

# KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN *POLYPROPYLENE FIBER* SEBESAR 6% DARI BERAT SEMEN

Henry Apriyatno

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES)  
Gedung E4, Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229, Telp. (024) 8508102  
email: henryapriyatno@gmail.com

**Abstract:** The addition of fiber (fiber) in the concrete mixture is to debone the concrete where the fiber is spread evenly into the concrete mixture with random orientation, so as to prevent the occurrence of micro cracks. The addition of polypropylene fiber is intended to support the internal stresses (axial, bending and shear) is greater. The study aims to determine the flexural capacity of concrete beams reinforced with polypropylene fiber at 6% of cement weight. Split tensile strength of concrete will increase by approximately 36.78%, while the modulus of elasticity of a decline, a decline of about 5.4% of conventional concrete. Strong increase in the beam line optimally will be obtained when the fiber concrete is placed only partially in the appeal, the proportion of 75% of the total look of the block .. Increased flexibility of polypropylene fiber beam 22.6% for the BPF-100, BPF-75, BPF-50, and increased 9.7% for BPF-25 than normal concrete.

**Keyword:** polypropylene fiber, tensile strength, strong boundaries, flexible capacity

**Abstrak:** Penambahan serat (*fiber*) pada adukan beton adalah menulangi beton dimana fiber disebarakan secara merata kedalam adukan beton dengan orientasi acak, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan mikro. Penambahan *polypropylene fiber* dimaksudkan dapat mendukung tegangan-tegangan internal (aksial, lentur dan geser) yang lebih besar. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kapasitas lentur balok beton bertulang dengan polypropylene fiber sebesar 6% dari berat semen. Kuat tarik belah beton akan meningkat sekitar 36,78 %, sedang nilai modulus elastisitas terjadi penurunan, penurunan sekitar 5,4 % dari beton konvensional. Peningkatan kuat batas balok secara optimal akan diperoleh bila beton fiber hanya ditempatkan secara parsial pada bagian tarik, proporsi 75 % dari luas tampang balok.. Peningkatan kelenturan balok *polypropylene fiber* sebesar 22,6 % untuk BPF-100, BPF-75, BPF-50, dan meningkat 9,7 % untuk BPF-25 dibandingkan beton normal.

**Kata kunci:** *polypropylene fiber*, kuat tarik, kuat batas, kapasitas lentur

## PENDAHULUAN

Sifat kurang baik dari beton dapat diperbaiki dengan cara penambahan serat (*fiber*) pada adukan beton. Penambahan serat (*fiber*) pada adukan beton bertujuan menulangi beton dengan fiber yang disebarakan secara merata (*uniform*) kedalam adukan beton dengan orientasi random, sehingga dapat mencegah terjadinya retakan mikro. Penambahan serat plastik atau *polypropylene fiber* dimaksudkan untuk dapat mendukung tegangan-tegangan

internal (aksial, lentur dan geser) yang lebih besar.

Serat plastik atau *polypropylene fiber* merupakan salah satu bahan yang mudah didapat dan harganya cukup murah. *Polypropylene fiber* adalah limbah dari pengepakan barang dari gudang dan pertokoan. *Polypropylene fiber* mempunyai struktur jaringan yang unik. Serat plastik atau *polypropylene fiber* mempunyai sifat tahan terhadap serangan bahan kimia. Permukaannya bertekstur dan jika kena air tidak basah

sehingga mencegah terjadinya penggumpalan serat selama proses pengadukan beton (Suhendro, 2000).

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja (SK-SNI T-15-1991-03).

Tulangan adalah batang baja yang berbentuk polos atau deform atau pipa yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada komponen struktur. Tulangan polos adalah batang baja yang permukaan sisi luarnya rata tidak bersirip atau berukir. Sedangkan tulangan deform adalah batang baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata, tetapi bersirip atau berukir (SK SNI T – 15 – 1991 – 03).

Menurut Mosley dan Bungay (1989), kekuatan tarik beton besarnya hanya kira-kira 10% dari kekuatan tekan, oleh karena itu hampir semua konstruksi beton bertulang direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik. Tulanganlah yang direncanakan untuk memikul gaya tarik, yang dipindahkan oleh pendekatan diantara bidang singgung baja dan beton.

### Bahan Pembentuk Beton Bertulang

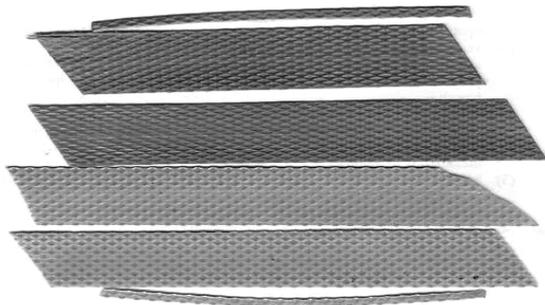
Bahan pembentuk beton bertulang adalah semen portland, agregat (halus dan kasar), air, baja tulangan dan serat. Menurut Tjokrodimulyo (1990), semen diperoleh dengan membakar secara bersamaan, suatu campuran dari calcareus (yang mengandung kalsium

karbonat atau batu gamping) dan *argillaceous* (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu.

Agregat halus secara umum digunakan pasir alam sebagai hasil dari disintegrasi alami batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Umumnya pasir digali dari sungai cocok untuk pembuatan beton dengan diameter, antara 0 - 5 mm. Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm (SK-SNI T-15-1991-03).

Air diperlukan untuk proses hidrasi semen serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat kasar agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% berat semen.

