ANALISA BALOK BETON BERTULANG *COLD FORMED* MENGGUNAKAN *SOLIDWORKS*

Budianto Jaya

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Prabumulih KM 32 Indralaya, Sumatera Selatan
E-mail:budiantojaya93@gmail.com

Abstrak

Penggunaan cold formed steel dewasa ini telah sangat luas diaplikasikan dalam pelaksanaan konstruksi. Baja ringan memiliki kuat tarik yang tinggi dan lebih ringan dibandingkan dengan baja konvensional menjadi keunggulan dan daya tarik tersendiri bagi baja ringan dalam dunia konstruksi. Untuk mengembangkan penggunaan baja ringan maka dilakukan suatu penelitian penggunaan baja ringan pada elemen struktur seperti pengganti tulangan tarik pada balok beton bertulang.Pemodelan balok beton dilaksanakan dengan program Solidworks 2012 dimana analisa pemodelan yaitu analisa lentur menggunakan metode elemen hingga. Parameter yang diteliti adalah pengaruh penggunaan cold formed steel, cold formed steel ditambah shear connector dibandingkan dengan penggunaan tulangan baja konvensional yang dilihat berdasarkan kurva beban terhadap defleksi dan kurva momen terhadap putaran sudut.Dari beberapa hasil simulasi lentur diperoleh bahwa penggunaan cold formed steel dan cold formed steel ditambah shear connector belum mampu menyaingi balok beton bertulang menggunakan tulangan baja konvensional. Balok beton bertulang dengan tulangan baja konvensional memiliki kemampuan menanggung beban dan momen lebih baik dibandingkan dengan balok beton dengan cold formed steel dan cold formed steel ditambah shear connector

Kata kunci *:cold formed steel, shear connector, balok beton, analisa lentur, Solidworks*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini telah berhasil menciptakan suatu baja yang tipis dan ringan namun kekuatan yang dimilikinya tidak kalah dengan baja konvensional yaitu baja ringan. Baja ringan memiliki perbedaan dengan baja terutama dalam hal produksi dimana baja ringan pembentukannya dilakukan pada kondisi dingin sedangkan untuk baja konvensional, pembentukannya dilakukan dalam kondisi panas.

Penggunaan dari baja ringan sendiri bisa terlihat pada konstruksi yang terjadi saat ini seperti rangka atap. Penggunaan baja ringan pada atap cenderung lebih digunakan dibandingkan kayu. Hal ini disebabkan karena dari sisi keawetan dan kekuatan yang ditawarkan dari baja ringan jauh lebih baik dibandingkan menggunakan kayu.

Untuk membantu meningkatkan standar mutu dalam penggunaan struktur *cold formed steel* untuk balok, diperlukan suatu analisa mengenai perilaku dari material tersebut saat digunakan sebagai struktur balok. Analisa ini akan menggunakan *SolidWorks 2012* sebagai program untuk mensimulasikan respon balok beton bertulang menggunakan *cold formed steel* ketika dibebani. Analisa ini akan menjadi salah satu alternatif struktur balok beton selain beton bertulang biasa.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah hubungan P – Δ danM – φ0 pada balok beton dengan *steel reinforcement*, *cold formed steel reinforcement* dan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector*.

1.3 Tujuan Penulisan

Maksud dan tujuan dari penelitian iniadalah mengetahui pengaruh penggunaan *steel reinforcement, cold formed steel reinforcement* dan *cold formed steel reinforcementditambah shear connector* terhadap gaya lentur,defleksi pada struktur balok

1.4 Ruang Lingkup Penulisan

1. Ukuran balok adalah 150 x 200 mm, 150 x 300 mm dan 200 x 400 mm
2. Penelitian dilakukan dengan analisa menggunakan metode elemen hingga pada balok beton menggunakan *steel reinforcement, cold formed steel reinforcement* dan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector.*
3. Permasalahan yang akan dibahas adalah mengetahui pengaruh penggunaan *steel reinforcement, cold formed steel reinforcement* dan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector.*
4. *Shear connector* yang digunakan berupa baut dengan diameter 5,7 mm dengan panjang 50 mm dengan jarak antar baut 200 mm.
5. Sengkang pada balok beton menggunakan tulangan baja dengan diameter 5,5 mm.

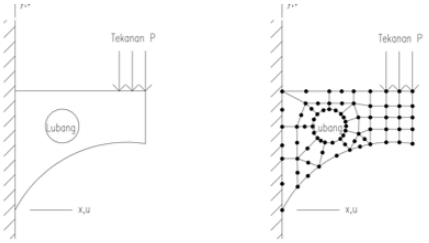
6. Pada balok beton dengan *steel reinforcement* digunakan tulangan baja dengan diameter 7,1 mm sebanyak 2 buah.
7. Mutu beton menggunakan 20 N/mm2.
8. Material *cold formed steel* adalah *zync alloy*.
9. Material *shear connector* adalah *galvanis steel*.
10. Semua Analisa perhitungan menggunakan program *SolidWorks SP0 2012*.
11. Perletakan menggunakan sendi-rol.
12. Data laboratorium diperoleh dari laporan tugas akhir Amelia Sevira (03101401060) dan Putri Firginta (03101001077)

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Metode Elemen Hingga

Menurut Yerri Susatio, metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala fisik. Tipe masalah teknis dan matematika fisik yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisa struktur dan kelompok masalah non-struktur.

Menurut Robert D. Cook, metode elemen hingga adalah prosedur numerik unuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan ketelitian yang dapat diterima.



Gambar II.1. (a) Struktur bidang dengan bentuk sembarang. (b) Model elemen hingga yang mungkin pada struktur tersebut.
Sumber : (Robert D. Cook ,Halaman 5)

Apabila pencarian tegangan dilakukan pada struktur seperti gambar diatas (gambar II.1.a), maka jawaban akan sangat sulit diperoleh karena geometri dan pembebanannya terlalu kompleks sehingga diperlukan solusi numerikuntuk menyelesaikannya dan salah satu metode penyelesaiannya adalah metode elemen hingga.

