

STUDI KUAT LENTUR BALOK PROFIL C GANDA DENGAN PERANGKAI TULANGAN DIAGONAL

Haryanto Yoso Wigroho¹, Jonathan Alfarado²

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
Jl.Babarsari 44 Yogyakarta, Email: haryanto@mail.uajy.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta,
Jl.Babarsari 44 Yogyakarta, Email: joealfa13@gmail.com

Abstract: Building construction like column, beam and girder at bridge generally used WF (wide flange) profile steel which is a steel from hot rolled steel process. For light construction like gording normally used channel (C) profile steel which is cold formed steel process. Therefore, this thesis research want to try to make a beam use channel (C) profile steel. In this paper, the test specimen in form of double channel (C) profile steel reinforcement with diagonal connector varied range of the connector welding with a distance h , $1,5h$, $3h$. Where h is then beam height of 20 cm. The method used in this thesis research is an experimental method which aims to find out the maximum load that can be acceptable by double channel (C) profile beam. The result obtained from this thesis research are the test specimen with the code BCG200-2 can withstand the load of 1821,5280 kg, and then the test specimen with the code BCG300-1 can withstand the load of 1600,3116 kg, and the last test specimen with the code BCG600-2 can withstand the load of 841,8180 kg. From the result of this thesis research obtained too that the test specimen with the code BCG200-2 is the beam with most bending stress that is 102,9526 MPa.

Keywords : beam, steel, double channel, reinforcement with diagonal connector, bending stress, maximum load.

Abstrak: Konstruksi bangunan seperti kolom, balok dan gelagar jembatan biasanya menggunakan baja profil WF (wide flange) yang merupakan baja dari proses pembentukan keadaan panas (hot rolled steel). Untuk konstruksi ringan seperti gording biasanya digunakan baja profil C yang merupakan baja dari pembentukan keadaan dingin (cold formed). Maka dari itu, pada penelitian ini ingin mencoba membuat balok dengan menggunakan baja profil C. Pada tugas akhir ini, benda uji berupa baja profil C ganda dengan perangkai tulangan diagonal yang divariasikan jarak las perangkainya dengan jarak h , $1,5h$, $3h$. Dimana h adalah tinggi balok yaitu 20 cm. Metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini ialah metode eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar beban maksimal yang dapat diterima balok profil C ganda. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah benda uji dengan kode BCG200-2 mampu menahan beban sebesar 1821,5280 kg, kemudian benda uji dengan kode BCG300-1 mampu menahan beban sebesar 1600,3116 kg, dan yang terakhir benda uji dengan kode BCG600-2 mampu menahan beban sebesar 841,8180 kg. Dari hasil penelitian ini juga didapatkan bahwa benda uji dengan kode BCG200-2 adalah balok dengan tegangan lentur terbesar yaitu 102,9526 MPa.

Kata Kunci : balok, baja, profil C ganda, perangkai tulangan diagonal, tegangan lentur, beban maksimum.

PENDAHULUAN

Baja adalah bahan dasar vital untuk industri. Semua segmen kehidupan, mulai dari peralatan dapur, transportasi, generator pembangkit listrik, sampai kerangka gedung dan jembatan menggunakan baja. Eksploitasi besi baja menduduki peringkat pertama di antara barang tambang logam dan produknya melingkupi hampir 95% dari produk barang berbahan logam. Baja mempunyai beberapa kelebihan, yaitu keseragaman bahan dan sifat-sifatnya

yang dapat diduga secara cukup tepat, kestabilan dimensionalnya, kemudahan pembuatan dan cepatnya pelaksanaan. Namun, baja juga mempunyai beberapa kekurangan, yaitu mudah mengalami korosi, kekuatan akan berkurang pada temperatur tinggi dan harganya cukup mahal.

Berdasarkan proses pembuatan profil baja, ada 2 cara pembentukan profil baja yaitu pembentukan pada keadaan panas (*hot rolled steel*) dan pembentukan pada keadaan dingin (*cold formed*). Profil yang dihasilkan dari

proses pembentukan pada keadaan panas dibuat dengan cara melewatkannya di dalam gilasan dalam keadaan panas-merah, sedangkan profil dari poses pembentukan pada keadaan dingin dibentuk dari bahan lembaran-lembaran baja tipis dengan tebal tidak lebih dari 12,7 mm dan tidak kurang dari 0,3785 mm (Johnston, 1978).

Konstruksi bangunan seperti kolom, balok dan gelagar jembatan biasanya menggunakan baja profil WF (*wide flange*) yang merupakan baja dari proses pembentukan keadaan panas (*hot rolled steel*). Untuk konstruksi ringan seperti gording biasanya digunakan baja profil C yang merupakan baja dari pembentukan keadaan dingin (*cold formed*). Maka dari itu, pada penelitian ini ingin mencoba membuat balok dengan menggunakan baja profil C.

Baja profil C mempunyai kelemahan yaitu pada stabilitasnya yang kurang baik karena bentuknya yang tidak simetris, kemudian perbandingan tebal dan lebar dari profil C yang cukup besar sehingga kurang stabil dalam menahan beban dan akan sering mengalami tekukan atau puntiran sebelum mencapai tegangan lelehnya. Dalam penelitian ini akan dicoba menggabungkan 2 buah baja profil C dengan jarak tertentu dan diberi perangkai diagonal berupa besi tulangan dengan jarak tertentu juga. Dengan adanya modifikasi ini diharapkan dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap kekuatan baja profil C dalam menahan beban.

PERMASALAHAN

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan diatas, maka masalah yang dapat dirumuskan adalah :

1. Besar beban maksimal yang dapat diterima oleh balok baja profil C ganda dengan perangkai berupa besi tulangan.
2. Variasi jarak titik pengelasan perangkai sehingga kekuatannya maksimal.

