

## KARAKTERISTIK MEKANIS BETON MUTU TINGGI POLYPROPYLENE FIBER YANG MENGGUNAKAN LIMBAH SLAG BAJA SEBAGAI AGREGAT KASAR

**Irka Tangke Datu**

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ujung Pandang  
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar  
Email: irkatd@yahoo.co.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Karakteristik mekanis beton mutu tinggi Polypropylene Fiber yang menggunakan slag baja sebagai agregat kasar yang meliputi kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik. Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji sebanyak 40 silinder (diameter 15cm dan tinggi 30cm) dan 20 balok (10x10x40cm) untuk 4 variasi benda uji dengan rencana mutu beton tinggi  $f'_c$  55 MPa. Rancangan beton dibuat sebanyak 4 variasi, masing-masing: agregat kasar slag 100% yang dikombinasi dengan fraksi volume serat 0%, 0,1%, 0,2 dan 0,3%. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari, selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik beton meliputi kuat tekan, kuat lentur, dan kuat tarik belah. Hasil pengujian diperoleh bahwa Pengaruh Polypropylene Fiber pada matriks beton mutu tinggi yang menggunakan slag baja sebagai agregat kasar dapat meningkatkan sifat mekanis beton antara lain; kuat tekan meningkat sebesar 7.07% pada Vf 0,1%, 3.40% pada Vf 0,2%, dan 9.94% pada Vf 0,3% terhadap beton normal Vf 0%. Kuat lentur meningkat sebesar 5.46% pada Vf 0,1%, 8.99% pada Vf 0,2%, dan 10.06% pada Vf 0,3% terhadap beton normal Vf 0%. Sedangkan kuat tarik beton dapat meningkat sebesar 5.87% pada Vf 0,1%, 7.26% pada Vf 0,2%, dan 8.37% pada Vf 0,3% terhadap beton normal Vf 0%. Pengaruh penambahan Polypropylene Fiber pada beton mutu tinggi dengan slag baja sebagai agregat kasar menghasilkan peningkatan tegangan terbesar pada kuat lentur kemudian disusul oleh kuat tarik dan kuat tekan.

**Kata kunci:** mutu tinggi; slag baja; karakteristik mekanis; polypropylene

### Pendahuluan

Beton merupakan salah satu bahan utama yang sering digunakan pada konstruksi bangunan. Pemilihan beton sebagai bahan utama struktur bangunan karena mempunyai kelebihan, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, harga relatif murah, dan mudah didapat dari alam sekitar. Beton didefinisikan sebagai mutu tinggi (*high-strength*) semata-mata berdasarkan karena kuat tekannya pada umur tertentu. Pada tahun 1970-an, sebelum ditemukannya *superplasticizer*, campuran beton dengan kuat tekan 40 MPa atau lebih pada umur 28 hari dapat disebut sebagai beton mutu tinggi. Namun seiring dengan perkembangan jaman dan kemajuan teknologi beton, maka definisi *high strength concrete* adalah campuran dengan kuat tekan desain spesifikasi 55 MPa atau lebih (*ACI Committee 2002*). Sedangkan menurut Nugraha dan Antoni (2007) pengertian beton mutu tinggi adalah beton yang umumnya menghasilkan kuat tekan di atas 60 MPa

Saat ini perkembangan jenis material terutama agregat dalam teknologi beton semakin berkembang salah satunya adalah material limbah slag (*steel slag*). Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi yang dihasilkan oleh industri peleburan baja yang menyerupai agregat kasar dan dapat dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti agregat kasar (batu pecah). Pemanfaatan limbah slag sebagai agregat kasar (*coarse aggregate*) dapat memberikan beberapa manfaat antar lain: ramah lingkungan karena dari limbah industri, harga relatif murah karena material buangan, dan permukaannya lebih kasar sehingga kekuatan lekatan (*bonding strength*) material dalam matriks beton menjadi lebih baik.

