

**PENGARUH VARIASI PANJANG KAIT (*INTERLOCKING*) SERAT
KAWAT LOKET LAPIS PVC TERHADAP KEKAKUAN DAN POLA
RETAK BALOK BETON BERTULANG**

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD ICHSAN ARDYAN
NIM. 135060101111073**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI PANJANG KAIT (*INTERLOCKING*) SERAT KAWAT LOKET LAPIS PVC TERHADAP KEKAKUAN DAN POLA RETAK BALOK BETON BERTULANG

NASKAH PUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD ICHSAN ARDYAN

NIM. 135060101111073

Naskah Publikasi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 13 Juli 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Christin Remayanti N., 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 KEKAKUAN DAN POLA RETAK BALOK BETON BERTULANG

(Effect of Interlocking Length of PVC Coated Welded Wire Mesh on the Stiffness and Crack Pattern of Reinforced Concrete Beam)

Muhammad Ichsan Ardyan, Ari Wibowo, Christin Remayanti Nainggolan
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia-Telp (0341) 566710, 587711
E-mail: ichsan_ardyan@yahoo.com

ABSTRAK

Beton serat merupakan beton dengan penambahan serat. Penambahan serat bertujuan untuk meningkatkan sifat daktil dan kuat lentur dari beton. Sehingga kemampuan beton serat cocok untuk digunakan untuk struktur balok pada bangunan. Peningkatan kekuatan beton serat tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis serat dan seberapa banyak campuran serat yang digunakan dalam adukan beton segar.

Serat kawat yang digunakan pada penelitian ini adalah serat kawat loket lapis PVC dengan variasi pada benda uji yaitu panjang kait (*interlocking*) yang berbeda sepanjang 0,6; 1,2 dan 1,8 cm dengan panjang serat fiber untuk semua variasi adalah 3,6 cm. Setelah melakukan pengujian didapatkan data berupa kuat tekan balok serat, beban, lendutan dan pola retak yang terjadi.

Hasil dari pengujian dan analisis yang dilakukan terhadap data benda uji balok beton serat adalah kekakuan balok dengan panjang kait 0,6 cm memiliki nilai terendah dan mencapai maksimum pada variasi 1,2 cm dengan peningkatan kekakuan sebesar 2,33% untuk kondisi setelah crack dan 8,47% untuk beban P sebesar 1000 kg atau sebelum terjadi crack, lalu kekakuan kembali mengecil pada variasi 1,8 cm. Untuk hasil pola retak yang terjadi pada balok tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Semua balok diawali dengan pola retak lentur murni dan untuk balok dengan penambahan serat memiliki lebih banyak pola retak yang menyebar yang terus memanjang ke arah titik beban terpusat di tengah bentang.

Kata Kunci : Beton Serat, Serat Kawat Locket, Panjang Kait, Kekakuan, Pola Retak

ABSTRACT

Fiber concrete is concrete with addition of fibers. The addition of fiber aims to improve the nature of ductile and flexure of concrete. The ability of concrete fiber suitable for use for the structure of the beams on the building. The fiber concrete strength was greatly influenced by the type of fiber and how much fiber blend used in the fresh concrete mortar.

The fiber used in this research is PVC coated welded wire mesh with variation interlocking are different along 0.6; 1.2 and 1.8 cm, with a length of fiber for all variations is 3.6 cm. After doing the test data obtained in the form of compression test, load, deflection, and cracking patterns.

The results of the testing and analysis of fiber concrete beams test the stiffness with a interlocking 0.6 cm have the lowest value and the maximum variation is interlocking 1.2 cm with increased stiffness of 2.33% for condition after crack and 8.47% for the load P of 1000 kg or before crack occur, and then decrease back variation 1.8 cm. Results for the pattern of cracks that occurred didn't have significant difference. At the beginning all the beams start the crack with the flexure crack pattern and for beams with the addition of fibers have more widespread crack pattern that continues to extend toward the load point in the middle of the span.

