

# EKSPERIMENTAL KUAT LENTUR BALOK BERTULANG DAN BETON BUBUK REAKTIF BERSERAT BENDRAT

Oleh :

Lirawati

## ABSTRAK

Beton bubuk reaktif adalah jenis beton baru yang memiliki kuat tekan ultra tinggi, yang komponen penyusunnya adalah bubuk yang sangat halus yang memiliki kandungan silika tinggi. Beton bubuk reaktif memiliki kuat tekan dan daktilitas yang tinggi, yang berpotensi untuk menggantikan material baja dalam pekerjaan konstruksi, serta memiliki peluang yang sangat besar untuk material konstruksi di Indonesia. Pada penelitian ini dilakukan 3 macam uji kekuatan yaitu uji kuat tekan, uji tarik belah dan uji kuat lentur. Pengujian kuat tekan dilakukan pada kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan silinder berukuran 10 cm x 20 cm, dan kuat tarik belah pada silinder berukuran 10 cm x 20 cm serta kuat lentur dilakukan pada beton bubuk reaktif berukuran 4 x 6 x 60 cm dan balok bertulang berukuran 5 x 9 cm x 140 cm dengan penambahan serat bendrat 0.5% dari volume beton. Perawatan benda uji untuk kubus dan silinder dilakukan dengan curing air biasa. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa pada semen tipe II dapat meningkatkan kuat tekan biasa 43,9 MPa. Untuk kuat tarik belah beton dengan menggunakan semen tipe II lebih tinggi 3,95 MPa dari penggunaan semen tipe I sebesar 2,23 MPa. Kuat lentur pada beton bubuk reaktif dengan serat bendrat 0,5% sebesar 23,44 MPa dan beton bertulang dengan serat bendrat 0,5% sebesar 61,93 MPa.

**Kata kunci :** *Beton Bubuk Reaktif, Serat Bendrat, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Kuat Lentur.*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Beton adalah materi komposit antara pasta semen, agregat dan air. Kekuatan beton sangat tergantung kepada material penyusunnya. Pada awal tahun 1990 di Perancis, salah satu terobosan baru dalam bidang teknologi material beton adalah beton bubuk reaktif diperkenalkan. Beton bubuk reaktif mempunyai karakteristik berupa kuat tekan, daktilitas dan durabilitas yang sangat tinggi. Beton bubuk reaktif ini diklasifikasikan beton dengan kuat tekan diatas 200 MPa sebagai *Ultra High Strength Concrete (UHSC)*.

### 1.2. Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh serat bendrat terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton bubuk reaktif.

### 1.3. Lingkup Penelitian

1. Spesifikasi Bahan
  - Semen Portland tipe II dan tipe I, PT. Semen Tiga Roda.

- Agregat menggunakan pasir kuarsa *mesh 50* sebagai agregat kasar dan *mesh 200* sebagai agregat halus.
  - Menggunakan bahan *admixture Sika Viscocrete-3270*
  - Menggunakan serat bendrat
2. Pengujian dilakukan mulai dari kondisi linier elastis sampai dengan terjadinya kerusakan.
  3. Perilaku struktur yang dievaluasi terutama meliputi pola retak, dan analisa lentur balok beton bertulang.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Prinsip yang menjadi dasar dikembangkannya beton bubuk reaktif adalah memperbaiki homogenitas campuran, meningkatkan kerapatan kepadatan kering dengan pengurangan kadar air serta memberikan tekanan pada beton segar selama waktu *setting*, memperbaiki mikro struktur dengan perawatan (*curing*), meningkatkan *daktilitas* materialnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya, beton bubuk reaktif tidak hanya terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus dan air, tapi juga *superplasticizer*, *silica fume* dan *steel fiber* atau kawat bendrat.

## 2.1. Beton Serat

Beton serat adalah beton yang dalam pembuatannya ditambahkan serat kedalamnya, yang bertujuan untuk meningkatkan kuat tarik beton agar tahan terhadap gaya tarik yang diakibatkan pengaruh iklim, temperatur dan perubahan cuaca yang dialami oleh permukaan yang luas.

Pengaruh penambahan serat kedalam adukan beton tergantung pada jenis serat dari ukuran dan bentuknya, aspek rasio serat yang merupakan perbandingan antara panjang dan diameter serat, serta kosentrasi serat jika terlalu banyak kedalam adukan beton akan cenderung terjadi penggumpalan yang akan menghalangi penyebaran secara merata keseluruh beton.

