

APLIKASI SAP 2000 UNTUK RANCANG BANGUN KONSTRUKSI BAJA RINGAN BENTANG PANJANG

Application of SAP 2000 for Engineering Design of the Long Span Light Steel Construction

HERI GUNAWAN dan DUDUNG HERMAWAN

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam As-Syafi'iyah, Jakarta

e-mail : dudung6234@gmail.com

ABSTRACT

With the development of innovation, where many buildings are designed on a large enough scale both from the stretch to the height of the building. Buildings that have the characteristic of a long stretch, of course, require the construction of a roof with a long stretch. As an alternative, steel material can be used. But steel itself has a large mass that affects the load to be channeled down. In order to reduce the mass in the building, it's better to choose lighter material, so Light Steel is the solution. This design aims to determine the type of profile Channel or Double Channel that can be used on each frame element of the horses based on the resulting internal force value also knowing the stability of the frame elements for weaknesses while determining the form of structural structures that can be applied as a recommendation in designing the structure lightweight steel roof truss for long stretches. For accuracy, avoid failure and simplify the design, the design was analyzed with the SAP2000 program and supporting literature studies. This design uses a truss double fink type with a theoretical range of 16 m at an angle of 25 ° with the component used being a Channel C75,100 profile. The results obtained from the SAP2000 program analysis are to know the limits of the rod style values for each element so that each rod element can be determined by the right profile to be applied in it.

Keywords: Mild Steel, Roof Structure, Long Spans, SAP2000

ABSTRAK

Dengan berkembangnya inovasi, dimana banyak bangunan yang didesain dengan skala yang cukup besar baik dari bentangan hingga tinggi bangunan. Bangunan yang memiliki ciri bentangan panjang, pastinya memerlukan konstruksi atap dengan bentangan panjang pula. Sebagai salah satu alternatif, material baja dapat digunakan. Namun baja sendiri memiliki massa besar yang berpengaruh pada beban yang akan disalurkan ke bawah. Sehingga untuk mengurangi massa pada bangunan, sebaiknya dilakukan pemilihan material yang lebih ringan, maka Baja Ringan lah solusinya. Perancangan ini bertujuan menentukan jenis profil *Channel* atau *Double Channel* yang dapat digunakan pada setiap elemen rangka kuda-kuda berdasarkan nilai gaya dalam yang dihasilkan juga mengetahui stabilitas elemen rangka atas kelemahan yang terjadi sekaligus menentukan bentuk struktur rangka atap yang dapat diaplikasikan yang bermanfaat sebagai rekomendasi dalam mendisain struktur rangka atap baja ringan untuk bentang yang panjang. Untuk ketepatan, menghindari kegagalan dan mempermudah dalam Perancangan, perancangan dianalisis dengan program SAP2000 dan studi-studi pustaka yang mendukung. Perancangan ini menggunakan tipe *truss double fink* dengan rentang teoritis 16 m pada sudut 25° dengan Komponen yang digunakan adalah profil *Channel C75.100*. Hasil yang diperoleh dari analisa program SAP2000 adalah diketahuinya batas nilai gaya batang pada setiap elemen sehingga setiap elemen batang dapat ditentukan profil yang tepat untuk diaplikasikan didalamnya.

Kata Kunci : Baja Ringan, Struktur Atap, Bentang Panjang, SAP2000.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan, pekerjaan suatu konstruksi proyek dituntut untuk lebih berkualitas. Selain dari segi kekuatan yang mutlak harus dipenuhi seperti aspek ekonomi dan kemudahan pengerjaan. Apalagi dengan berkembangnya inovasi para *engineer*, dimana banyak bangunan yang didisain dengan skala yang cukup besar baik dari bentang hingga tinggi bangunan. Seperti stadion, pabrik, gedung pertemuan, hingga gudang pesawat. Semua itu memerlukan material pendukung untuk penyusun konstruksi yang berkualitas.

Bangunan yang memiliki ciri dengan bentang panjang, pastinya memerlukan konstruksi atap dengan bentang panjang pula.

Atap merupakan penutup atas bangunan sebagai pelindung bagian dalam bangunan dari hujan, panas, dan sebagainya. Atap terdiri dari dua bagian yaitu penutup atap dan rangka atap. Struktur rangka atap atau kuda-kuda pada umumnya menggunakan bahan kayu karena lebih mudah dikerjakan, fleksibel, dan ringan. Namun, material ini tidak dapat digunakan untuk keperluan rangka atap dengan bentang panjang, karena keterbatasan ketersediaan.

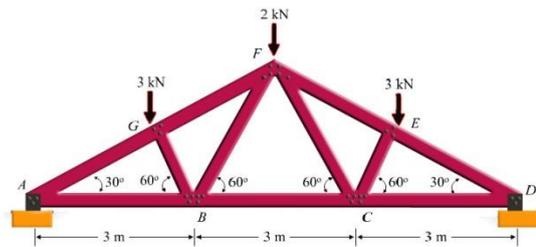
Penggunaan Baja Ringan sendiri sebagai material di dalam dunia konstruksi saat ini sudah sering diterapkan. Sesuai dengan namanya, struktur baja ringan tersusun dari batang-batang baja profil yang relatif lebih ringan dibandingkan batang baja pada umumnya, salah satu di antaranya seperti jenis baja canai panas (*Hot Rolled Steel*). Selain itu, pengerjaan lebih mudah dan dapat menghasilkan disain yang lebih hemat dari baja pada umumnya.

Perancangan ini bertujuan menentukan jenis profil *Channel* atau *Double Channel* yang dapat digunakan pada setiap elemen rangka kuda-kuda berdasarkan nilai gaya dalam yang dihasilkan juga mengetahui stabilitas elemen rangka atas kelemahan yang terjadi sekaligus menentukan bentuk struktur rangka atap yang dapat diaplikasikan yang bermanfaat sebagai rekomendasi dalam mendisain struktur rangka atap baja ringan untuk bentang yang panjang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

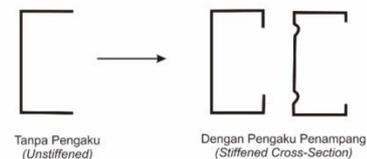
2.1. Stabilitas Rangka Batang.

Ketidak stabilan (*instabilitas*) rangka batang dapat disebabkan oleh bentuk geometrik yang tidak stabil, beban berlebihan, salah satu batang mengalami kegagalan dan akibat terjadi perbedaan antara perencanaan/analisis dengan praktek (pelaksanaan).



