

**PENGARUH VARIASI PANJANG KAIT (*INTERLOCKING*) SERAT
KAWAT LOKET LAPIS PVC TERHADAP LENDUTAN DAN KUAT
LENTUR BALOK BETON BERTULANG**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ALODIA VANNIA SIHOTANG
NIM. 135060100111015**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2017

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI PANJANG KAIT (INTERLOCKING) SERAT KAWAT LOKET LAPIS PVC TERHADAP LENDUTAN DAN KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG

NASKAH PUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ALODIA VANNIA SIHOTANG

NIM. 135060100111015

Naskah Publikasi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 14 Juli 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
NIP. 19740619 200012 1 002

Christin Remayanti, ST., MT.
NIP. 19840325 201504 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

PENGARUH VARIASI PANJANG KAIT (INTERLOCKING) SERAT KAWAT LOKET LAPIS PVC TERHADAP LENDUTAN DAN KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG

(Effect of Interlocking Length of PVC Coated Welded Wire Mesh Fiber on The Deflection and Flexural Strength of Reinforced Concrete Beam)

Alodia Vannia Sihotang, Ari Wibowo, Christin Remayanti
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia
Email: alovannia@gmail.com

ABSTRAK

Retakan-retakan pada beton akan menimbulkan dampak buruk. Salah satu cara meningkatkan kuat tarik adalah dengan menambahkan serat (fiber) kedalam campuran beton. Penambahan fiber juga dapat meningkatkan kemampuan untuk menahan lentur dan daktilitas pada beton tersebut (Suhendro, 1990).

Penelitian ini menggunakan balok dimensi 100 x 15 x 20 cm. Adapun mutu beton rencana yang digunakan adalah sebesar 21,7 MPa. Tulangan yang adalah tulangan polos berdiameter 10 mm. Jenis serat yang digunakan adalah kawat, dengan jenis kawat loket lapis PVC. Volume fraksi serat kawat yang digunakan adalah sebesar 1% dari volume beton. Variasi panjang kait (interlocking) adalah 0,6 cm; 1,2 cm; dan 1,8 cm dengan panjang kawat adalah 3,6 cm.

Balok dengan serat interlocking 0,6 cm mampu menahan beban 5716 kg, balok dengan serat interlocking 1,2 cm mampu menahan beban 4903 kg, dan balok dengan serat interlocking 1,8 cm mampu menahan beban 5234 kg. Balok dengan penambahan serat kawat interlocking 0,6 cm mampu menahan beban vertikal maksimum yang lebih besar daripada beton dengan penambahan serat kawat interlocking 1,8 cm dan 1,2 cm.

Untuk lendutan pada saat beban maksimum, balok dengan serat interlocking 0,6 cm memiliki lendutan sebesar 2,836 cm, balok dengan serat interlocking 1,2 cm memiliki lendutan sebesar 2,983 cm, dan balok dengan serat interlocking 1,8 cm memiliki lendutan sebesar 2,830 cm. Balok dengan interlocking 1,8 cm menghasilkan lendutan aktual lebih kecil daripada balok dengan interlocking 0,6 cm, dan 1,2 cm tetapi dengan perbedaan lendutan yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 3,43%.

Kata kunci: balok beton bertulang, serat kawat, kuat lentur, lendutan

ABSTRACT

Cracks in the concrete will have a negative impact. One way to increase tensile strength is to add fiber to concrete mixture. The addition of fibers can also increase the ability to withstand flexural strength and ductility in the concrete (Suhendro, 1990).

This research uses beam with dimension 100 x 15 x 20 cm. The concrete quality is 21.7 MPa. The reinforcement is a plain reinforcing steel with diameter 10 mm. The type of fiber is wire, with the type of wire is PVC coated welded mesh. Volume fraction of wire fiber is 1% of the volume of concrete. Variation of the length of interlocking is 0.6 cm, 1.2 cm, and 1.8 cm with wire length is 3.6 cm.

Beam with addition fiber interlocking 0.6 cm able to withstand load until 5716 kg, beams with addition fiber interlocking 1.2 cm able to withstand load until 4903 kg, and beams with addition fiber interlocking 1.8 cm able to withstand load until 5234 kg. Beams with the addition of wire fiber interlocking 0.6 cm able to withstand a larger maximum vertical load than concrete with the addition of wire fiber interlocking 1.8 cm and 1.2 cm.