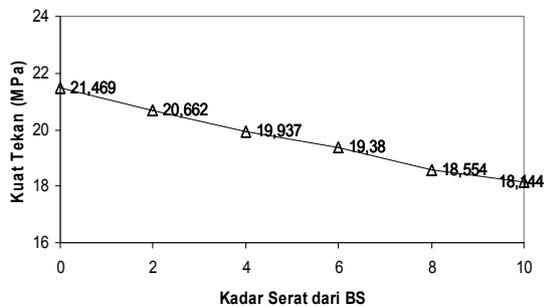
Penempatan baja tulangan di dalam suatu penampang beton terutama untuk menahan gaya tarik yang bekerja pada penampang beton. Ada dua jenis baja tulangan, yaitu tulangan polos dan tulangan ulir. Serat sintetis termurah yang digunakan dalam bahan bangunan adalah serat *polypropylene* mempunyai sifat meleleh terhadap api dan terbakar seperti lilin. Serat *polypropylene* untuk bahan bangunan harus memenuhi persyaratan umum seperti : densitas 900 Kg/m. Kuat tarik 35 N/m, koefisien muai linier  $11 \times 10^{-6}$  m/c, suhu maksimum untuk operasi 65 (SK SNI S-04-1989-F). Serat *polypropylene* mempunyai struktur 'jaringan' yang unik. Struktur ini didapat dengan ekstruksi serat *polypropylene* yang diikuti dengan perentangan, kemudian pemelintiran untuk membentuk anyaman (Gani, 1997), seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Polypropylene fiber

### Kuat Tekan

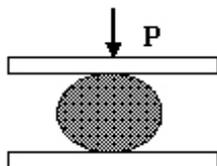
Menurut Widodo (2006) penambahan kadar serat plastik (*polypropylene fiber*) dari berat semen dapat menurunkan kuat tekan beton Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan kadar serat (%) dari berat semen dengan kuat tekan beton (Widodo, 2006)

### Kuat Tarik Belah

Kuat tarik belah ( $f_t$ ) adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya (SK SNI-T-15-1991-03).



Gambar 3. Permodelan pengujian *modulus of rupture* dan *split cylinder strength* pada beton

Pengujian modulus of rupture (Gambar 3) menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang diatas alat

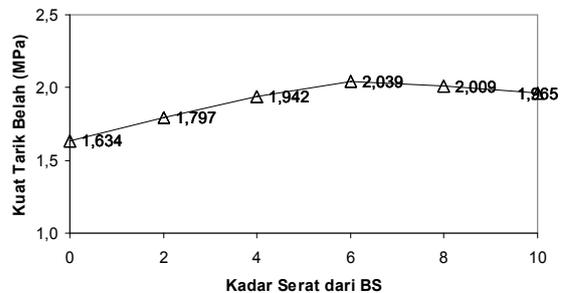
penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cylinder strength*, diperhitungkan sebagai berikut :

$$f_t = \frac{2 P}{\pi LD} \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- $f_t$  = kuat tarik belah (N/mm<sup>2</sup>)
- $P$  = beban pada waktu belah (N)
- $L$  = panjang benda uji silinder (mm)
- $D$  = diameter benda uji silinder (mm)

Menurut Widodo (2006), Gambar 4 penambahan kadar serat plastik atau *polypropylene fiber* dari berat semen menyebabkan nilai kuat tarik belah beton menjadi meningkat dan kuat tarik belah beton tertinggi yaitu 2,039 Mpa terjadi pada beton dengan kadar serat 6 %, penyebabnya adalah pada kondisi serat diatas 6% jumlah serat menjadi bertambah banyak akibatnya serat sulit tersebar merata dan terbentuklah gumpalan-gumpalan serat. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hubungan kadar serat (%) dari berat semen dan kuat tarik belah beton (MPa)

### Modulus Elastisitas (E)

Bahan beton bersifat elasto plastis dimana akibat dari beban tetap yang sangat kecil sekalipun, disamping memperlihatkan kemampuan elastis bahan beton juga menunjukkan deformasi permanen. Nilai

modulus elastisitas beton sebagai berikut (SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.1.5):

$$E_c = 0,043 W_c^{1,50} \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

$E_c$  = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

$W_c$  = berat isi beton (Kg/m<sup>3</sup>)

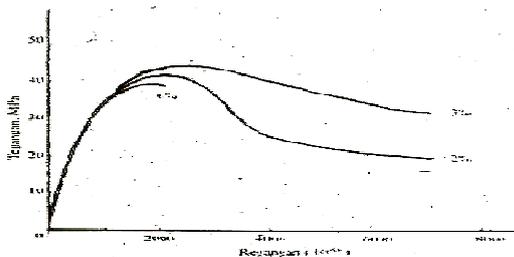
$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

Rumus empiris tersebut hanya berlaku untuk beton dengan berat isi berkisar antara 1500 dan 2500 Kg/m<sup>3</sup>. Untuk beton kepadatan normal dengan berat isi ± 23 kN/m<sup>3</sup> dapat digunakan nilai  $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$ .

Menurut Widodo (2006), penambahan serat *polypropylene* dapat menurunkan modulus elastisitas beton. Penurunan modulus elastisitas beton terjadi karena modulus elastisitas serat *polypropylene* (5000 M.Pa – 7000 M.Pa) diduga lebih rendah dari beton normal (± 19000 M.Pa).

### Beton Serat

Maksud dari penambahan serat ke dalam beton adalah untuk menambah gaya tarik beton. Dengan adanya serat, ternyata beton menjadi tahan retak dan tahan benturan seperti Gambar 5.