## 2.2. Perencanaan Balok

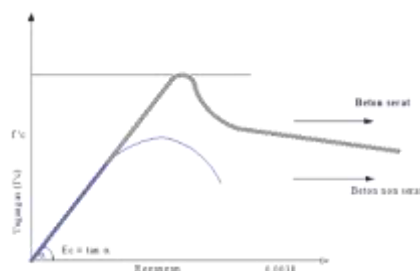
Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser. Dalam peraturan SNI-03-2847-2002 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung* untuk perencanaan balok yang memikul beban akibat gempa.

## 2.3. Perilaku Tegangan-Regangan Beton Berserat

Dalam hal ini dengan mengasumsikan adanya lekatan yang sempurna antara beton dengan baja tulangan, maka tulangan akan mengalami deformasi yang sama seperti halnya beton. Besarnya tegangan yang terjadi pada tingkatan ini berbanding lurus dengan regangan yang ada. Apabila beban terus ditambah, maka kekuatan tarik beton akan tercapai dan retak-retak pada beton akan muncul sehingga hubungan tegangan-regangan juga akan semakin naik dan tidak lagi berbanding lurus. Pada saat mendekati beban batas, tegangan tidak lagi garis lurus dengan regangan sehingga metode perancangan menggunakan perilaku *inelastis* material.

Beton serat merupakan campuran beton ditambahkan serat. Penambahan serat akan mengakibatkan penambahan kekuatan lentur beton sehingga beton yang berserat akan menjadi lebih lentur. Hubungan tegangan-regangan awalnya bersifat linier, tapi pada beton berserat hubungan tegangan-regangannya tidak sama persis dengan beton

tanpa serat. Dapat dilihat pada gambar 1, beton serat mempunyai sifat yang lebih daktail.



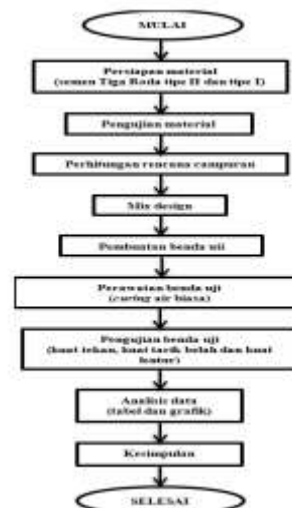
Gambar 1. Grafik Tegangan-Regangan Beton Berserat

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Tahapan Penelitian

Teknik analisis data yang digunakan peneliti adalah variabel bebas dengan serat bendrat 0% dan 0,5% (metode perawatan beton dengan cara direndam air biasa), variabel terikat (nilai kuat lentur) dan variabel pengendali/kontrol (faktor air semen, umur beton, jenis semen, agregat dan cara pembuatan benda uji).

Penggunaan benda uji dalam penelitian ini adalah benda uji kubus beton, silinder beton dan benda uji balok beton bertulang. Kubus beton dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm dan silinder beton 10 x 20 cm digunakan untuk uji kuat tekan/desak. Untuk uji tarik belah menggunakan silinder beton 10 x 20 cm, dan uji lenturnya menggunakan balok beton berukuran 4 x 6 x 60 cm, balok beton bertulang berukuran 5 x 9 x 140 cm dengan tulangan baja polos diameter 10 mm. Guna mempermudah proses pelaksanaan penelitian, maka analisis data dapat dilihat secara skematis dalam bagan alir sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan Alir Tahap Penelitian

### 3.2. Pengujian Benda uji

#### a. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan berdasarkan standar ASTM C39-94 “*Test Method For Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen*”. Kekuatan tekan beton merupakan salah satu dari kinerja utama beton. Pembebanan yang dipergunakan pada kekuatan tekan adalah pembebanan monotonik, yaitu benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan (*Compression Testing Machine*).

#### b. Uji Kuat Tarik Belah

Menentukan tarik dalam beton dengan cara langsung lebih sulit dilakukan, oleh karena itu telah dikembangkan cara-cara pengujian kuat tarik tidak langsung dengan membelah silinder tersebut (*Spilt Cylinder Test*). Dengan membelah silinder, maka terjadi pengalihan tegangan-tegangan tarik melalui bidang tempat salah satu diameter silinder beton tersebut terbelah sepanjang diameter yang dibebani.