Pada gambar II.1.b, diperlihatkan model elemen hingga. Daerah yang berupa segitiga dan kuadrilateral adalah elemen-elemen hingga. Titik-titik hitam adalah titik simpul (node) dimana elemen yang satu berhubungan dengan yamg lain. Suatu jaring (mesh) adalah susunan titik simpul dan elemen. Bentuk jaring pada gambar tersebut terdiri atas elemen segitiga dan kuadrilateral, ada yang memiliki titik simpul pada sisimya dan ada pula yang hanya pada ujungnya.

Pada dasarnya, elemen hingga merupakan bagian-bagian kecil dari struktur aktual. Akan tetapi, hal tersebut tidak dapat mengubah gambar II.1.a menjadi gambar II.1.b hanya dengan membuat potongan sembarang seperti pada potongan material yang terikat pada titik kumpul. Apabila terpotong demikian, maka struktur aktual akan sangat melemah sehingga jelaslah bahwa struktur aktual tidak terjadi demikian.

2.2. Kelebihan dan kekurangan Elemen Hingga

Menurut Yerri Susatio, kelebihan dalam menggunakan metode elemen hingga adalah sebagai berikut:

1. Benda dengan bentuk yang tidak teratur dapat dengan mudah dianalisa
2. Tidak terdapat kesulitan dalam menganalisa beban pada suatu struktur
3. Pemodelan dari suatu benda dengan komposisi materi yang berlainan dapat dilakukan dengan tinjauan yang dilakukan secara individu untuk setiap elemen
4. Dapat menangani berbagai macam syarat batas dalam jumlah yang tak terbatas
5. Variasi dalam ukuran elemen memungkinkan untuk memperoleh detail analisa yang diinginkan
6. Dapat memecahkan masalah-masalah dinamik

Adapun kekurangan dalam metode ini adalah diperlukannya komputer sebagai sarana hitung yang cepat dan akurat.

2.3. Langkah-langkah metode elemen hingga

Menurut I Putu Laintarawan, perumusan dan penerapan metode elemen hingga dianggap terdiri dari 8 langkah dasar. Adapun langkah-langkah tersebut adalah :

1. Diskretisasi dan pemilihan konfigurasi elemen
2. Memilih model atau fungsi pendekatan
3. Menentukan hubungan tegangan-regangan atau gradien-besaran yang dicari
4. Menurunkan persamaan elemen
5. Penggabungan persamaan-persamaan elemen untuk memperoleh persamaan global dan memasukkan syarat-syarat batas
6. Selesaikan Primary Unknown
7. Selesaikan Besaran Kedua
8. Interpretasi hasil

.

2.4. Beton

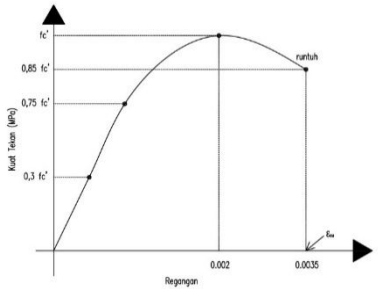
Menurut Gideon, beton adalah suatu komposit dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Beton dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen. Dengan kata lain, semen mengikat pasir dan bahan-bahan agregat lain seperti kerikil. Rongga diantara bahan-bahan kasar diisi oleh bahan-bahan halus. Adapun material-material penyusun beton antara lain semen, air, agregat halus dan agregat kasar.

2.5. Hubungan tegangan dan regangan beton

Menurut Ali Asroni , perilaku tegangan dan regangan tekan pada beton secara garis besar bisa digambarkan sebagai berikut :

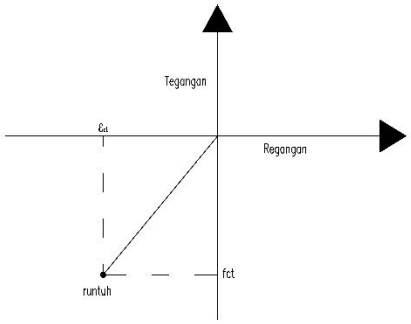
1. Pada saat beban tekan mencapai 0,3 fc' sampai 0,4 fc', perilaku tegangan regangan beton pada dasarnya masih linear.
2. Pada saat beban tekan melebihi 0,3 fc' atau 0,4 fc', retak-retak lekatan mulai terbentuk. Pada saat ini mulai terjadi deviasi pada hubungan tegangan regangan dari kondisi linear.
3. Pada saat beban tekan mencapai 0,75 fc' sampai 0,9 fc', retak-retak lekatan tersebut merambat ke mortar sehingga terbentuk pola retak yang kontinu. Pada kondisi ini hubungan tegangan regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linear.
4. Pada saat beton akan runtuh, tegangan beton akan turun menjadi 0,86 fc' sedangkan regangan tetap naik sampai batas retak εcu sebesar 0,0035.

Gambar hubungan antara tegangan dan regangan material beton dilampirkan pada gambar II.2.



Gambar II.2. Hubungan tegangan dan regangan tekan beton
Sumber : (Ali Asroni ,Halaman 16)

Perilaku beton pada saat diberikan beban aksial tarik agak sedikit berbeda dengan perilakunya pada saat diberikan beban tekan. Hubungan antara tegangan dan regangan tarik beton umumnya bersifat linear sampai terjadinya retak yang biasanya langsung diikuti oleh keruntuhan beton, seperti dilukiskan pada gambar II.3.

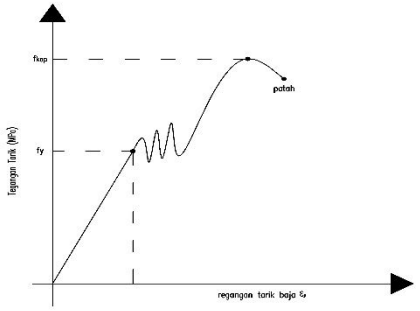


Gambar II.3. Hubungan tegangan dan regangan tarik beton
Sumber : (Ali Asroni ,Halaman 18)

Dari hubungan tegangan dan regangan tekan beton pada gambar II.2, terlihat sudut α yaitu sudut antara garis lurus kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai tegangan tekan sebesar 0,45 fc' dan garis regangan εc'. Modulus elastisitas beton atau Ec merupakan nilai tangensial dari sudut α.

