

# PENGARUH DOSIS, ASPEK RASIO, DAN DISTRIBUSI SERAT TERHADAP KUAT LENTUR DAN KUAT TARIK BELAH BETON BERSERAT BAJA

Ahmad Saifudin <sup>1)</sup>, Sholihin As'ad <sup>2)</sup>, Sunarmasto, <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2), 3)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: ahmadsai.civilist@gmail.com

## Abstract

Concrete has a high compressive strength but it is less in tensile strength and brittle. This weakness can be solved by mixing concrete with fibre which function as micro reinforcement. This study aimed to observe influence of dosage, aspect ratio, and distribution fiber on modulus of rupture and split tensile strength of steel fiber reinforced concrete. This study used the experimental method that was performed in the laboratory. Steel fiber reinforced concrete test specimens used were 54 pieces. Flexural strength of concrete specimens were beams with size of 10 cm x 10 cm x 40 cm, while split tensile strength of concrete test specimens were cylinders with diameter of 15 cm and 30 cm high. Fiber that used in this study is steel fiber Dramix RC 80/60 BN and RC 65/35 BN. Fiber dosage in concrete mix was 20 kg/m<sup>3</sup>, 40 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>, and 80 kg/m<sup>3</sup>. Specimens were tested after 28 days of concrete age. The test results showed that the addition of steel fiber in concrete can increase the modulus of rupture and split tensile strength. The modulus of rupture and split tensile strength increase 77.02% and 44.2% respectively. Fiber with higher aspect ratio showed better performance on modulus of rupture and split tensile strength than fiber with small aspect ratio. The performance of fiber reinforced concrete also influenced by distribution of fiber and amount of fiber in crack area. The performance of fiber reinforced concrete increases along with the addition of fiber amount.

**Keywords:** fiber reinforced concrete, modulus of rupture, split tensile strength, steel fiber

## Abstrak

Beton memiliki kuat tekan yang besar namun memiliki kuat tarik yang kecil dan bersifat getas. Kelemahan ini dapat dikurangi, salah satunya dengan menggunakan serat sebagai *micro reinforcement*. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh dosis, aspek rasio, dan distribusi serat terhadap kuat lentur dan kuat tarik belah beton berserat baja. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Benda uji beton serat yang digunakan berjumlah 54 buah. Benda uji kuat lentur menggunakan balok dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 40 cm, sedangkan benda uji kuat tarik belah menggunakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jenis serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat baja Dramix tipe RC 80/60 BN dan RC 65/35 BN. Dosis serat yang digunakan sebesar 20 kg/m<sup>3</sup>, 40 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>, dan 80 kg/m<sup>3</sup>. Beton diuji setelah berumur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat baja dengan berbagai dosis dapat meningkatkan kuat lentur dan kuat tarik belah. Peningkatan terbesar terjadi pada penggunaan dosis 80 kg/m<sup>3</sup> yang mengalami peningkatan kuat lentur hingga 77,02% dan kuat tarik belah hingga 44,62%. Serat dengan aspek rasio besar memberikan kinerja yang lebih baik dalam hal kuat lentur dan kuat tarik belah dibandingkan serat dengan aspek rasio kecil. Kinerja beton serat juga dipengaruhi oleh distribusi serat dan jumlah serat di daerah retakan. Kinerja beton serat cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah serat.

**Kata kunci:** beton serat, kuat lentur, kuat tarik belah, serat baja

## PENDAHULUAN

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi namun memiliki kuat tarik yang kecil dan bersifat getas. Kelemahan ini dapat dikurangi dengan menggunakan *micro reinforcement* seperti beton serat. Salah satu jenis serat yang paling banyak digunakan adalah serat baja. Penambahan serat baja hingga dosis tertentu pada campuran beton telah terbukti dapat menaikkan nilai kuat tarik beton tersebut. Penambahan serat baja yang terlalu banyak dapat menyebabkan kinerja serat menjadi kurang maksimal dan dapat berakibat pada turunnya nilai kuat tarik maupun kuat tekan beton serat. Penurunan nilai kuat tekan maupun kuat tarik ini banyak dijumpai di berbagai penelitian sebelumnya yang bisa dikarenakan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah orientasi penyebaran serat (*fiber dispersion*). Penelitian ini bermaksud untuk mengamati perilaku beton berserat baja dengan dosis dan aspek rasio serat yang berbeda. Perilaku beton serat yang diamati adalah kinerja terhadap kuat lentur dan kuat tarik belah. Selain itu dilakukan pula pemeriksaan distribusi serat pada saat beton masih segar dan saat beton sudah keras.