**Gambar 5.** Diagram tegangan regangan silinder beton tanpa serat dan dengan serat 2% dan 3% (Mindess, 1984)

Penambahan serat dalam adukan beton dapat memberikan keuntungan berupa perbaikan beberapa sifat beton (Suhendro, 2000), yang meliputi daktilitas (*deduktif*), yang berhubungan dengan kemampuan bahan untuk menyerap energi (*energi absorpsi*); ketahanan

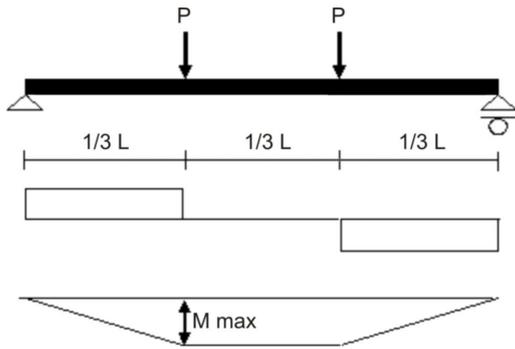
terhadap beban kejut (*impact resistance*); kemampuan untuk menahan tarik dan momen lentur; ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue life*); ketahanan terhadap pengaruh susutan (*shrinkage*)

### Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang

Penambahan serat dengan orientasi random pada balok beton akan meningkatkan kuat lentur balok beton karena sifat getas dari beton akan dapat diatasi oleh adanya serat sehingga balok beton serat akan menjadi liat. Beton serat dapat dipergunakan pada perencanaan bagian-bagian penting dari struktur (tetapi tidak semua), yaitu pada kuat lentur balok ultimit untuk *fiber reinforced concrete* (Swamy dan Al-Noori, 1975).

Swamy, dkk (1979) di dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa kehadiran serat pada balok beton akan menaikkan kekakuan dan mengurangi lendutan (*defleksi*) yang terjadi, serta meningkatkan keliatan balok beton sehingga struktur akan terhindar dari keruntuhan tiba-tiba akibat pembebanan yang berlebihan.

Batang yang mengalami lentur sesuai dengan standar pengujian ASTM C-78 yang dipakai dalam desain adalah *Modulus of rupture*, bukan tarik belah. Untuk mengetahui kapasitas lentur harus dilakukan pengujian yang dapat menggambarkan bagian balok yang hanya menerima beban lentur saja, yaitu meletakkan balok beton pada tumpuan sederhana dengan perletakan berupa sendi rol. Beban yang bekerja pada pusat bentang terbagi menjadi dua bagian yang sama besar akibat adanya plat pembagi berbentuk u terbalik yang bekerja pada tiap jarak 1/3 bentang seperti terlihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Pembebanan benda uji lentur

Menurut Dipohusodo (1994), lendutan komponen struktur merupakan fungsi panjang bentang, perletakan dan kondisi ujung (batang sederhana), jenis beban (terpusat, merata) dan kekakuan lentur komponen ( $EI$ ). Dimana lendutan maksimal didapat :

$$\Delta_{maks} = \frac{KW\ell_n^3}{48EI} \dots\dots\dots (3)$$

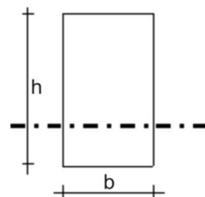
dimana :

- $\Delta$  maks = lendutan maksimum (m atau cm)
- $W$  = beban total di sepanjang bentang (ton atau Kg)
- $\ell_n$  = panjang bentang bersih (m atau cm)
- $E_c$  = modulus elastisitas beton  $4700 \sqrt{f'_c}$  MPa (SK SNI T – 15 – 1991 – 03 : 9)
- $I$  = momen inersia ( $\text{cm}^4$  atau  $\text{mm}^4$ )

Persamaan tersebut juga dapat dinyatakan dalam momen lentur sehingga lendutan setiap tempat pada balok dapat dihitung :

$$\Delta = \frac{KM\ell_n^2}{EI} \dots\dots\dots (4)$$

Besarnya Momen Inersia ( $I$ ) adalah :



**Gambar 7.** Momen Inersia balok empat persegi panjang

Besarnya Momen Inersia sesuai Gambar 7 adalah :

$$I = L/12bh^3 \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

- $I$  = momen inersia ( $\text{cm}^4$  atau  $\text{mm}^4$ )
- $b$  = lebar balok (cm atau mm)
- $h$  = tinggi balok (cm atau mm)

Lenturan yang terjadi harus lebih kecil dari  $L/360$ , karena batas lendutan maksimum arah vertikal untuk balok-balok pendukung lantai-lantai bangunan umum dan perumahan adalah  $L/360$  sesuai dengan Pedoman Perencanaan Bangunan Gedung (PPBBG) tahun 1987.

**Analisis Kuat Batas Tampang Balok Polypropylene (BPF)**

Mengingat sifat-sifat beton fiber agak lain dengan beton biasa (konvensional), maka anggapan-anggapan maupun cara perhitunganampang balok yang biasa kita kenal, tidak dapat dipakai begitu saja, dan perlu dimodifikasi.