2.6. Tulangan Baja

Menurut Ali Asroni, tulangan merupakan suatu fungsi yang sangat penting untuk struktur beton karena mendukung struktur beton bertulang didapatkan dari hasil kerja sama antara beton dengan tulangan. Kerja sama ini adalah hasil penelitian dari Monier (1987). Baja beton yang dipakai dalam bangunan harus memenuhi norma persyaratan terhadap metode pengujian dan pemeriksaan bermacam-macam mutu baja beton. Ciri khas dari baja beton sendiri adalah kuat menahan tarik, memiliki nilai batas leleh, regangan pada beban maksimal, modulus elastisitas konstan. Untuk memperoleh ciri tersebut maka harus dilakukan pengujian tarik.

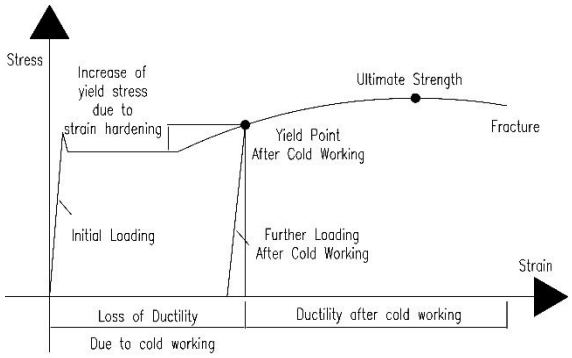


Gambar II.4. Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan
Sumber : (Ali Asroni ,Halaman 20)

2.7.Baja ringan

Lembaran baja yang biasa digunakan untuk produksi baja ringan memiliki ketebalan 0,9 mm sampai 3,2 mm. Selama cold forming dilaksanakan, peningkatan dari kuat tarik pada baja akan meningkat akibat pendinginan bekerja pada proses pengerasan regangan seperti gambar II.2. Peningkatan tarik dengan aplikasi pembentukan baja pada suhu dingin cukup signifikan (>10%) untuk bagian yang sangat kaku dengan banyak tekukan.

Produk baja ringan memiliki beberapa keuntungan dibandingkan baja konvensional. Hal yang paling menarik dari baja ringan sendiri adalah berat sendiri baja ringan lebih kecil dari baja konvensional, kekuatan yang dimiliki, kekakuan, kemudahan pabrikasi dan produksi massal, cepat dan mudah dipasang, terlindungi dari pembusukan dan rayap dan kualitas yang seragam. Kemudahan-kemudahan dalam menggunakan baja ringan akan menghasilkan penghematan terutama dalam konstruksi (Civil Engineering Handbook Chapter 49).

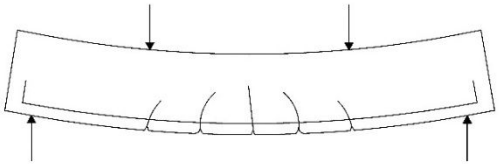


Gambar II.5. Diagram pengaruh pembentukan pada suhu dingin terhadap tegangan-regangan baja
Sumber : (BS5950-5, Halaman 3)

2.8. Beton Bertulang

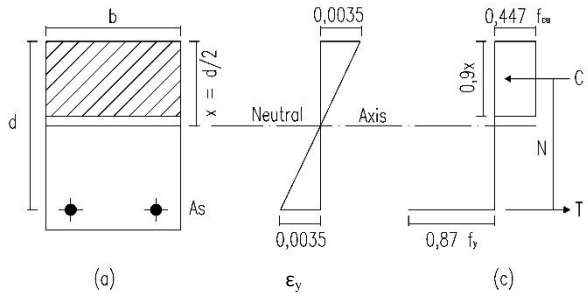
Menurut T.J. MacGinley dan B. S. Choo, beton bertulang adalah gabungan antara material tulangan baja yang ditanamkan pada beton yang mengeras dimana tulangan baja berfungsi menahan gaya tarik dan beton untuk menahan gaya tekan.

Beton memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menanggung tegangan tekan namun tidak bisa menanggung tegangan tarik. Penulangan dibutuhkan untuk menahan tegangan tarik akibat momen yang muncul. Apabila balok diberikan beban seperti gambar II.3. maka akan muncul retakan saat runtuh akibat momen yang ditimbulkan beban.



Gambar II.6. Retak lentur sebelum runtuh
Sumber : (T.J. MacGinley and B.S. Choo, Halaman 47)

Untuk metode menghitung momen yang bisa ditahan pada suatu beton bisa menggunakan metode simplified stress block. Perhitungan menggunakan nilai x yang nilainya dimulai dari ujung balok ke garis netral d/2. Nilai x tersebut adalah nilai maksimum ke garis netral yang diijinkan pada *BS8110 clause 3.4.4.4.*



Gambar II.7. (a) Penampang; (b) Diagram regangan; (c) Diagram tegangan
Sumber : (T.J. MacGinley and B.S. Choo, Halaman 50)

Pada gambar diagram tegangan (gambar II.7.(c)), terdapat dua buah gaya yang bekerja pada beton bertulang yaitu gaya C atau gaya tekan dan gaya T atau gaya tarik.

Adapun perumusan gaya tekan terlampir pada persamaan II.1. dan perumusan gaya tarik telampir pada persamaan II.2.

$C=0{,}201 \times f_{cu} \times b \times d$ .....(Persamaan II.1.)

$T=0{,}87 \times f_y \times As$ .....(Persamaan II.2.)

Pada analisa beton bertulang, gaya tekan memiliki nilai yang sam
tarik terlampir pada persamaan II.4.

$M_{RC}=0{,}156 \times f_{cu} \times b \times d^2$ .....(Persamaan II.3.)