For deflection at maximum load, beams with interlocking fiber 0.6 cm have a deflection of 2,836 cm, beams with fiber interlocking 1.2 cm have a deflection of 2,983 cm, and beams with fiber interlocking 1.8 cm have deflection equal to 2,830 cm. Beams with interlocking 1.8 cm have actual deflection which is smaller than the beams with interlocking 0.6 cm, and 1.2 cm but the difference of deflection is not too significant at 3.43%.

Keywords: reinforced concrete beam, wire fiber, strong bending, deflection

PENDAHULUAN

Beton adalah sesuatu yang tidak asing lagi didalam dunia konstruksi. Beton merupakan campuran semen Portland, agregat halus, agregat kasar dan air (Nurlina, 2011). Beton mempunyai kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan – kelebihan beton adalah harganya yang relatif lebih murah, tahan lama, biaya perawatan yang murah, dan mudah dibentuk. Sedangkan kekurangan – kekurangan beton adalah kekuatan tarik yang rendah (sekitar 10 % dari kuat tekan), daktilitas rendah, volume tidak stabil, dan kekuatan per satuan volume rendah. Salah satu kelemahan beton yang memiliki kuat tarik yang rendah dapat diatasi dengan penambahan baja tulangan untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. Penambahan tulangan pada beton disebut dengan beton bertulang.

Pada perancangan beton bertulang, beton menahan gaya tekan dan tulangan menahan gaya tarik, sehingga jika beton mendapat gaya tarik yang melebihi kapasitas tulangan maka beton akan segera timbul retak-retak melintang halus didekat baja yang mendukung gaya tarik. Retakan-retakan pada beton akan menimbulkan dampak buruk seperti korosi pada beton. Korosi pada beton akan mengurangi luas tampang baja. Oleh karena itu sudah banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kuat tarik beton. Salah satu caranya adalah dengan menambahkan serat (fiber) kedalam campuran beton. Penambahan fiber juga dapat meningkatkan kemampuan untuk menahan lentur dan daktilitas pada beton tersebut (Suhendro, 1990).

Beton serat adalah material komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat (Tjokrodimaljo, 1996). Serat berasal dari alam maupun buatan. Serat alam seperti dari bambu, kayu, rotan dan serat buatan seperti dari besi, baja dan plastik. Tidak seperti tulangan yang hanya mengalami perkuatan pada arah pertulangan saja, serat yang tersebar secara acak pada beton mengalami perkuatan disegala arah (McCormac, 2004).

Di Indonesia, pemakaian serat baja pada campuran beton belum banyak dikenal dan dipakai karena tidak banyak tersedia dan mahalnya serat baja. Pada penelitian Suhendro (1991) telah ditemukan bahan lokal yang banyak terdapat di Indonesia dengan harga yang murah daripada serat baja yaitu berupa potongan kawat bendrat. Kawat adalah hal yang tidak asing lagi di Indonesia dan mempunyai banyak fungsi juga di kehidupan sehari-hari manusia. Kawat banyak digunakan pada pagar

jalan, penutup mesin, penutup jendela, devider penyekat gudang atau pabrik.

Salah satu kawat yang mudah didapatkan di pasaran adalah kawat loket lapis PVC ½ inci. Kawat loket PVC memiliki daya tahan dari karat atau anti korosi yang sangat kuat, lebih tahan api dan lebih kuat dari kawat biasa.

TUJUAN

Beberapa tujuan yang dapat diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serat kawat loket lapis PVC terhadap kuat lentur balok beton bertulang.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serat kawat loket lapis PVC terhadap lendutan balok beton bertulang.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Serat

Serat dapat berupa serat asbestos, serat plastic (*poly-propylene*), serat baja atau bendrat, serat alami (rami, sabut kelapa, bamboo, ijuk) (Trimulyono, 2004).

Kelebihan beton serat adalah sebagai berikut : meningkatkan kuat tarik, kuat tekan dan kuat desak beton, daktilitas dan kuat lentur meningkat, mereduksi retak-retak yang dapat terjadi, kekakuan beton meningkat, sedikitnya retak dan pengelupasan pada beton membantu untuk menghambat korosi pada besi tulangan akibat lingkungan, distribusi serat yang secara acak pada beton akan memberikan tahanan berimbang ke segala arah. Sedangkan kekurangan beton serat adalah sebagai berikut : pengerjaan yang sulit daripada beton biasa, biaya yang sedikit lebih mahal karena ada penambahan bahan berupa serat.