## LANDASAN TEORI

Beton serat merupakan material komposit yang terdiri dari semen, air, agregat halus, dan agregat kasar dengan perbandingan tertentu, dengan bahan tambah berupa serat. Penambahan serat pada beton mengakibatkan beban tarik yang timbul akan dilawan oleh gaya lekatan antara beton dengan serat sehingga terjadi peralihan perlawanan tegangan tarik dari beton ke serat. Beton serat akan mengalami kegagalan apabila kuat lekat terlampaui dan terjadi proses cabut (*pull out*). Peningkatan kemampuan menahan beban tarik beton serat berasal dari kumulatif gaya perlawanan ikatan beton serat tunggal terhadap tegangan tarik. Penambahan serat pada beton akan menjadikan

beton mengalami peningkatan sifat struktural yang dipengaruhi oleh orientasi penyebaran serat (*fiber dispersion*), letakan pada alur retakan, panjang tertanam serat yang tidak teratur (*random*). Pada penelitian ini tinjauan utama yang dihitung adalah kuat lentur dan kuat tarik belah yang dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{MOR} = \frac{M}{S} = \frac{\frac{1}{2}Px\frac{1}{3}L}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{PL}{bh^2} \dots\dots\dots [1]$$

dengan:

- MOR = *Modulus of Rupture* (N/mm<sup>2</sup>)
- P = Beban Maksimum pada balok benda uji (Newton)
- L = Panjang Bentang (mm)
- b = Lebar balok benda uji (mm)
- h = Tinggi balok benda uji (mm)

$$f^t = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{1}{2}\pi DL} = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots [2]$$

dengan:

- f<sup>t</sup> = Kuat tarik belah beton (N/mm<sup>2</sup>)
- P = Beban maksimum yang diberikan (N)
- D = Diameter benda uji silinder (mm)
- L = Panjang benda uji silinder (mm)

Adanya serat dalam beton membuat beton tidak mengalami patah seketika. Adanya serat dalam campuran beton menyebabkan mekanisme penyerapan energi dilakukan secara bertahap mulai dari saat retakan matrik (*matrix cracking*), pelepasan ikatan pada permukaan serat/matrik (*fiber/matrix debonding*), aksi serat yang mengikat sekelilingnya (*fiber bridging*), proses cabut (*pull out*), dan keruntuhan serat (*fiber failure*). Mekanisme ini membuat beton serat masih dapat menerima pembebanan meskipun sudah mengalami retak pertama yang digambarkan dengan kurva beban-lendutan. Kurva beban-lendutan ini menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan oleh beton untuk mencapai nilai defleksi tertentu yang selanjutnya digunakan untuk menentukan kuat lentur ekuivalen dan *toughness index* beton serat. Kuat lentur ekuivalen dan *toughness index* beton serat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$f_{eqms} = \frac{P_{0,33} \cdot L}{bh^2} \dots\dots\dots [3]$$

$$f_{eqmu} = \frac{P_{0,33-2,0} \cdot L}{bh^2} \dots\dots\dots [4]$$

$$P_{0,5-3,0} = \frac{A_{0,33-2,0}}{L/180} \dots\dots\dots [5]$$

dengan:

- f<sub>eqms</sub> = Kuat lentur ekuivalen (MPa)
- f<sub>eqmu</sub> = Kuat lentur ekuivalen (MPa)
- P<sub>0,33</sub> = Beban saat benda uji mengalami defleksi 0,33 mm (N)
- P<sub>0,33-2,0</sub> = Beban saat benda uji mengalami defleksi 0,33-2,0 mm (N)
- A<sub>0,33-2,0</sub> = Besar kerja saat pembebanan pada defleksi 0,33-2,0 mm (Nmm<sup>2</sup>)
- L = Panjang bentang (mm)
- b = Lebar penampang benda uji (mm)
- h = Tinggi penampang benda uji (mm)

$$I_5 = \frac{A_1 + A_2}{A_1} \dots\dots\dots [6]$$

$$I_{10} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{A_1} \dots\dots\dots [7]$$

dengan:

$I_5$  dan  $I_{10}$  = *Toughness index*

$A_1$  = Luas area mulai dari defleksi 0 hingga saat retak pertama

$A_2$  = Luas area mulai dari defleksi saat retak pertama hingga 3 kali defleksi saat retak pertama

$A_3$  = Luas area mulai dari 3 kali defleksi saat retak pertama hingga 5,5 kali defleksi saat retak pertama

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan total benda uji 54 buah. Benda uji kuat lentur menggunakan balok dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 40 cm, sedangkan benda uji kuat tarik belah menggunakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jenis serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat baja Dramix tipe RC 80/60 BN dan RC 65/35 BN. Dosis serat yang digunakan sebesar 20 kg/m<sup>3</sup>, 40 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>, dan 80 kg/m<sup>3</sup>. Beton diuji setelah berumur 28 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi kuat lentur, kuat tarik belah, dan distribusi serat. Pemeriksaan distribusi serat dilakukan saat beton masih segar dan saat beton selesai diuji. Pada beton segar, diambil 5 sampel secara acak kemudian dihitung jumlah seratnya sedangkan pada beton yang telah selesai diuji, beton dipotong kemudian dihitung jumlah serat yang nampak pada permukaan beton. Hasil penghitungan distribusi serat yang didapat di lapangan ini kemudian dibandingkan dengan hitungan secara teoretis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Bahan Dasar

Bahan dasar yang di uji dalam penelitian ini adalah agregat halus dan agregat kasar.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan Lumpur	4 %	Maksimum 5 %	Memenuhi syarat
<i>Bulk specific gravity</i>	2,61 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,63 gr/cm <sup>3</sup>	2,5-2,7	Memenuhi Syarat
<i>Apparent specific gravity</i>	2,68 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Absorbtion</i>	1,01 %	-	-
Modulus Halus	2,87	2,3-3,1	Memenuhi syarat

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk specific gravity</i>	2,46 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,53 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Apparent specific gravity</i>	2,64 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Absorbtion</i>	2,83 %	-	-
Abrasi	44,3 %	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus Halus	5,22	5-8	Memenuhi syarat

### Rencana Campuran Adukan Beton

Perhitungan rencana campuran (*mix design*) beton mengacu pada metode SK SNI T-15-1990-03 dengan  $f_c$  30 MPa. Total material yang dibutuhkan untuk membuat 1 m<sup>3</sup> beton (berat 2320 kg) adalah sebagai berikut :

- Semen = 500 kg
- Pasir = 685,85 kg
- Kerikil = 909,15 kg
- Air = 225 liter

### Pengujian Kuat Lentur

Pengujian dilakukan pada beton yang telah berumur 28 hari dengan menggunakan *Loading Frame*. Hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Tabel 3.

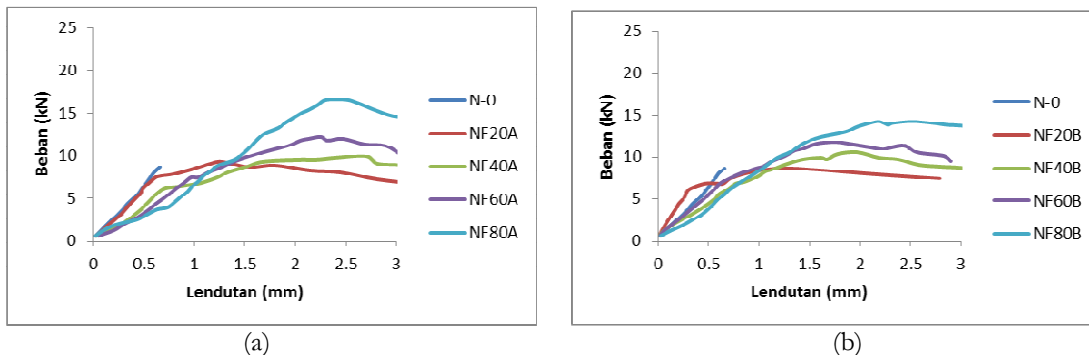
Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 28 hari