$M_{RS}=0{,}674 \times f_y \times As \times d$.....(Persamaan II.4.)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Studi Literatur

Studi ini dilakukan berawal dari penelitian yang dilakukan oleh Ade Lisantono, Haryanto Yono Wigroho dan Meita Ratna Sari yang melakukan penelitian mengenai alternatif balok menggunakan *cold formed steel* ditambah beton. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan beton pada daerah *cold formed steel lipepd channel* membuat kombinasi *cold formed steel* dan beton menjadi balok yang lebih kaku ketimbang *cold formed steel*.

Untuk penelitian ini, komponen yang akan diteliti adalah penggunaan tulangan 8 mm, *cold formed steel*, dan *cold formed steel* ditambah *shear connector* sebagai pengganti tulangan tarik balok beton bertulang. Yang menjadi perhatian pada percobaan ini adalah beban dan momen maksimum yang akan terjadi pada balok beton bertulang menggunakan metode elemen hingga yang dibantu *SolidWorks 2012*.

3.2. Penggambaran Komponen

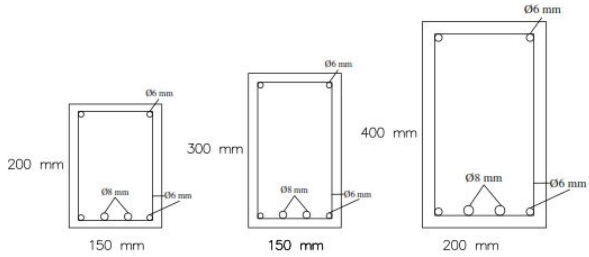
Pada awal perencanaan hal pertama yang dilakukan adalah mengetahui material-material yang hendak digunakan pada balok beton. Pada studi ini, material yang akan digunakan adalah balok beton, besi tulangan ∅ 5,5 mm, besi tulangan ∅ 7,1 mm, *cold formed steel lipped channel* (75 mm x 32,8 mm x 0,82 mm) , *shear connectors* (diameter 5,7 mm, panjang 5 cm).Adapun ukuran balok beton adalah sebagai berikut:

Tabel III.1. Macam-macam ukuran balok beton

b (mm)	h (mm)	L_1 (m)
150	200	2,8
150	300	2,8
200	400	2,8

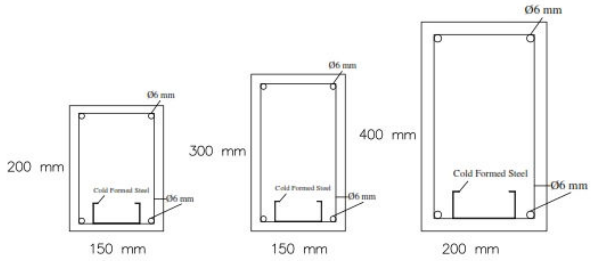
3.3. Penggabungan komponen

Masing-masing gambar yang telah diberikan spesifikasi material yang sesuai perlu digabungkan untuk menjadi suatu balok beton yang ingin dianalisis. Gambar balok beton dengan *steel reinforcement* dilihat pada gambar III.1.



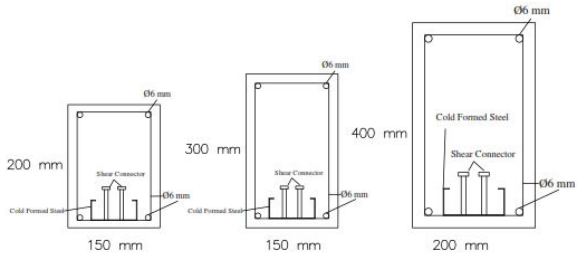
Gambar III.1. Gambar rencana penulangan balok beton dengan *steel reinforcement*

Gambar balok beton dengan *cold formed steel reinforcement* bisa dilihat pada gambar III.2.



Gambar III.2. Gambar rencana penulangan balok beton dengan *cold formed steel reinforcement*

Susunan *shear connector* pada balok beton dengan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector* menggunakan susunan *cross.* Gambar balok beton dengan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector* bisa dilihat pada gambar III.3.



Gambar III.3. Gambar rencana penulangan balok beton dengan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector*

3.4. Tipe Simulasi

Tipe simulasi yang digunakan dalam pengujian lentur balok adalah Simulasi *Nonlinear Static*. Simulasi ini dipilih karena mampu memberikan beban pada balok beton secara inkremental. Disamping itu, simulasi *nonlinear static* menggambarkan respon defleksi suatu benda memiliki hubungan bukan garis lurus terhadap defleksi.

3.5. Input Material

Pada tahap ini, gambar-gambar material yang telah dibuat hanya berupa model 3 dimensi namun tidak berupa suatu material seperti beton atau baja sehingga masing-masing gambar yang telah dibuat harus diberikan data material untuk menggambarkan sifat dari gambar 3 dimensi. Adapun pemberian material dilakukan pada beton, tulangan ∅ 6 mm, tulangan ∅ 8 mm, *cold formed steel*, baut dan mur.

Tabel III.2. Data material

No	Nama Material	Data Material
1	Beton	ρ = 2400 kg/m^3 v = 0,2
2	Tulangan ∅ 5,5 mm	ρ = 7850 kg/m^3 E = 200.000 MPa v = 0,2 *Yield Stress* = 260.945 MPa *Tensile Strength* =287.125 MPa
3	Tulangan ∅ 7,1 mm	ρ = 7850 kg/m^3 E = 200.000 MPa v = 0,2 *Yield Stress* = 283.87 MPa *Tensile Strength* = 461.58 MPa
4	*Cold Formed Steel*	ρ = 6600 kg/m^3 E = 85.000 MPa v = 0,2 *Yield Stress* = 185.1 MPa *Tensile Strength* = 226.11 MPa
5	Baut	ρ = 7850 kg/m^3 E = 200.000 MPa v = 0,2

3.6. Pasang Perletakan

Dalam melaksanakan uji lentur pada balok beton, diberikan perletakan berupa sendi dan rol. Dalam Solidworks, perletakan sendi diwakilkan oleh *fixed geometry* dan perletakan rol diwakilkan oleh *roller* atau *slider*.