#### c. Uji Kuat Lentur

Kekuatan lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakkan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya tiap satuan luas. Pengujian ini dilakukan dua cara, sebagai berikut:

- **Center point loading bending test**  
Pengujian ini dibebani dengan beban satu titik yang berdasarkan SNI 4154-2014 yang identik mengadopsi dari ASTM C293/C293M-10 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete.
- **Two point loading bending test**  
Pengujian ini berdasarkan SNI 4431-2011. Kuat lentur beton merupakan nilai lentur maksimal dari beton biasa (tanpa ada tulangan) yang diletakkan diatas 2 tumpuan kemudian dibebani pada setiap 1/3 dari bentang sehingga menghasilkan momen lentur yang mengalihkan tegangan-tegangan tarik pada bagian bawah dan tegangan-tegangan tekan pada bagian atas balok.

#### d. Uji Tarik Baja (*Coupon Test*)

Dalam penelitian ini digunakan tulangan diameter 10 untuk tulangan pokok balok, baja yang digunakan memiliki modulus elastisitas ( $E_s = 200000$  MPa) dengan kuat leleh ( $f_y = 300$  MPa).

### 3.3. Pelaksanaan Pengujian

Benda uji dibuat mengacu pada SNI-03-2847-2002 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Setelah benda uji balok siap uji, tempatkan benda uji yang telah selesai diukur, ditimbang dan diberi tanda pada tumpuan pada tempat yang tepat dengan sisi atas benda uji.

Selama berlangsungnya pengujian dilakukan pengamatan terhadap perilaku benda uji terutama terhadap bentuk deformasi, terjadinya leleh, peristiwa tekuk serta model keruntuhan yang menimbulkan menurunnya kemampuan struktur dalam menahan beban. Pada artikel-artikel yang telah diterbitkan mengenai beton bubuk reaktif, terdapat berbagai jenis komposisi campuran, tetapi dalam pelaksanaan di laboratorium, komposisi ini kemudian dikembangkan untuk mendapatkan komposisi yang optimum. Penelitian ini memakai komposisi dari mix design yang menggunakan Pan-Mixer di PT. Wika beton (Pio, 2015).

Tabel 1. *Mix Design* menggunakan *Pan-Mixer* di PT. Wika Beton

No	Material	Berat (Kg)	%
1	Semen	950	100
2	Silica fume (sika fume)	95	10
3	Pasir kuarsa #50	950	100
4	Pasir kuarsa #200	95	10
5	Superplasticizer (Viscocrete 10)	20.9	2
6	Sika fiber	0.6	0.000256
7	Air	229.9	22

Dari komposisi diatas, maka penelitian yang dilakukan dengan mengganti sika fiber menjadi serat bendrat dan menambahkan persentase air yang 22% ke 32%. *Mixing* menggunakan mini molen di laboratorium Teknik Sipil UNPAK Bogor dengan menggunakan cetakan kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm, cetakan silinder diameter 10 cm x 20 cm, balok bertulang berukuran 5 cm x 9 cm x 140 cm dan balok berukuran 4 cm x 6 cm x 60 cm.

Komposisi *mix design* yang dilakukan untuk pengujian uji kuat tekan/desak dan uji kuat

tarik belah menggunakan 2 macam semen Tiga Roda.

Tabel 2. *Mix Design* Dengan Serat Bendrat 0%

No	Material	Berat (kg)	%
1	Semen tipe II	19.5	100
2	<i>Silica fume</i> (sika fume)	1.95	10
3	Pasir kuarsa #50	19.5	100
4	Pasir kuarsa #200	1.95	10
5	Superplasticizer (Viscocrete 3270)	0.39	2
6	Serat bendrat	0	0
7	Air	6.5	32

Tabel 3. *Mix Design* Dengan Serat Bendrat 0%

No	Material	Berat (Kg)	%
1	Semen tipe I	8	100
2	<i>Silica fume</i> (sika fume)	0.8	10
3	Pasir kuarsa #50	8	100
4	Pasir kuarsa #200	0.8	10
5	Superplasticizer (Viscocrete 3270)	0.16	2
6	Serat bendrat	0	0
7	Air	2.56	32

### 3.4. Evaluasi terhadap Hasil Pengujian

Evaluasi terhadap hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan hasil uji eksperimental. Evaluasi dilakukan untuk menilai kriteria kelayakan (*acceptance criteria*) seluruh benda uji sebagai bagian dari sistem struktur yang menahan beban gempa. Evaluasi dilakukan dengan melibatkan beberapa aspek sebagai berikut:

- Pola Retak
- Kekakuan Awal (*Initial Stiffnes*)
- Degradasi kekakuan
- Daktilitas

## 4. HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

### 4.1. Pengujian Material benda uji

#### a. Agregat

Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah pasir kuarsa Bangka yang diolah oleh PT. Karunia Hosana, Bekasi. Penggunaan kuarsa sebagai agregat dapat memperkuat permukaan antara agregat dan pasta, sehingga kehancuran beton tidak terjadi pada permukaan. Walaupun terjadi membutuhkan energi yang tinggi sehingga tercapai mutu beton yang sangat tinggi.