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	Selisih (MPa)	Selisih (%)
0	N-0	2.493	0	0
20	NF20A	2.803	0.310	12.42
	NF20B	2.617	0.124	4.97

40	NF40A	2.989	0.496	19.88
	NF40B	2.741	0.248	9.94
60	NF60A	3.608	1.115	44.72
	NF60B	3.422	0.929	37.27
80	NF80A	4.414	1.920	77.02
	NF80B	4.352	1.858	74.54

Kuat lentur beton cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya dosis serat. Serat tipe RC 80/60 BN yang memiliki aspek rasio 80 memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan serat tipe RC 65/35 yang memiliki aspek rasio 65. Kenaikan kuat lentur terbesar terjadi pada pemakaian serat tipe RC 80/60 BN dengan dosis 80 kg/m<sup>3</sup> yang mencapai 4,414 MPa atau meningkat 77,02% dibandingkan dengan beton normal. Adanya serat pada daerah retakan membuat beton masih mungkin menerima pembebanan lebih lanjut hingga serat tersebut putus ataupun terlepas dari mortar. Semakin banyak jumlah serat pada daerah retakan semakin besar pula perlawanan yang diberikan.

Berdasarkan data hasil uji kuat lentur dapat dibuat kurva beban-lendutan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1 yang berguna untuk menghitung nilai kuat lentur ekuivalen dan *toughness index* beton serat.



Gambar 1. (a) Kurva Beban-Lendutan Rata-Rata Beton Serat RC 80/60 BN,  
(b) Kurva Beban-Lendutan Rata-Rata Beton Serat RC 65/35 BN

Tabel 4. Hasil Hitungan Kuat Lentur Ekuivalen dan *Toughness Index*

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	$f_{eqms}$ (MPa)	$f_{eqmu}$ (MPa)	$I_5$	$I_{10}$
20	NF20A	1.282	2.712	5.204	9.660
	NF20B	1.870	2.850	4.227	8.243
40	NF40A	0.868	2.853	6.065	12.130
	NF40B	1.063	2.873	4.761	9.123
60	NF60A	0.816	2.917	4.917	8.492
	NF60B	1.171	3.467	3.911	7.476
80	NF80A	0.742	3.123	4.757	8.393
	NF80B	0.989	3.610	3.445	5.501

Pada penghitungan  $f_{eqms}$  terlihat bahwa kuat lentur ekuivalen cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya dosis serat. Pada serat dengan tipe RC 65/35 BN nilai kuat lentur sempat mengalami kenaikan pada penggunaan dosis 60 kg/m<sup>3</sup> sebelum mengalami penurunan kembali pada penggunaan dosis 80 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh distribusi serat yang kurang merata saat pencampuran sehingga hasil yang ditunjukkan menjadi kurang seragam. Hasil yang lebih baik ditunjukkan pada penghitungan  $f_{eqmu}$ . Baik serat tipe RC 80/60 BN maupun serat tipe RC 65/35 BN sama-sama menunjukkan peningkatan kuat lentur ekuivalen seiring dengan bertambahnya dosis serat. Hal sebaliknya terjadi pada aspek rasio serat. Semakin besar aspek rasio serat, nilai  $f_{eqmu}$  justru semakin kecil. Kuat lentur ekuivalen terbesar terjadi pada serat tipe RC 65/35 BN dengan dosis serat 80 kg/m<sup>3</sup> yang mencapai 3,610 MPa.