Serat

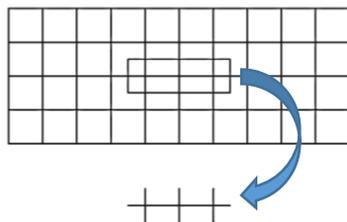
Beberapa macam bahan fiber yang dapat dipakai untuk memperbaiki sifat-sifat beton dilaporkan oleh ACI Committee 544 (1982) dan Soroushian dan Bayasi (1987). Serat tersebut adalah: serat metal, seperti serat baja, serat besi, serat bendrat, dan serat kawat; serat polymeric, seperti serat plastic dan serat nilon; serat mineral, seperti fiberglass; serat alam, seperti serat bambu, serat kayu dan serat kelapa.

Sudarmoko meneliti pengaruh aspek rasio serat (nilai banding panjang dan diameter serat) yang dinyatakan panjang serat, terhadap sifat-sifat struktural adukan beton yang mengandung serat

yang meliputi kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastis. Dengan panjang serat kawat bendrat 60, 80 dan 100 mm dengan konsentrasi serat 1 % dari volume adukan disimpulkan hasil terbaik ditunjukkan oleh beton serat dengan panjang serat 80 mm. (Ananta Ariatama, 2007). Potongan kawat adalah termasuk fiber lokal yang murah dan banyak tersedia di Indonesia.

Namun, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada beton serat (Suhendro, 2000), yaitu : *Fiber dispersion* yang berkaitan dengan teknik pencampuran serat kedalam adukan beton agar dapat tersebar merata dengan orientasi yang acak, *Workability* (kelecekan adukan) yang berkaitan dengan kemudahan dalam proses pengerjaan/pemadatan, termasuk indikatornya *Mix design/proportion* untuk memperoleh mutu tertentu dengan kecelakaan yang memadai.

Pada penelitian ini akan dipakai serat kawat loket PVC. Perbedaan kawat loket PVC ini dari kawat yang biasanya adalah bahwa kawat ini terdiri dari kotak – kotak kecil yang mempunyai luasan 1,2 x 1,2 cm. Dengan *Fiber volume fraction* (V_f) yang digunakan adalah 1 %. Kawat kasa yang digunakan mempunyai diameter 1 mm dengan panjang 3,6 cm. Bentuk penampang geometrik kawat kasa seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Penampang geometrik kawat kasa

Beton

Sifat dari bahan beton, yaitu sangat kuat untuk menahan tekan, tetapi tidak kuat (lemah) untuk menahan tarik. Oleh karena itu, beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikulnya menimbulkan tegangan tarik yang melebihi kuat tariknya (Asroni, 2010).

Beton Bertulang

Beton kuat menahan tekan dan lemah dalam menahan tarik, dan oleh karena kelemahan tersebut beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikul melebihi batas kuat tarik beton tersebut. Maka dari itu diperlukan tulangan baja yang berfungsi menyediakan kuat tarik pada beton.

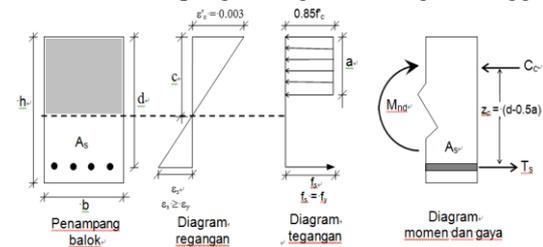
Keruntuhan Lentur

Keruntuhan yang terjadi pada balok lentur tergantung kepada sifat-sifat penampang balok. Jenis keruntuhan dapat dibedakan menjadi 3 yaitu:

1. Keruntuhan tekan (compression / brittle failure)
Pada keadaan ini, baja tulangan tarik pada kondisi belum leleh ($f_s < f_y$) sedangkan serat paling atas beton yang tertekan sudah hancur.
2. Keruntuhan seimbang (balance)
Pada keadaan ini, baja tulangan tarik pada kondisi mencapai tegangan leleh ($f_s = f_y$) bersamaan dengan serat paling atas beton yang tertekan hancur.
3. Keruntuhan tarik (tensile / ductile failure)
Pada keadaan ini, baja tulangan tarik pada kondisi sudah leleh ($f_s > f_y$) sedangkan serat paling atas beton yang tertekan belum hancur.

Kuat Lentur Pada Balok

Analisis Penampang Persegi Bertulangan Tunggal :



Gambar 2. Diagram Regangan, Tegangan, Gaya-Gaya dalam Penampang Balok

Keseimbangan Gaya:

$$\text{Gaya Tarik} = \text{Gaya Tekan}$$

Teori kekuatan batas (ultimate) memberikan syarat, yaitu baja tulangan tarik pada kondisi mencapai tegangan leleh ($f_s = f_y$) dan beton tekan pada kondisi mencapai regangan maksimum (Nurlina, 2011).