3.7. Memberi Gaya

Untuk menentukan seberapa besar lentur yang terjadi pada beton maka dilakukan pengujian dengan memberikan gaya atau *force*. Dalam melaksanakan analisa 3 dimensi, gaya diberikan dengan memberikan bidang khusus pada balok. Besarnya gaya diberikan secara coba-coba sampai *Solidworks 2012* memberikan peringatan defleksi maksimal telah tercapai. Adapun pemberian gaya pada balok beton dilakukan dengan inkremental.

3.8. Membuat Mesh

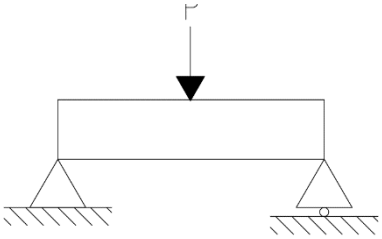
Perhitungan dalam *Solidworks 2012* menggunakan metode elemen hingga atau *finite element analysis*. Untuk melaksanakan *finite element analysis*, perlu dibuat jaring-jaring yang biasa disebut *mesh*.

Tabel III.3. Informasi *Mesh*

Mesh type	*Solid Mesh*
Mesher Used:	*Curvature based mesh*
Jacobian points	*4 Points*
Maximum element size	90 mm
Minimum element size	18 mm
Mesh Quality	*High*

3.9. Simulasi Pembebanan

Setelah benda uji dibuat dengan *SolidWorks 2012* maka benda uji tersebut siap untuk diuji analisis lentur untuk memperoleh deformasi maksimum yang bisa ditahan oleh balok beton tersebut. Adapun percobaan uji lentur yang dilaksanakan di laboratorium disediakan pada Gambar III.4.



Gambar III.4. Percobaan Uji Lentur

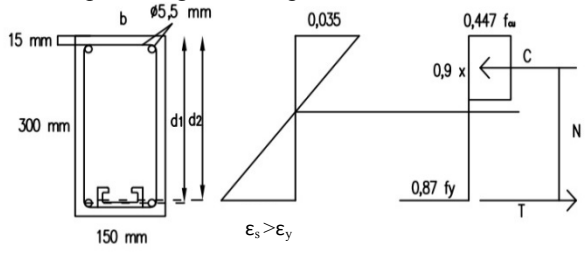
3.11 Analisis Data

Data yang telah diproses dengan metode elemen hingga oleh *SolidWorks 2012* akan dilampirkan dalam bentuk grafik yaitu grafik hubungan antara beban terhadap defleksi dan momen terhadap putaran sudut pada balok beton yang menggunakan *steel reinforcement,cold formed steel reinforcement, cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connectors* dengan ukuran yang telah ditetapkan.

IV. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Parametrik

Sebelum melaksanakan analisa, dilakukan perhitungan parametrik terlebih dahulu dimana perhitungan menggunakan peraturan BS 8110. Contoh perhitungan terlampir dibawah ini.



Gambar IV.1. Balok 150 x 300 mm dengan *cold formed steel reinforcement*

1. Menghitung gaya tarik dari 2 tulangan polos diameter 5,5 mm

$$d_1 = h - d_1' = 300 - \left(15 + 5{,}5 + \frac{5{,}5}{2}\right) = 276{,}75\ mm$$

$$\rho_b = \frac{As}{b\,.d} = \frac{\pi.5{,}5^2.0{,}25.2}{150\,.276{,}75} = 0{,}001055893$$

$$\rho_{maks} = 23{,}15.\frac{fc}{fy} = 2{,}6614\ \%$$

$$z_1 = 0{,}775\ d = 214{,}481\ mm$$

Pada balok beton bertulang terdapat dua gaya dalam yaitu gaya tekan C dan gaya tarik T, gaya tekan C merupakan gaya yang berasal dari beton dan gaya tarik T berasal dari tulangan baja polos diameter 5,5 mm.

$T = 0{,}87\ As\ fy = 10787{,}32$ N

$M_{n1} = As\ fy\ z_1 = 2{,}314\ kNm$

2. Menghitung gaya tarik dari *cold formed steel*

$$d_2 = h - d_2' = 300 - \left(15 + 5{,}5 + \frac{10{,}2323}{2}\right) = 269{,}26766\ mm$$

$$\rho_b = \frac{As}{b\,.d} = \frac{125{,}6404}{150\,.269{,}26766} = 0{,}003110669$$

$$\rho_{maks} = 23{,}15.\frac{fc}{fy} = 2{,}6614\ \%$$

$$z_1 = 0{,}775\ d = 214{,}481\ mm$$

Pada balok beton bertulang terdapat dua gaya dalam yaitu gaya tekan C dan gaya tarik T, gaya tekan C merupakan gaya yang berasal dari beton dan gaya tarik T berasal dari *cold formed steel*.

$T = 0{,}87\ As\ fy = 20232{,}75$ N

$M_{n2} = As\ fy\ z_2 = 4{,}222\ kNm$

3. Menghitung beban maksimum

Mn total = 6,536kNm

Mr = 0,8 Mn = 0,8 . 6,536 = 5,229kNm

$Mr = 0{,}625\ .P$

$$P = \frac{Mr}{0{,}625}$$

P = 0,837 ton

Tabel IV.1. Rekapitulasi Parametrik balok beton dengan *cold formed steel*

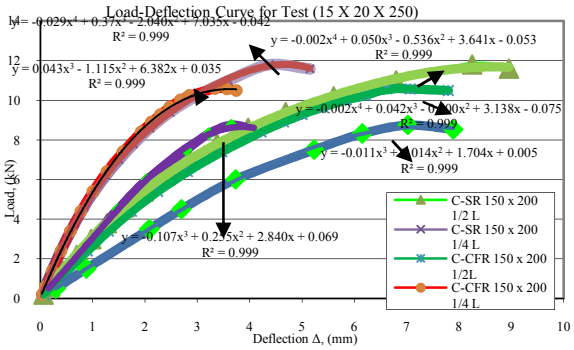
b (mm)	h (mm)	L (mm)	M (kNm)	P maks A_s asli (ton)
150	200	2800	16,79345	0,529
150	300	2800	41,9704	0,837
200	400	2800	104,0449	1,144