*Toughness index* beton serat semakin kecil seiring dengan bertambahnya dosis serat yang ditandai dengan semakin besarnya lendutan yang terjadi. Berdasarkan penghitungan *toughness index* terlihat bahwa beton dengan serat tipe RC 80/60 BN memiliki *toughness index* lebih besar dibandingkan beton dengan serat tipe RC 65/35 BN. Selain dipengaruhi oleh dosis dan aspek rasio serat, nilai *toughness index* dipengaruhi pula oleh retak pertama beton. Pada beton dengan penggunaan dosis dan aspek rasio yang sama semakin cepat terjadi retak pertama maka semakin besar pula nilai *toughness index* beton tersebut

### Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian dilakukan pada beton yang telah berumur 28 hari dengan menggunakan *Compression Testing Machine*. Hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Tabel 5.

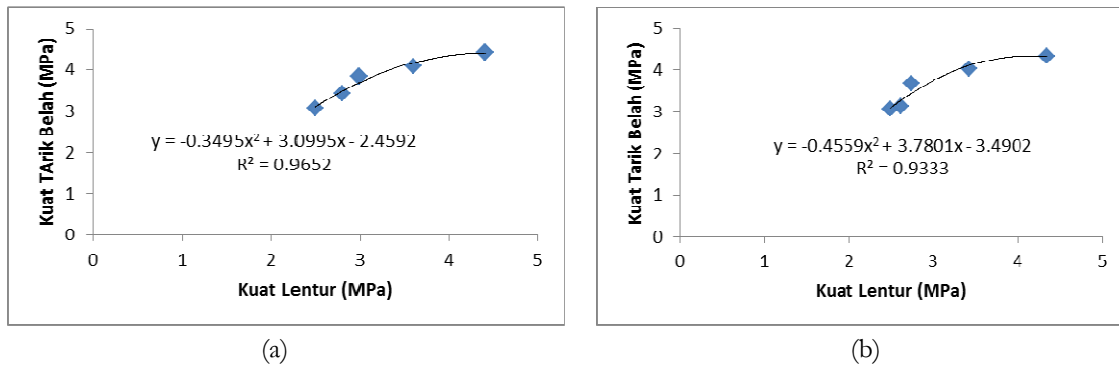
Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah (MPa)	Selisih (MPa)	Selisih (%)
0	N-0	3.067	0	0
20	NF20A	3.421	0.354	11.54
	NF20B	3.138	0.071	2.31
40	NF40A	3.845	0.778	25.38
	NF40B	3.680	0.613	20.00
60	NF60A	4.081	1.014	33.08
	NF60B	4.034	0.967	31.54
80	NF80A	4.435	1.368	44.62
	NF80B	4.341	1.274	41.54

Kuat tarik belah beton cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya dosis serat. Serat dengan tipe RC 80/60 BN yang memiliki aspek rasio 80 memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan serat dengan tipe RC 65/35 BN yang memiliki aspek rasio 65. Kenaikan kuat tarik belah terbesar terjadi pada pemakaian serat tipe RC 80/60 BN dengan dosis 80 kg/m<sup>3</sup> yang mencapai 4,435 MPa atau meningkat 44,62% dibandingkan beton normal.

### Hubungan Kuat Lentur, Kuat Tarik Belah dan Kuat Tekan

Berdasarkan data hasil pengujian dapat dicari hubungan antara kuat lentur dan kuat tarik belah dengan menggunakan analisis regresi linier seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. (a) Hubungan Kuat Lentur dan Kuat Tarik Belah Beton Serat RC 80/60 BN, (b) Hubungan Kuat Lentur dan Kuat Tarik Belah Beton Serat RC 65/35 BN

Hasil analisis menunjukkan bahwa antara kuat lentur dan kuat tarik belah beton serat baik itu tipe RC 80/60 BN maupun tipe RC 65/35 BN memiliki korelasi yang positif. Semakin besar nilai kuat lentur, semakin besar nilai kuat tarik belahnya.