#### b. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen tipe II dan tipe I dengan merek dagang Tiga Roda. Panas hidrasi

semen tipe II lebih rendah jika dibandingkan dengan tipe I. Berat jenis semen tipe II dan tipe I ini adalah 3.15 gr/cm<sup>3</sup> yang memenuhi standar ASTM C150-92.

#### c. *Silica fume*

*Silica fume* yang digunakan dalam penelitian ini adalah produksi PT. Sika Indonesia, dengan merek dagang sika fume.

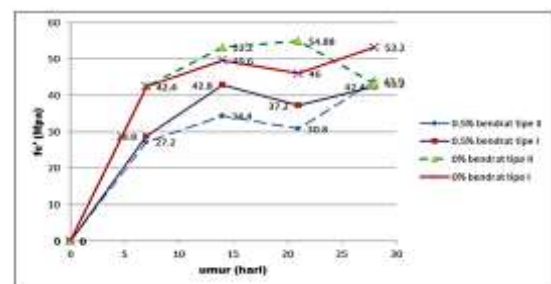
## 4.2. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Setelah melakukan pengujian terhadap sebagian material yang akan digunakan, mempersiapkan alat pengaduk beton (mini molen), cetakan benda uji dan bahan materialnya serta menyiapkan campuran dengan komposisi tertentu, tahap selanjutnya dengan melakukan prosedur *mix design*.

Perawatan untuk kubus 5 x 5 x 5 cm dilakukan dengan *curing* air biasa untuk uji tekan 7, 14, 21 dan 28 hari sedangkan untuk silinder 10 x 20 cm untuk uji tekan 7, 14, 28 hari dengan perawatan air biasa. Untuk tarik belah silinder dan kuat lentur balok pengujiannya diumur 28 hari dengan perawatan air biasa.

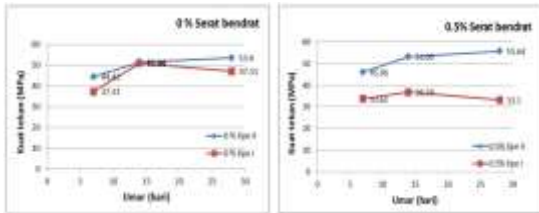
#### a. Kuat Tekan Beton

Hasil dari penelitian kuat tekan kubus dapat dilihat pada grafik hubungan umur dan kuat tekan yang terdapat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Umur dan Kuat Tekan Beton

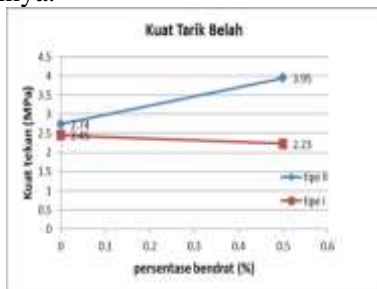
Pada hasil kuat tekan silinder untuk semen Tiga Roda tipe II pada umur 28 hari dengan serat bendrat 0% dan 0.5% mutu betonnya meningkat dan semen Tiga Roda tipe I dengan serat bendrat 0% dan 0.5% mutu betonnya menurun dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Umur dan Kuat Tekan Beton

### b. Kuat Tarik Belah Beton

Hasil kuat tarik belah beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada gambar 5. Berdasarkan hasil dari pengujian tarik belah, pada semen Tiga Roda tipe II dengan penambahan serat bendrat 0.5% beton mengalami peningkatan nilai kuat tarik belahnya, dan semen Tiga Roda tipe I dengan serat bendrat 0.5% beton mengalami penurunan nilai kuat tarik belahnya.



Gambar 5. Grafik Bubungan Persentase Bendrat Dengan Kuat Tekan Beton

### c. Kuat Lentur Beton

Hasil perhitungan kuat lentur beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6. Berdasarkan nilai pada tabel 5 dan 6, bahwa kuat tarik lentur untuk serat bendrat 0.5% dengan 1 beban terpusat turun sedangkan dengan 2 beban terpusat kuat tariknya meningkat. Untuk balok beton bertulang juga kuat tarik lenturnya meningkat dengan penambahan serat bendrat 0.5%.