Tabel IV.2. Rekapitulasi parametrik balok beton dengan *steel reinforcement*

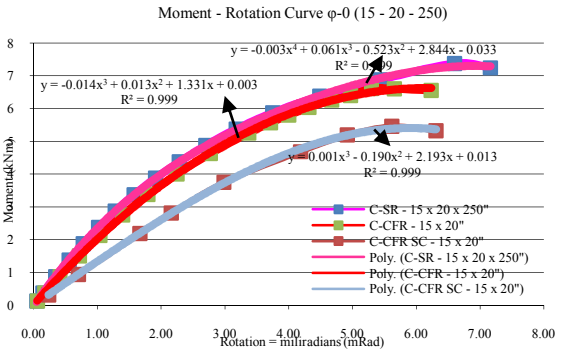
b (mm)	h (mm)	L (mm)	M (kNm)	P maks A_s asli (ton)
150	200	2800	17,440	0,5304
150	300	2800	42,827	0,8315
200	400	2800	105,906	1,132

4.2. Hasil simulasi

4.2.1. Balok ukuran 150 mm x 200 mm

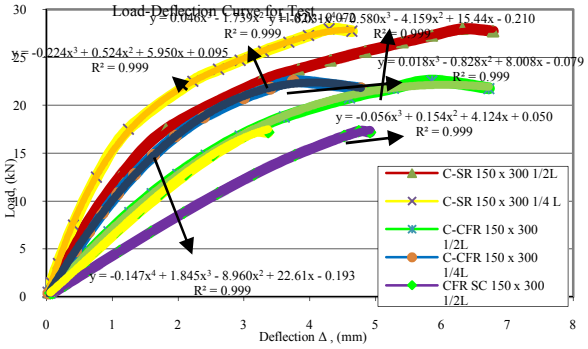


Gambar IV.2. Kurva hubungan P – Δ balok 150 mm x 200 mm

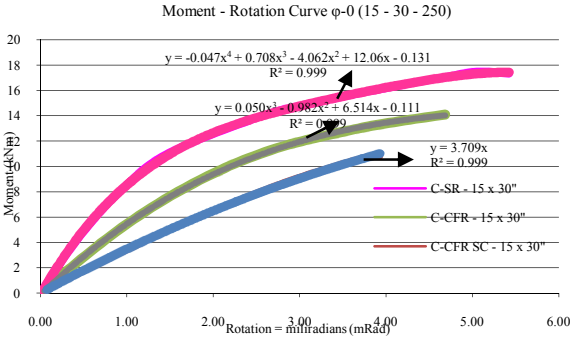


Gambar IV.37. Kurva hubungan M – φ0 pada perletakan balok 150 mm x 200 mm

4.2.2. Balok ukuran 150 mm x 300 mm

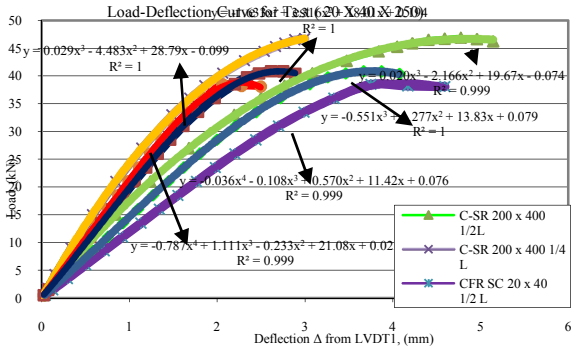


Gambar IV.4. Kurva hubungan P – Δ balok 150 mm x 300 mm

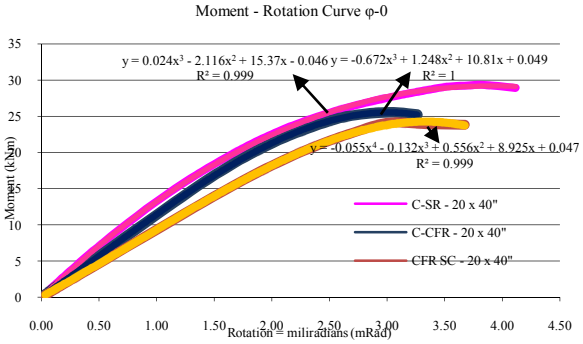


Gambar IV.5. Kurva hubungan M – φ0 pada perletakan balok 150 mm x 300 mm

4.2.3. Balok ukuran 200 mm x 400 mm



Gambar IV.6. Kurva hubungan P – Δ balok 200 mm x 400 mm



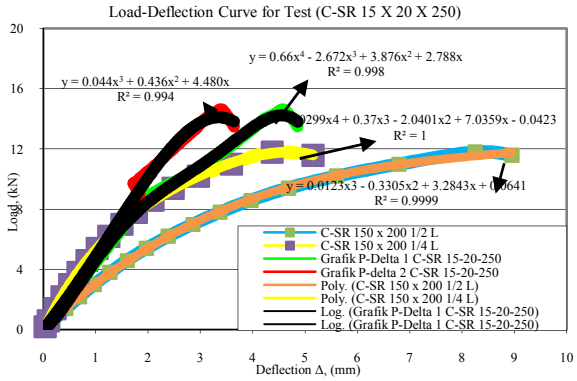
Gambar IV.7. Kurva hubungan M – φ0 pada perletakan balok 200 mm x 400 mm

4.3. Perbandingan dengan hasil eksperimen laboratorium

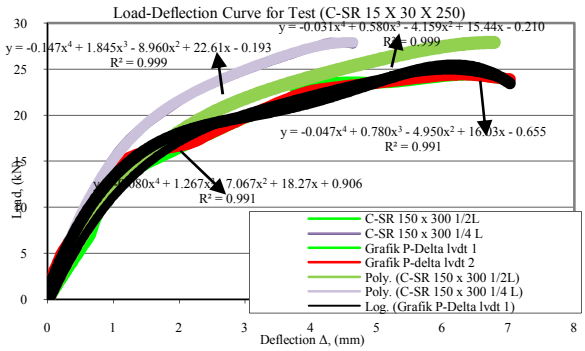
Untuk memastikan bahwa hasil simulasi metode elemen hingga menggunakan *Solidworks 2012*, maka dilakukan suatu perbandingan dengan hasil eksperimen di laboratorium yang dilakukan oleh Amelia Sevira (03101401060) dan Putri Firginta (03101001077).