Penambahan serat ke dalam campuran beton membuat rumus empiris yang digunakan untuk memprediksi nilai kuat lentur dan kuat tarik belah beton berdasarkan kuat tekan menjadi tidak berlaku. Pada penggunaan dosis serat yang rendah, nilai kuat lentur dan kuat tarik belah beton cenderung lebih rendah dibandingkan hitungan empiris berdasarkan SNI. Hal sebaliknya terjadi pada penggunaan dosis serat yang tinggi, nilai kuat lentur dan kuat tarik

belah cenderung lebih tinggi dibandingkan hitungan empiris berdasarkan SNI. Korelasi antara kuat lentur dan kuat tarik belah terhadap kuat tekan disajikan dalam Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Perbandingan Korelasi Kuat Lentur ke Kuat Tekan Hasil Pengujian dengan Rumus SNI

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	Korelasi ke Kuat Tekan	SNI
0	N-0	2.493	$0.42\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$
20	NF20A	2.803	$0.46\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$
	NF20B	2.617	$0.44\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$
40	NF40A	2.989	$0.48\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$
	NF40B	2.741	$0.45\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$
60	NF60A	3.608	$0.58\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$
	NF60B	3.422	$0.55\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$
80	NF80A	4.414	$0.72\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$
	NF80B	4.352	$0.70\sqrt{f_c}$	$0.7\sqrt{f_c}$

Tabel 7. Perbandingan Korelasi Kuat Tarik Belah ke Kuat Tekan Hasil Pengujian dengan Rumus SNI

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah (MPa)	Korelasi ke Kuat Tekan	SNI
0	N-0	3.067	$0.52\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$
20	NF20A	3.421	$0.56\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$
	NF20B	3.138	$0.53\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$
40	NF40A	3.845	$0.62\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$
	NF40B	3.680	$0.61\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$
60	NF60A	4.081	$0.66\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$
	NF60B	4.034	$0.65\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$
80	NF80A	4.435	$0.72\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$
	NF80B	4.341	$0.70\sqrt{f_c}$	$0.62\sqrt{f_c}$

### Analisis Distribusi Serat

Hasil pemeriksaan distribusi serat memperlihatkan hasil bahwa semakin tinggi dosis serat semakin sulit distribusinya dikendalikan yang ditunjukkan dengan semakin tingginya nilai standar deviasi. Selain dipengaruhi oleh dosis serat, distribusi serat juga dipengaruhi oleh aspek rasio serat. Serat tipe RC 65/35 BN memiliki nilai standar deviasi yang lebih besar dibandingkan serat tipe RC 80/60 BN. Hitungan standar deviasi serat dalam berbagai keadaan disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Standar Deviasi Beton Serat

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	Sd Beton Segar	Sd Balok	Sd Silinder
20	NF20A	3.082	1.59	2.99
	NF20B	5.657	2.34	5.74
40	NF40A	3.571	2.95	5.93
	NF40B	5.745	5.84	8.31
60	NF60A	4.637	3.38	8.13
	NF60B	10.283	6.83	9.10
80	NF80A	7.211	3.78	12.94
	NF80B	23.420	7.49	18.98

Hasil pemeriksaan distribusi serat juga menunjukkan bahwa jumlah serat hasil penghitungan di lapangan berselisih dengan hasil penghitungan secara teoritis. Perbedaan ini semakin banyak seiring dengan bertambahnya dosis serat. Selisih penghitungan jumlah serat secara teoritis dengan di lapangan ditunjukkan oleh tabel-tabel berikut:

Tabel 9. Perbandingan Jumlah Serat Teoritis dan Lapangan pada Beton Segar

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	Hasil Uji	Teoritis	Selisih	Persentase (%)
20	NF20A	17	19	2	10.53
	NF20B	54	59	5	8.47
40	NF40A	28	37	9	24.32
	NF40B	100	117	17	14.53
60	NF60A	43	56	13	23.21
	NF60B	157	175	18	10.29
80	NF80A	65	74	9	12.16
	NF80B	185	233	48	20.60