Tabel 5. Hasil Kuat Tarik Lentur Beton Bubuk Reaktif Pada Umur 28 Hari

Dimensi 4 x 6 x 60 cm					
1 Beban Terpusat			2 Beban Terpusat		
Serat Bendrat	Beban (kN)	Kuat Lentur (MPa)	Serat Bendrat	Beban (kN)	Kuat Lentur (MPa)
0%	1	6.25	0%	2	15.62
0.50%	2	12.5	0.50%	3	23.44

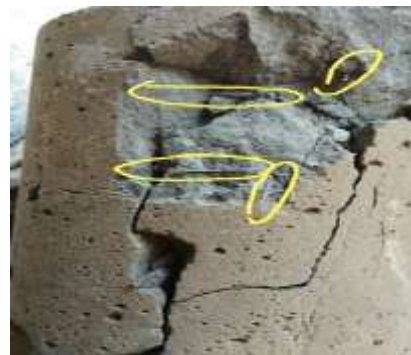
Tabel 6. Hasil Kuat Tarik Lentur Beton Bertulang Pada Umur 28 Hari

Dimensi 5 x 9 x 140 cm			
Serat Bendrat	Berat (kg)	Beban (kN)	Kuat lentur (MPa)
0%	14.28	10	56.92
0.50%	14.67	11	61.93

## 5. EVALUASI HASIL PENGUJIAN

### 5.1. Pola Retak Beton

Pengamatan retak dilakukan selama berlangsungnya pembebanan. Pola runtuh pada beton dengan penambahan serat bendrat pada pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah dan kuat geser beton menunjukkan bahwa serat bendrat mampu menahan benda uji beton tersebut untuk tidak langsung hancur pada waktu pengujian. Pada waktu benda uji dibongkar setelah pengujian, serat bendrat tersebut masih terempel pada salah satu sisi dari beton tersebut dan serat Keruntuhan yang terjadi pada beton serat diakibatkan lepasnya lekatan antara serat dan beton bukan karena putusanya serat akibat pembebanan pada waktu pengujian. Hal ini dapat menunjukkan bahwa dengan menambahkan serat bendrat pada campuran beton dapat meminimalisir keruntuhan langsung pada beton tersebut atau dapat mengurangi sifat getas beton bendratnya tidak mengalami *crack*.



Gambar 6. Benda Uji Silinder

Untuk retak struktur balok memiliki pola vertikal atau diagonal, selain itu terdapat juga pola retak-retak rambut. Pada pengujian balok beton berserat, keretakan yang terjadi adalah pada bagian tengah yang diawali retak rambut pada bagian bawah yang kemudian menjalar kebagian atas membentuk garis lurus.



Gambar 7. Pola Retak Beton Dengan Serat Bendrat

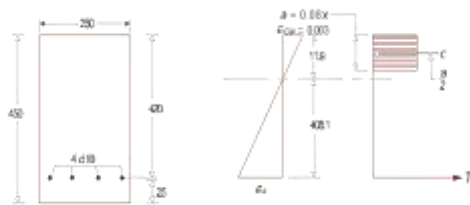
Pola retak pada beton bertulang yang terjadi akibat adanya pembebanan vertikal pada balok beton, pada beban kecil belum timbul retakan karena secara bersama-sama beton dan baja menahan gaya-gaya dimana gaya tekan ditahan oleh beton dan gaya tarik ditahan oleh beton dan baja tulangan. Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui dan beton mengalami retak rambut, pada saat itu baja tulangan akan mengambil alih memikul seluruh gaya tarik yang timbul dan beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi daerah retak. Pada pembebanan ultimit, dimana kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai luluh, balok mengalami hancur yang ditunjukkan dengan retak yang sangat lebar dan lendutan yang sangat besar.



Gambar 8. Pola Retak Beton Bertulang

## 5.2. Analisa Lentur Balok Beton Bertulang

Model yang digunakan untuk analisa adalah balok tampang segi empat yang berupa beton bertulang dengan tulangan tarik.