Lendutan

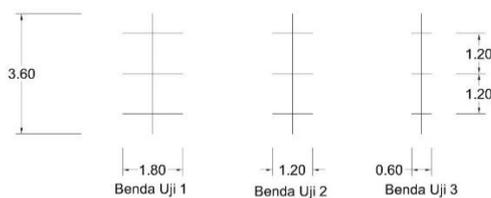
Defleksi adalah perubahan bentuk balok dalam arah y akibat pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok.

METODE PENELITIAN

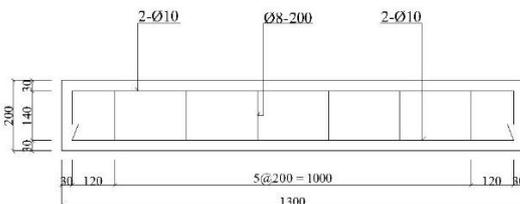
Benda uji berupa balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan variasi panjang kait (*interlocking*) 0,6 cm; 1,2 cm; 1,8 cm. Tulangan menggunakan tulangan polos

diameter 10 mm. Campuran beton yang digunakan pada benda uji adalah campuran semen, pasir, batu pecah, dan serat. Balok dicor menggunakan metode pengecoran konvensional yaitu menggunakan bekisting. Benda uji yang digunakan berjumlah 3 jenis yang terdiri:

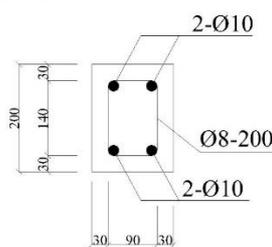
1. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait 0,6 cm.
2. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait 1,2 cm.
3. Balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC dengan panjang kait 1,8 cm.



Gambar 3. Variasi Panjang Kait Serat Kawat Loket Lapis PVC

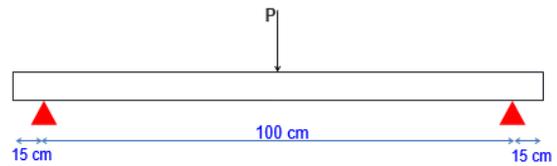


Gambar 4. Detail Tampak Samping Penulangan Balok



Gambar 5. Detail Potongan Balok

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menempatkan benda uji balok serat di tumpuan pada rangka baja (loading frame). Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian adalah 1 buah load cell sebagai beban terpusat, 1 buah hydraulic jack untuk mengontrol beban yang diberikan, dan 2 buah LVDT untuk mengetahui displacement yang terjadi.



Gambar 6. Penempatan balok sebelum diuji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Slump

Dalam pembuatan beton segar, pengujian Slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kekentalan adukan. Dari hasil uji slump didapatkan rata-rata nilai slump sebesar 13,6 cm dimana nilai tersebut masih memenuhi dari target yang ingin dicapai yaitu 12 ± 2 cm.

Komposisi Mix Design

Berdasarkan Perencanaan Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000) didapatkan komposisi untuk masing-masing berat campuran untuk 1 buah balok 21,7 MPa yaitu semen sebesar 18,40 kg, air sebesar 8,51 kg, agregat halus sebesar 21,67 kg, dan agregat kasar sebesar 37,23 kg.

Pengujian Kuat Tarik Kawat

Serat yang digunakan pada penelitian ini adalah kawat loket lapis PVC yang dipotong-potong dengan variasi panjang kait (interlocking) 0,6 cm, 1,2 cm, dan 1,8 cm. Panjang kawat yang digunakan berukuran 3,6 cm dan volume fraksinya sebanyak 1% dari volume silinder. Untuk mempermudah pelaksanaan, volume tersebut dikonversikan ke dalam satuan berat. Sehingga perlu dilakukan pemeriksaan berat isi dari kawat loket ini yang dikelompokkan berdasarkan variasi panjang kaitnya (interlocking).

Pada pemeriksaan berat isi kawat loket lapis PVC ini, didapat nilai masing-masing variasi yaitu, untuk variasi interlocking 0,6 cm, nilai berat isi adalah 0,405 gr/cm³, untuk variasi interlocking 1,2 cm, nilai berat isi adalah 0,371 gr/cm³, untuk variasi interlocking 1,8 cm, nilai berat isi adalah 0,263 gr/cm³.