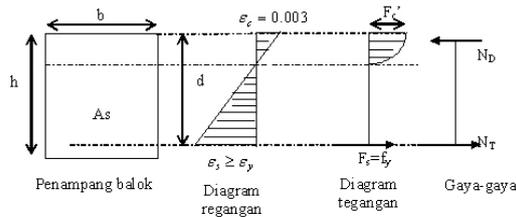
Menurut Suhendro (1994), perilaku lentur balok beton bertulang yang diberi fiber berbeda dengan balok beton bertulang biasa (konvensional) karena beton fiber bersifat liat (*ductile*) dalam mendukung tegangan desak dan dalam mendukung tegangan tarik, beton fiber mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi, dan kuat tarik masih bertahan meskipun telah terjadi retakan-retakan yang cukup lebar (5-10 mm).

Sifat liat (*ductile*) dan kuat tarik yang tinggi pada beton fiber akan mempengaruhi distribusi tegangan lentur pada kondisi ultimate, dengan demikian mempengaruhi pula kuat batas (*ultimate strength*) balok fiber. Mengingat daktilitas yang dipunyai oleh beton fiber, maka regangan desak beton maksimum pada saat keruntuhan dapat diambil lebih besar daripada beton normal (konvensional). Tegangan desak

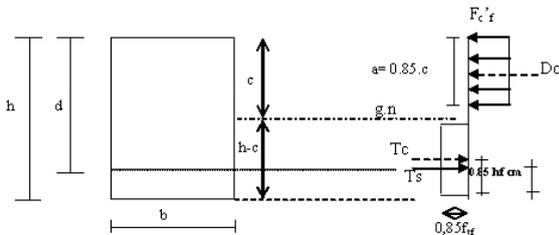
beton serat maksimum terjadi pada regangan lebih 0,024 mm.

Penelitian menggunakan rumus-rumus yang dipakai Suhendro (1994), karena konsep yang digunakan sama. Konsep berikut digunakan pada serat bendrat dan akan dicoba pada serat plastik atau *polypropylene fiber*.

### 1. Analisis Tampang Balok Normal



### 2. Analisis tampang balok fiber parsial



Dari dasar analisis tampang balok fiber maka dilakukan analisis kuat-batas pada balok *polypropylene fiber* pada 25%, 50%, 75% terhadap tinggi balok sehingga diperoleh nilai-nilai :

a. Persyaratan keseimbangan gaya-gaya dalam yaitu :

$$Dc - Tc - Ts = 0 \quad (6)$$

$$Dc = 0,67 \times f'cf \times c \times b$$

$$Tc = 0,8 \times f'f \times 0,85 \times hf \times b$$

$$Ts = As \times fys$$

b. Regangan pada baja tulangan yaitu :

$$\epsilon_s = 0,0035 \times \frac{d-c}{c} \quad (7)$$

yang memberi tegangan sebesar :

$$fs = \epsilon_s \cdot Es \text{ dengan syarat } fs > fys$$

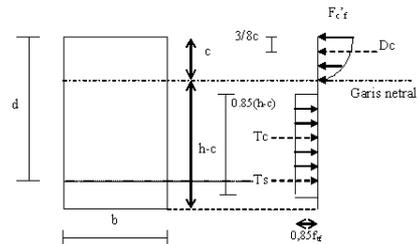
c. Momen ultimit yang dapat didukung oleh tampang tersebut :

$$Mu = Tc \times \left[ h - \frac{3}{8}c - \frac{hf}{2} \right] + Tx \left[ d - \frac{3}{8}c \right] \quad (8)$$

d. Bila dinyatakan dalam besaran P maka

$$Pu = \frac{Mu}{interval \Delta Pxa} \quad (9)$$

### 3. Analisis tampang balok fiber



Berdasarkan asumsi diatas dilakukan analisis kuat-batas pada balok *polypropylene fiber* 100% dengan mengetahui nilai-nilai :

a. Persyaratan keseimbangan gaya-gaya

$$Dc - Tc - Ts = 0 \quad (10)$$

$$Dc = 0,67 \times f'cf \times c \times b$$

$$Tc = 0,8 \times f'f \times 0,85 \times hf \times b$$

$$Ts = As \times fys$$

b. Regangan pada baja tulangan

$$\epsilon_s = 0,0035 \times \frac{d-c}{c} \quad (11)$$

yang memberi tegangan sebesar :

$$fs = \epsilon_s \cdot Es \text{ dengan syarat } fs > fys$$

c. Momen ultimit yang dapat didukung oleh tampang tersebut

$$Mu = Tc \times \left[ h - \frac{5}{8}c - \frac{h-c}{2} \right] + Tx \left[ d - \frac{3}{8}c \right] \quad (12)$$

d. Besaran P

$$Pu = \frac{Mu}{interval \Delta Pxa} \quad (13)$$

## METODE PENELITIAN

### Bahan Dan Data

#### Baja Tulangan

Kuat tarik baja tulangan yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Negeri Semarang, dari dua sampel didapat fy baja sebesar 279,080 MPa.

Serat plastik (*polypropylene fiber*).

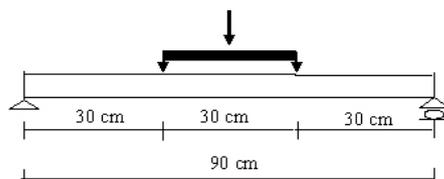
Berat jenis *polypropylene fiber* dua sampel yang dirata-rata diperoleh berat jenis 0,612 (Wahyudiyanto , 2006). Uji kuat tarik dilakukan di Laboratorium Mekanika Bahan PSIT Universitas Gadjah Mada (Wahyudiyanto , 2006).