Gambar 1. Rangka batang bidang

Gaya yang bekerja pada batang adalah gaya aksial, dimana gaya aksial dapat diuraikan menjadi gaya tekan dan tarik. Gaya tekan yang berlebihan pada batang dapat menyebabkan batang tertekuk (tekuk lentur dan tekuk lentur torsi). Bila beban terus bertambah akan terjadi instabilitas pada batang, yang pada akhirnya akan terjadi kegagalan struktur. Kekakuan penampang biasanya ditingkatkan dengan cara menambahkan *flens* dan *web* pengaku seperti terlihat pada Gambar 2.

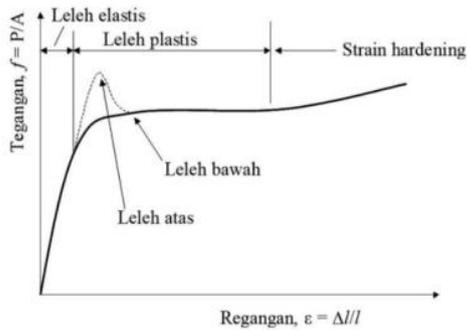


Gambar 2 Penambahan *flens* dan *web*

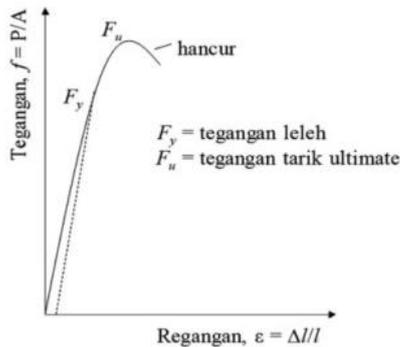
2.2. Tegangan Leleh, Kekuatan Tarik dan Kurva Tegangan – Regangan pada Baja Ringan

Baja ringan memiliki perbedaan perilaku bila dibandingkan dengan baja biasa (*hot rolled steel*). Kurva tegangan regangan pada gambar di bawah ini menunjukkan perbandingan perilaku baja biasa dengan baja ringan (*cold-formed*). Kekuatan batang struktural baja ringan tergantung kepada titik leleh (*yield point*) atau kekuatan leleh dari baja kecuali pada daerah tekuk sambungan atau pada kondisi dimana tekuk lokal elastis atau tekuk global menjadi kondisi kritisnya. Istilah tegangan leleh (*yield stress*) mengacu kepada titik leleh maupun kekuatan leleh baja ringan. Kekuatan leleh baja ringan terentang mulai dari 165 MPa sampai 552 MPa.

Pada baja (*hot-rolled*) titik leleh menunjukkan lekukan yang tajam setelah fase elastis sedangkan pada baja ringan (*cold-formed*) menunjukkan pola yang cenderung naik secara bertahap. Untuk baja *hot rolled* tegangan leleh didefinisikan sebagai tegangan dimana grafik tegangan-regangan menjadi horizontal seperti pada gambar 3. Sedangkan pada baja *cold form* diagram tegangan-regangan melengkung pada daerah sudut (*knee*) dan tegangan leleh ditentukan dengan menggunakan metode *offset* maupun metode *strain-underload* seperti gambar 4.



Gambar 3. Grafik tegangan regangan pada baja hot rolled



Gambar 4. Grafik tegangan regangan pada baja cold form

Pada metode strain-underload, tegangan leleh adalah tegangan yang berhubungan dengan kondisi perpanjangan (elongation) batang akibat pembebanan. Nilai perpanjangan total yang diambil biasanya adalah sebesar 0.5%. Pada banyak kasus, nilai tegangan leleh yang diperoleh dari kedua metode ini tidak berbeda.

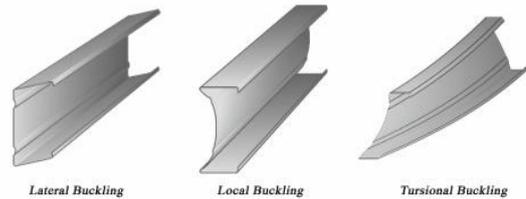
2.2. Pola Keruntuhan

Pada struktur rangka atap dikenal beberapa jenis pola keruntuhan yang sering terjadi pada sistem rangka atap yaitu Akibat tekuk (*Buckling*). Beban tekuk didefinisikan sebagai bahan batas yang menyebabkan batang tertekuk. Jika batang dibebani dengan beban aksial, maka batang akan terdefleksi lateral dan mengalami tekuk apabila beban ditingkatkan terus. Jika beban bekerja kurang dari beban tekuk dan beban diambil dari batang maka batang akan kembali ke posisi semula. Fenomena tekuk terdiri dari tiga tipe, yaitu:

- Arah sumbu x penampang (*lateral buckling*)
- Arah sumbu y (lokal buckling)
- Maupun torsi (torsional buckling)

Dalam analisa, profil yang didesain harus memiliki nilai kapasitas penampang yang lebih

besar dari gaya yang terkecil penyebab ketiga tekuk tersebut. Apabila kapasitas penampang tidak memenuhi salah satu tekuk di atas, maka dapat ditambahkan elemen perkuatan yang dapat menaikkan kapasitas penampang pada sumbu lemahnya. Sehingga batang tersebut dapat menahan semua tekuk yang terjadi. Namun perlu diperhatikan bahwa efektifitas dan efisiensi dari penggunaan elemen perkuatan tersebut harus tetap dijaga. Sehingga nilai *safety*, *serviceability* dan ekonomis struktur masih dapat dipertahankan.



Gambar 5. Perilaku tekuk penampang

Dalam perhitungan gaya batang pada konstruksi rangka batang anggapan dalam perhitungannya adalah sebagai berikut:

- Garis sumbu batang bertemu pada sebuah titik simpul berupa sendi, dengan anggapan ini berarti pada titik temu batang (titik simpul) tidak terjadi momen dan batang hanya mengalami gaya aksial tekan dan tarik.
- Beban dianggap hanya bekerja pada titik buhul. Dalam kenyataannya beban dapat bekerja diantara titik buhul yang jelas berat sendiri batang merupakan beban merata sepanjang batang. Bila beban yang bekerja tidak pada titik buhul, maka beban itu dilimpahkan ke titik buhul, sehingga anggapan ini terpenuhi.
- Garis sumbu batang harus berupa garis lurus. Pada konstruksi rangka batang yang melengkung, batang akan mengalami momen disepanjang batangnya. Akan tetapi dalam perhitungannya dianggap lurus (sumbu lurus).

