

Banyak alasan mengapa harus menentukan lendutan balok adalah salah satu mungkin yang paling umum yaitu batasan biasa bahwa balok atau kasau yang mendukung lantai beton harus tidak melendut lebih besar dari 1/360 panjang-panjang bentangan apabila ingin menghindari keretakan beton. Juga pada perancangan mesin dan pesawat terbang, lendutan batang sering sangat penting.

Lendutan maksimum ditengah balok sederhana akibat beban (P) pada balok adalah :

Pada gambar (2.6)

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad (\text{ref. 4 hal. 468})$$

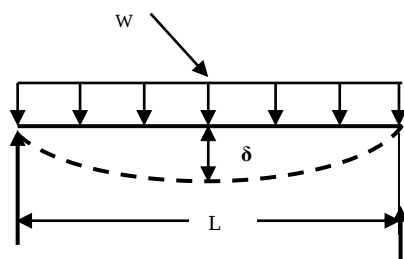
Pada gambar (2.7)

$$\delta = -\frac{PL^3}{3EI} \quad (\text{ref. 4 hal. 468})$$

Pada gambar (2.8) :

$$\delta = -\frac{5WL^4}{384.E.I} \quad (\text{ref. 4 hal. 471})$$

Pada gambar(2.9) : $\delta = \frac{Fa}{24.E.I}(4a^2 - 3l^2)$ (ref. 4 hal. 472)



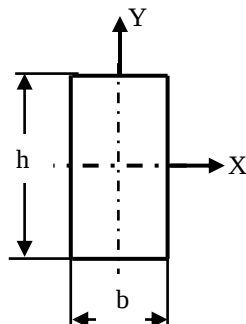
Gambar 2.9

Momen Inersia

Untuk menentukan tegangan geser pada balok, maka suatu besaran harus ditentukan dengan memasukkan momen pertama harus Q, terhadap sumbu acuan, yaitu hasil kali luas dan jarak tegak lurus kesumbu titik berat luas.

Untuk menentukan tegangan lentur pada batang dan pada perancangan kolom, maka besaran yang harus ditentukan meliputi momen kedua luasan, biasanya disebut momen inersia dan ditandai dengan symbol (I), dengan acuan terhadap sumbu acuan pada bidang luasan, momen kedua luasan atau momen inersia adalah jumlah perkalian luas elemen masing-masing dikali dengan kuadrat jaraknya dari sumbu acuan ketitik berat. Dengan demikian momen inersia adalah hasil luasan keseluruhan dikali dengan harga rata-rata kuadrat jarak dari sumbu acuan ketitik berat elemen.

Momen inersia dari banyak luasan bentuk sederhana dapat ditentukan dengan menggunakan kalkulus, luasan ini dan momen inersianya umumnya dinyatakan dalam dimensi sederhana yang secara lengkap mendefinisikannya.



(Gambar 2.9)

Momen inersia untuk bentuk sederhana seperti pada gambar diatas adalah :

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (\text{ref. 4 hal. 477})$$

Tekukan

Bahan tekuk didefinisikan sebagai beban maksimum yang dapat didukung oleh kolom. Beban tekuk untuk kolom tertentu tergantung pada banyak faktor :

- Panjang kolom
- Apakah ujung beban berotasi atau sepenuhnya atau sebagian dijepit melawan rotasi

Memberikan beban kritis atau tekukan pada kolom dengan ujung bebas berotasi dan yang termasuk dalam daerah kolom panjang. Matematikanya rumit karena itu rumus diberikan tanpa penurunan adalah :

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E}{(L/k)^2} \quad \text{atau}$$

$$P = \frac{\pi \cdot E \cdot A \cdot k^2}{L^2} = \frac{\pi \cdot E \cdot I}{L^2} \quad (\text{ref. 4 hal. 256})$$

Karena $I = Ak^2$

Suatu kolom yang panjangnya tertentu bisa dianalisa guna menetapkan kapasitas dukungan P, tegangan suatu P/A akibat beban tertentu dan faktor lainnya. Untuk maksud ini, bentuk berikut dimana faktor keamanan (FS) harus ditambahkan.