Keyword: Fiber Concrete, Wiremesh Fiber, Interlocking, Stiffness, Pattern Cracks

PENDAHULUAN

Dewasa ini beton dengan mutu dan kinerja yang tinggi merupakan material bangunan yang sudah banyak digunakan dalam pelaksanaan struktur bangunan. Beton adalah material yang hampir pada setiap aspek kehidupan sehari-hari dijumpai, baik secara langsung maupun tidak langsung. Menurut SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Struktur yang terbuat dari beton antara lain balok, kolom, atap, pelat lantai (decks) jembatan, dan bangunan gedung-gedung bertingkat.

Struktur Beton tersebut memiliki kelemahan yaitu tidak mampu menahan gaya tarik, dimana nilai kuat tarik beton berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1994). Selain kuat tarik yang rendah, beton juga memiliki sifat getas (brittle). Oleh karena itu umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja untuk menahan gaya tarik dan sifat getas yang terjadi. Penambahan baja tulangan belum memberikan hasil yang cukup, karena retak-retak melintang halus akan tetap timbul didekat tulangan baja yang mendukung gaya tarik. Selain diperkuat dengan tulangan baja struktur beton juga bisa diperkuat dengan penambahan serat atau fiber yang terbuat dari baja.

Dalam perancangan struktur beton, tegangan tarik yang terjadi ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beton tarik tidak diperhitungkan menahan tegangan-tegangan tarik yang terjadi karena beton akan segera retak jika mendapat tegangan tarik yang melampaui kuat tarik. Dilihat dari segi keawetan struktur, retakan ini akan mengakibatkan korosi pada baja tulangan yang akan mengurangi luasan penampang baja. Oleh karena itu Selain diperkuat dengan tulangan baja, kuat tarik beton ini harus ditingkatkan agar mampu menahan tegangan tarik tanpa mengalami retakan yaitu salah satunya dengan menambahkan serat atau bahan fiber pada adukan sehingga menjadi beton serat.

Beton serat adalah material komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat (Tjokrodinuljo, 1996). Serat itu sendiri termasuk jenis bahan tambahan (additive) selain admixture dan fly ash (abu terbang) yang umum digunakan pada campuran adukan beton. Dengan ditambahnya serat, beton menjadi lebih tahan terhadap retak dan tahan terhadap benturan sehingga

beton serat lebih daktail daripada beton biasa. Dengan kata lain pengaruhnya terhadap kekuatan beton adalah meningkatkan kuat tarik, sementara terhadap kuat tekan beton pengaruhnya tidak begitu signifikan. Sehingga beton serat efektif digunakan pada struktur yang menerima tegangan tarik seperti struktur balok pada bangunan.

Balok beton adalah bagian struktur yang berfungsi untuk menopang lantai di atasnya dan juga berfungsi sebagai penyalur momen menuju kolom. Balok merupakan elemen lentur, yang menerima tegangan tekan pada serat atas dan tegangan tarik pada serat bawah.

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini kami akan meneliti lebih lanjut tentang pola retak yang terjadi pada balok beton serat dengan menggunakan serat kawat loket lapis PVC. Sehingga balok beton serat ini dapat menjadi alternatif yang baik sebagai balok struktural yang memiliki keunggulan dalam segi kekuatan dan ketahanannya terhadap pola retak.

TUJUAN

Tujuan penelitian yang harus dicapai dan menjawab rumusan masalah ialah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh kekakuan balok beton bertulang serat kawat loket lapis PVC dengan variasi panjang kait (interlocking).
2. Untuk mengetahui pengaruh pola retak balok beton bertulang serat kawat loket lapis PVC dengan variasi panjang kait (interlocking).

TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton merupakan bahan konstruksi yang diperoleh dari hasil pencampuran antara semen, air, dan agregat dengan perbandingan tertentu serta terkadang perlu ditambah bahan tambahan (Suseno, 2010). Pengerasan beton terjadi akibat dari reaksi kimia antara air dan semen yang nantinya akan mengikat kuat agregat satu dengan yang lain. Berdasarkan SNI 03-2834-2000, beton adalah campuran antara semen *Portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

Beton kerap dimanfaatkan dalam konstruksi karena memiliki berbagai kelebihan seperti memiliki kekuatan tinggi mudah dikerjakan, tahan lama, kedap air dan biaya perawatan murah. Selain itu, beton tahan terhadap api. Beton memang

sebagai penahan beban memiliki sifat kuat terhadap tekan, akan tetapi lemah untuk menahan tarik.

Beton Serat

Beton yang ditambahkan dengan serat disebut dengan beton serat. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastic (poly-propylene), potongan kawat baja, atau serat alami (rami, sabut kelapa, bamboo, ijuk) (Trimulyono, 2004). Dengan penambahan serat kedalam beton maka akan mengubah sifat beton, sehingga beton menjadi lebih daktil dan tidak mudah mengalami retak akibat gaya tarik yang disebabkan beban.

Keblebihan dan kekurangan beton serat adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kuat tarik, kuat tekan dan kuat desak beton.
2. Daktilitas dan kuat lentur meningkat.
3. Mereduksi retak-retak yang dapat terjadi
4. Kekakuan beton meningkat.
5. Sedikitnya retak dan pengelupasan pada beton membantu untuk menghambat korosi pada besi tulangan akibat lingkungan.
6. Distribusi serat yang secara acak pada beton akan memberikan tahanan berimbang ke segala arah.

Sedangkan kekurangan beton serat adalah sebagai berikut :

1. Pengerjaan yang sulit daripada beton biasa.
2. Biaya yang sedikit lebih mahal karena ada penambahan bahan berupa serat.

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. Penambahan tulangan pada beton disebut dengan istilah beton bertulang. Baja tulangan juga kekuatan tekan yang sama tingginya dengan kekuatan Tariknya, sehingga pemakaian baja tulangan selain untuk menahan kekuatan Tarik juga menahan kekuatan tekan bersama-sama dengan beton.

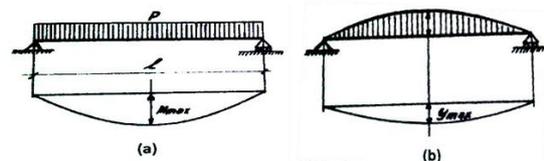
Teori Analisa Penampang Beton

Asumsi-asumsi dalam analisis beton (keadaan batas):

1. Penampang yang semula rata akan tetap rata setelah terjadi deformasi atau perubahan bentuk sampai beton mengalami kehancuran akan tetap tegak lurus pada sumbu kostruksi (asas Bernouli).
2. Regangan-regangan di dalam penampang dianggap berbanding lurus dengan jaraknya ke garisnetral (asas Navier)
3. Pada keadaan batas tegangan tekan beton tidak sebanding dengan regangannya. Bentuk dari balok tegangan tekan beton (dilihat pada penampang) berupa garis lengkung yang dimulai pada garis netral dan berakhir pada serat tepi yang tertekan, dimana tegangan tekan aksimum sebagai kekuatan tekan lentur beton pada umumnya tidak terjadi pada serat tepi.
4. Ikatan antara beton dan tulangan akan tetap dipertahankan sampai saat kehancuran. Dalam hal ini berarti regangan yang terjadi di dalam beton sama dengan regangan yang terjadi di dalam bajaitulangan ($\epsilon_c = \epsilon_s$).
5. Diagram tegangan-regangan beton sesuai pada grafik dan regangan maksimum yang terjadi di dalam beton, ϵ_c adalah 0,003.

Perhitungan Defleksi

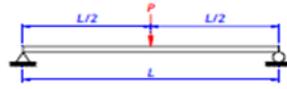
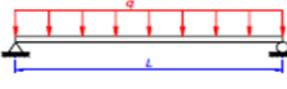
Defleksi pada suatu konstruksi batang dapat ditentukan sebagai bidang diagram momen oleh beban diagram momen M_0 yang direduksi dengan $-1/EI$. Garis elastis menjadi garis sisi diagram momen M itu. Garis elastis adalah garis sumbu suatu batang yang lurus yang akan melengkungioleh gaya atau momen yang membebaninya.