Kawat ini telah dilakukan pengujian terhadap kuat tariknya. Hasil pengujian kuat tarik kawat ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik Kawat

No	Panjang Kawat (cm)	Kuat Tarik (N/mm ²)
1	5	205,758
2	10	199,394
3	15	216,364
4	20	192,606
5	25	186,667
Rata-rata		200,158

Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 2. Uji Tekan Beton Mutu 21,7 Mpa

Benda Uji Silinder	Kuat Tekan (Mpa)
Tanpa serat (Normal)	33.03
Dengan serat interlocking 0,6 cm	32.00
Dengan serat interlocking 1,2 cm	32.41
Dengan serat interlocking 1,8 cm	32.07

Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

Diketahui :

- l = 100 cm
- b = 15 cm
- h = 20 cm
- fc' = 33.03 MPa
- fy = 318 MPa = 3180 kg/cm²
- selimut beton = 30 mm
- d = 15,7 cm
- d' = 20 - d = 4,3 cm
- q = 0,15 x 0,2 x 2400 = 72 kg/m
- As = As' = 2-Ø10 (157 mm²)
- β = 0,828

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d} = \frac{1,57}{15 \cdot 20} = 0,0067$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{318} = 0,0044$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,75 \left(0,85 \cdot \frac{f'c}{fy} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{600 + fy} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(0,85 \cdot \frac{21,7}{240} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 240} \right) = 0,0358$$

→ ρmin < ρ < ρmax, sesuai dengan asumsi awal, balok mengalami kondisi *under-reinforced*.

Menentukan Kapasitas Momen :

Asumsi awal : Baja tarik sudah leleh, fs = fy

Baja tekan belum leleh, f's = εs' . Es

$$C = T$$

$$Cc + Cs = T$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a + As' \cdot f's = As \cdot fy$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a + As' \cdot \epsilon_s \cdot \frac{a}{0,85} \cdot Es = As \cdot fy$$

$$0,85 \cdot 33,03 \cdot 150 \cdot a + 157 \cdot 0,003 \cdot \frac{1,18a-43}{1,18a} \cdot 200000 = 157 \cdot 318$$

$$4211,33a + 94200 \cdot \frac{1,18a-43}{1,18a} = 49926$$

$$4211,33a^2 + 44274a - 3432711,86 = 0$$

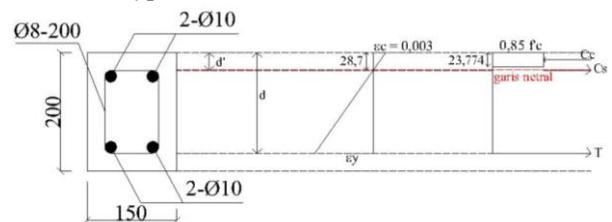
$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_1 = 23,774$$

$$a_2 = -34,287$$

Maka digunakan a = 23,774 mm

$$\text{Maka, } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{23,774}{0,828} = 28,7 \text{ mm}$$



Gambar 6. Analisis Penampang

Kontrol :

- Reg. baja tarik (εs) = 0,003 · $\frac{157 - 28,7}{28,7}$ = 0,01341
Teg. baja tarik (fs) = 0,01341 x 200000 = 2682 MPa
2682 MPa > 318 MPa → Baja tarik sudah leleh (sesuai asumsi)
- Regangan baja tarik (εs) = 0,003 · $\frac{43 - 28,7}{28,7}$ = 0,00149
Tegangan baja tarik (fs) = 0,00149 x 200000 = 298 MPa
298 MPa < 318 MPa → Baja tekan belum leleh (sesuai asumsi)

Perhitungan momen nominal penampang dengan tulangan tekan sebagai tulangan semu :

- Momen lentur nominal
Mn = Cc · (d - a/2)
= 0,85 · f'c · b · a (d - a/2)
= 14528462,32 Nmm = 1452,85 kgm

- Beban Terpusat yang dapat dipakai dalam desain

$$M_n = \frac{1}{4} P l + \frac{1}{8} q l^2$$

$$1452,85 = (\frac{1}{4} \cdot P \cdot 1) + (\frac{1}{8} \cdot 72 \cdot 1^2)$$

$$1452,85 = \frac{1}{4} P + 9$$

$$P = 5775,39 \text{ kg}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan beban untuk mutu beton sebesar 32 Mpa didapatkan hasil beban maksimum teoritis (Pu) sebesar 5661,46 kg, untuk mutu beton sebesar 32,41 Mpa didapatkan hasil beban maksimum teoritis (Pu) sebesar 5707,01 kg, dan untuk mutu beton sebesar 32,07 Mpa didapatkan hasil beban maksimum teoritis (Pu) sebesar 5669,25 kg.