BATASAN MASALAH

Batasan-batasan masalah yang diperlukan agar penelitian lebih fokus antara lain :

1. Pengujian dilakukan pada baja profil C yang ada di pasaran dengan ukuran : C 75 x 45 x 2,3 namun ukuran sebenarnya adalah tinggi badan 71 mm, lebar 23 mm, tinggi bibir 8,2 mm, tebal 2,2 mm. Tinggi benda uji adalah

300 mm dan panjang benda uji 2000 mm yang digabungkan.

2. Balok profil C yang diuji adalah balok ganda dengan beban terpusat di dua titik dengan jarak 1/3 bentang.
3. Benda uji berupa balok baja profil C ganda sebanyak 3 buah. Masing-masing benda uji kemudian menggunakan perangkai diagonal berupa besi tulangan diameter 8 mm dengan variasi jarak h , $1,5h$, $3h$, dengan h adalah tinggi benda uji.
4. Penelitian ini hanya mengamati beban, defleksi dan rotasi pada badan.
5. Pengujian benda uji dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan pada SNI 03-1729-2002 baja dapat dibedakan dalam beberapa jenis menurut besarnya tegangan putus (F_u) dan tegangan leleh (F_y) seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Sifat Mekanis Baja

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, F_u (MPa)	Tegangan leleh Minimum, F_y (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sifat-sifat mekanis baja lainnya untuk perencanaan struktur dapat diambil sebagai berikut :

$$\text{Modulus elastik : } E = 200000 \text{ MPa}$$

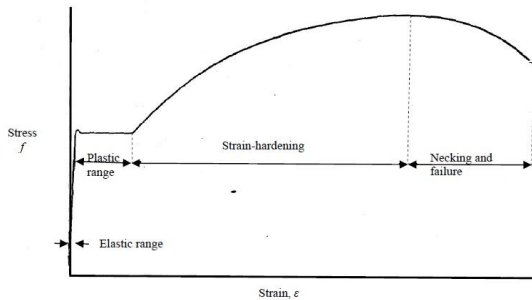
$$\text{Modulus geser: } G = 80000 \text{ MPa}$$

$$\text{Nisbah poisson : } \mu = 0,3$$

$$\text{Koefisien pemuaian: } \alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

Ada dua karakteristik yang dapat menggambarkan perilaku sebuah material untuk struktur yaitu kekuatan dan daktilitas. Pada gambar 1 ditunjukkan sebuah grafik perilaku karakteristik baja. Beberapa daerah perilaku

karakteristik baja yang ditunjukkan pada gambar tersebut antara lain : *the elastic range* (daerah elastis), *the plastic range* (daerah plastis), *the strain-hardening range* (daerah pengerasan regangan), dan *the neckling and failure range* (daerah leleh) (Tall, 1974).



Gambar 1. Grafik Tegangan-Regangan Untuk Baja (Tall, 1974)

Nugroho (2011) meneliti balok baja profil C ganda di las dengan berbagai variasi jarak. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini ialah beban maksimum terhadap balok dengan jarak las $3h$ sebesar 1448,577 kg, balok dengan jarak las $4h$ sebesar 1385,207 kg, dan balok dengan jarak las $5h$ sebesar 1393,895 kg. Sehingga dapat disimpulkan bahwa balok dengan jarak las $3h$ adalah yang mampu menahan beban maksimum. Balok yang memiliki tegangan lentur tertinggi adalah balok dengan jarak las $4h$ sebesar 121,1714 MPa. Balok yang memiliki tingkat daktilitas paling tinggi adalah balok dengan jarak las $3h$.

Rahman (2015) meneliti balok komposit profil C ganda menggunakan beton ringan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini ialah kuat tarik baja profil C memiliki tegangan leleh f_y sebesar 263,6899 MPa, tegangan maksimum f_u sebesar 339,9639 MPa dan modulus elastis baja sebesar $E = 199465,9791$ MPa. Nilai tegangan lentur akibat momen yang diterima benda uji pada masing-masing benda uji berbeda, nilai tegangan baja sebesar 125,7741 MPa dan nilai tegangan beton sebesar 7,325 MPa untuk benda uji dengan kode BK SV. Benda uji dengan kode BK DV memiliki tegangan baja sebesar 156,5565 MPa dan tegangan beton sebesar 9,1178 MPa. Balok komposit dengan kode BK DV yang memiliki teganan lentur terbesar.

Sinaga (2005) melakukan penelitian perilaku lentur baja profil C tunggal menggunakan

perkuatan tulangan arah vertikal, panjang bentang profil kanal C 1,8 m dan variasi jarak perkuatan adalah kelipatan tinggi badan balok yaitu $h, 1,5h, 2h, 2,5h$, dengan h adalah tinggi balok dan perkuatan menggunakan baja tulangan berdiameter 6 mm. Nilai tegangan lentur untuk variasi jarak perkuatan $1,0h, 1,5h, 2h, 2,5h$ berturut-turut 49,32 MPa, 45,13 MPa, 40,75 MPa, 32,96 MPa dan tanpa perkuatan sebesar 19,47 MPa.

Wigroho (2013) melakukan penelitian studi kekuatan rangkai atap *monoframe* menggunakan profil C ganda. Beban maksimum yang mampu diterima oleh masing-masing benda uji yaitu MS20B3 sebesar 4992,2 kg, MS20B5 sebesar 3786 kg, MS35B3 sebesar 6755 kg, dan MS35B5 sebesar 6824 kg. Defleksi maksimum yang terjadi pada rangka atap *monoframe* dengan profil C ganda yaitu MS20B3 sebesar 107,13915 mm, MS20B5 sebesar 81,5140 mm, MS35B3 sebesar 39,9323 mm, dan MS35B5 sebesar 42,7434 mm.