Gambar 1 Defleksi Balok Tunggal dengan Beban Merata (a) Bidang momen akibat beban merata (b) Bidang Momen yang menjadi beban untuk memperoleh grafik defleksi

Pada gambar 2.1 terlihat bidang momen akibat beban merata pada balok sederhana. Diagram momen yang ada pada gambar 2.1 (a) dibebankan pada balok direduksi $-1/EI$ seperti pada gambar 2.1 (b) sehingga diperoleh grafik defleksi pada balok sederhana dengan beban merata. Dapat disimpulkan dari gambar 2.1 hubungan antara beban dan defleksi, dimana beban mempengaruhi diagram momen dan nilai dari momen akan mempengaruhi defleksi.

Tabel 1. Rumus untuk menentukan defleksi

| Struktur & Pembebanan | Momen Maksimum | Defleksi Maksimum | Lokasi Maksimum |
|---|--------------------|---|---|
|  | $\frac{1}{4}PL$ | $\frac{PL^3}{48EI}$ | $\frac{1}{2}L$ |
|  | $\frac{Pab}{L}$ | $a \geq b \rightarrow \frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}LEI}$ | $a \geq b \rightarrow \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$ |
|  | Pa | $\frac{Pa}{24EI}(3L^2 - 4a^2)$ | $\frac{1}{2}L$ |
|  | $\frac{1}{8}qL^2$ | $\frac{5qL^4}{384EI}$ | $\frac{1}{2}L$ |
|  | $\frac{1}{12}qL^2$ | $\frac{qL^4}{120EI}$ | $\frac{1}{2}L$ |

Kekakuan

Kekakuan untuk sebuah struktur merupakan suatu yang penting. Kekakuan berguna untuk menjaga konstruksi agar tidak melendut lebih dari lendutaniyang disyaratkan. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan lendutan, semakin kaku suatu struktur makin besar nilai kekakuannya. Menurut Kenneth-Belanger (1981), kekakuan balok beton merupakan fungsi dari modulus elastis (E) dan momen inersia (I). Rumus umum kekakuan adalah :

$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(1)$$

- P = Beban yang terjadi
- Δ = Deformasi searah beban
- k = Kekakuan struktur

Rumus Δ didapatkan dari tabel 2.1, yaitu:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \dots\dots\dots(2)$$

- L = Panjang Balok
- E = Modulus elastisitas
- I = Momen Inersia

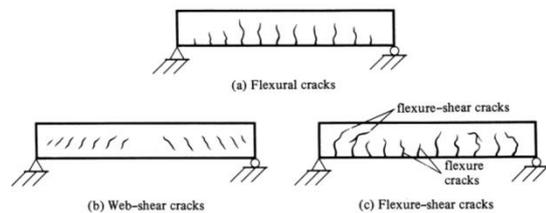
Pola Retak Dalam Balok Beton Bertulang

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakanpada balok seperti terlihat pada gambar :

1. Retak lentur (flexural crack), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur besar. Arah retak hampir tegak lurus pada sumbu balok.
2. Retak geser lentur (flexural shear crack), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi

keretakan lentur. Jadi retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak yang sudah terjadi sebelumnya.

3. Retak geser murni (shear crack), retak yang terjadi pada daerah dimana gaya geser maksimum bekerja dan tegangan normal sangat kecil.