Tabel 2.1 Panjang Efektif Kolom

Kondisi Ujung	Panjang Efektif	Jumlah Pengali dari Ujung Berengsel
Kedua ujung Berengsel	L	1
Salah satu Berengsel, yang lain dijepit	0,7 L	2
Kedua ujung dijepit	0,5 L	4
Salah satu bebas, yang lain dijepit	2 L	¼
Salah satu atau keduanya dijepit secara parsial	Antara L dan 0,5 L	Antara 1 dan 4

Tabel 2.2 Batasan Rumus Euler

Bahan	Modulus Elastisitas (MPa)	Bahan Kesebandingan Ksi (MPa)	Harga L/K Terendah dimana Rumus Euler
Baja struktur, paduan rendah	29.000 (200.000)	50 (342)	76.0
Baja struktur, karbon	29.000 (200.000)	31 (212)	96.0
Cemara Douglas, struktur pilihan	1.600 (11.000)	4,5 (31,0)	59.2

ANALISIS PERANCANGAN GIRDER DATA PERANCANGAN

1. Capacity of crane (W 1) =7000 **Kg**
2. Span of Crane (S)=280000 **mm**
3. Crane wheel base (S1)=3365 **mm**
4. Crabe wheel base (b)=5500**mm**
5. Crabe wheel span (p)=7010**mm**
6. Impact factor (If)=1.3
7. Weight of crab (W2)= 2250 **Kg**
8. Weight of bottom block (W3)=625 **Kg**
9. Weight of main girder without walk way /plate form and equipment mounted on it. (

$$W4) = 20935 \quad \mathbf{Kg}$$

10. Weight of Lt. Side walk way and railing

$$(W5) = 3589 \quad \mathbf{Kg}$$

11. Weight of idle side plate form including angle iron conductor (W6) =1000 **Kg**

$$(W7) = 1200 \quad \mathbf{Kg}$$

12. Weight of electrical Lt. Side girder.

13. Weight of Lt. M/C (W8) =1250 **Kg**

14. Class of crane II IS - 807 INDOOR

PERANCANGAN BEBAN

1. Total live load (W1)

$$W1 = W1 + W2 + W3$$

$$W1 = 7000 + 2250 + 625 = 9875 \quad \mathbf{Kg}$$

2. Impact load (Wi)

$$Wi = 0.3 (W1 + W2)$$

$$Wi = 0.3 (7000 + 2250) = 2775 \quad \mathbf{Kg}$$

$$\begin{aligned}
l_1 &= 3667 \text{ mm} \\
l_2 &= 1090 \text{ mm} \\
l_3 &= 1600 \text{ mm} \\
b &= 2500 \text{ mm} \\
p &= 3200 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Crab wheel load with impact ;

$$\begin{aligned}
P_1 &= ((W_1 + W_3 + W_i) \times (l_2 / b) \times (l_3 / p)) + (W_2 / 4) \\
P_1 &= 6.78 \text{ Ton} \\
P_4 &= 6.78 \text{ Ton} \\
P_2 &= ((W_1 + W_3 + W_i) \times (l_1 / b) \times (l_3 / p)) + (W_2 / 4) \\
P_2 &= 8.52 \text{ Ton} \\
P_3 &= 8.52 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

Crab wheel load without impact ;

$$\begin{aligned}
P_1' &= (W_1 + W_3) \times (l_2 / b) \times ((l_3 / p) + (W_2 / 4)) \\
P_1' &= 5.42 \text{ Ton} \\
P_4' &= 5.42 \text{ Ton} \\
P_2' &= (W_1 + W_3) \times (l_1 / b) \times ((l_3 / p) + (W_2 / 4)) \\
P_2' &= 6.75 \text{ Ton} \\
P_3' &= 6.75 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

Vertical load due to acceleration

$$P_3 = \mu \times P_2 \times h / p$$

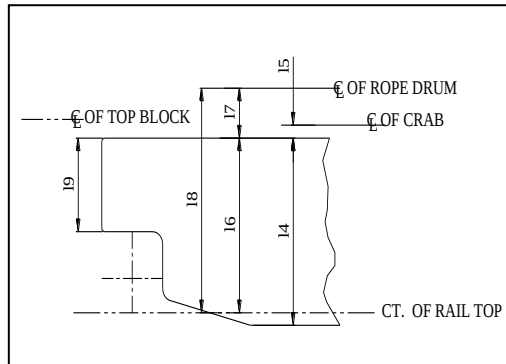
Where ;

$$\mu = \frac{0.2 \times \text{No. of driven wheel}}{\text{Total No. wheel}} = 0.1$$

$$\text{No. of driven wheel} = \text{Pcs}$$

$$\text{Total No. wheel} = \text{Pcs}$$

$$h_1 = \text{Height of effective load center of } (W_1 + W_3) \text{ \& } W_2 \text{ above or below Ct. rail level}$$