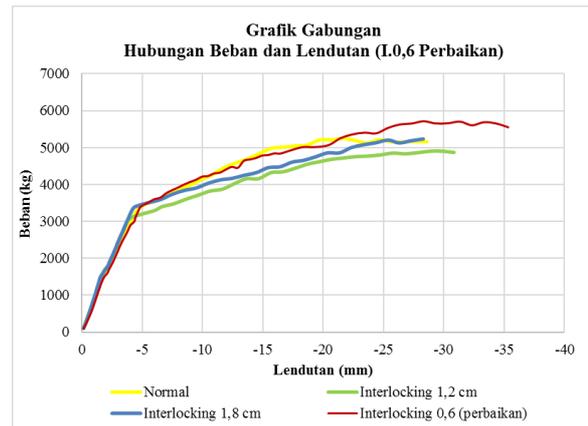
Beban Maksimum Aktual Hasil Pengujian

Pengujian balok dilakukan pada saat umur balok sudah mencapai umur 28 hari. Setelah dilakukan pengujian maka diperoleh data seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Beban Maksimum

Benda Uji (Balok)	P maks (kg)		KR (%)
	Aktual	Teoritis	
Tanpa serat (Normal)	5246	5775.38	9.17
Dengan serat <i>interlocking</i> 0,6 cm	5110	5661.46	9.74
Dengan serat <i>interlocking</i> 1,2 cm	4903	5707.01	14.09
Dengan serat <i>interlocking</i> 1,8 cm	5234	5669.25	7.68

Pada saat pengujian balok dengan penambahan serat dengan *interlocking* 0,6 cm terjadi kesalahan, yaitu tumpuan yang tergelincir. Pada saat tumpuan tergelincir, beban menjadi turun sehingga menyebabkan grafik turun. Kesalahan tersebut akan menyebabkan ketidaksesuaian dalam menentukan hasil dan hipotesis, sehingga diperlukan memperbaiki kesalahan tersebut dengan mengembalikan posisi grafik tersebut pada saat tumpuan tidak tergelincir. Memperbaiki grafik tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan penurunan beban pada saat tumpuan tergelincir kepada beban yang sebelumnya. Perbaikan grafik *interlocking* 0,6 cm dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lenturan

Perbaikan grafik *interlocking* 0,6 cm juga akan memperlihatkan beban maksimum yang sebenarnya / kondisi dimana tidak terjadi tumpuan yang tergelincir. Pada saat grafik awal beban maksimum yang dimiliki oleh *interlocking* 0,6 cm adalah 5110 kg dan pada saat grafik perbaikan, beban maksimum adalah 5716 kg.

Dapat dilihat pada tabel 3 bahwa beban maksimum balok dengan serat *interlocking* 1,2 cm dan 1,8 cm mempunyai hasil teoritis yang lebih tinggi daripada hasil aktual. Hal ini terjadi karena perhitungan beban maksimum secara teoritis menggunakan kuat tekan yang didapat dari hasil uji tekan silinder dan dapat diasumsikan bahwa kuat tekan antara silinder dan balok tidak sama. Hal ini dapat terjadi karena perlakuan pada saat pengecoran balok dan silinder mengalami perlakuan yang berbeda. Sedangkan balok dengan serat *interlocking* 0,6 cm mempunyai hasil aktual yang hampir mirip dengan hasil teoritis dengan kesalahan relatif sebesar 0,95 %.

Pada tabel terlihat bahwa hasil secara aktual, beton dengan penambahan serat kawat *interlocking* 0,6 cm mampu menahan beban vertikal maksimum yang lebih besar daripada beton dengan penambahan serat kawat *interlocking* 1,8 cm dan 1,2 cm.

Perhitungan Lenturan Teoritis

Perhitungan yang dilakukan untuk menentukan besarnya lenturan pada balok adalah lenturan seketika. Lenturan seketika pada komponen struktur terjadi apabila segera setelah beban bekerja seketika itu pula terjadi lenturan. Pada SK SNI 03-2847-2002 pasal 11.5 ayat 2.3 ditetapkan bahwa lenturan seketika dihitung dengan menggunakan nilai momen inersia efektif I_e .