Gambar 2 Jenis-jenis pola retak pada balok. (a) retak lentur (b) retak geser (c) retak geser lentur

Keruntuhan geser pada balok dapat dibagi menjadi empat kategori berdasarkan a/d, yaitu:

1. Balok tinggi dengan rasio a/d < 1/2, untuk jenis ini, tegangan geser lebih menentikan dibandingkan tegangan lentur. Setelah terjai keretakan miring, balok cenderung berperilaku sebagai suatu busur dengan beban luar ditahan oleh tegangan tekan beton dan tegangan tarik pada tulangan memanjang. Begitu keretakan miring terjadi, balok segera berubah menjadi suatu busur yang memiliki kapasitas yang cukup besar.
2. Balok pendek dengan 1 < a/d < 2,5 kekuatan geser balok pendek ini melampaui kapasitas keretakan miring. Seperti balok tinggi, kapasitas geser ultimit juga melampaui kapasitas keretakan geser. Keruntuhan akan terjadi pada tingkat beban tertentu yang lebih tinggi dari

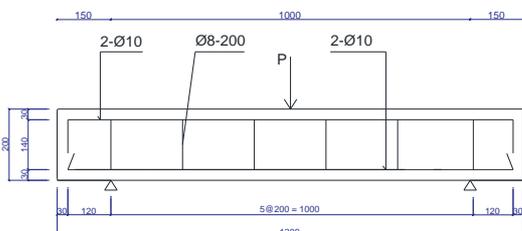
tingkat beban yang menyebabkan keretakan miring. Setelah terjadi keretakan geser-lentur, retakan ini menjalar ke daerah tekan beton bila beban terus bertambah.

- Balok dengan $2,5 < a/d < 6$ kekuatan geser sama dengan besar kapasitas keretakan miring. Pada jenis ini, lentur mulai bersifat dominan dan keruntuhan geser sering dimulai dengan retak lentur murni yang vertical di tengah bentang dan akan semakin miring jika semakin mendekati ke perletakan yang tegangan gesernya semakin besar.
- Balok panjang dengan rasio $a/d > 6$ kekuatan lentur lebih kecil disbanding kekuatan gesernya, atau dengan kata lain keruntuhan akan sepenuhnya ditentukan oleh ragam lentur.

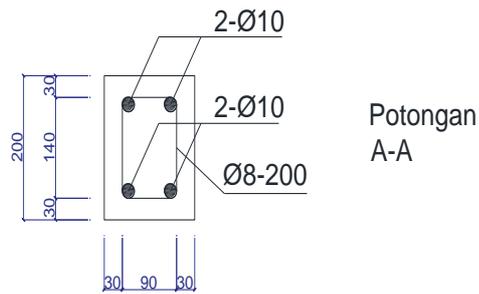
METODE PENELITIAN

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 seperti terlihat pada gambar 3.2. 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, dengan dimensi balok 150 mm x 200 mm dengan panjang 1000 mm dari tumpuan ke tumpuan seperti terlihat pada gambar 3 dan gambar 4. Benda uji yang digunakan berjumlah 3 jenis yang terdiri:

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



Gambar 3. Gambar detail balok beton



Gambar 4. Gambar potongan detail penulangan balok beton

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

Dengan perhitungan didapatkan hasil perhitungan maksimum teoritis seperti yang terlihat pada tabel .

Tabel 2. Hasil Perhitungan Beban Maksimum Teoritis

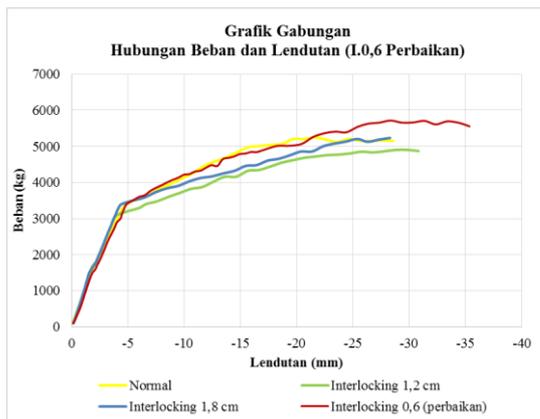
| Kode Balok | Kuat Tekan Aktual (Mpa) | Beban Maksimum Teoritis (kg) |
|------------|-------------------------|------------------------------|
| I.0,6 | 32 | 5661.4586 |
| I.1,2 | 32.41 | 5707.0087 |
| I.1,8 | 32.07 | 5669.2544 |
| Normal | 33.03 | 5775.3849 |

Perhitungan Maksimum Aktual Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian maka diperoleh data seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Lendutan Balok Teoritis dan Aktual

| 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 | 5716 | 5661.46 | 0.95 |
| 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 |



Gambar 5. Grafik Gabungan Hubungan Beban dan Lendutan

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 3 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.