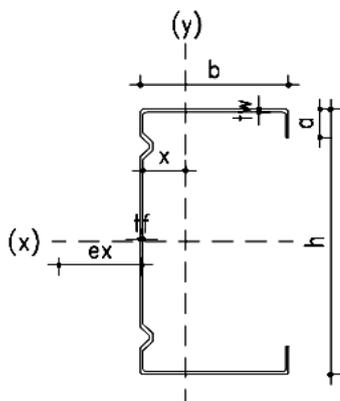
3. METODOLOGI

Metode analisis dimulai dari identifikasi dan pengumpulan data, studi pustaka, penentuan model bentuk struktur, analisa struktur, kesimpulan dan saran.

Variabel data yang dipakai dalam perencanaan

- Data struktur bangunan diperoleh langsung dari lokasi perencanaan.
- Pola pembebanan di dapat dari standar pembebanan gedung Standar Nasional Indonesia.
- Data pendukung lainnya diperoleh dari literatur dan studi pustaka
- Profil yang digunakan :
Profil : CANAL (C)

Kandungan material : Zincalume
 Komposisi anti karat : Zinc 43.5%, 55%
 Alumunium, 1.5% Silicone
 Kekuatan Tarik : 550 Mpa
 Modulus Elastisitas (E) : 203000 Mpa
 Profil desain : Profil C 75.100 (Tidar Truss)



Gambar 6. Profil canal C

- h : 76.05 mm
- b : 36.90 mm
- a : 10.05 mm
- t : 1.00 mm
- A : 169.95 mm²
- I_x : 157004.65 mm⁴
- I_y : 37305,76 mm⁴

- Beban rencana konstruksi :
 - Jarak bentangan : 16 m
 - Jarak antar kuda – kuda : 1.2 m
 - Sudut kemiringan kuda – kuda : 25°
 - Atap Genteng Metal Roof: 15 kg/ m²

a. Beban Mati (DL)

- Berat Struktur = Di input dalam SAP 2000 dengan standar ketebalan profil
- $W_{\text{genteng}} = 1.2 \text{ m} \times 15 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg}$
- $W_{\text{plafond}} = 1.2 \text{ m} \times 8 \text{ kg/m}^2 = 9.6 \text{ kg}$

b. Beban hidup (LL)

- $q_{\text{hujan}} = (40 - (0.8 \times \alpha)) \text{ k}$
 $= (40 - (0.8 \times 25)) \text{ kg/m}^2$
 $= 20 \text{ kg/m}^2$
- $W_{\text{hujan}} = 1.2 \times 20 \text{ kg/m}^2$
 $= 24 \text{ kg/m}^2$
- Berat orang = 100 kg

c. Beban Angin (WL)

Koefisien angin tekan
 $q_{\text{angin}} = 40 \text{ kg/m}^2$
 $W_{\text{angin}} = (0.02 \times \alpha) - 0.4 \times q_{\text{angin}}$

Koefisien angin hisap
 $W_{\text{angin}} = -0.4 \times q_{\text{angin}}$

Kombinasi pembebanan

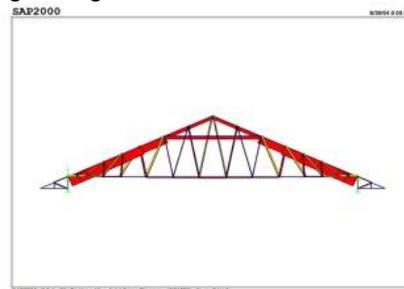
- a. COMB 1.4 DL
- b. COMB 1.2 $DL + 1.6 LL + 0.5 LLa$
- c. COMB 1.2 $DL + 1.6 LLa + 0.8 WL$

d. COMB 1.2 $DL + 1.3 W + 0.5 LL + 0.5 LLa$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

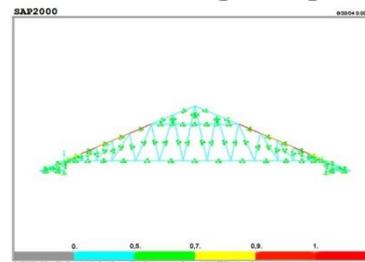
4.1. Hasil Analisis

Setelah dianalisis dengan menggunakan SAP2000, maka diperoleh hasil diagram nilai gaya batang sebagai berikut :



Gambar 7. Diagram gaya elemen batang.

Dimana besar kecilnya warna memperlihatkan besarnya gaya yang bekerja pada batang tersebut, dengan warna merah menandakan batang tekan dan warna kuning batang tarik.



Gambar 8. Diagram ratio elemen batang sebelum diperkuat.

Pada contoh kasus di atas, batang 47 dan 89 mengalami gaya batang yang paling maksimal. Batang 47 mengalami gaya tarik sebesar 4436.86 N dengan nilai ratio 0.062 yang menandakan nilai gaya batang tersebut dalam keadaan aman. dan batang 89 mengalami gaya tekan sebesar -30790.82 N. dengan nilai ratio 1,105 yang menandakan nilai gaya batang tersebut dalam keadaan tidak aman, maka harus diberikan perkuatan. Dari nilai gaya batang tersebut, baik tekan maupun tarik ini akan digunakan sebagai sampel analisis desain.

4.2. Hasil Analisis Desain Manual

4.2.1 Desain Batang Tekan

- Efektif elemen pengaku (*Stifneer*) pada elemen badan,
 Jika nilai $I_s > I_a$ maka elemen pengaku tidak penting (diabaikan)
 Jika nilai $I_s < I_a$ maka elemen pengaku sangat penting.
 Dimana,

I_a : momen inersia elemen yang dianggap berpengaku (sayap/badan) (mm^4)

I_s : momen inersia elemen yang berpengaku penuh (mm^4)

$$I_a = \left(4 \frac{h}{t} - 26\right) t^4 \geq 18t^4$$

$$I_a = \left(4x \frac{76.05}{1.00} - 26\right) 1.00^4 \geq 18 x 1.00^4$$

$$I_a = 278.20 \text{ mm}^4 \geq 18 \text{ mm}^4$$

Dan,

$$I_s = 5ht^3 \left[\frac{h}{astiff} - 0.7 \left(\frac{h}{astiff} \right) \right] \geq \left(\frac{h}{50} \right)^4$$

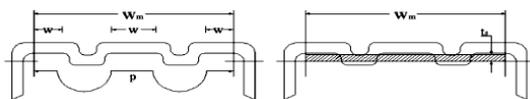
Dimana jarak elemen pengaku ($astiff$) = 47.17 mm

$$I_s = 5x76.05x1.00^3 \left[\frac{76.05}{47.17} - 0.7 \left(\frac{76.05}{47.14} \right) \right] \geq \left(\frac{76.05}{50} \right)^4$$

$$I_s = 183.92 \text{ mm}^4 \geq 5.35 \text{ mm}^4$$

Didapat $I_s < I_a$, maka elemen pengaku sangat penting.