**Tabel 1.** Kuat Tarik, Kuat Putus dan Modulus Elastisitas Polypropylene Fiber

No	Sifat Mekanis	Sampel		Rata-rata
		1	2	
1	Kuat tarik (MPa)	71.111	75.556	73.334
2	Kuat tarik putus (MPa)	90.667	78.222	84.444
3	Modulus elastisitas (MPa)	269.400	304.910	287.155

Kuat tarik Polypropylene Fiber telah memenuhi persyaratan SK SNI S-04-1989-F (Minimum 35 MN/m<sup>2</sup> atau 35 MPa).

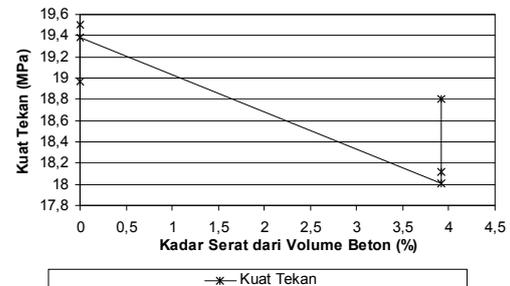
1. Benda uji silinder beton berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm untuk pengujian kuat desak beton, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah sebanyak 3 sampel.
2. Benda uji berbentuk balok beton bertulang berdimensi 150 x 200 x 1200 mm sejumlah 15 balok dengan rincian :
  - a. 3 balok terbuat dari beton normal (BN),
  - b. 3 balok yang 25% tampang lintang di daerah tarik dari beton fiber dan selebihnya beton normal (BPF-25),
  - c. 3 balok yang 50% tampang lintang di daerah tarik dari beton fiber dan selebihnya beton normal (BPF-50)
  - d. 3 balok yang 75% tampang lintang di daerah tarik dari beton fiber dan selebihnya beton normal (BPF-75)
  - e. 3 tiga balok dari fiber penuh.



**Gambar 8.** Pembebanan benda uji lentur

## Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan setelah umur beton mencapai umur lebih dari 28 hari. Pengaruh kadar serat terhadap kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar berikut.



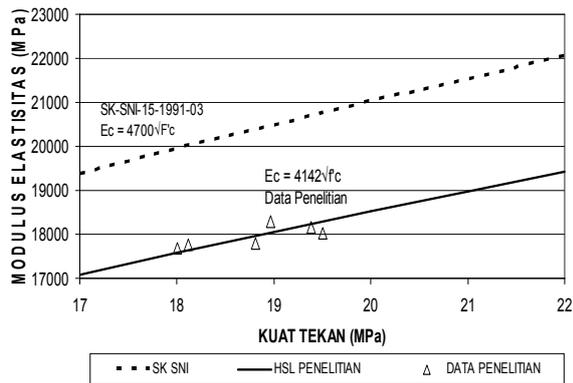
**Gambar 9.** Kuat tekan beton dengan penambahan *polypropylene fiber*

Kuat tekan beton dengan penambahan kadar serat *polypropylene* terjadi penurunan kuat tekan beton. Menurut Sudarmoko (dalam Tjokrodinuljo, 1996) jika serat yang dipakai memiliki modulus elastisitas lebih tinggi daripada beton, misalnya kawat baja, maka beton serat akan mempunyai kuat tekan, kuat tarik, maupun modulus elastisitas yang sedikit lebih tinggi dari beton biasa. Namun sifat dari modulus elastisitas dan kuat tarik serat *polypropylene fiber* yang rendah tidak seperti kawat baja, hidropobik, dan tidak bereaksi dengan bahan campuran beton lainnya (berfungsi sebagai zat pengisi) sehingga dengan penambahannya dapat mengurangi kuat tekan beton. Hal ini disebabkan karena *modulus elastisitas polypropylene fiber* lebih kecil dari modulus elastisitas baja ( $\pm 200000$  MPa) dan modulus elastisitas beton normal ( $\pm 20000$  MPa).

## Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan setelah umur beton mencapai umur lebih dari 28. Pengaruh penambahan serat

polypropylene terhadap modulus elastisitas beton dapat dilihat pada gambar 10.



**Gambar 10.** Hasil analisis kuat tekan dengan modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton dengan penambahan serat *polypropylene* akan mengalami penurunan. Menurut Sudarmoko (dalam Tjokrodinuljo 1996) jika serat yang dipakai memiliki modulus elastisitas lebih tinggi daripada beton, misalnya kawat baja, maka beton serat akan memiliki modulus elastisitas yang sedikit lebih tinggi dari beton biasa. Penurunan modulus elastisitas beton yang terjadi karena modulus elastisitas serat *polypropylene* yang lebih rendah dari modulus elastisitas beton normal ( $\pm 20000$  Mpa).

Hasil modulus elastisitas beton serat *polypropylene* dari penelitian beton *polypropylene* fiber sebesar  $E_c = 4142\sqrt{f'c}$  dan lebih kecil dari nilai modulus elastisitas beton normal (SK SNI-T-15-1991-03) yaitu sebesar  $E_c = 4700\sqrt{f'c}$ .

### Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah beton dilaksanakan setelah umur beton mencapai umur lebih dari 28. Hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 2.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

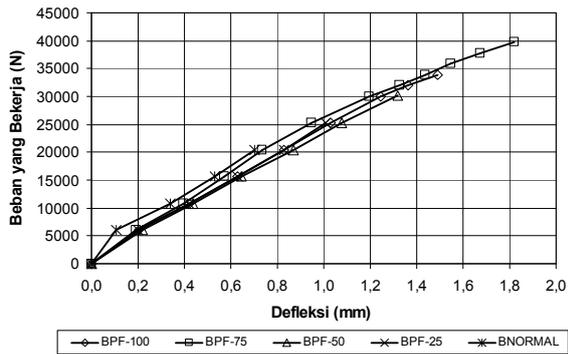
**Tabel 2.** Peningkatan Kuat Tarik Belah Beton

Komp Serat	BB (KN)	D (mm)	H (mm)	P (KN)	Kuat Tarik (MPa)	Rata-rata	Kenaikan (%)
0%	0.125	150	305	100	1.392	1.396	0
	0.127	150	303	110	1.542		
	0.127	150	305	90	1.253		
3.92%	0.125	150	302	125	1.758	1.89	36.780
	0.121	150	305	135	1.880		
	0.122	150	303	145	2.032		

Kenaikan kuat tarik sebesar 36,78% dari beton normal terdapat pada beton dengan panjang serat 4 cm pada penambahan kadar serat 3,92 % dari volume beton sesuai dengan batasan maksimum kadar serat (*volume fraction*) untuk jenis fiber plastik sebesar 3% dari volume beton (Sorousian dan Bayasi 1987 dalam Mardiyanto 1999).

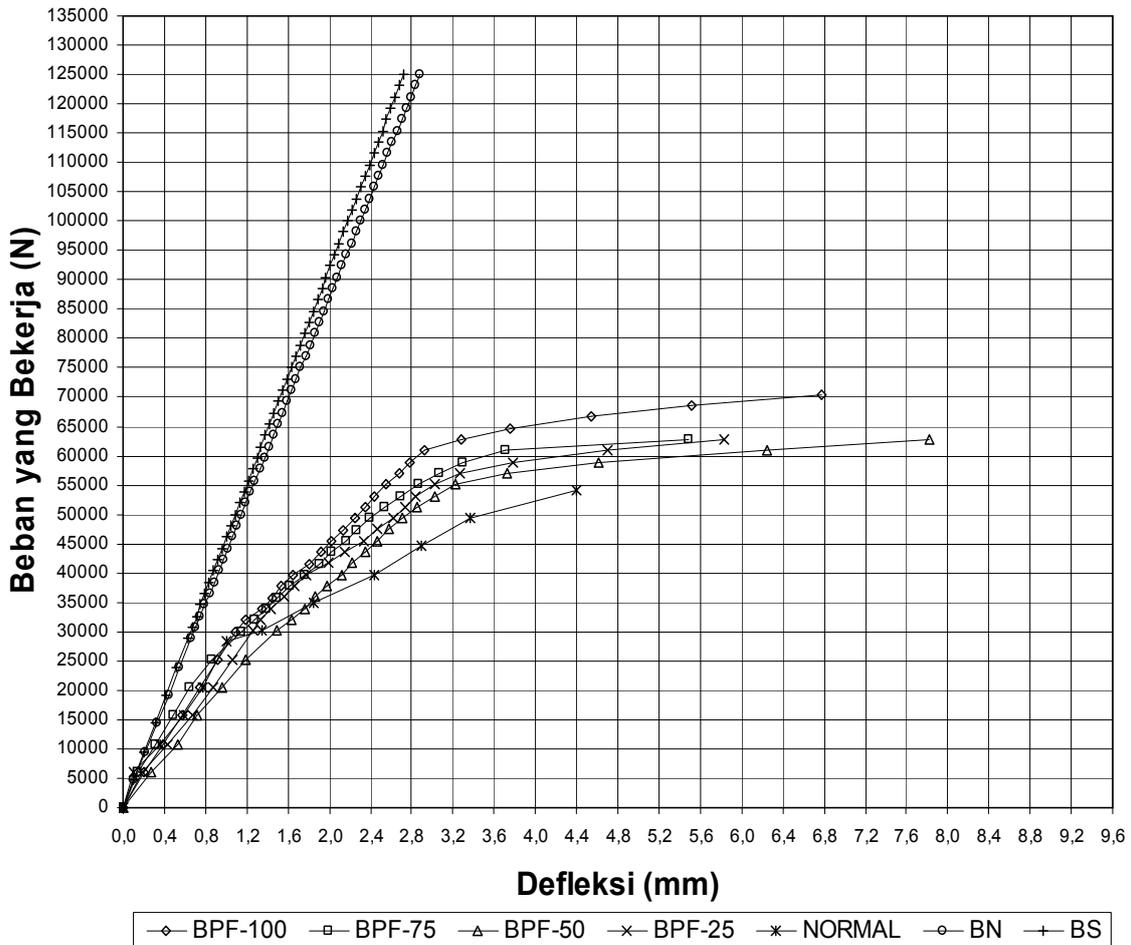
### Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang

Pengujian dilakukan dengan menambah beban (P) secara bertahap sebesar 0,5 ton, dan mencatat defleksi atau lendutan pada *dial gage*. Intensitas beban pada saat terjadi retak pertama pada bagian tarik dari balok, dan juga intensitas beban ultimitnya diamati dan dicatat. Lendutan dihitung berdasarkan data-data yang telah didapat. Lendutan atau defleksi Gambar 11 pada komponen struktur balok merupakan fungsi dari panjang bentang, beban terpusat dan beban merata dan kekakuan lentur (EI). Lendutan maksimum tidak boleh melebihi  $L/360$  (SK-SNI-15-1991-03). dan lendutan yang diperhitungkan adalah lendutan akibat beban hidup L.