Material limbah slag dapat diperoleh dalam jumlah besar dan berkelanjutan selama pabrik baja tersebut beroperasi. Sebagai contoh, salah satu pabrik baja yang dapat menghasilkan limbah slag tersebut adalah pabrik baja PT. Barawaja yang beroperasi di Kota Makassar, Propinsi Sulawesi Selatan, Indonesia. Berdasarkan hasil survey yang dilakukan, diperoleh informasi bahwa pabrik baja tersebut mampu menghasilkan limbah slag mencapai 14.00 ton per bulan, sehingga hal ini memungkinkan untuk digunakan secara berkelanjutan.

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah slag sebagai agregat kasar pada beton telah dilakukan oleh Vena dan Suni (2006), dengan menggunakan proporsi variasi slag 60%, 80%, dan 100% dan mutu beton  $f'_c$  35 MPa. Hasil penelitian disimpulkan kuat tekan optimum dan kuat tarik optimum beton diperoleh pada variasi slag 100%

dan berat jenis beton berbanding lurus dengan prosentase *slag*. Penelitian serupa dilakukan oleh Han dan Tudjono (2007), dengan mengganti agregat kasar dengan *slag* baja yang menggunakan variasi rasio agregat biasa dengan *slag* baja, yaitu: (0%:100%), 50%:50%), dan (100%:0%). Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kuat tekan beton *slag* meningkat seiring dengan penambahan prosentase *slag* dalam beton dan rasio optimum untuk pergantian agregat kasar dengan *slag* adalah 100%.

Beton memiliki kekuatan tarik yang rendah dibandingkan kekuatan tekannya, sehingga salah satu kerugian beton adalah sifatnya yang getas (*brittle*). Sifat getas dari beton berbanding lurus dengan kekuatan tekan atau mutu betonnya, semakin tinggi mutu betonnya, maka semakin getas beton tersebut. Solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi getas dari beton adalah dengan memberikan tulangan mikro (*secondary reinforcement*) seperti menambahkan serat (*fiber*) ke dalam matriks beton. Serat yang telah umum digunakan dalam konstruksi beton antara lain: terbuat dari baja (*steel fibers*), serat sintesis (*synthetic fibers*), atau dari serat kaca (*glass fibers*).

Penelitian tentang pengaruh serat *polypropylene* terhadap karakteristik beton normal telah dilakukan (Adiwijaya, 2010), dengan variasi volume serat 0%, 0,1%, dan 0,2%. Hasil penelitian disimpulkan bahwa beton dengan variasi serat 0,2% menghasilkan prosentase kenaikan tegangan terbesar, yaitu kuat lentur 37,75%, kuat tekan 25,82%, dan kuat tarik belah 18,44% terhadap beton variasi serat 0%. Kenaikan harga tegangan cenderung meningkat seiring dengan penambahan volume serat *polypropylene* dalam beton, dan pemakaian volume serat 0,1% merupakan volume optimum, karena memberikan kapasitas tegangan yang tingkat kenaikannya lebih besar dengan pemakaian volume serat yang lebih kecil.

## Bahan dan Metode Penelitian

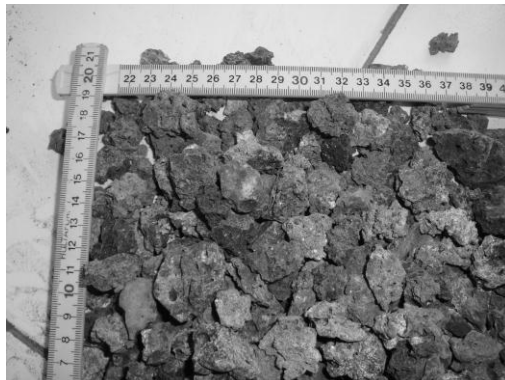
### Semen

Semen merupakan bahan penting dalam pembuatan beton. Material ini mempunyai sifat adhesif dan kohesif, dimana dapat mengikat dengan baik butiran-butiran mineral menjadi bentuk yang kompak. Semen dapat mengeras, memberi daya rekat dan kekuatan karena terjadinya proses hidrasi, yaitu proses bereaksinya senyawa semen dengan air membentuk senyawa hidrat. Semen hidrolis yang dipakai ialah semen *portland* (PC).