$$\begin{aligned}
l_4 &= 1100 \text{ mm} \\
l_5 &= 200 \text{ mm} \\
l_6 &= 900 \text{ mm} \\
l_7 &= 400 \text{ mm} \\
l_8 &= 1300 \text{ mm} \\
l_9 &= 590 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Taking moment about top rail

$$(2 \times L_f \times l_8) + (2 \times L_f \times (l_6 + l_7)) + (W_2 \times (l_5 + l_6)) = h_1 + W_1$$

$$h_1 = \frac{(2 \times L_f \times l_8) + (2 \times (L_f \times (l_6 + l_7)) + (W_2 \times (l_5 + l_6)))}{W_1}$$

$$h_1 = 1.27 \text{ m}$$

3. Dead load ;

$$\begin{aligned}
W_d &= W_4 + W_5 + W_7 \\
W_d &= 18965 \text{ Kg} \\
W_d &= 19.0 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

4. LT. M/C load = W8

$$W_8 = 1.25 \text{ Ton}$$

Beban Lateral

- Due to live load

$$Plh = 0,1 \times P2'$$

$$Plh = 0.68 \quad \text{Ton}$$
- Due to dead load

$$Pdh = 0,1 \times Wd$$

$$Pdh = 1.90 \quad \text{Ton}$$
- Due to LT. M/C load

$$= 0,1 \times W8$$

$$= 0.125 \quad \text{Ton}$$

MOMEN BENGKOK

A. Momen Bengkok Vertikal

- Due to live load without impact

$$l10 = 7000 \text{ mm}$$

$$l11 = 1250 \text{ mm}$$

$$l12 = 9500 \text{ mm}$$

$$Rb' = \frac{(P4' \times l10) + (P3' \times l12)}{S}$$

$$Rb' = 5.52 \quad \text{Ton}$$

$$M1' = Rb' \times (S - l12)$$

$$M1' = 49.68 \quad \text{T.m}$$

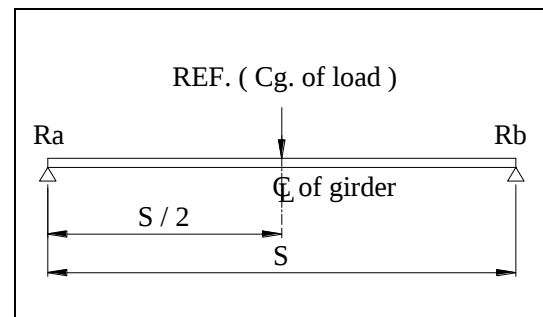
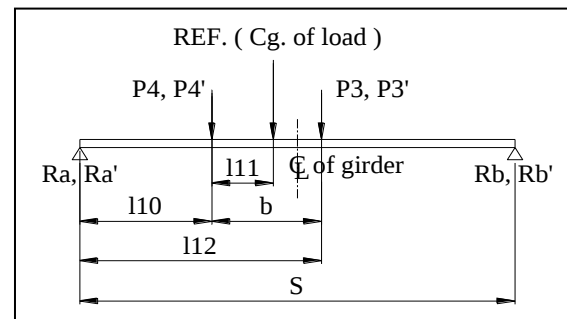
- Due to live load with impact (see fig. 2)

$$Rb = \frac{(P4 \times l10) + (P3 \times l12)}{S}$$

$$Rb = 6.94 \quad \text{Ton}$$

$$M1 = Rb \times (S - l12)$$

$$= 62.47 \quad \text{T.m}$$



- Due to Lt. M/C load

$$M2 = \frac{Wd \times S}{2}$$

$$M2 = 5.78 \quad \text{T.m}$$

- Due to acceleration loads

$$M3 = \mu \times M1' \times h1 / p$$

$$M3 = 1.97 \quad \text{T.m}$$

- Due to dead load ;

$$Md = \frac{Wd \times S}{8}$$

$$Md = 43.86 \quad \text{T.m}$$

B. Lateral Bending Moment

- Due to live load.