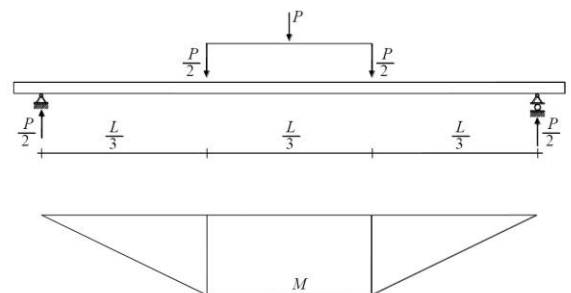
LANDASAN TEORI

Tegangan lentur (F_b) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_b = \frac{M \cdot y}{I} \tag{1}$$

Menurut Gambar 2, hubungan beban (P) dan momen (M) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$M = \frac{P}{2} \left(\frac{L}{3} \right) = \frac{PL}{6} \tag{2}$$



Gambar 2. Beban (P) dan momen (M) pada balok

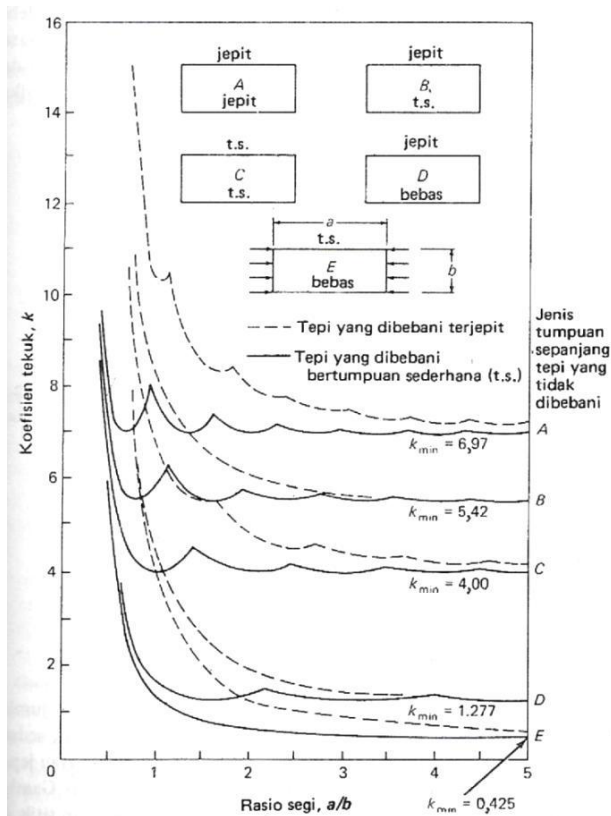
Tegangan tekuk kritis pada badan sama seperti tegangan tekuk pada pelat, ialah dengan persamaan berikut :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} \quad (4)$$

Keterangan :

- k = koefisien tekuk pelat
- E = modulus elastisitas bahan
- ν = nisbah poisson
- b/t = rasio lebar dan tebal pelat

Koefisien tekuk k merupakan fungsi dari jenis tegangan (tekanan merata pada dua tepi yang berseberangan) dan kondisi tumpuan tepi (keempat tepi merupakan tumpuan sederhana), di samping rasio segi (*aspect ratio*) a/b yang terdapat langsung dalam persamaan. Gambar 3 memperlihatkan variasi koefisien k terhadap rasio segi, a/b .

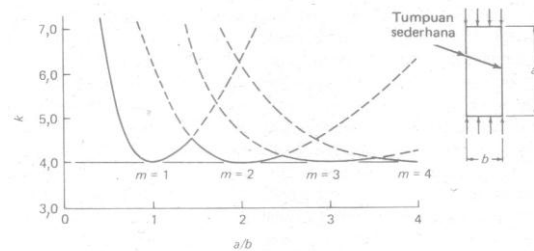


Gambar 3. Koefisien k untuk tekanan pada pelat segi-empat (Salmon dan Johnson, 1986)

Koefisien tekuk pelat seperti ditunjukkan pada persamaan diatas bersifat umum dalam koefisien k , dan penurunannya untuk persamaan tersebut dapat digunakan kasus khusus yang dinyatakan sebagai berikut :

$$k = \left[\frac{1}{m} \frac{a}{b} + m \frac{b}{a} \right]^2 \quad (5)$$

Nilai m merupakan jumlah setengah gelombang yang terjadi dalam arah x pada saat tertekuk (Salmon dan Johnson, 1986). Gambar 4 menunjukkan bahwa sembarang jumlah setengah gelombang memiliki nilai k minimum, yaitu kondisi terlemah. Dapat terlihat bahwa kondisi terlemah ini terjadi bila panjang pelat merupakan kelipatan bulat tanpa pecahan dari lebarnya, dan kelipatan ini sama dengan jumlah setengah gelombang.



Gambar 4. Koefisien tekuk pelat yang ditekan secara merata, tepi longitudinal bertumpuan sederhana (Salmon dan Johnson, 1986)

Menurut SNI 1729-2015, analisis kekompakkan penampang profil C dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut :

Analisis kekompakkan sayap :

$$\lambda = \frac{bf}{t_f} \quad (6)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (7)$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (8)$$

Keterangan :

Jika $\lambda \leq \lambda_p$, maka penampang profil merupakan penampang kompak.

Jika $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, maka penampang profil merupakan penampang nonkompak.

Jika $\lambda_r \leq \lambda$, maka penampang profil merupakan penampang langsing.