- Tebal Efektif Akibat Elemen Pengaku
Diketahui untuk Profil C 75.100 (TIDAR TRUSS)



Gambar 9. Elemen pengaku Nilai

$$W_m = 59.14 \text{ mm}$$

$$p = 60.68 \text{ mm}$$

$$L_s = 6.9 \text{ mm}$$

$$I_{sf} = 27.38 \text{ mm}^4$$

Dimana :

I_{sf} : momen inersia dari bagian luasan pengaku (mm^4)

P : panjang perimeter dari elemen beberapa pengaku, antar badan atau dari badan sampai sisi pengaku (mm)

t_s : asumsi tebal efektif elemen penampang akibat adanya elemen pengaku (mm)

w_m : lebar antar badan atau dari badan sampai sisi pengaku (mm)

L_s : lebar pengaku.

Maka didapat,

$$t_s = t \left[\frac{w_m}{2p} + \sqrt{\frac{3I_{sf}}{pt^3}} \right]^{1/3}$$

$$t_s = 1.00 \left[\frac{59.14}{2x60.68} + \sqrt{\frac{3x27.38}{60.68x1.00^3}} \right]^{1/3}$$

$$t_s = 1.18 \text{ mm}$$

- Batas Kelangsingan Elemen Penampang

$$W_{lim} = 0.644 \sqrt{\frac{k \cdot E}{f}}$$

$$= 0.644 \sqrt{\frac{6.97x203000}{\left(\frac{26743.08}{169.95}\right)}}$$

$$= 61.07$$

dimana :

f : nilai tegangan yang terjadi pada penampang

k : koefisien tekuk elemen batang tertekan

t : tebal elemen

W : rasio lebar elemen

W_w : rasio lebar badan

W_f : rasio lebar sayap

W_{lim} : batas nilai rasio lebar

b : lebar sayap

h : lebar badan (mm)

Syarat batasan untuk rasio lebar elemen badan :

$$W_w = \frac{h}{t_{eff}} < 200$$

$$W_w = \frac{76.05}{1.18} = 64.35 \text{ mm}$$

Jika $W_w > W_{lim}$ maka

$$W_w = 0.95x\sqrt{KE/f} \left[1 - \frac{0.208}{W} \sqrt{KE/f} \right]$$

Sehingga $W_w = 62.47 \text{ mm} < 200$

Syarat batasan untuk rasio lebar elemen sayap :

$$W_f = \frac{b}{t_{eff}} < 200$$

$$W_f = \frac{36.90}{1.18} = 31.22 \text{ mm} < 200$$

Jika $W_f < W_{lim}$ maka $W_f = W_{lim}$

- Luasan Efektif (A_e)

Dari batasan penampang didapat :

➢ Penampang badan

$$W_w = 62.47 \text{ mm}$$

Maka,

$$h = 62.47 x 1.18$$

$$= 73.72 \text{ mm}$$

➢ Penampang sayap

$$W_f = 31.22 \text{ mm}$$

Maka,

$$b = 31.22 x 1.18$$

$$= 36.90 \text{ mm}$$

Sehingga luas efektif A_e

$$A_e =$$

$$= [(73.72 - 2x1.00)x1.18] +$$

$$[2x(36.90x1.00)] + [2x(10.05 - 1.00)x1.00]$$

$$= 176.66 \text{ mm}^2$$

- Titik berat

$$X_n = \frac{((-18.45 \times 36.9) + (-36.4 \times 74.05) + (-0.5 \times 9.05) + (-18.45 \times 36.9) + (-0.5 \times 9.05))}{36.9 + 74.05 + 9.05 + 36.9 + 9.05}$$

$$= 24.50 \text{ mm}$$

$$X_o = 36.90 - 24.50$$

$$= 12.40 \text{ mm}$$

$$Y_n = \frac{((-0.5 \times 36.9) + (-38.03 \times 74.05) + (-5.53 \times 9.05) + (-75.55 \times 36.9) + (-70.53 \times 9.05))}{36.9 + 74.05 + 9.05 + 36.9 + 9.05}$$

$$= 38.03 \text{ mm}$$

Sehingga tegangan tekuk arah sumbu y akibat gaya kritis tekuk arah sumbu y

$$F_{ey} = \frac{54349.59 \text{ N}}{176.66 \text{ mm}^2}$$

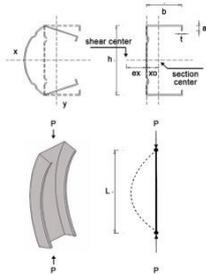
$$= 307.66 \text{ N/mm}^2 = 307.66 \text{ Mpa}$$

Maka tegangan kritis tekuk arah sb y

$$F_{py} = 0.833 (F_{ey}) = 0.833 \times 307.42$$

$$= 256.28 \text{ pa}$$

- Kapasitas Batang Tekan terhadap Tekuk pada sumbu y



Gambar 10. Tekuk lentur sumbu y

Maka :

$$I_y = 2x \left(\left(\frac{t \cdot b^3}{12} \right) + \left(A1 x \left(\frac{b}{2} - t - x_o \right)^2 \right) \right) + \left(\left(\frac{h \cdot t^3}{12} \right) + \left(A2 x \left(x_o \right)^2 \right) \right) + \left(\left(\frac{a \cdot t^3}{12} \right) + \left(A3 x \left(b - x_o - t \right)^2 \right) \right)$$

$$= 2x \left(\left(\frac{1x36.90^3}{12} \right) + \left(1x36.90 x \left(\frac{36.90}{2} - 1 - 12.40 \right)^2 \right) \right) + \left(\left(\frac{76.05 \cdot 1^3}{12} \right) + \left(76.05 x 1 x \left(12.40 \right)^2 \right) \right) + 2x \left(\left(\frac{10.05 \cdot 1^3}{12} \right) + \left(10x1 x \left(36.90 - 12.40 - 1 \right)^2 \right) \right)$$

$$= 33057.31 \text{ mm}^2$$

Dimana :

I_y : momen inersia terhadap sb y (mm⁴)

Didapat gaya kritis tekuk arah sumbu y

$$P_{ycr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K \cdot L)^2}$$

$$= \frac{3.14 \times 203000 \times 33057.31}{(1 \times 1103.35)^2}$$

$$= 54349.59 \text{ N}$$

Dengan syarat jika :

$$F_{py} \leq \frac{F_y}{2} \text{ maka } : F_{ay} = F_{py} \text{ dan jika,}$$

$$F_{py} \geq \frac{F_y}{2} \text{ maka } : F_{ay} = F_y - \frac{F_y}{4F_{py}}$$

Dimana :