$$Mlh = \mu \times M1'$$

Total vertical bending moment

- With impact

$$Ma = M1 + M2 + M3 + Md$$

$$Ma = 114.08 \quad \text{T.m}$$

- Without impact

$$Ma' = M1' + M2 + Md$$

$$Ma' = 99.31 \quad \text{T.m}$$

- Due to LT. M/C load

$$M2h = \mu \times Md$$

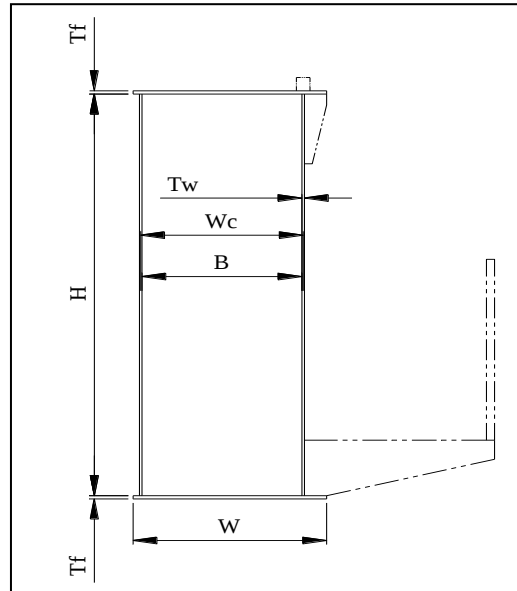
$$M2h = 0.58 \quad \text{T.m}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lh} &= 4.97 \quad \text{T.m} \\
 \text{2. Due to dead load} \\
 M_{dh} &= \mu \times M_d \\
 M_{dh} &= 4.39 \quad \text{T.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total lateral moment (} M_r \text{)} \\
 M_r &= M_{lh} + M_{dh} + M_{2h} \\
 M_r &= 9.93 \quad \text{T.m}
 \end{aligned}$$

GIRDER SECTION

$$\begin{aligned}
 T_f &= 12 \quad \text{mm} \\
 T_w &= 6 \quad \text{mm} \\
 B &= 468 \quad \text{mm} \\
 H &= 1100 \quad \text{mm} \\
 W_c &= 474 \quad \text{mm} \\
 W &= 540 \quad \text{mm} \\
 S / H &= 16.8 \sim 18 \\
 H / T_w &= \\
 W_c / T_f &= \\
 S / B &= 39.53 < 60
 \end{aligned}$$



Area of cross section (A_c)

$$\begin{aligned}
 A_c &= 2 \times (A_f + A_w) \\
 A_c &= 2 \times ((W \times T_f) + (H \times T_w)) \\
 A_c &= 261.60 \quad \text{Cm}^2
 \end{aligned}$$

Area of box (A_b)

$$\begin{aligned}
 A_b &= B \times (H + T_f) \\
 A_b &= 5204.16 \quad \text{Cm}^2
 \end{aligned}$$

SECTIONAL PROPERTIES

$$\begin{aligned}
 I_{xx} &= 2 \times (bh^3) / 12 + 2 \times A \times d^2 \\
 I_{xx} &= (2 \times T_w H^3) / 12 + (2 \times (T_f \times W)) \times ((H + T_f) / 2)^2 \\
 I_{xx} &= 533740 \quad \text{Cm}^4
 \end{aligned}$$

$$Z_{xx} = \frac{I_{xx}}{(H + (2 \times T_f)) / 2}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{xx} &= 9497 \quad \text{Cm}^3 \\
 I_{yy} &= (2 \times bh^3) / 12 + 2 \times A \times d^2 \\
 I_{yy} &= (2 \times T_f W^3) / 12 + (2 \times (T_w \times H)) \times (B / 2)^2 \\
 I_{yy} &= 103771 \quad \text{Cm}^4
 \end{aligned}$$

$$Z_{yy} = \frac{I_{yy}}{(W / 2)}$$

$$Z_{yy} = 3843 \quad \text{Cm}^3$$

TORSIONAL CONSTANT ;

$$\begin{aligned}
 J &= 4 A^2 \quad \Sigma (W / T) \\
 J &= \frac{4 \times (\text{Area box})^2}{2 \times ((H + T_f) / T_w) + (B / T_f)} \\
 J &= 264442.1 \quad \text{Cm}^4
 \end{aligned}$$

Equivalent column slenderness ratio ;

$$\left| \frac{Kl}{j} \right|_{eq} = \sqrt{\frac{5.07 \times L \times Z_{xx}}{\sqrt{J \cdot I_{yy}}}}$$

Where ;

$$\begin{aligned}
 L &= 0.6 \times \text{Span of Crane} \\
 L &= 11.1 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\left| \frac{Kl}{j} \right|_{eq} = 18$$