Jika badan profil merupakan penampang kompak dan sayap profil merupakan penampang nonkompak, maka penampang profil tersebut merupakan penampang nonkompak. Dan setelah menentukan kekompakkan penampang profil, untuk menghitung nilai momen nominal (M_n) digunakan rumus sebagai berikut :

1. Jika penampangnya kompak, cek tekuk lateral-torsional (LTB) seperti berikut :

a) Jika $L_b \leq L_p$, maka tidak ada tekuk lateral-torsional, sehingga

$$M_n = M_p \tag{9}$$

b) Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka itu adalah inelastis tekuk lateral-torsional, sehingga

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \tag{10}$$

c) Jika $L_b > L_r$, maka itu adalah elastis LTB, sehingga

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \tag{11}$$

Keterangan :

L_b = panjang titik ke titik tanpa bresing

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \tag{12}$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E} \right)^2}} \tag{13}$$

$$M_p = F_y Z_x \tag{14}$$

$$Z_x = \left(\frac{A}{2} \right) a \tag{15}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / r_{ts})^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \tag{16}$$

2. Jika penampangnya nonkompak karena sayap, kekuatan nominalnya akan lebih kecil dari kekuatan yang sesuai dengan tekuk lokal sayap dan tekuk lateral-torsional.

a) Tekuk Lokal Sayap

Jika $\lambda \leq \lambda_p$, maka tidak ada tekuk lokal sayap.

Jika $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$, maka sayap merupakan nonkompak, sehingga

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \tag{17}$$

b) Tekuk Lateral-Torsional

Jika $L_b \leq L_p$, maka tidak ada tekuk lateral-torsional.

Jika $L_p < L_b \leq L_r$, maka itu adalah inelastis tekuk lateral-torsional, sehingga

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \tag{18}$$

Jika $L_b > L_r$, maka itu adalah elastis LTB, sehingga

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \tag{19}$$

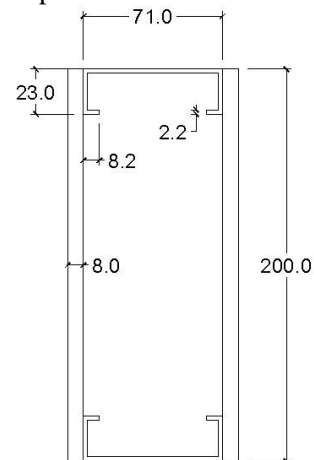
Keterangan :

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{(L_b / r_{ts})^2} \tag{20}$$

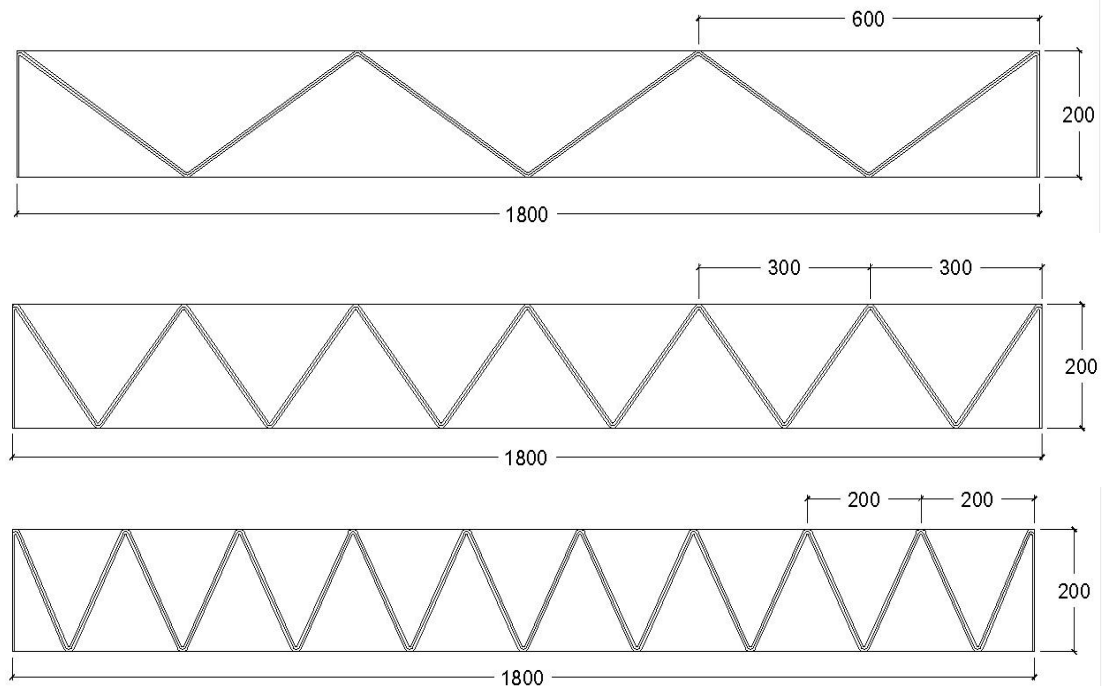
PELAKSANAAN PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan percobaan. Tahapan pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Studi pustaka mengenai profil C yang digunakan sebagai struktur berat dan macam-macam variasi perkuatan yang pernah dilakukan pada profil C.
2. Pembuatan benda uji dalam penelitian ini ialah balok profil C ganda dengan perangkai tulangan. Dimensi benda uji ialah panjang (L) = 2000 mm, tinggi (h) = 200 mm dan tebal (t) = 2,2 mm. Dibuat 6 benda uji untuk penelitian ini, 2 benda uji dengan variasi jarak las h , 2 benda uji dengan variasi jarak las $1,5h$ dan 2 benda uji dengan variasi jarak las $3h$. Kemudian pembuatan sampel untuk kuat tarik baja profil C dan besi tulangan diameter 8 mm masing-masing 3 buah sampel benda uji.
3. Pengujian balok profil C ganda dengan perangkai tulangan diagonal, dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya.
4. Analisis data hasil pengujian dan pembuatan laporan hasil penelitian.