Analisis Lendutan dan Kekakuan Balok Beton Serat

Dengan melakukan perhitungan data berdasarkan kuat tekan beton (f'_c), kuat tarik baja (f_y) dan modulus elastisitas (E) benda uji didapatkan lendutan teoritis dan dibandingkan dengan lendutan aktual seperti terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Lendutan Teoritis dan Aktual

| Kode Balok | Lendutan (cm) | | KR (%) |
|------------|---------------|----------|--------|
| | Aktual | Teoritis | |
| I,0,6 | 2.836 | 2.308 | 18.62 |
| I,1,2 | 2.983 | 2.323 | 22.12 |
| I,1,8 | 2.830 | 2.310 | 18.36 |
| Normal | 2.168 | 2.346 | 7.62 |

Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa perbedaan lendutan aktual dengan lendutan teoritis balok tidak terlalu signifikan. Balok dengan penambahan serat kawat interlocking 0,6 cm ; 1,2 cm, dan 1,8 cm lebih besar daripada balok normal, dan memiliki lendutan terbesar pada variasi dengan panjang kait 1,2 cm.

Perhitungan kekakuan balok aktual diperoleh dari hasil beban dan lendutan aktual pada saat pengujian balok mencapai batas elastisnya. Nilai perbandingan antara kekakuan teoritis dan aktual dapat dilihat pada tabel 5.

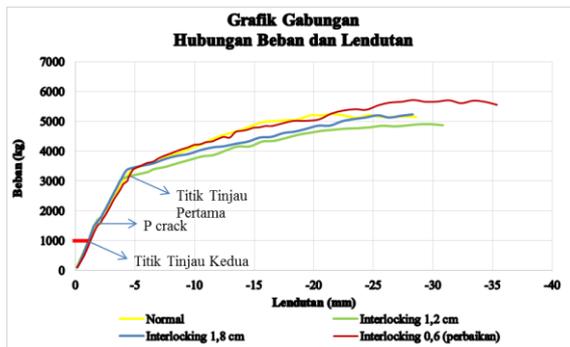
Tabel 5. Perbandingan Nilai Kekakuan Balok Teoritis dan Aktual Titik Tinjau 1

| Benda Uji | Kekakuan (kg/mm) | | Kesalahan Relatif (%) |
|-----------|------------------|-----------|-----------------------|
| | Aktual | Teoritis | |
| 0,6 | 807.54 | 2453.3442 | 67.08 |
| 1,2 | 904.26 | 2456.6195 | 63.19 |
| 1,8 | 898.88 | 2453.9066 | 63.37 |
| Normal | 883.65 | 2461.4895 | 64.1 |

Berdasarkan tabel menunjukkan bahwa kekakuan aktual lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan teoritis, akan tetapi terlihat bahwa pada penambahan serat pada balok dengan panjang kait.

(interlocking) 1,2 cm memiliki kekakuan aktual tertinggi yang jika dibandingkan dengan balok normal mengalami penambahan kekakuan sebesar 2,33 % dan berkurang kembali setelah panjang kait (interlocking) 1,8 cm.

Perbandingan kekakuan balok aktual dan teoritis dengan beban P yang sama yaitu 1000 kg seperti yang terlihat pada gambar 6 dan tabel 6.