Average allowable compression stress for I Kl / j I eq ;

$$= \text{Ksi per AISE 6}$$

$$= \text{Kg / Cm}^2$$

The above stress value is for mat'l with uts
 Since we shall be using mat'l (Is - 226) with uts
 Allowable compression stress

$$= \text{Ksi} = 19.29 \text{ Kg / mm}^2$$

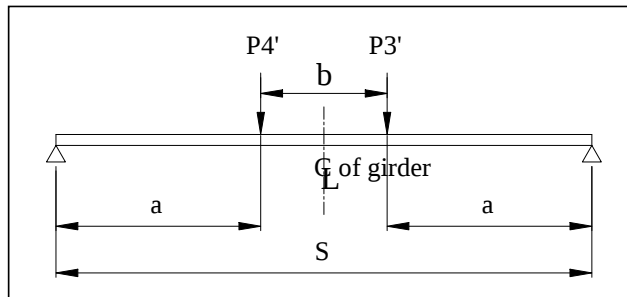
$$= 1356.47 \text{ Kg / mm}^2$$

$$= 1400 \text{ Kg / Cm}^2$$

BENDING STRESS	B LATERAL
A VERTICAL 1. Without impact ; $\sigma_{va}' = \frac{M'_{max}}{Z_{xx}}$ $\sigma_{va}' = 1045.72 \text{ Kg / Cm}^2$ 2. With impact ; $\sigma_{va} = \frac{M'_{max}}{Z_{xx}}$ $\sigma_{va} = 1201.23 \text{ Kg / Cm}^2$	$\sigma_h = \frac{M l_{max}}{Z_{yy}}$ $\sigma_h = 258.40 \text{ Kg / Cm}^2$ Total Stress (σ_{tot}) $\sigma_{tot} = \sigma_{va} + \sigma_h$ $\sigma_{tot} = 1459.64 \text{ Kg / Cm}^2$ (< 1400 Kg / Cm²)

DEFLECTION

A Deflection due to crab + Swl



Take max. load

$P \sim P2' \sim P3'$

$$P = 6.75 \text{ Ton}$$

$$\delta_1 = \frac{P \cdot a (3S - 4a^2)}{24 \cdot E \cdot I_{xx}}$$

$$\delta_1 = 15.86 \text{ mm}$$

Where ;

$$E = 2050000 \text{ Kg / Cm}^2$$

$$a = 800 \text{ Cm}$$

Allowable deflection (d) = S / 1000

$$\delta = 18.5 \text{ mm}$$

B. Deflection due to dead load

$$\delta_2 = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{xx}}$$

$$\delta_2 = \frac{5 \times Wd \times S^3}{384 \cdot E \cdot I_{xx}}$$

$$\delta_2 = 1.43 \text{ Cm}$$

$$\delta_2 = 14.3 \text{ mm}$$

CHAMBER

A. Chamber at the center of main girder

$$= \delta_1 / 2 + \delta_2$$

$$= 22.2 \text{ mm}$$

Where ;

$$\delta_1 = \text{Deflection due to crab + Swl}$$

$$\delta_2 = \text{Deflection due to dead load}$$

DIRECT SHEAR STRESS

Max. Shear force at the end of the girder when the crab is at extrean position

1. LT. Side

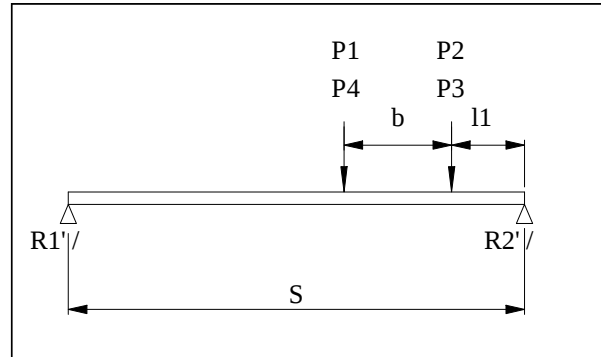
$$Q1 = \frac{W4 + W5 + W7}{2}$$

$$Q1 = 9.48 \text{ Ton}$$

Cond. Side

$$Q2 = \frac{W4 + W6}{2}$$

$$Q2 = 7.59 \text{ Ton}$$



2. Due to live load without impact

a. LT. Side

$$R1' = \frac{P1' \times (b + l13) + (P2' \times l13)}{S}$$

$$R1' = 1.00 \text{ Ton}$$

$$R2' = (P1' + P2') - R1'$$

$$R2' = 11.18 \text{ Ton}$$

b. Cond. Side

$$R4' = \frac{P4' \times (b + l13) + (P3' \times l13)}{S}$$

$$R4' = 1.00 \text{ Ton}$$

$$R3' = (P3' + P4') - R4'$$

$$R3' = 11.18 \text{ Ton}$$

3. Due to live lod with impact

a. LT. Side

$$R1 = \frac{P1 \times (b + l13) + (P2 \times l13)}{S}$$

$$R1 = 1.25 \text{ Ton}$$

$$R2 = (P1 + P2) - R1$$

$$R2 = 14.05 \text{ Ton}$$

b. Cond. Side

$$R4 = \frac{P4 \times (b + l13) + (P3 \times l13)}{S}$$

$$R4 = 1.25 \text{ Ton}$$

$$R3 = (P3 + P4) - R4$$

$$R3 = 14.05 \text{ Ton}$$

Max. shear force without impact

a. On LT. Side (Fs1')