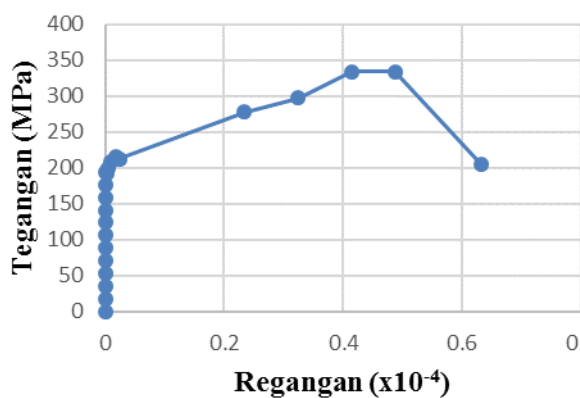
Gambar 5. Penampang Profil C Ganda (dalam mm)



Gambar 6. Benda Uji Balok Profil C Ganda (dalam mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian kuat tarik baja profil C akan diperoleh nilai tegangan dan regangannya. Setelah mendapat data tersebut, kemudian dibuat grafik hubungan tegangan-regangan untuk baja profil C. Dari grafik hubungan tegangan-regangan baja profil C dapat diperoleh nilai tegangan luluh baja profil C (F_y)



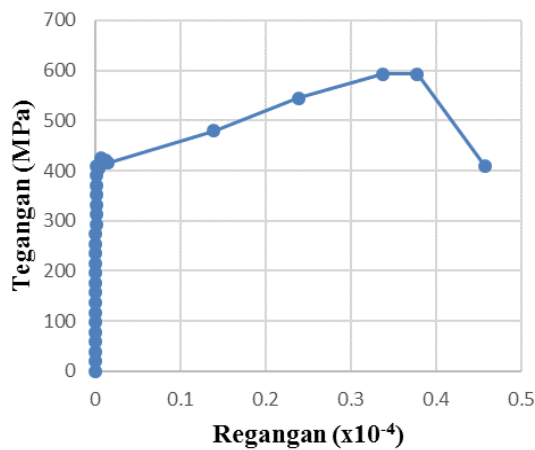
Gambar 7. Grafik Tegangan-Regangan Baja Profil C

Pada pengujian kuat tarik besi tulangan akan diperoleh nilai tegangan dan regangannya. Setelah mendapat data tersebut, kemudian dibuat grafik hubungan tegangan-regangan

sebesar 212,2665 MPa dengan nilai regangan luluh profil C (ϵ_y) sebesar 0,000871. Dengan membagi nilai tegangan luluh baja profil C (F_y) terhadap nilai regangan luluh profil C (ϵ_y) maka dapat diperoleh nilai modulus elastisitas (E) baja profil C sebesar 223284,5769 MPa. Grafik pengujian kuat tarik baja profil C dari benda uji ditunjukkan pada gambar 7.

untuk besi tulangan. Kemudian dari grafik tegangan-regangan besi tulangan dapat diperoleh nilai tegangan luluh baja besi tulangan (F_y) sebesar 405,3620 MPa dengan nilai regangan luluh besi tulangan (ϵ_y) sebesar 0,002023. Dengan membagi nilai tegangan luluh besi tulangan (F_y) terhadap nilai regangan luluh besi tulangan (ϵ_y) maka dapat diperoleh nilai modulus elastisitas (E) besi tulangan sebesar 200352,8153 MPa. Grafik pengujian kuat tarik besi tulangan dari benda uji ditunjukkan pada gambar 8. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 buah benda uji yang dibedakan berdasarkan variasi jarak las perangkat tulangannya. Variasi jarak yang digunakan ialah h , $1,5h$, dan $3h$. Setelah dilakukan pengujian terhadap benda uji, dapat diperoleh data beban dan lendutan yang kemudian akan dianalisis untuk mendapatkan nilai tegangan lentur maksimum masing-masing benda uji.

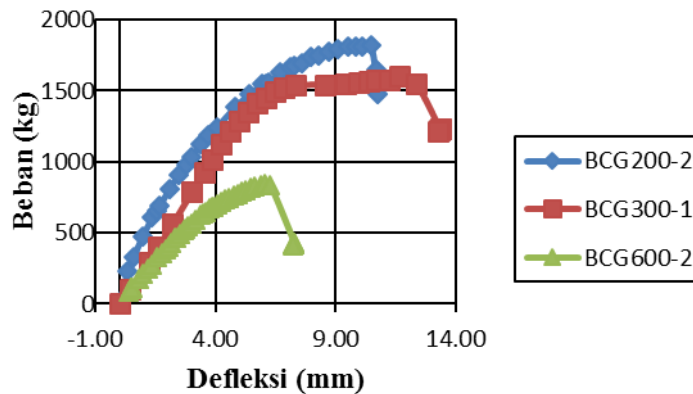
Pada pengujian kuat lentur balok profil C ganda dengan perangkat tulangan ini, diberikan perlakuan berupa beban terpusat di 2 titik dengan jarak setiap sepertiga bentang benda uji (jarak dari tumpuan ke tumpuan). Benda uji diberikan beban secara bertahap menggunakan *hydraulic jack* sampai pada beban maksimum yaitu ketika benda uji mengalami kerusakan. Kemudian akan diperoleh data hasil pembacaan dari *Data Logger Dewetron 201*. Dari data output yang didapatkan dapat dibuat grafik.