Gambar 6. Titik tinjau kekakuan

Tabel 6. Perbandingan Nilai Kekakuan Balok Teoritis dan Aktual Titik Tinjau 2

| Benda Uji | Kekakuan (kg/mm) | | KR (%) |
|-----------|------------------|----------|--------|
| | Aktual | Teoritis | |
| 0,6 | 785.85 | 2366.36 | 66.79 |
| 1,2 | 915.33 | 2369.37 | 61.37 |
| 1,8 | 900.90 | 2366.88 | 61.94 |
| Normal | 843.88 | 2373.85 | 64.45 |

Hasil dari tabel 5 tidak berbeda jauh dengan tabel 6 dimana hasilnya menunjukkan bahwa kekakuan aktual lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan teoritis. Akan tetapi terlihat bahwa pada penambahan serat pada balok dengan panjang kait (interlocking) 1,2 cm memiliki kekakuan aktual tertinggi yang jika dibandingkan dengan balok normal mengalami penambahan kekakuan sebesar 8,47 % dan berkurang kembali setelah panjang kait (interlocking) 1,8 cm.

Hasil-hasil tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berdasarkan persamaan (2) dari rumus tersebut panjang balok (L) dan beban yang terjadi memiliki besaran yang sama untuk semua benda uji sehingga faktor-faktor yang mempengaruhi kekakuan balok tersebut adalah modulus elastisitas (E) dan momen inersia (I).

Modulus elastisitas E dipengaruhi secara tidak langsung oleh penambahan serat, pada perhitungan

E tersebut menggunakan rumus $f'c$ atau kuat tekan dari silinder. Penambahan serat hanya menambah kuat tarik dari beton, akan tetapi jika diamati beton

tidak hanya memendek tingginya namun juga melebar lingkarannya yang perbandingannya disebut poisson ratio, karena adanya penambahan lebar, maka ada serat kawat kasa yang tertarik sehingga menambah kuat tekan, dan berpengaruh secara tidak langsung terhadap modulus elastisitas beton.

Momen inersia I dipengaruhi langsung oleh serat kawat yang berhubungan langsung dengan retak yang terjadi pada beton yang menyebabkan pengurangan luas penampang pada balok. Momen inersia ini tidak berpengaruh pada perhitungan kekakuan sebelum retak terjadi, karena tidak ada pengurangan penampang yang terjadi pada balok.

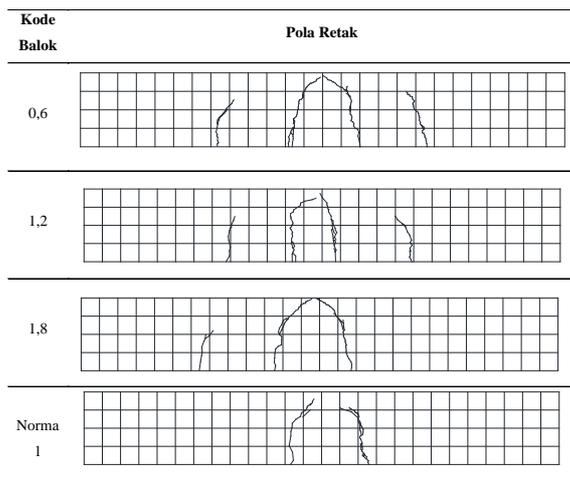
Hasil dari semua pengujian tersebut terlihat bahwa hasil pengujian/aktual memiliki nilai yang lebih buruk daripada perhitungan teoritis, hal tersebut bisa dikarenakan serat kawat loket yang tersebar acak pada saat pelaksanaan pengecoran, juga dikarenakan lapisan serat kawat yang licin terbuat dari PVC, sehingga terjadi slip atau tergelincirnya serat dengan beton pada saat dibebani yang menyebabkan kerja dari serat kawat tersebut pada saat menerima gaya tarik tidak maksimal.