$$Fs1' = R2' + Q1$$

$$Fs1' = 20.66 \text{ Ton}$$

b. On Cond. Side (Fs2')

$$Fs2' = R3' + Q2$$

$$Fs2' = 18.77 \text{ Ton}$$

Max. shear force with impact

a. On LT. Side (Fs1)

$$Fs1 = R2 + Q1$$

$$Fs1 = 23.54 \text{ Ton}$$

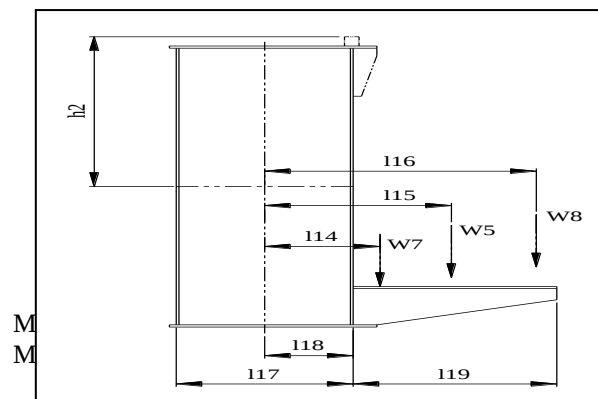
b. On Cond. Side (Fs2')

$$Fs2 = R3 + Q2$$

$$Fs2 = 21.64 \text{ Ton}$$

TORSIONAL MOMENTS

A. Mt. Due to over hanging loads



$$\begin{aligned} l13 &= 400 \text{ mm} \\ l14 &= 340 \text{ mm} \\ l15 &= 550 \text{ mm} \\ l16 &= 800 \text{ mm} \\ l17 &= 520 \text{ mm} \\ l18 &= 260 \text{ mm} \\ l19 &= 600 \text{ mm} \\ h2 &= 812 \text{ mm} \end{aligned}$$

- B. Due to starting & stoping of LT. Motor - torque on the out put shaft of gear box, during starting at 275 % rated. Torque

$$M_{ts} = 201.54 \text{ Kg.m}$$

$$M_{ts} = 0.202 \text{ T.m}$$

Where ;

$$n = \text{Revolution speed} = 900 \text{ Rpm}$$

$$R_r = \text{Reduction ratio} = 18.16$$

$$R_m = \text{Rated motor torque}$$

$$R_m = (5 \times 4562) / (2\pi \times n) = 4.036$$

- C. Due to horizontal inertia of live load

$$M_{th} = (\mu \times (P_3' + P_4') h_2)$$

$$M_{th} = 0.99 \text{ T.m}$$

Total torsional moments ($M_{t \text{ tot}}$)

$$M_{t \text{ tot}} = M_{t1} + M_{ts} + M_{th}$$

$$M_{t \text{ tot}} = 4.57 \text{ T.m}$$

COLLOSION STRESS

$$V_b = \text{Bridge speed} = 60 \text{ m / min}$$

$$V_b = \text{Bridge speed} = 100 \text{ Cm / s}$$

Eq. Concened. Load W_e = at mid. Span of girder

$$W_e = (W_2 / 2) + W_4 + W_5 + W_6 + W_7 + W_8$$

$$W_e = 22.97 \text{ Ton}$$

Center deflection assuming fixed end

$$\delta = \frac{PL^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

Max. moment (M_{max})

$$M_{\text{max}} = PL / 8$$

Max. Stress (f_{max})

$$f_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}} \cdot C_y}{I_{yy}}$$

$$f_{\text{max}} = \frac{P \cdot L \cdot C_y}{8 \cdot I_{yy}}$$

$$f_{\text{max}} = f_{\text{max}} \cdot L^2$$

$$f_{\text{max}} = \frac{f_{\text{max}} \cdot L^2}{24 \cdot E \cdot C_y}$$

Where ;