Gambar 9. Balok Bertulangan Tunggal

Balok dengan karakteristik:

- a. Tinggi balok (h) : 450 mm
- b. Lebar balok (b) : 250 mm
- c. Tulangan tarik 4 D10
  - Luas tampang ( $A_s$ ) : 314 mm<sup>2</sup>
  - Jarak pusat tulangan tarik ke ujung atas balok (d) : 420 mm
- d. Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) : 54.8 MPa
- e. Kuat leleh baja ( $f_y$ ) : 300 MPa
- f. Elastisitas baja ( $E_s$ ) : 200000 MPa

Misalkan bahwa tulangan telah meleleh sewaktu kekuatan dicapai. Dari gambar 15 gaya-gaya dalam adalah

$$C = 0.85 f'_c b a$$

$$= 0.85 \times 54.8 \times 250 \times a$$

$$= 11645 a$$

$$T = A_s f_y = 314 \times 300 = 94200 \text{ N}$$

Untuk keseimbangan,  $C = T$  sehingga

$$0.85 f'_c b a = A_s f_y$$

$$11645 a = 94200$$

$$a = 8.089 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0.67 \quad \text{untuk } f'_c = 54.8 \text{ MPa}$$

Letak garis netral

$$x = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8.089}{0.67} = 12.074 \text{ mm}$$

Regangan didalam baja tarik pada saat dicapainya regangan beton sebesar 0.0003 didapat dari kesebandingan garis lurus.

$$\epsilon_s = \frac{d - x}{x} (0.0003) = 0.0101$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{300}{200000} = 0.0015$$

Kapasitas nominal lentur balok adalah

$$M_n = C \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{atau} \quad T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 3.919 \times 10^7 \quad \text{Nmm}$$

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan bahan kimia tambahan (*superplasticizer*) visconcrete 3270 sebesar 2% dari berat semen pada adukan beton dan penambahan serat berupa kawat bendrat lurus (*straight*) tidak berpengaruh besar terhadap *workability*.
2. Untuk hasil tarik belah dengan serat bendrat menggunakan semen tipe II sebesar 3.95 MPa dan semen tipe I sebesar 2.23 MPa.
3. Pada hasil lentur beton pada 1 beban terpusat sebesar 12,5 MPa dan pada 2 beban terpusat sebesar 23,44 MPa.
4. Hasil lentur beton bertulang pada pengujian sebesar 61,93 MPa.
5. Keruntuhan yang terjadi pada balok 4 x 6 x 60 cm adalah keruntuhan lentur, sedangkan pada balok 5 x 9 x 140 cm adalah keruntuhan tarik diagonal.

## 6.2. Saran

1. Perlu diperhatikan dalam perencanaan pencampuran (mix design) serta dibutuhkan ketelitian saat proses pembuatan benda uji dari persiapan awal sampai tahap pengecoran, karena dapat menentukan kualitas beton yang dihasilkan.
2. Pada pengujian tarik lentur perlu dilakukan pengamatan terhadap pola retak dengan menggunakan alat *microcrack* agar dapat diketahui lebar dan pola retak yang lebih akurat.
3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk penambahan serat dapat lebih bervariasi lagi.
4. Pada perencanaan balok beton bertulang disarankan perencanaan balokannya berdasarkan ukuran standar uji coba laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI Committee 318 (1999), *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary* (ACI 318-99/ACI 318R-99), *American Concrete Institute, Detroit*, 315-318.
- [2] *American Standard Testing of Materials* (ASTM). (1918), *Concrete and Material Aggregates (Including Manual of Aggregates and Concrete Testing)*. ASTM Philadelphia, Philadelphia.
- [3] Standar Nasional Indonesia (2002), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung* (SNI 03-2847-2002). Bandung.
- [4] Naibaho, Pio R.T. (2015), "*Perilaku Histeresis Sambungan Balok-Kolom Eksterior Reactive Powder Concrete*". ITB. Bandung.
- [5] Paulay, T., dan Priestley, M.J.N. (1992), *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*. Canada: John Wiley and Sons Inc.
- [6] Wang, Chu-Kia., Salmon, Charles., & Hariandja, Binsar., "*Disain Beton Bertulang*", 1990.
- [7] Vis, Gideon, Utomo & Hariandja, Binsar., "*Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*", 1993.
- [8] SNI 03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [9] SNI 4145-2014. *Metode Pengujian Kuat Lentur Dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [10] SNI 03-4431-2013. *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [11] Suhendro, B. (1991), *Pengaruh Fiber Kawat Lokal Pada Sifat-sifat Beton*, Laporan Penelitian, Lembaga Penelitian UGM. Yogyakarta.
- [12] SNI 03-2491-1991. *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [13] Zai, Krisman A. (2014), *Pengaruh Penambahan Silica Fume dan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Metode ACI* (*American Concrete Institute*). USU. Medan.

## PENULIS :

**Lirawati, ST., MT.**, Staf Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan, Bogor