**Gambar 11.** Pengujian defleksi balok *Polypropylene Fiber* dan balok Normal sampai retakan terjadi

Defleksi maksimum balok B NORMAL pada batas maksimum defleksi balok yaitu  $L/360 = 0,24$  mm dan lendutan maksimal sebelum balok runtuh. Perhitungan defleksi secara teori diperlukan sebagai pembandingan defleksi secara eksperimen. Hasil perbandingan antara defleksi secara eksperimen dengan defleksi secara teori Gambar12.



**Gambar 12.** Perbandingan hasil secara teori pembebanan dan eksperimen

**Tabel 3.** Hasil analisis defleksi pada BPF dengan teori pembebanan (P)

Benda uji	Beban yang bekerja (N)	Defleksi (mm)
BPF-100	70487.7	9.30
BPF-75	76270.0	5.53
BPF-50	68600.0	5.67
BPF-25	64732.3	7.30
BNORMAL	54153.0	3.91
B Serat Teori	110031.92	2.4
B Normal Teori	99755.3	2.4

Batas defleksi maksimum sebesar 2,4 mm, balok polypropylene fiber (BPF) mampu menahan beban melebihi perhitungan secara teori berdasarkan beban yang ada. Kenaikan beban maksimum balok – balok beton bertulang dengan penambahan polypropylene fiber dari balok normal adalah 16,34 % untuk BPF- 25,

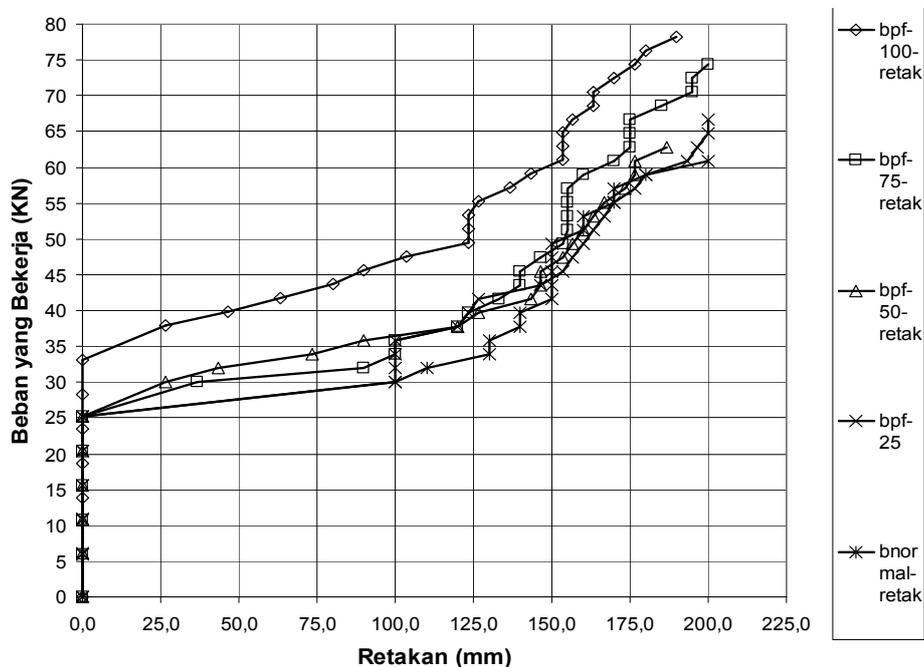
21,06 % untuk BPF-50, 28,99 % untuk BPF-75, dan 23,17 % untuk BPF-100. Penambahan polypropylene fiber sebesar 75 % dari tinggi tampang balok (ditempatkan pada bagian tarik) memberikan hasil yang optimal.

Pada balok normal (BN) dan balok serat (BS) secara teori Pembebanan (P) diketahui mempunyai hasil yang sama pada beban yang dapat dipikul dari batas defleksi yang telah ditentukan. Balok serat dapat menahan lendutan melebihi yang telah ditentukan yaitu  $L/360 = 120/360 = 0,24$  cm. hal ini dikarenakan pada

teori menggunakan angka aman dan hasil ekperimen memenuhi syarat.

### Kapasitas Lentur Berdasarkan Pola Retak

Pada penelitian balok polypropylene fiber (BPF) kapasitas lentur balok dapat diketahui dari dial gauge yang dipasang pada balok. Kapsitas lentur diperhitungkan dengan pola retak yang digambarkan pada balok uji yang kemudian disalin kedalam kertas milimeter dengan ukuran sesuai dengan balok. Hasil dari retakan yang terjadi akibat pembebanan dapat dilihat pada Gambar 13.



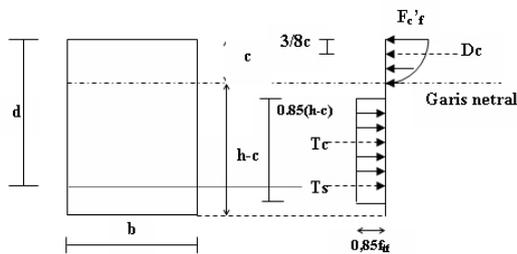
**Gambar 13.** Analisis kapasitas lentur akibat retakan yang terjadi pada balok

Berdasarkan retakan yang terjadi dapat diketahui bahwa BPF-100 paling optimal dalam menahan retakan yang terjadi. Polypropylene fiber menahan retakan – retakan mikro yang terjadi. Pada BFP-100 tingkat daktilitasnya paling tinggi karena pada BFP-100 optimal dalam menahan lendutan karena pada seluruh tampang terisi serat.