Hasil Pengujian Pola Retak

Setelah dibebani balok akan mengalami retak, perilaku retak dari setiap variasi benda uji balok tersebut seperti yang terlihat pada gambar 7 dan gambar 8.

| Kode Balok | Pola Retak |
|------------|------------|
| I.0,6 | |
| I.1,2 | |
| I.1,8 | |
| Normal | |

Gambar 7. Hasil Pola Retak Balok Tampak Depan



Gambar 8. Hasil Pola Retak Balok Tampak Belakang

Pada gambar 7 dan 8 terlihat bahwa pola retak pada balok beton berserat lebih banyak dan menyebar dari pada balok normal dengan jenis pola retak lentur murni, dengan penambahan serat pola retak terlihat lebih panjang dan mengarah pada titik beban pada balok tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dari hasil dan proses penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan, yaitu :

1. Balok beton serat dengan panjang kait (interlocking) 0,6 cm memiliki nilai kekakuan yang paling rendah dan balok beton serat dengan panjang kait (interlocking) 1,2 cm menghasilkan nilai kekakuan yang lebih tinggi mengalami peningkatan sebesar 2,33% untuk kondisi setelah crack dan 8,47% untuk beban P sebesar 1000 kg atau sebelum terjadi crack, lalu kembali berkurang dengan variasi panjang kait (interlocking) 1,8 cm. Kondisi tersebut membuktikan bahwa dengan penambahan serat pada balok beton dengan panjang kait (interlocking) 1,2 cm adalah variasi optimum untuk menambah kekakuan balok walaupun penambahannya tidak terlalu signifikan. Dari keseluruhan hasil pengujian/aktual memiliki hasil yang lebih buruk dari perhitungan teoritis, hal tersebut dikarenakan serat kawat loket yang tersebar acak pada saat pelaksanaan pengecoran, juga dikarenakan lapisan serat kawat yang licin terbuat dari PVC, sehingga terjadi slip atau tergelincirnya serat dengan beton pada saat dibebani yang menyebabkan kerja dari serat kawat

tersebut pada saat menerima gaya tarik tidak maksimal.

2. Pola retak pada balok beton dengan penambahan serat tidak terlihat signifikan perbedaannya. Dengan penambahan serat pada balok beton memiliki lebih banyak pola retak, yang diawali dengan retak lentur murni dan terus memanjang kearah beban. P crack dengan variasi penambahan serat dengan panjang kait (interlocking) 0,6 adalah yang terendah dan mencapai puncaknya pada variasi penambahan serat dengan panjang kait (interlocking) 1,2 cm dan berkurang kembali pada variasi panjang kait (interlocking) 1,8 cm. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil kekakuan bahwa penambahan serat pada balok beton dengan panjang kait (interlocking) 1,2 merupakan penambahan optimum.

SARAN

Pada penelitian ini masih jauh dari kata sempurna yang mengakibatkan hasil pengujian memberikan jawaban pada rumusan masalah berbeda dari yang telah disusun, sehingga perlu adanya evaluasi dan masukan guna mencapai hasil yang diharapkan pada penelitian selanjutnya. Evaluasi beserta saran pada penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan suatu metode agar penyebaran serat lebih merata pada seluruh balok.
2. Dalam penelitian selanjutnya, perlu dipastikan bahwa keadaan dan kondisi semua benda uji memiliki perlakuan yang sama terutama pada saat pengecoran balok dan silinder untuk menghindari hasil yang tidak sesuai.
3. Perlu penambahan benda uji guna mendapatkan data yang lebih baik.
4. Perlu diperhatikan saat setting-up pengujian balok semua alat dalam kondisi baik, dan terpasang sempurna agar menghindari kesalahan seperti tumpuan rol yang dapat tergelincir.

Berikut beberapa saran yang dapat untuk dikembangkan penelitian yang dilaksanakan masih jauh dari kata sempurna namun masih tetap dapat digunakan sebagai referensi perbaikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

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.
- Ari Wibowo, 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.
- McCormac, Jack C. 2014. Design of Reinforced Concrete, Ninth Edition. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Napitupulu, Mariance. 2013. Analisa Dan Kajian Eksperimental Pengaruh Penambahan Serat Bendrat (Serat Kawat) Pada Daerah Tarik Balok Beton Bertulang. Skripsi, Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.
- 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.
- SNI 03-2847-2002. 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version). Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Silalahi, Rodo. 2013. Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Pemakaian Fiber Baja Dan Pemakaian Fiber Bendrat. Skripsi, Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan.
- 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.
- 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