F_{ay} : batas tegangan tekuk arah sumbu y (MPa)

F_y : tegangan leleh (MPa)

Didapat,

$$F_{py} = 256.28 \geq 250$$

Sehingga F_{ay} (batas tegangan tekuk arah sumbu y)

$$F_{ay} = 500 - \frac{500}{4 \times 256.28}$$

$$= 499.51 \text{ Mpa}$$

Didapat lah kapasitas penampang terhadap tekuk arah sumbu y (N) sebesar :

$$C_{ry} = \phi \cdot A_g \cdot F_{ay}$$

$$= 0.9 \times 176.66 \times 499.51$$

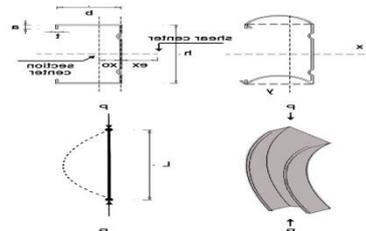
$$= 79418.26 \text{ N}$$

$$C_{ry} \geq P_{load}$$

$$79418.26 \text{ N} > 30790.82 \text{ N} \text{ (Aman)}$$

Hasil perhitungan kapasitas penampang gaya batang terhadap tekuk arah sumbu y nilainya lebih besar dari gaya batang tekuk torsi yang terjadi, menandakan batas nilai gaya yang mengakibatkan tekuk arah sumbu y masih jauh dalam keadaan aman.

- Kapasitas Batang Tekan terhadap Tekuk pada sumbu x



Gambar 11. Tekuk lentur sumbu x

Maka :

$$I_x = 2x \left(\left(\frac{b \cdot t^3}{12} \right) + \left(A1 x \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) \right) + \left(\left(\frac{h \cdot t^3}{12} \right) + \left(A2 x \left(x_o \right)^2 \right) \right) + \left(\left(\frac{a \cdot t^3}{12} \right) + \left(A3 x \left(b - x_o - t \right)^2 \right) \right)$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{t \cdot h^3}{12} \right) + (A2 \cdot x(0)^2) + \left(\left(\frac{t \cdot a^3}{12} \right) + \right. \\ & \left. (A3 \cdot x \left(\left(\frac{h}{2} \right) - t - \left(\frac{t}{2} + \frac{a}{2} \right) \right)^2) \right) \\ & = 2x \left(\left(\frac{36.90 \cdot 1^3}{12} \right) + \right. \\ & \left. (1 \cdot 36.90 \cdot x \left(\left(\frac{76.05}{2} - \frac{1}{2} \right)^2 \right)) \right) \\ & + \left(\left(\frac{1 \cdot 76.05^3}{12} \right) + (76.05 \cdot 1 \cdot x(0)^2) \right) + \\ & 2x \left(\left(\frac{1 \cdot 10.05^3}{12} \right) + (10 \cdot 1 \cdot x \left(\left(\frac{76.05}{2} - 1 - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left(\frac{1}{2} + \frac{10.05}{2} \right)^2 \right) \right) \right) \\ & = 160692.81 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Dimana :

I_x : momen inersia terhadap sumbu x (mm⁴)

Didapat gaya kritis tekuk arah sumbu x

$$\begin{aligned} \text{➤ } P_{xcr} &= \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K \cdot L)^2} \\ &= \frac{3.14 \cdot 203000 \cdot 160692.81}{(1 \cdot 1103.35)^2} \\ &= 264195.40 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga tegangan tekuk arah sumbu x akibat gaya kritis tekuk arah sumbu x

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_{ex} &= \frac{264195.40 \text{ N}}{176.66 \text{ mm}^2} \\ &= 1495.52 \text{ N/mm}^2 = 1495.52 \text{ Mpa} \\ \text{Maka tegangan kritis tekuk arah sumbu x} \\ \text{➤ } F_{px} &= 0.833 (F_{ex}) \\ &= 0.833 \cdot 1495.52 \\ &= 1245.77 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Dengan syarat jika :

$$F_{px} \leq \frac{F_y}{2} \text{ maka : } F_{ax} = F_{px} \text{ dan jika,}$$

$$F_{px} \geq \frac{F_y}{2} \text{ maka : } F_{ax} = F_y - \frac{F_y}{4F_{px}}$$

Dimana :

F_{ax} : batas tegangan tekuk arah sb x (MPa)

F_y : tegangan leleh (MPa)

Didapat,

$$F_{px} = 1245.77 \geq 250$$

Sehingga F_{ax} (batas tegangan tekuk arah sumbu x)

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_{ax} &= 500 - \frac{500}{4 \cdot 1245.77} \\ &= 499.90 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Didapat lah kapasitas penampang terhadap tekuk arah sumbu x (N) sebesar :

$$\begin{aligned} \text{➤ } C_{rx} &= \phi \cdot A_g \cdot F_{ax} \\ &= 0.9 \cdot 176.66 \cdot 499.90 \\ &= 79479.85 \text{ N} \end{aligned}$$

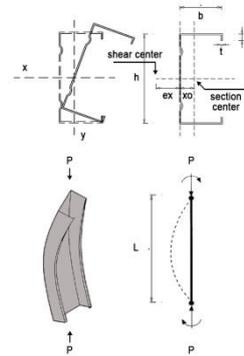
$$C_{rx} \geq P_{load}$$

$$79479.85 \text{ N} > 30790.82 \text{ N} \text{ (Aman)}$$

Hasil perhitungan kapasitas penampang gaya batang terhadap tekuk arah sumbu x

nilainya lebih besar dari gaya batang tekuk torsi yang terjadi, menandakan batas nilai gaya yang mengakibatkan tekuk arah sumbu x masih jauh dalam keadaan aman.