$$C_y = W / 2$$

$$C_y = 270 \text{ mm}$$

$$f_{\text{max. at } 4/3 \text{ allowable stress}} = 1866 \text{ Kg / Cm}^2$$

$$\delta_1 = \frac{f_{\text{max}} \cdot S^2}{24 \cdot E \cdot C_y}$$

$$\delta_1 = 4.81 \text{ Cm}$$

Spring Compression ;

$$\delta_2 = U^2 / 2f$$

$$\delta_2 = 2.56 \text{ Cm}$$

Where ;

$$U = 50\% \times \text{Rated speed}$$

$$U = 50 \text{ Cm / s}$$

$$f = 488 \text{ Cm / s}^2$$

Estimation deflection ;

$$\Delta = \delta_1 + \delta_2$$

$$\Delta = 7.37 \text{ Cm}$$

The force on the girder & trolley at 50% rated speed

$$F = \frac{W_e \cdot U^2}{g \cdot \Delta}$$

$$F = 7.95 \text{ Ton}$$

Where ;

$$g = 980 \text{ Cm / s}$$

Checking each girder (Fc) for 50 % at (F) ----->

$$F_c = 3.97 \text{ Ton}$$

Moment max (Mmax)

$$M_{\max} = F_c \cdot S / 8$$

$$M_{\max} = 9.19 \text{ T.m}$$

Collosion Stress (σ_{coll})

$$\sigma_{\text{coll}} = \frac{M_{\max}}{Z_{xx}}$$

$$\sigma_{\text{coll}} = 96.78 \text{ Kg / Cm}^2$$

Combined stress (σ_{com})

$$\sigma_{\text{com}} = \sigma_{va} + \sigma_h + \sigma_{\text{coll}}$$

$$\sigma_{\text{com}} = 1556.41 \text{ Kg / Cm}^2 < 1.5 \times 1400$$

XI. SHEAR STRESS

Section of main girder at end carriage connection (H / 2) = 550 mm

Shear stress without torsion (Fvb)

$$F_{vb} = \frac{F_s 2'}{2 \times (H / 2) \times T_w}$$

$$F_{vb} = 327.92 \text{ Kg / Cm}^2$$

Shear stress without torsion (Fvt)

$$F_{vt} = \frac{M_{t \text{ tot}}}{2 \times B \times T_w \times (H / 2)}$$

$$F_{vt} = 148.02 \text{ Kg / Cm}^2$$

Total shear (Fsr)

$$F_{sr} = F_{vb} + F_{vt}$$

$$F_{sr} = 475.9 \text{ Kg / Cm}^2$$

$$(< 0.6 \times 1400 \text{ Kg / Cm}^2)$$

DIAPHRAGMS

Spacing (S)

$$S = \frac{11000 \times T}{F_{sr}^{0.5}}$$

$$S = \frac{11000 \times T_w}{F_{sr}^{0.5}}$$

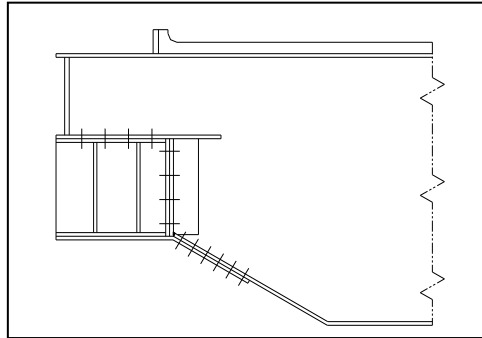
$$S = 31.5 \text{ Inch}$$

$$S = 798.9 \text{ mm}$$

Keep max. spacing of 1500 mm at end.

CALCULATION FOR MAIN GIRDER

Connection



Main girder is connected to end carriage by means of machined and fitted bolts, at top flange, bottom flange and vertical face.

- a. Total vertical force with impact (F_{s2}') = 21.64 Ton
 This force shall be taken by bolt in vertical plane.
 Specification of bolts = ASTM - A 325 TYPE – 1
 $Z1$ = No. of bolt in vertical plane = 8 Pcs
 d = Shank of bolt = 18 mm
 Shearing stress (σ_{sv})

$$\sigma_{sv} = \frac{F_{s2}}{(Z1 \times \pi \times d^2) / 4}$$

$$\sigma_{sv} = 1063.68 \text{ Kg / Cm}^2 \quad (< 0,6 \times 1400)$$

Bearing stress (σ_{bv})

$$\sigma_{bv} = \frac{F_{s2}}{Z1 \times d \times t}$$

$$\sigma_{bv} = 1252.48 \text{ Kg / Cm}^2 \quad (< 1,25 \times 1400)$$

- b. Total horizontal force (H_s)