Gambar 8. Grafik Tegangan-Regangan Besi Tulangan

Beban maksimum yang diterima masing-masing benda uji berbeda. Untuk benda uji dengan kode BCG200-2 dapat menopang beban maksimum sebesar 1821,5280 kg. Untuk benda uji dengan kode BCG300-1 dapat menopang beban maksimum sebesar 1600,3116 kg. Untuk benda uji dengan kode BCG600-2 dapat menopang beban maksimum sebesar 841,8180 kg. Berdasarkan data diatas benda uji dengan kode BCG200-2 dengan variasi jarak las terpendek mampu menahan beban paling besar yaitu 1821,5280 kg, sehingga benda uji dengan kekuatan yang paling maksimal pada penelitian ini adalah benda uji dengan variasi jarak las h .

Dari gambar grafik diatas juga dapat diketahui bahwa tingkat daktilitas masing-masing benda uji berbeda. Dan benda uji yang memiliki tingkat daktilitas terbesar ialah benda uji dengan kode BCG300-1. Hal ini disebabkan karena benda uji BCG300-1 mampu meregang paling maksimum diantara benda uji yang lain. Benda uji dengan kode BCG300-1 adalah benda uji dengan variasi jarak las $1,5h$.



Gambar 9. Grafik Hubungan Beban-Defleksi Benda Uji

Keterangan :

- BCG200-2 = Benda uji dengan variasi jarak las h
- BCG300-1 = Benda uji dengan variasi jarak las $1,5h$
- BCG600-2 = Benda uji dengan variasi jarak las $3h$

Sesuai dengan ketentuan didalam SNI 03-1729-2002, bahwa batas-batas defleksi untuk keadaan kemampuan layan batas yang diizinkan tidak boleh melebihi :

$$\delta = \frac{L}{240} \tag{21}$$

Panjang bentang yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1,8 meter, maka batas syarat untuk lendutannya ialah :

$$\delta = 7,5 \text{ mm}$$

Momen maksimum yang terjadi pada balok ialah :

$$M = \frac{PL}{6} \quad (22)$$

Nilai tegangan lentur (F_b) izin profil C ganda pada penelitian ini dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$F_b = \frac{My}{I} \quad (23)$$

Keterangan:

δ = lendutan (mm)

L = panjang bentang (m)

M = momen (kgm)

P = beban (kg)

F_b = tegangan lentur (kg/m^2)

y = jarak ke garis netral (mm)

I = inersia penampang (mm^4)

Nilai inersia penampang gabungan dari benda uji adalah $4782654,5419 \text{ mm}^4$. Maka dari itu nilai tegangan lentur untuk masing-masing benda uji dapat diketahui dengan cara sebagai berikut :

Benda uji dengan kode BCG200-2

Pada defleksi sebesar 7,2967 mm mampu menerima beban sebesar 1673,0778 kg, sehingga dapat dihitung nilai momennya sebagai berikut :

$$M = \frac{PL}{6} = \frac{1673,0778(1,8)}{6}$$

$$M = 501,92334 \text{ kgm}$$

Dengan batas nilai defleksi $\delta = 7,5 \text{ mm}$, $I = 4782654,5419 \text{ mm}^4$, dan $y = 100 \text{ mm}$, maka nilai tegangan lentur dapat diperoleh dengan cara :

$$F_b = \frac{My}{I} = \frac{501,92334(100 \times 10^{-3})}{4782654,5419 \times 10^{-12}}$$

$$F_b = 10494660,14 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$F_b = 102,9526 \text{ MPa}$$

Menurut AISC, tegangan lentur maksimum yang diperbolehkan untuk sayap (*flens*) suatu gelagar atau balok ialah :

$$F_b \leq 0,6 F_y$$

Dari pengujian kuat tarik profil C, diperoleh $F_y = 212,2665 \text{ MPa}$. Maka perbandingan nilai F_y dan nilai F_b benda uji adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,485 F_y$$

Benda uji dengan kode BCG300-1

Pada defleksi sebesar 7,3338 mm mampu menerima beban sebesar 1538,5404 kg, sehingga dapat dihitung nilai momennya sebagai berikut :

$$M = \frac{PL}{6} = \frac{1538,5404(1,8)}{6}$$

$$M = 461,56215 \text{ kgm}$$

Dengan batas nilai defleksi $\delta = 7,5 \text{ mm}$, $I = 4782654,5419 \text{ mm}^4$, dan $y = 100 \text{ mm}$, maka nilai tegangan lentur dapat diperoleh dengan cara :

$$F_b = \frac{My}{I} = \frac{461,56215(100 \times 10^{-3})}{4782654,5419 \times 10^{-12}}$$

$$F_b = 9650752,442 \text{ kg}/\text{m}^2$$

$$F_b = 94,6739 \text{ MPa}$$

Menurut AISC, tegangan lentur maksimum yang diperbolehkan untuk sayap (*flens*) suatu gelagar atau balok ialah :

$$F_b \leq 0,6 F_y$$

Dari pengujian kuat tarik profil C, diperoleh $F_y = 212,2665 \text{ MPa}$. Maka perbandingan nilai F_y dan nilai F_b benda uji adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,446 F_y$$