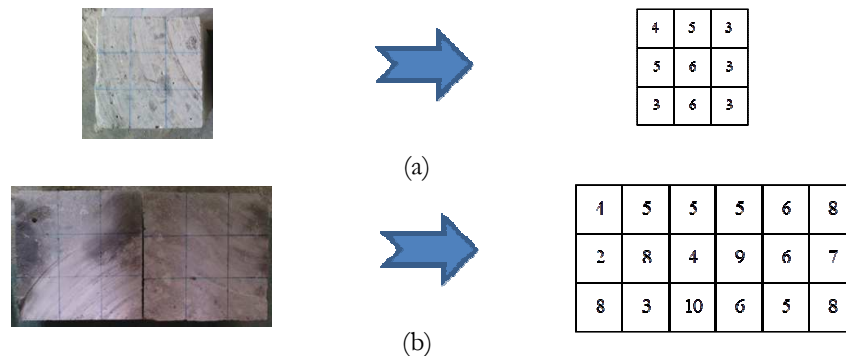
Tabel 10. Perbandingan Jumlah Serat Teoritis dan Lapangan pada Benda Uji Balok

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	Hasil Uji	Teoritis	Selisih	Persentase (%)
20	NF20A	36	37	1	2.70
	NF20B	65	68	3	4.90
40	NF40A	71	74	3	3.60
	NF40B	119	136	17	12.25
60	NF60A	100	111	11	10.21
	NF60B	166	204	38	18.63
80	NF80A	117	147	30	20.41
	NF80B	235	271	36	13.16

Tabel 11. Perbandingan Jumlah Serat Teoritis dan Lapangan pada Benda Uji Silinder

Dosis Serat (kg/m <sup>3</sup> )	Kode Benda Uji	Hasil Uji	Teoritis	Selisih	Persentase (%)
20	NF20A	124	157	33	21.02
	NF20B	247	300	53	17.56
40	NF40A	263	314	51	16.24
	NF40B	482	600	118	19.61
60	NF60A	400	471	71	15.00
	NF60B	695	900	205	22.81
80	NF80A	542	628	86	13.75
	NF80B	972	1199	227	18.93

Jumlah serat berbanding lurus dengan kuat lentur, kuat lentur ekuivalen, dan kuat tarik belah beton serat. Semakin banyak jumlah serat semakin besar pula nilai kuat lentur, kuat lentur ekuivalen, dan kuat tarik belah beton serat. Kinerja serat dipengaruhi oleh jumlah serat pada daerah retakan. Semakin banyak serat pada daerah retakan maka semakin besar pula perlawanan yang diberikan oleh serat tersebut dalam menahan retakan semakin besar



Gambar 3. (a) Sketsa Penghitungan Jumlah Serat pada Benda Uji Balok, (b) Sketsa Penghitungan Jumlah Serat pada Benda Uji Silinder