- Kapasitas Batang Tekan terhadap Tekuk pada sumbu z



Gambar 12. Tekuk lentur sumbu z

Modulus Geser

$$\begin{aligned} G &= \frac{E}{2(1+\mu)} \\ &= \frac{203000}{2(1+0.3)} \\ &= 78076.92 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Inersia torsi

$$J = \sum \left(\frac{1}{3} b \cdot t^3 \right)$$

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{1}{3} \cdot 36.90 \cdot 1^3 \right) + \left(\frac{1}{3} \cdot 76.05 \cdot 1^3 \right) + \\ &2 \left(\frac{1}{3} \cdot 10.05 \cdot 1^3 \right) \end{aligned}$$

2

$$= 56.65 \text{ mm}^4$$

Jarak shear center terhadap as elemen badan

$$\begin{aligned} \text{➤ } ex &= \frac{h^2 \cdot x_0}{4 \cdot r \cdot x^2} \\ &= \frac{76.05^2 \cdot 12.40}{4 \cdot 30.75^2} \\ &= 18.96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak titik berat menuju shear center

$$\begin{aligned} \text{➤ } x &= ex + x_0 \\ &= 18.96 + 12.40 \\ &= 31.36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Inersia terhadap sumbu y eksentris terhadap as badan

$$\begin{aligned} \text{➤ } I_w &= I_y + A \cdot x_0^2 \\ &= 33057.31 + 169.95 \cdot 12.40^2 \\ &= 59181.08 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Konstanta tekuk torsi

$$\text{➤ } C_w = \frac{h^2}{4} (I_w - x_0 \cdot ex \cdot A)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{76.05^2}{4} (59181.08 - \\ &12.40 \cdot 18.96 \cdot 169.95) \end{aligned}$$

$$= 27808597.39 \text{ mm}^6$$

$$= 106.72 \text{ Mpa}$$

- Inersia gabungan terhadap shear center
- $$I_{pz} = I_x + I_y + A \cdot x^2$$
- $$= 160692.81 + 33057.31 + (169.95 \times 31.36^2)$$
- $$= 360859.48 \text{ mm}^4$$

- Jari-jari girasi torsi
- $$r_o = \sqrt{\frac{I_{pz}}{A}}$$
- $$= \sqrt{\frac{360859.48}{169.95}}$$
- $$= 46.08 \text{ mm}$$

- Nilai konstanta beta
- $$\beta = 1 - \left(\frac{x}{r_o}\right)^2$$
- $$= 1 - \left(\frac{31.36}{46.08}\right)^2$$
- $$= 0.54$$

- Gaya kritis yang menyebabkan tekuk arah sumbu z
- $$P_z = \frac{1}{(r_o)^2} \left[GJ + \frac{\pi^2 EC_W}{(KL)^2} \right]$$
- $$= \frac{1}{(46.08)^2} \left[78076.92 \times 56.65 + \frac{3.14^2 \times 203000 \times 27808597.39}{(1 \times 1103.35)^2} \right]$$
- $$= 23615.40 \text{ N}$$

- Tegangan tekuk elastis arah aksis pada penampang sumbu simetri tunggal
- $$F_z = \frac{P_z}{A_g}$$
- $$= \frac{23615.40}{176.66}$$
- $$= 133.68 \text{ Mpa}$$

- Tegangan kritis tekuk torsi
- $$F_{st} = \frac{1}{2\beta} \left[F_z + F_{ex} - \sqrt{(F_z + F_{ex})^2 - 4\beta F_z \cdot F_{ex}} \right]$$
- $$= \frac{1}{2 \times 0.54} \left[133.68 + 1495.52 - \sqrt{(133.68 + 1495.52)^2 + 4 \times 0.54 \times 133.68 \times 1495.52} \right]$$
- $$= 128.12 \text{ Mpa}$$

- Maka tegangan kritis tekuk elastis arah sumbu torsi

- $$F_{pz} = 0.833 (F_{st}) = 0.833 \times 128.12$$

Dengan syarat jika :

$$F_{pz} \leq \frac{F_y}{2} \text{ maka } : F_{az} = F_{pz} \text{ dan jika,}$$

$$F_{pz} \geq \frac{F_y}{2} \text{ maka } : F_{az} = F_y - \frac{F_y}{4F_{pz}}$$

Dimana :

F_{az} : batas tegangan tekan arah sb torsi (MPa)

F_y : tegangan leleh (MPa)

Didapat,

$$F_{pz} = 106.72 \leq 250$$

Sehingga F_{az} (tegangan batas tekan arah sumbu torsi)

- $$F_{az} = F_{pz}$$
- Didapat lah kapasitas penampang terhadap tekuk torsi sebesar :
- $$C_{rx} = \phi \cdot A_g \cdot F_{az}$$
- $$= 0.9 \times 176.66 \times 106.72$$
- $$= 16968.23 \text{ N}$$

$$C_{rx} \leq P_{load}$$

$$16968.23 \text{ N} < 30790.82 \text{ N}$$

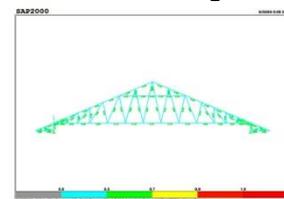
Hasil nilai sblm diperkuat (*Tdk aman*).

$$C_{rx} \leq P_{load}$$

$$37929,11 \text{ N} > 30790.82 \text{ N}$$

Hasil nilai setelah diperkuat (*aman*).

Dengan hasil nilai ratio sebagai berikut



Gambar 13. Diagram ratio elemen batang setelah diperkuat.

Tabel 1. Nilai diagram ratio batang

Frame	Station (m)	Output Case	P (N)	Ratio 1 (%)
89	1.10335	COMB2	-30790.82	0.394

Hasil perhitungan kapasitas penampang gaya batang terhadap tekuk torsi nilainya lebih kecil dari gaya batang tekuk torsi yang terjadi, menandakan batas nilai gaya yang mengakibatkan tekuk torsi dalam keadaan tidak aman, sehingga harus diberikan perkuatan dengan menambahkan luas penampang pada elemen batang tersebut.

Dari contoh desain batang tekan di atas dapat dilihat bahwa nilai kapasitas penampang dipengaruhi oleh :

1. Gaya Batang
Gaya batang berpengaruh dengan nilai batasan yaitu nilai rasio lebar elemen penampang. Jika rasio lebar elemen penampang lebih besar dari nilai batasannya, maka penampang efektif akan lebih kecil dari nilai penampang yang sesungguhnya. Sehingga semakin kecil nilai penampang maka kapasitasnya juga semakin kecil.
2. Panjang Batang
Kapasitas tekuk adalah sebuah fungsi yang berbanding terbalik dengan nilai panjang batang, sehingga semakin panjang sebuah batang, maka kapasitas tekuknya menjadi lebih kecil, begitu pula sebaliknya.
3. Mutu Bahan
Mutu bahan semakin tinggi maka kapasitas tekannya makin tinggi, namun perlu diperhatikan bahwa bahan dengan mutu tinggi mempunyai sifat yang getas.
4. Bentuk Profil Desain
Bentuk profil akan mempengaruhi besarnya parameter desain dan perilakunya. Bentuk profil yang paling baik adalah profil yang memiliki keseimbangan kekuatan baik dari sumbu lokal maupun lateralnya dan memiliki titik pusat penampang yang berimpit dengan *shear center* – nya.
5. Elemen Pengaku (*Stiffener*)
Akibat adanya elemen pengaku, maka nilai tebal efektif pada elemen penampang yang diperkuat akan menjadi lebih besar, sehingga kekuatan penampang juga akan menjadi semakin besar.