Benda uji dengan kode BCG600-2

Pada defleksi sebesar 6,2813 mm mampu menerima beban sebesar 835,0598 kg, sehingga dapat dihitung nilai momennya sebagai berikut:

$$M = \frac{PL}{6} = \frac{835,0598(1,8)}{6}$$

$$M = 250,51794 \text{ kgm}$$

Dengan batas nilai defleksi $\delta = 7,5 \text{ mm}$, $I = 4782654,5419 \text{ mm}^4$, dan $y = 100 \text{ mm}$, maka nilai tegangan lentur dapat diperoleh dengan cara :

$$F_b = \frac{My}{I} = \frac{250,51794(100 \times 10^{-3})}{4782654,5419 \times 10^{-12}}$$

$$F_b = 5238052,17 \text{ kg/m}^2$$

$$F_b = 51,3853 \text{ MPa}$$

Menurut AISC, tegangan lentur maksimum yang diperbolehkan untuk sayap (*flens*) suatu gelagar atau balok ialah :

$$F_b \leq 0,6 F_y$$

Dari pengujian kuat tarik profil C, diperoleh $F_y = 212,2665 \text{ MPa}$. Maka perbandingan nilai F_y dan nilai F_b benda uji adalah sebagai berikut :

$$F_b = 0,2421 F_y$$

Setelah didapatkan nilai tegangan lentur yang terjadi terhadap benda uji, dapat dilihat adanya perubahan nilai tegangan lentur tersebut berdasarkan variasi jarak las. Nilai tegangan lentur benda uji dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Nilai Tegangan Lentur Tiap Benda Uji

No	Benda Uji	Tegangan Lentur (MPa)
1	BCG200-2	102,9526
2	BCG300-1	94,6739
3	BCG600-2	51,3853

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa benda uji dengan nilai tegangan lentur terbesar adalah benda uji dengan kode BCG200-2 yaitu balok profil C ganda dengan variasi jarak las h .

Tegangan tekuk kritis tidak boleh lebih kecil dari tegangan leleh pada elemen plat. Dengan kata lain, tekuk dicegah sebelum tegangan rata-rata sebesar F_y tercapai dengan menerapkan batasan dasar (Salmon dan Johnson, 1986). Batasan dasar untuk mencegah tekuk adalah :

$$F_{cr} = \frac{k\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)(b/t)^2} \geq F_y$$

Tegangan tekuk kritis pada badan profil C sama dengan tegangan tekuk pada pelat, sehingga dapat dihitung seperti dibawah ini :

$$F_{cr} = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)(b/t)^2}$$

$$F_{cr} = 0,425 \frac{\pi^2 \cdot 223284,5769}{12(1 - 0,3^2)(31,2/2,2)^2}$$

$$F_{cr} = 426,4429 \text{ MPa} > F_y = 212,2665 \text{ MPa}$$

Nilai tegangan leleh (F_y) sebesar 212,2665 Mpa dan modulus elastiknya (E) sebesar

223284,5769 MPa, kemudian dilakukan analisis kekompakan penampang profil C berdasarkan syarat menurut SNI 1729-2015.

Analisis kekompakan sayap :

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} = \frac{31,2}{(2,2)} = 14,1818$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{223284,5769}{212,2665}} = 12,3246$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{223284,5769}{212,2665}} = 32,4331$$

$$\lambda_p \leq \lambda < \lambda_r,$$

maka penampang sayap nonkompak.

Dapat disimpulkan bahwa penampang profil C merupakan penampang nonkompak sehingga momen nominal (M_n) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)$$

Dimana :

$$M_p = F_y Z_x$$

$$M_p = F_y \left(\frac{A}{2} \right) a$$

$$M_p = 212,2665 \left(\frac{548,24}{2} \right) 186,1146$$

$$M_p = 10829355,87 \text{ Nmm}$$

$$S_x = \frac{I}{c}$$

$$S_x = \frac{4782654,5419}{100}$$

$$S_x = 47826,5454 \text{ mm}^3$$

Maka :

$$M_n = M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right)$$

$$M_n = 10485505,85 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 10,4855 \text{ KNm}$$

Nilai momen nominal (M_n) yang telah dihitung diatas digunakan sebagai momen teoritis (M), sehingga dapat dihitung nilai beban teoritis (P) seperti berikut :

$$M = \frac{PL}{6}$$

$$10,4855 = \frac{P(1,8)}{6}$$

$$P = 34,9517 \text{ KN}$$

$$P = 3,5629 \text{ ton}$$

Dari perhitungan diatas, beban maksimum teoritis yang dapat diterima balok profil C ganda adalah 3562,9 kg sedangkan beban tertinggi yang dapat diterima balok profil C ganda menurut penelitian adalah 1821,5280 kg. Maka dari itu, berarti kekuatan sebenarnya balok menurut penelitian ini mengalami penurunan. Hal ini mungkin dapat disebabkan kegagalan atau kesalahan yang dilakukan selama proses pembuatan benda uji, yang paling berpotensi besar adalah saat proses pengelasan. Karena pada saat proses pengelasan, penulis tidak memperhatikan dan melakukannya dengan baik, sehingga mungkin profil C mengalami panas yang berlebihan sehingga membuat kekuatan dari profil C menurun.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah didapat dan dianalisis oleh penulis, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan dari penelitian studi kuat lentur balok profil C ganda dengan perangkai besi tulangan diagonal yang divariasasi jarak lasnya, adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian kuat lentur balok profil C ganda dengan perangkai tulangan diagonal yang telah dilakukan didapatkan beban maksimum yang dapat diterima oleh masing-masing benda uji berbeda-beda. Untuk benda uji dengan kode BCG200-2 beban maksimumnya sebesar 1821,5280 kg, untuk benda uji dengan kode BCG300-1 beban maksimumnya sebesar 1600,3116 kg, dan untuk benda uji dengan kode BCG600-2 beban maksimumnya sebesar 841,8180 kg. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa benda uji dengan kode BCG200-2 atau balok profil C ganda dengan perangkai besi tulangan

yang menggunakan variasi jarak las sebesar h adalah yang dapat menahan beban paling tinggi.