## SIMPULAN

Berdasarkan seluruh pengujian, analisis data, dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai kuat lentur beton dengan penambahan serat tipe RC 80/60 BN dengan dosis 20 kg/m<sup>3</sup>, 40 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>, dan 80 kg/m<sup>3</sup> berturut-turut sebesar 2,80 MPa, 2,99 MPa, 3,61 MPa, dan 4,41 MPa, sedangkan pada penambahan serat tipe RC 65/35 BN dengan dosis 20 kg/m<sup>3</sup>, 40 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>, dan 80 kg/m<sup>3</sup> nilai kuat lentur berturut-turut sebesar 2,62 MPa, 2,74 MPa, 3,42 MPa, dan 4,35 MPa.
2. Semakin banyak dosis serat dan semakin besar aspek rasio serat semakin besar pula kuat lenturnya. Kuat lentur maksimum didapat dari hasil penambahan serat 80 kg/m<sup>3</sup> tipe RC 80/60 BN yang mencapai 4,414 MPa atau meningkat 77,02% dibandingkan beton normal.
3. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik belah beton dengan penambahan serat tipe RC 80/60 BN dengan dosis 20 kg/m<sup>3</sup>, 40 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>, dan 80 kg/m<sup>3</sup> berturut-turut sebesar 3,42 MPa, 3,85 MPa, 4,08 MPa, dan 4,44 MPa, sedangkan pada penambahan serat tipe RC 65/35 BN dengan dosis 20 kg/m<sup>3</sup>, 40 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>, dan 80 kg/m<sup>3</sup> nilai kuat tarik belah berturut-turut sebesar 3,14 MPa, 3,68 MPa, 4,03 MPa, dan 4,34 MPa.
4. Semakin banyak dosis serat dan semakin besar aspek rasio serat semakin besar pula kuat tarik belahnya. Kuat tarik belah maksimum didapat dari hasil penambahan serat 80 kg/m<sup>3</sup> tipe RC 80/60 BN yang mencapai 4,435 MPa atau meningkat 44,62% dibandingkan beton normal.
5. Distribusi serat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja beton serat. Selain itu kinerja beton serat dalam hal kuat lentur dan kuat tarik belah dipengaruhi juga oleh jumlah serat pada daerah retakan. Semakin banyak jumlah serat semakin besar pula nilai kuat lentur dan kuat tarik belah beton tersebut.
6. Kuat lentur ekuivalen beton serat saat defleksi 0,33 mm (*f<sub>eqms</sub>*) berbanding terbalik dengan dosis serat. Semakin besar dosis serat semakin kecil *f<sub>eqms</sub>*, sedangkan kuat lentur ekuivalen beton serat saat defleksi 0,33-2,0 mm (*f<sub>eqmu</sub>*) berbanding lurus dengan dosis serat. Semakin besar dosis serat semakin besar pula *f<sub>eqmu</sub>*.
7. Dosis dan aspek rasio serat mempengaruhi nilai *toughness index* beton serat. Semakin banyak dosis serat semakin kecil *toughness index* beton serat, sedangkan semakin besar aspek rasio serat semakin besar pula *toughness index* beton serat.

## REKOMENDASI

Perlu dilakukan penelitian dengan memilih metode pencampuran serat ke dalam adukan yang tepat agar didapat distribusi serat yang seragam, perlunya penggunaan superplastisizer untuk meningkatkan *workability* beton serat dan melakukan pemeriksaan distribusi serat dengan metode elemen hingga.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr. techn. Ir. Sholihin As'ad, MT dan Ir. Sunarmasto, MT yang telah membimbing dan memberi arahan serta masukan dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- Ananta, Ariatama (2007). *Pengaruh pemakaian serat kawat berkait pada kekuatan beton mutu tinggi berdasarkan optimasi diameter serat*. Semarang, Universitas Diponegoro. Tesis.
- Anonim (2012). *Guidance to fibre concrete properties, specification, and practice in europe*. European Ready Mixed Concrete Organization publication.
- Antonius, Mediyanto dan KA Sambowo (2006). *Kajian perkuatan propil ringan galvalume a<sub>z</sub>100 dengan beton ringan-metakaolin berserat bendrat sebagai bahan konstruksi truss (baring truss)*. PHK A3 Jurusan Teknik Sipil FT UNS. Surakarta.
- Arum, Dwicahyani (2012). *Perbandingan kuat tekan dan kuat lentur beton serat limbah bubuk besi terhadap beton serat fabrikasi*. Surakarta, Universitas Sebelas Maret. Skripsi.
- Baran E, Akis T, Yesilmen (2012). Pull-out behavior of prestressing strands in steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 28: 362–371.
- Brandt, AM (2008). *Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering*. *Composite Structures*, 86: 3–9.
- Duan, Felany (2004). *Tinjauan kuat desak dan kuat tarik belah beton dengan penambahan serat tali benser*. Surakarta, Universitas Sebelas Maret. Skripsi.
- Paul, Nugraha dan Antoni (2007). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sholihin, As'ad (2010). *Pengaruh bentuk dan orientasi serat terhadap perilaku cabut (pullout) serat baja*. Proseding seminar dan pameran HAKI 2010. Jakarta: Perkembangan dan Kemajuan Konstruksi Indonesia.