Apabila pada suatu desain batang tekan terjadi sebuah kasus dimana gaya batang yang terjadi lebih besar dari kapasitas nominal salah satu tekuk, maka batang tersebut dapat ditambah elemen perkuatan untuk meningkatkan nilai kapasitasnya.

Elemen perkuatan dapat berupa :

1. Trekstang
Pemasangan trekstang secara tegak lurus terhadap sumbu lemah penampang akan meningkatkan nilai kapasitas tekuk pada sumbu tersebut, karena akan mengurangi panjang tekuknya.
2. Pengaku Arah Longitudinal
Penggunaan pengaku arah longitudinal pada kedua ujung batang maupun tiap jarak tertentu akan meningkatkan nilai kapasitas torsi penampang sebesar 10 – 40 %, karena pemasangan elemen ini akan memperkecil nilai *warping* terutama pada ujung batang.
3. Pemasangan Profil Ganda
Untuk profil *single simetric*, pemasangan profil secara ganda dimana kedua ujung sayapnya saling bertemu, posisi *shear center* akan berubah menjadi berhimpit

dengan pusat penampangnya. Sehingga kemampuannya dalam menahan tekuk *euler* maupun tekuk torsi menjadi jauh lebih baik.

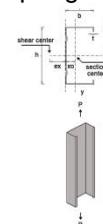
4.2.2 Desain Batang Tarik

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Luasan neto penampang} \\
 A_n &= A - n (db) (t) \\
 &= 169.95 - (4 \times 6 \times 1) \\
 &= 145.95 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

di mana :

A : luas bruto penampang profil (mm²)
 A_n : luas neto penampang profil (mm²)
 db : diameter baut (mm)
 n : jumlah baut
 t : tebal plat profil (mm)

2. Kapasitas penampang



Gambar 14. Batang tarik

➤ Kondisi leleh

Modulus penampang tarik (mm³)

$$\begin{aligned}
 S_t &= \frac{I_y}{x_o} \\
 &= \frac{33057.31}{12.40} \\
 &= 2666.31 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Sambungan berpusat pada sisi badan, maka

e = x_o = 12.40 mm

e = nilai eksentrisitas terhadap pusat penampang

$$\begin{aligned}
 T_{r1} &= \frac{\phi_t y F_y}{\frac{1}{A_n} + \frac{e}{S_t}} \\
 &= \frac{0.9 \times 500}{\frac{1}{145.95} + \frac{12.40}{2666.31}} \\
 &= 39125.00 \text{ N}
 \end{aligned}$$

T_{r1} > Pload = 4436.86 (Aman)

dimana :

A_n : luas neto penampang (mm²)

d : diameter baut (mm)

F_y : tegangan batas penampang (MPa)

I_y : inersia penampang arah y (mm⁴)

T_{r1}: kapasitas tarik pada kondisi leleh (N)

x_o:jarak pusat berat penampang tegak lurus terhadap elemen berlubang (mm)

ϕ_y: faktor tarik pada tegangan batas kondisi leleh (0.9)

➤ Kondisi ultimate

$$\begin{aligned}
 I_{yn} &= I_y - n.d.t.x_o^2 \\
 &= 33057.31 - 4 \times 6 \times 1 \times 12.40^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 29368.17 \text{ mm}^4 \\
 S_{tn} &= \frac{I_{yn}}{x_0} \\
 &= \frac{29368.17}{12.40} \\
 &= 2368.75 \text{ mm}^3 \\
 T_{r2} &= \frac{\phi_{tu} F_u}{\frac{1}{A_n} + \frac{1}{S_{tn}}} \\
 &= \frac{0.75 \times 660}{\frac{1}{145.95} + \frac{1}{2368.75}} \\
 &= 40957.46 \text{ N.}
 \end{aligned}$$

$T_{r2} > Pload = 4436.86$ (Aman)

dimana :

A_n : luas netto penampang (mm^2)

d : diameter baut (mm)

F_u : tegangan batas penampang (MPa)

I_{yn} : inersia penampang bersih arah y (mm^4)

n : jumlah baut

S_{tn} : modulus penampang tarik netto (mm^3)

t : tebal plat (mm)

T_{r2} : kapasitas tarik pada kondisi ultimate (N)

x_0 : jarak pusat berat penampang tegak lurus terhadap elemen berlubang (mm)

ϕ_{tu} : faktor tarik pada tegangan batas kondisi \ ultimate (0.75).

3. Kelangsingan batang Tarik

Batas kelangsingan

$$\lambda = \frac{KL}{r} < 300$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Sumbu lemah profil c merupakan sumbu y, maka :

$$r = \sqrt{\frac{33057.31}{169.95}}$$

$$= 13.65 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{1 \times 2669.05}{13.65} < 300$$

$$= 191.37 < 300$$

dimana :

λ : koefisien kelangsingan

I : momen inersia sumbu lemah penampang (mm^4)

A : luas penampang profi (mm^2)

K : faktor tekuk, tergantung dari perletakan ujung batang

L : panjang batang (mm)

r : jari-jari kelembaman sumbu lemah penampang (mm)

4. Perhitungan sambungan

• Spesifikasi baut :

Diameter baut (d) = 6 mm

Tegangan putus baut (f_u) = 778.57 Mpa

➤ Faktor resistensi geser

Luasan sekrup

$$A_b = \frac{1}{4} \pi (d)^2$$

$$= \frac{1}{4} 3.14 (6)^2$$

$$= 28.26 \text{ mm}^2$$

$$V_r = \phi_f \cdot 0.5 \cdot A_b \cdot f_u$$

$$= 0.75 \times 0.5 \times 28.26 \times 778.57$$

$$= 8250.90 \text{ N}$$

$$f_u \geq \frac{V_r}{A_b}$$

778.57 Mpa \geq 291.96 Mpa (Ok)

Dimana,

A_b : Luasan Sekrup

f_u : Tegangan Sekrup

ϕ_f : Faktor reduksi kekuatan untuk fraktur (0,75)