### Analisis Kuat – Batas Tampang Balok Beton Bertulang

Menurut Suhendro (1994) Perilaku lentur balok beton bertulang yang diberi fiber (Gambar 14) berbeda dengan balok beton bertulang biasa (konvensional) karena beton fiber bersifat liat (ductile) dalam mendukung tegangan desak serta dalam mendukung tegangan tarik, beton fiber mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi, dan kuat tarik masih bertahan

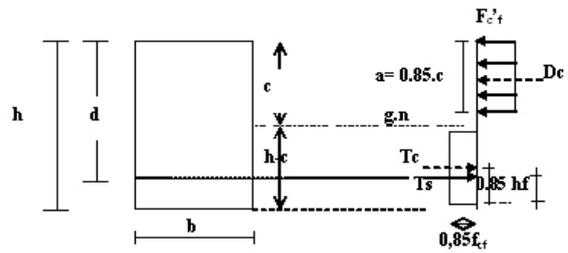
meskipun telah terjadi retakan – ratakan yang cukup lebar (5-10 mm). Distribusi regangan dianggap linear, dengan regangan maksimum beton serat pada bagian desak dipakai diagram distribusi tegangan lentur.



**Gambar 14.** Distribusi tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber penuh

Pada kondisi dimana perletakan fiber secara parsial (Gambar 15), maka dilakukan modifikasi sedikit dari prosedur yang telah diuraikan sebelumnya, yaitu : diagram tegangan

tarik beton serat hanya digambarkan sebatas bagian tampang balok yang ada fibernya.



**Gambar 15.** Distribusi tegangan lentur balok beton bertulang yang diberi fiber 25%, 50%, 75%

Dari Tabel 4 menurut Suhendro (1994), balok beton bertulang yang diberi polypropylene fiber memberikan hasil yang cukup dekat dengan hasil percobaan balok beton bertulang yang diberi fiber bendrat (hanya ada perbedaan sebesar 3,0 %).

**Tabel 4.** Hasil analisis kuat-batas tampang secara eksperimen dan cara Suhendro (1994)

Metode	Fiber penuh		Fiber parsial		
	BFP-100	BFP-75	BFP-50	BFP-25	BN
Suhendro (1991)	*Pu = 68.3 **Mu = 1,039	Pu = 62,0 Mu = 0,292	Pu = 58,6 Mu = 0,879	Pu = 52,0 Mu = 0,779	-
Hasil Penelitian	*Pu = 70.48 **Mu = 10,57	Pu = 76,27 Mu = 11,44	Pu = 68.60 Mu = 10,29	Pu = 64,73 Mu = 9,71	Pu = 54,15 Mu = 8,12

keterangan : \* Nilai P dalam kN  
\*\* Nilai Mu dalam kN.m

Balok beton bertulang yang diberi fiber penuh memberikan selisih sebesar 3 % dengan hasil percobaan balok beton bertulang yang diberi fiber penuh. Hubungan antara momen ultimit (Mu) dan Beban (P) adalah semakin besar momen yang timbul mengakibatkan beban yang ditahan semakin besar. Penempatan serat sebesar 0,75% H pada bagian tarik balok polypropylene fiber (BPF) mempunyai hasil yang optimal dalam menahan lendutan dan retak.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat tarik belah beton meningkat sekitar 36,78 %, sedang nilai modulus elastisitas terjadi penurunan, penurunan sekitar 5,4 % dari beton konvensional
2. Kuat batas balok beton bertulang berukuran 20 cm x 15 cm x 120 cm yang diberi polypropylene fiber secara parsial pada BPF-75, BPF-50, dan BPF-25 berturut – turut meningkat 28,99%, 21,06%, dan 16,34% dari kuat batas balok normal.
3. Peningkatan kuat batas balok secara optimal akan diperoleh bila beton fiber hanya ditempatkan secara parsial pada bagian tarik, proporsi 75 % dari luas tampang balok.

4. Balok polypropylene fiber lebih lentur dibandingkan beton normal. Hal ini dibuktikan dengan peningkatan kelenturan sebesar 22,6 % untuk BPF-100, BPF-75, BPF-50, dan meningkat 9,7 % untuk BPF-25 dibandingkan beton normal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1977. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971-N.I-2 (PBI 1971) Penerbitan Kelima*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan: Jakarta.
- Anonim. 1989. *Tata Cara Pengujian Kuat Tekan Beton (SK SNI M-14 1989-F)*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan: Jakarta.
- Anonim. 1990. *Tata Cara Pencampuran Adukan Beton (SK SNI-T-15-1990-03)*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan: Jakarta.
- Anonim. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Bertulang untuk Bangunan Gedung (SK SNI-T-15-1991-03)*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan: Jakarta.
- Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI-T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum*. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Gani, M. S. J. 1997. *Cement and Concrete*. Chapman & Hall: Melbourne.
- Mardiyanto, Ferry Eko. 1999. *Pengaruh Konsentrasi Serat Bendrat dan Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan, Tarik, dan Lentur pada Beton Non-Pasir*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra: Yogyakarta.
- Mulyono, Tri. 2003. *Teknologi Beton*. Andi: Yogyakarta.
- Sudarmoko. 2000. *Beton Fiber Lokal untuk Non-Struktural*. Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- Suhendro, B. 1998. *Pengaruh Pemakaian Fiber Secara Parsial Pada Perilaku Dan kapasitas Balok Beton Bertulang (hasil "Full Scdale Model Test")*. Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Nafiri: Yogyakarta.
- Wahyudiyanto, Eko. 2006. *Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Beton*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- Widodo, Nurcahoyo 2006. *Pengaruh Bahan Tambah Serat Polypropylene 4 cm dengan Fas 0,6 terhadap Kuat Tarik Belah, Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang: Semarang.