4.3.1. Balok beton dengan *steel reinforcement*

Perbandingan yang akan dilakukan adalah membandingkan grafik P – Δ hasil simulasi *Solidworks2012* dengan hasil percobaan laboratorium pada benda uji dengan ukuran 150 mm x 200 mm dan 150 mm x 300 mm.



Gambar IV.8. Kurva perbandingan hubungan P – Δ balok hasil simulasi dan hasil eksperimen ukuran 150 mm x 200 mm *steel reinforcement*



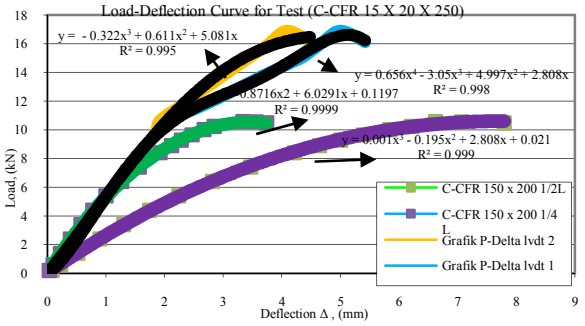
Gambar IV.9. Kurva perbandingan hubungan P – Δ balok hasil simulasi dan hasil eksperimen ukuran 150 mm x 300 mm *steel reinforcement*

Tabel IV.3. Rekapitulasi gaya dan defleksi penggunaan *steel reinforcement*

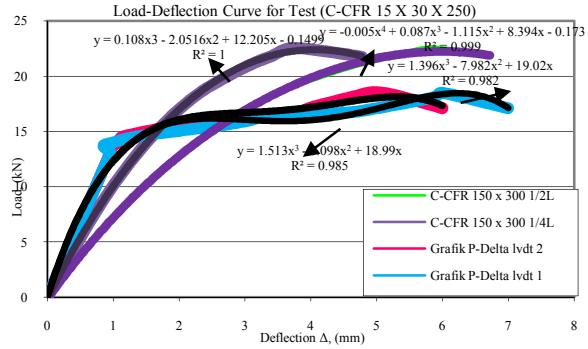
Ukuran (mm)	Pmaks (kN) *Solidworks*	Pmaks (kN) Eksperimen	Δ (mm) *Solidworks*	Δ (mm) Eksperimen
150 x 200	11,589	14,6	Δ ½ L = 8,25 Δ ¼ L = 4,370	Δ ½ L = 4,86 Δ ¼ L = 3,65
150 x 300	27,9685	24,4	Δ ½ L = 6,318 Δ ¼ L = 4,296	Δ ½ L = 6,7 Δ ¼ L = 6,21

4.3.2. Balok beton dengan *cold formed steel reinforcement*

Perbandingan yang akan dilakukan adalah membandingkan grafik P – Δ hasil simulasi *Solidworks2012* dengan hasil percobaan laboratorium pada benda uji dengan ukuran 150 mm x 200 mm dan 150 mm x 300 mm.



Gambar IV.10. Kurva perbandingan hubungan P – Δ balok hasil simulasi dan hasil eksperimen ukuran 150 mm x 200 mm *cold formed reinforcement*



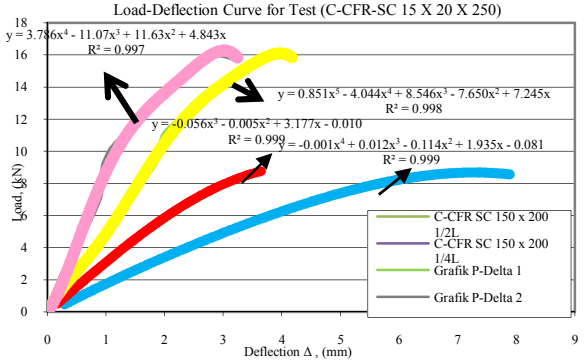
Gambar IV.11. Kurva perbandingan hubungan P – Δ balok hasil simulasi dan hasil eksperimen ukuran 150 mm x 300 mm *cold formed reinforcement*

Tabel IV.4. Rekapitulasi gaya dan defleksi penggunaan *cold formed steel reinforcement*

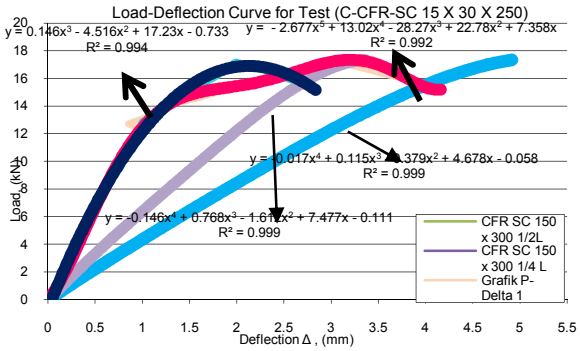
Ukuran (mm)	Pmaks (kN) *Solidworks*	Pmaks (kN) Eksperimen	Δ (mm) *Solidworks*	Δ (mm) Eksperimen
150 x 200	10,48	16,9	Δ ½ L = 6,621 Δ ¼ L =3,336	Δ ½ L = 4.99 Δ ¼ L = 4,09
150 x 300	22,55	18,5	Δ ½ L = 5,857 Δ ¼ L = 3,752	Δ ½ L = 6 Δ ¼ L = 5.08

4.3.3. Balok beton dengan *cold formed* ditambah *shear connector*

Perbandingan yang akan dilakukan adalah membandingkan grafik P – Δ hasil simulasi *Solidworks2012* dengan hasil percobaan laboratorium pada benda uji dengan ukuran 150 mm x 200 mm dan 150 mm x 300 mm.