➤ Faktor resistensi Tarik

$$T_r = \phi_f \cdot 0.75 \cdot A_b \cdot f_u$$

$$= 0.75 \times 0.75 \times 28.26 \times 778.57$$

$$= 12376.34 \text{ N}$$

$$f_u \geq \frac{T_r}{A_b}$$

778.57 Mpa \geq 437.95 Mpa (Ok)

Dimana,

A_b : Luasan Sekrup

f_u : Tegangan Sekrup

ϕ_f : Faktor reduksi kekuatan untuk fraktur (0,75)

➤ Kuat tumpu baut

Kuat rencana

$$R_n = 2 \cdot d \cdot t_p \cdot f_u$$

$$= 2 \times 6 \times 1.18 \times 778.57$$

$$= 11041.65 \text{ N}$$

Kuat nominal

$$R_d = \phi_f \cdot R_n$$

$$= 0.75 \times 11041.65$$

$$= 8281.24 \text{ N /baut}$$

$$f_u \geq \frac{R_d}{A_b}$$

778.57 Mpa \geq 293.04 Mpa (Ok)

Jumlah baut

$$8281.24 \times 4 = 33124.95 \text{ N}$$

$$33124.95 \text{ N} > P \text{ load} = 30790,82 \text{ N}$$

Dimana,

R_n : Kuat rencana

R_d : Kuat nominal

ϕ_f : Faktor reduksi kekuatan utk fraktur (0,75)

d : Diameter baut

t_p : Tebal plat

• Spesifikasi baut dynabolt :

Diameter baut dynabolt (d) = 10 mm

Tegangan putus baut (f_u) = 400 Mpa

➤ Faktor resistensi geser

Luasan sekrup

$$A_b = \frac{1}{4} \pi (d)^2$$

$$= \frac{1}{4} 3.14 (10)^2$$

$$= 78.50 \text{ mm}^2$$

$$V_r = \phi_f \cdot 0.5 \cdot A_b \cdot f_u$$

$$= 0.75 \times 0.5 \times 78.50 \times 400$$

$$= 11775.00 \text{ N}$$

$$f_u \geq \frac{V_r}{A_b}$$

400 MPa \geq 150.00 MPa (Ok)

Dimana,

A_b : Luasan dynabolt

f_u : Tegangan dynabolt

ϕ_f : Faktor reduksi kekuatan untuk fraktur (0,75)

➤ Faktor resistensi Tarik

$$\begin{aligned} T_r &= \phi_f \cdot 0,75 \cdot A_b \cdot f_u \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 78.50 \times 400 \\ &= 17662,50 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_u \geq \frac{T_r}{A_b}$$

$$400 \text{ MPa} \geq 225 \text{ MPa (Ok)}$$

Dimana,

A_b : Luasan baut dynabolt

f_u : Tegangan baut dynabolt

ϕ_f : Faktor reduksi kekuatan untuk fraktur (0,75)

➤ Kuat tumpu baut dynabolt

Kuat rencana

$$\begin{aligned} R_n &= 2 \cdot d \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 2 \times 10 \times 3 \times 400 \\ &= 24000 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal

$$\begin{aligned} R_d &= \phi_f \cdot R_n \\ &= 0,75 \times 24000 \\ &= 18000 \text{ N /baut dynabolt} \end{aligned}$$

$$f_u \geq \frac{R_d}{A_b}$$

$$400 \text{ Mpa} \geq 229.30 \text{ Mpa (Ok)}$$

Jumlah baut Dynabolt

$$18000 \times 2 = 36000 \text{ N}$$

$$36000 \text{ N} > P \text{ load Ra} = 23892.07 \text{ N}$$

Dimana,

R_n : Kuat rencan

R_d : Kuat nominal

ϕ_f : Faktor reduksi kekuatan fraktur (0,75)

d : Diameter baut

t_p : Tebal plat

• Spesifikasi balok beton :

$$\text{Tinggi balok beton (h)} = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar balok beton (l)} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat tegangan (} f_c' \text{)} = 20 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu beton} = \text{K 250}$$

➤ Luasan balok beton

$$\begin{aligned} A_b &= h \times l \\ &= 400 \times 200 \\ &= 80000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$(f_c') \geq \frac{R_d}{A_b}$$

$$20 \text{ MPa} \geq 0.3 \text{ MPa (Ok)}$$

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa:

- Nilai kapasitas penampang dari batang tekan dipengaruhi oleh : Lebar elemen, Panjang Batang, Mutu bahan, Bentuk Profil Desain Canal C dan Elemen Pengaku (*Stiffener*).

- Nilai kapasitas penampang batang tarik dipengaruhi: Luas Penampang Profil, Mutu bahan dan *Eksentrisitas*.

DAFTAR PUSTAKA

- The Council Of The South African Bureau Of Standart, SABS 0162-2:1993. *The Structural Use Of Steel, Part 2 : Limit-states design of cold-formed steel work*, Published by The Council Of The South African Bureau Of Standart
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, Standart Nasional Indonesia SNI 03-1729-02, *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*, DPU.
- Frick. H, (1978), *Mekanika Teknik 1, statika dan kegunaannya*, Penerbit Kanisius Yogyakarta.
- Sumargo, (2009), *Perancangan Struktur Baja Metode LRFD (Load and Resistance Factor Design) Elemen Aksial*, POLBAN (Politeknik
- H. Frick, (2002), *Ilmu Konstruksi Bangunan 2*, Penerbit Kanisius Yogyakarta.
- KiBagus, (2011), Akses (2017), *Bentuk konstruksi kuda-kuda berdasar lebar bentang*.
- Rogan, A. L. and Lawson, R. M., (1998), *Value and Benefit Assessment of Light Steel Framing in Housing*, The Steel Construction Institute, UK.
- Wei – Wen yu and Roger Ala Baube, Copyright (2010), *Cold-Formed steel design*, Missouri University of Science and Technology (Formerly University of Missouri-Rolla) Rolla, Missouri, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Published simultaneously in Canada.
- ANSI/AISC 360-05, American Institute Of Steel Construction, INC, (2005), *Specification For Structural Steel Buildings*, American Institute Of Steel Construction, INC, One East Wacker Drive,
- Wiryanto Dewobroto, (2007), *Aplikasi RekayasaKonstruksi dengan SAP2000*, , Penerbit PT Elex Media Komputindo.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1987), *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung, SKBI - 1.3.53.1987*, Standar Konstruksi Bangunan Indonesia, Diterbitkan Oleh Yayasan Badan Penerbit PU.
- Heinz Frick, (1972), *Mekanika Bahan Jilid I*, Penerbit Erlangga