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 15 \cdot 20^3 = 10000 \text{ cm}^4$$

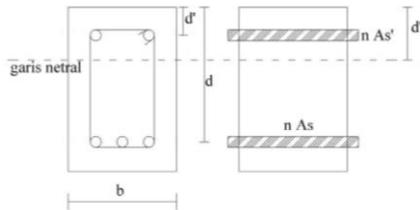
$$f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f'_c} = 0,7 \cdot \sqrt{33,03} = 12,7219$$

$$y_t = 0,5 h = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ cm}$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} = \frac{12,7219 \cdot 10000}{10} = 12721,91 \text{ kgcm}$$

E baja = 200000 Mpa
E beton = 27011,71 Mpa
n = E baja / E beton = 7,404

Letak garis netral (y) ditentukan sebagai berikut :



Gambar 8. Penampang Transformasi

Kedudukan Garis Netral:

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot y^2 + n \cdot A_s' \cdot y - n \cdot A_s' \cdot d' - n \cdot A_s \cdot d + n \cdot A_s \cdot y = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot 15 \cdot y^2 + 7,404 \cdot 1,57 \cdot y - 7,404 \cdot 1,57 \cdot 4,3$$

$$- 7,404 \cdot 1,57 \cdot 15,7 + 7,404 \cdot 1,57 \cdot y = 0$$

$$7,5y^2 + 23,249y - 232,492 = 0$$

Didapatkan $y_1 = 4,229 \text{ cm}$ dan $y_2 = -7,329 \text{ cm}$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot A_s \cdot (d - y)^2 + n \cdot A_s' \cdot (y - d')^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot 15 \cdot 4,229^3 + 7,404 \cdot 1,57 \cdot (15,7 - 4,229)^2 + 7,404 \cdot 1,57 \cdot (4,229 - 4,3)^2$$

$$I_{cr} = 1907,833 \text{ cm}^4$$

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \times I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right) \times I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{12721,91}{145285} \right)^3 \times 10000$$

$$+ \left(1 - \left(\frac{12721,91}{145285} \right)^3 \right) \times 1907,833$$

$$I_e = 1913,26 \text{ cm}^4$$

Lendutan akibat beban terpusat setelah retak:

$$\Delta_1 = \frac{Pl^3}{48E_c I_e} = \frac{5775,38 \cdot 100^3}{48 \cdot 27011,71 \cdot 1913,26} = 2,328 \text{ cm}$$

$$\Delta_2 = \frac{5ql^4}{384E_c I_e} = \frac{5 \cdot 0,72 \cdot 100^4}{384 \cdot 27011,71 \cdot 1913,26} = 0,018 \text{ cm}$$

$$\Delta_{maks} = \Delta_1 + \Delta_2 = 2,328 + 0,018 = 2,346 \text{ cm}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan lendutan untuk balok dengan serat interlocking 0,6 cm dengan kuat tekan sebesar 32 MPa yaitu sebesar 2,308 cm, untuk balok dengan serat interlocking 1,2 cm dengan kuat tekan sebesar 32,41 MPa yaitu sebesar 2,323 cm, dan untuk balok dengan serat interlocking 1,8 cm dengan kuat tekan sebesar 32,07 MPa yaitu sebesar 2,31 cm.

Momen Inersia dipengaruhi oleh dimensi penampang balok, dimana perbedaan dimensi setiap balok tidak terlalu signifikan. Sedangkan modulus elastisitas dipengaruhi oleh bahan penyusun balok dan setiap variasi mempunyai jumlah penambahan serat yang berbeda, sehingga lendutan lebih dipengaruhi oleh modulus elastisitas (E). Dimana semakin besar modulus elastisitas, lendutan akan semakin kecil dan sebaliknya.

Perbandingan Lendutan Teoritis dan Aktual

Tabel 4. Perbandingan Lendutan

Benda Uji (Balok)	Lendutan (cm)		KR (%)
	Aktual	Teoritis	
Tanpa serat (Normal)	2.168	2.346	7.62
Dengan serat interlocking 0,6 cm	2.836	2.308	18.62
Dengan serat interlocking 1,2 cm	2.983	2.323	22.12
Dengan serat interlocking 1,8 cm	2.830	2.310	18.36

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa perbedaan lendutan aktual dengan lendutan teoritis balok tidak terlalu signifikan. Dan juga perbedaan lendutan antar variasi juga tidak terlalu signifikan. Balok dengan penambahan serat kawat interlocking 1,8 cm mempunyai lendutan yang lebih kecil daripada balok dengan penambahan serat kawat interlocking 0,6 cm dan 1,2 cm.