Gambar IV.12. Kurva perbandingan hubungan P – Δ balok hasil simulasi dan hasil eksperimen ukuran 150 mm x 200 mm *cold formed reinforcement* ditambah *shear connector*



Gambar IV.13. Kurva perbandingan hubungan P – Δ balok hasil simulasi dan hasil eksperimen ukuran 150 mm x 300 mm *cold formed reinforcement* ditambah *shear connector*

Tabel IV.5. Rekapitulasi gaya dan defleksi penggunaan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector*

Ukuran (mm)	Pmaks (kN) *Solidworks*	Pmaks (kN) Eksperimen	Δ (mm) *Solidworks*	Δ (mm) Eksperimen
150 x 200	8,74	18,5	Δ ½ L = 7,02 Δ ¼ L =3,64	Δ ½ L = 3,79 Δ ¼ L = 2,81
150 x 300	17,3	17,2	Δ ½ L = 4,743 Δ ¼ L = 3,152	Δ ½ L = 3,03 Δ ¼ L = 2

4.5 Pembahasan

Dari hasil analisis data perhitungan dapat disimpulkan balok beton dengan *steel reinforcement* jauh lebih baik dibandingkan balok beton yang menggunakan *cold formed steel* dan *cold formed steel* ditambah *shear connector*.

Dari grafik hubungan beban terhadap defleksi, apabila diberikan beban, balok beton dengan *steel reinforcement* akan terjadi lendutan yang besar namun mampu menanggung beban yang besar pula. Balok beton dengan *cold formed steel* yang diberikan beban sedikit lebih kecil lendutannya namun tidak mampu menahan beban besar. Balok beton dengan *cold formed steel* ditambah *shear connector* memiliki nilai defleksi terkecil ketika diberi beban namun sangat cepat terjadi keruntuhan dibandingkan balok beton lain.

Dari grafik hubungan momen terhadap putaran sudut juga terlihat hal yang sama, dimana balok beton yang mengalami putaran sudut terbesar secara urut adalah balok beton dengan *steel reinforcement*, balok beton dengan *cold formed steel reinforcement* dan balok beton dengan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector*. Pada grafik M – φ0, kemampuan menahan momen maksimum yang terbaik terjadi pada balok beton dengan *steel reinforcement.*

Adapun berdasarkan hasil perbandingan terhadap laboratorium diperoleh balok dengan ukuran 150 mm x 200 mm hasil simulasi tidak mampu menggambarkan hasil eksperimen di laboratorium sedangkan balok beton ukuran 150 mm x 300 mm hasil simulasi menunjukkan bentuk yang tidak jauh berbeda dengan hasil eksperimen.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik setelah melakukan simulasi uji lentur adalah sebagai berikut:

1. Hasil perbandingan antara program *Solidworks* dengan hasil yang diperoleh dari eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium menunjukkan bahwa hasil simulasi *Solidworks* cukup baik dalam memprediksi secara tepat pada hasil uji lentur pada balok beton dengan *steel reinforcement, cold formed steel reinforcement,* dan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector* karena perintah memasukkan material yang terbatas.
2. Balok beton dengan *steel reinforcement* memiliki kemampuan menahan gaya paling besar dibandingkan dengan balok beton yang menggunakan *cold formed steel reinforcement* dan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector.*
3. Hasil simulasi pada berbagai ukuran penampang balok menggambarkan bahwa defleksi terbesar terjadi pada balok beton yang menggunakan *steel reinforcement*.
4. Berdasarkan hasil simulasi berbagai bentuk balok, grafik M – φ0 diperoleh balok beton dengan *steel reinforcement* memiliki kapasitas menanggung momen maksimum paling besar dan putaran sudut terbesar dibandingkan dengan balok beton yang menggunakan *cold formed steel reinforcement* dan *cold formed steel reinforcement* ditambah *shear connector.*

DAFTAR PUSTAKA

1) Asroni, Ali. 2010, *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
2) British Standard Institution. 2000. BS 5950-1-2000, *Structural Use Of Steelwork In Building Part 1.BSI Standard*.
3) British Standard Institution. 2000. BS 8110-1, *Structural Use Of Concrete Part 1. BSI Strandard.*
4) Chen, W.F., J. Y. Richard Liew. 2003. *The Civil Engineering Handbook Second Edition.* Amerika Serikat: *CRC Press.*
5) Cook, Robert D. 1990. *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga.* Bandung: PT ERESCO.
6) Gere, James M., Stephen P. Timoshenko. 1972. *Mekanika Bahan*. Jakarta: PT Erlangga

7) Ginley, T. J. M., B. S. Choo. 1990. *Reinforced Concrete Design Theory and Examples.* London: *Taylor & Francis Group.*
8) Hillier, M., R.M. Lawson, M. Gorgolewski. 1998. *Over-roofing of Existing Buildings using Light Steel.* London: *The Steel Construction Institute*.
9) Katili, I. 2008. *Metode Elemen Hingga untuk Skeletal*. Jakarta: PT RajaGrafindo Persada
10) Laintarawan, I Putu, I Nyoman S. W., I. Wawan Artana. *Buku Ajar Elemen Hingga*, buku pegangan kuliah mahasiswa Universitas Hindu Indonesia.
11) Lawson, R.M., K. F. Chung, S. O. Popo-Ola. 2002. *Structural Design to BS 5950-5: 1998 Sectiom Properties and Load Tables.* London: *The Steel Construction Institute*.
12) Mahjoub, Reza, Sayid Hamid Hashemi. 2010. *Finite Elemen Analysis of RC Beams Strengthened with FRP Sheets under Bending*. Australian Journal of Basic and Applied Science.
13) Park, Robert, T. Paulay. 1974. *Reinforced Concrete Structures*. *Christchurch:John Wiley and Sons*
14) Sagel, R., Kole, P., Gideon Kusuma. 1993. *Pedoman Pengerjaan Beton.* Jakarta: Erlangga.
15) Susatio, Yerri. 2004. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga.* Yogyakarta: ANDI.