2. Dari kesimpulan yang pertama dapat ditarik pula kesimpulan lainnya bahwa variasi jarak las dari perangkai secara tidak langsung cukup berpengaruh terhadap beban maksimal yang dapat diterima balok karena dari nilai beban maksimum tiap benda uji memiliki perbedaan yang cukup tinggi. Dan juga semua benda uji yang mengalami kerusakan yang sama setelah mencapai beban maksimumnya yaitu sambungan las yang lepas. Namun adapula faktor lainnya yang dapat mempengaruhi, karena banyak tahapan yang dilakukan sebelum dilakukan pengujian yaitu mulai dari tahap persiapan bahan sampai dengan saat dilaksankannya pengujian.
3. Dari pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa proses pengelasan harus diperhatikan dan dilakukan dengan baik dan benar. Karena semua benda uji mengalami kerusakan yang sama yaitu sambungan las yang lepas/rusak. Adapun salah satu benda uji yang belum mencapai beban maksimal karena kerusakan tersebut yaitu benda uji dengan kode BCG600-2.
4. Pada penelitian ini benda uji dengan kode BCG200-2 atau balok profil C ganda dengan perangkai tulangan diagonal yang menggunakan variasi jarak las sebesar h adalah balok yang memiliki tegangan lentur terbesar yaitu 102,9526 MPa.
5. Pada penelitian ini benda uji BCG300-1 mampu meregang paling maksimum diantara benda uji yang lain. Benda uji dengan kode BCG300-1 adalah benda uji dengan variasi jarak las $1,5h$.

Adapun beberapa saran dari peneliti bila akan dilakukan penelitian berlanjut tentang studi kuat lentur balok profil C ganda dengan perangkai tulangan diagonal adalah sebagai berikut :

1. Pada proses penggabungan profil C harus diperhatikan dengan baik, karena bila tidak diperhatikan bentuk balok profil C ganda bisa tidak simetris. Bila bentuk balok profil C ganda tidak simetris maka hasil yang didapatkan akan kurang maksimal.
2. Saat proses pengelasan benda uji sebaiknya dilakukan dengan sebaik-baiknya serta diawasi dengan baik. Hal ini dirasakan peneliti sebagai bagian yang sulit selama proses

penelitian karena bila pengelasan terlalu lama maka profil C dapat berlubang sedangkan jika terlalu sebentar besi tulangan tidak menyatu dengan baik pada profil C. Dan juga bila terlalu panas, sifat bahan utama dapat berubah dan dapat membuat profil C melengkung akibat dari panas yang terlalu tinggi.

3. Pada proses pembengkokan tulangan yang dilakukan bersamaan dengan pengelasan tulangan terhadap profil C harus diperhatikan dengan baik juga, karena bila sembarang membengkokkan akan mengakibatkan tulangan yang sudah menyatu dengan profil C dapat terlepas sehingga harus dilakukan pengelasan kembali.
4. Dalam meletakkan *dial gauge* harus diperhatikan dengan baik agar mendapatkan hasil yang maksimal dan akurat.
5. Pengaturan *frame loading* dan *hydraulic jack* harus diperhatikan juga agar pada saat proses pembebanan *hydraulic jack* tidak mentok atau tidak dapat memberikan beban lagi karena sudah terlalu panjang.
6. Jika akan dilakukan penelitian selanjutnya, sebaiknya digunakan jarak perangkai yang rapat pada balok.
7. Jika akan dilakukan penelitian selanjutnya, jenis perangkai dapat diganti menggunakan perangkai yang lain seperti perangkai 'K' *truss, warren (with verticals)*, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E., (1985). *Disain Baja Konstruksi*, Penerjemah Silahan, P., Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Johnston, B.G., Lin, F.J., Galambos, T.V., (1978). *Perencanaan Baja Dasar*, Penerjemah Purwanto, J., Penerbit Yustadi.
- Kurnia, A., (2005). Studi Kuat Tekan Kolom Baja Profil C Ganda Dengan Pengaku Pelat Arah Lateral, *Laporan Tugas Akhir Sarjana Strata Satu Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Yogyakarta.
- Lisantono, A., Siswadi, Trihono, S.,P., (2010). Kuat Lentur Balok Profil *Lipped Channel* Ganda Berpengaku Dengan Pengisi Beton Ringan, *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4*, Bali, PP S-393.
- Nugroho, A., (2011). Studi Kuat Lentur Balok Profil C Ganda Dengan Variasi Jarak Sambungan Las, *Laporan Tugas Akhir Sarjana Strata Satu Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Yogyakarta.
- Rahman, I., (2015). Studi Kuat Lentur Balok Komposit Profil C Ganda Menggunakan Beton Ringan, *Laporan Tugas Akhir Sarjana Strata Satu Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Yogyakarta.
- Salmon, C.G., dan Johnson, J.E., (1986). *Struktur Baja*, Penerjemah Wira M.S.C.E., Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Sinaga, R.M., (2005). Perilaku Lentur Baja Profil C Tunggal Dengan Menggunakan Perkuatan Tulangan Arah Vertikal, *Laporan Tugas Akhir Sarjana Strata Satu Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Yogyakarta.
- SNI 1729-2015, Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1729-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional.
- Segui, W. T., (2007). *Steel Design* (International Student Edition), Penerbit Thomson, U.S.A.
- Spiegel, L., dan Limbrunner, G.F., (1991). *Desain Baja Struktural Terapan*, Penerjemah Suryoatmojo, B., Penerbit Eresco, Bandung.
- Tall, L., (1974). *Structural Steel Design*, The Ronald Prees Company, New York.
- Wigroho, H.Y., (2013). Studi Kekuatan Rangka Atap Monoframe Menggunakan Profil C Ganda, *Proposal Penelitian Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Yogyakarta.