Penambahan serat berpengaruh terhadap kuat tarik pada beton. Dengan penambahan kuat tarik pada beton maka retak yang terjadi pada beton dapat ditahan oleh serat. Serat akan menahan retak dengan kekuatan sendiri dengan lekatan antara serat dan pasta semen. Sehingga penambahan serat secara langsung berpengaruh terhadap momen crack. Sedangkan penambahan serat tidak berpengaruh

secara signifikan terhadap kuat tekan beton, sehingga tidak berpengaruh secara signifikan juga untuk momen lentur balok. Daktilitas juga akan meningkat jika beton ditambahkan dengan serat, dimana daktilitas adalah kemampuan material mengembangkan regangannya dari pertama kali leleh hingga akhirnya putus. Atau bisa juga diartikan seberapa plastis material tersebut. Dapat dilihat dari gambar 4.5 bahwa grafik balok dengan penambahan interlocking 0,6 cm daktilitas meningkat dari beton normal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan perhitungan teoritis balok beton bertulang dengan penambahan serat kawat loket lapis PVC, dapat disimpulkan :

1. Kekuatan lentur antara balok dengan interlocking 0,6 cm, interlocking 1,2 cm dan interlocking 1,8 cm tidak jauh berbeda baik secara teoritis maupun hasil aktual. Secara teoritis balok dengan interlocking 1,2 cm menghasilkan nilai P maks yang lebih besar, sedangkan secara aktual balok dengan interlocking 0,6 cm menghasilkan nilai P maks yang lebih besar. Dengan hasil secara teori, hipotesis awal dapat terbukti, sedangkan hasil aktual memperlihatkan bahwa hipotesis awal tidak terbukti. Kondisi seperti ini dapat terjadi karena kuat tekan antara silinder dan balok tidak sama. Perlakuan pengecoran balok dan silinder yang berbeda dapat menyebabkan kuat tekan yang berbeda juga. Penambahan serat kawat pada balok dapat mempengaruhi kekuatan balok tersebut. Dengan selisih beban maksimum balok normal dan balok dengan interlocking 0,6 cm sebesar 8,22%.
2. Balok dengan interlocking 1,8 cm menghasilkan lendutan aktual lebih kecil daripada balok dengan interlocking 0,6 cm, interlocking dan 1,2 cm tetapi dengan perbedaan lendutan yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 3,43%. Sedangkan dalam perhitungan teoritis, balok dengan interlocking 0,6 cm menghasilkan lendutan lebih kecil daripada balok dengan interlocking 1,2 cm dan 1,8 cm. Baik secara aktual dan teoritis tidak dapat membuktikan hipotesis awal. Hal ini terjadi karena kuat tekan silinder dan kuat tekan balok yang berbeda.

SARAN

Berikut merupakan beberapa saran-saran yang berkaitan dengan penelitian ini :

1. Proses pengecoran beton antara silinder dan balok harus sangat diperhatikan karena kualitas beton silinder dan balok harus sama. Hal ini menghindari perbedaan hasil yang sangat berbeda.
2. Perlu dilakukan hammer test pada balok untuk melihat hasil kuat tekan karena hasil uji tekan silinder bias sangat berbeda dengan kuat tekan yang dimiliki balok.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perbedaan mutu beton rencana dan mutu beton aktual agar tidak berbeda jauh.
4. Perlu diperhatikan pada saat pengujian balok, tumpuan lebih dipasang dengan baik dan paten, agar tumpuan tidak bergeser.
5. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai balok berserat kawat.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ariatama, Ananta. 2007. *Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasai Diameter Serat*. Tesis, Pasca Sarjana Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.
- McCormac, Jack C. 2014. *Design of Reinforced Concrete, Ninth Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Nurlina, Siti. 2008. *Struktur Beton*. Malang: Bargie Media Malang.
- P. Park and T. Paulay, 1975. *Reinforced Concrete Structure*, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia Tahun 1971*, PBI-1971.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Suhendro,B., 1991. *Pengaruh Fiber Kawat pada Sifat-Sifat Beton*, Seminar Mekanika Bahan Dalam Berbagai Aspek, Yogyakarta.
- Suseno, H. 2010. *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang : Bargie Media.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Nafiri Offset.

- Wibowo, Ari, John L. Wilson, Nelson TK Lam, Emad F. Gad. 2015. *Collapse Behaviour Assessment of Precast Soft Storey Building*. Procedia Engineering. Volume 125, Pages 1036-1042
- Wigroho H. W. dan Godiman R. S., 2006. *Pengaruh Penambahan Fiber Kawat Kasa Terhadap Kapasitas Kolom Penampang Segi Empat*. Jurnal Teknik Sipil Volume 7 No. 1 Oktober 2006.