$$H_s = \mu \times (W_{be} + W_2 + W_3 + W_1)$$

$$H_s = 6598 \text{ Kg}$$

Where ;

$$W_{be} = W_b + W_{ec} + W_w = 41630 \text{ Kg}$$

$$W_b = \text{Weight of bridge}$$

$$W_b = 2 \times (W_4 + W_5 + W_8) = 38030 \text{ Kg}$$

$$W_{ec} = \text{Weight of end carriage} = 1200 \text{ Kg}$$

$$W_w = \text{Weight of LT. Wheel} = 2400 \text{ Kg}$$

This force is taken by bolts in top & bottom flange

$$Z2 = \text{Total no. of bolts} = 20 \text{ Pcs}$$

$$d = \text{Bolt dia} = 18 \text{ mm}$$

Shear stress (σ_s)

$$\sigma_s = \frac{H_s}{(Z2 \times p \times d^2) / 4}$$

$$\sigma_s = 129.71 \text{ Kg / Cm}^2$$

- c. Horizontal bending moment due to skewing effect (M_s)

$$M_s = \frac{H_s \times P}{4}$$

$$M_s = 5.28 \text{ T.m}$$

(Is resisted by Top & bottom flange connection)

$$a = \text{Center to center bolt} = 545 \text{ mm}$$

Force in each row of bolt (F_b)

$$F_b = M_s / a$$

$$F_b = 9.69 \text{ Ton}$$

Z3	=	No. of bolts in each row	=	10	Pcs
d	=	Bolt dia	=	18	mm

Shear stress (σ_s)

$$\sigma_s = \frac{Fb}{(Z3 \times p \times d^2) / 4}$$

$$\sigma_s = 380.79 \quad \text{Kg / Cm}^2$$

d. Checking weld strength of bottom flange connection of girder flange (F_w)

$$F_w = M_s / w$$

$$F_w = 9.77 \quad \text{Ton}$$

$$w = \text{Is the width of plate girder (bottom)}$$

$$w = 540 \quad \text{mm}$$

$$L_w = \text{Total weld length along flange} = 1060 \quad \text{mm}$$

$$w_l = \text{Crossectional weld} = 8 \quad \text{mm}$$

$$w_t = \text{Throat size for 8 mm weld} = 5.66 \quad \text{mm}$$

Stress in weld (σ_w)

$$\sigma_w = \frac{F_w}{w_t \times L_w}$$

$$\sigma_w = 163.02 \quad \text{Kg / Cm}^2$$

PENUTUP

Kesimpulan

Main girder pada double girder over head crane merupakan bagian inti yang sangat vital, oleh karena itu proses pengerjaan dari mulai machining sampai dengan assembling harus sangat teliti sesuai dengan aturan dan ketentuan standard yang berlaku.

Proses-proses yang dilalui pada pembuatan main girder dilakukan melalui tahapan-tahapan yang terencana dan penuh dengan berbagai ketentuan standar internasional, mulai dari kekuatan bahan, perencanaan disain, perhitungan kapasitas maksimum, proses pengerjaan sampai dengan assembling.

Saran

Pada proses pembuatan girder amat sangat membutuhkan presisi dan ketentuan yang sesuai dengan standard, karena hal ini menyangkut keselamatan operator. Hal-hal yang harus diperhatikan antara lain:

- Perhitungan kekuatan bahan serta batas maksimum.
- Proses pengelasan tiap part harus sesuai dengan perencanaan.
- Presisi pada proses machining wajib diperhatikan.
- Proses assembling dilakukan dengan teliti.
- Pemeriksaan cacat bahan dilakukan dengan ketat sebelum proses assembling.
- Pengutamaan K3 harus lebih ditingkatkan kembali.

DAFTAR PUSTAKA

1. Heinz Frick., “**Mekanika Teknik Statika dan Kegunaannya**”. Jilid 1, Kanisius, Yogyakarta 1979.
2. Heinz Frick., “**Mekanika Teknik Statika dan Kegunaannya**”. Jilid 2, Kanisius, Yogyakarta 1979.
3. Jensen, Chenoweth., “**Kekuatan Bahan Terapan**”. Edisi keempat. Erlangga, Jakarta 1991.
4. Joseph E Shigley; Larry D Mitchel; Gandhi Harahap “**PERENCANAAN TEKNIK MESIN**” jilid 1, edisi keempat Erlangga Jakarta 1999.
5. Gieck, K. “*Kumpulan Rumus Teknik*”. Jakarta : Pradnya Paramita. 2003.