Dalam semen *portland* terdapat 4 (empat) macam senyawa gabungan utama, yaitu ; Trikalsium Silikat ( $C_3S$ ), Dikalsium Silikat ( $C_2S$ ), Trikalsium Aluminat ( $C_3A$ ), dan Tetrakalsium Alumina ( $C_4AF$ ). Senyawa  $C_3S$  dan  $C_2S$  ialah senyawa yang bersifat perekat dan memberi kekuatan pada semen bila bereaksi dengan air. Senyawa  $C_3A$  tidak memiliki sifat semen, bila bercampur dengan air akan bereaksi dengan menimbulkan panas hidrasi yang tinggi. Senyawa  $C_4AF$  juga tidak mempunyai sifat semen, senyawa ini berpengaruh terhadap warna semen, makin tinggi kadar senyawa ini semakin tua warnanya semennya.

### Limbah Padat (*Slag*)

Menurut Paul Nugraha dan Antoni(2007) *Slag* merupakan bahan sisa dari pengecoran besi (*pig iron*), dimana prosesnya memakai dapur (*furnance*) yang bahan bakarnya dari udara yang ditiupkan (*blast*). Pembuatan baja dimulai dari menghilangkan ion-ion pengotor baja, diantaranya alumonium, silicon dan phosphor. Untuk menghilangkan ion – ion pengotor tersebut, diperlukan kalsium yang terdapat pada batu kapur. Campuran kalsium, alumonium, silicon dan phosphor membentuk (*slag*) yang bereaksi pada temperature  $1600^{\circ} C$  dan membentuk cairan, bila cairan ini didinginkan maka akan terjadi kristal menyerupai bentuk agregat. Limbah *slag* mempunyai butiran partikel berpori pada permukaannya dan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda.



Gambar 1. Limbah *Slag* baja(*Steel Slag*)

Menurut Lewis (1982) beberapa keuntungan penggunaan limbah padat (*slag*) dalam campuran beton sebagai berikut:

- a. Mempertinggi kekuatan tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan tekan
- b. Menaikkan ratio antara kelenturan dan kuat tekan beton
- c. Mengurangi variasi kekuatan tekan beton
- d. Mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut
- e. Mengurangi serangan alkali-silika
- f. Mengurangi panas hidrasi dan menurunkan suhu
- g. Mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume
- h. Mengurangi porositas dan serangan klorida

### Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambahan (*admixture*) ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Untuk mendapatkan kuat tekan beton tinggi dan kelecakan (*workability*) yang baik, sangat perlu untuk menggunakan *admixture* yang dikombinasikan dengan semen.

Salah satu bahan tambah yang sering digunakan ialah *superplasticizer* (*high range water reducer admixtures*) yang bermanfaat meningkatkan kelecakan (*workability*) adukan beton. *Superplasticizer* digunakan terutama untuk beton mutu tinggi, karena dapat mengurangi air sampai 30 %. Dengan bahan tambahan ini, diharapkan kekuatan beton yang dihasilkan lebih tinggi dengan air yang sedikit, tetapi tingkat kemudahan pekerjaan (kelecakan) juga lebih tinggi.

### Serat *Polypropylene Fiber*

Serat *polypropylene* merupakan senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia  $C_3H_6$  yang berupa filamen tunggal ataupun jaringan serabut tipis yang berbentuk jala dengan ukuran panjang antara 6 mm – 50 mm dan diameter 90 mm. Penambahan serat *polypropylene* pada adukan beton diperkenalkan pertama kalinya di Amerika pada tahun 1965 oleh *Goldfein*. Serat *polypropylene* mudah diperoleh dalam jumlah besar, harganya relatif murah, dan sebagai produk industri bisa dibuat dengan mutu yang konsisten.



Gambar 2. Serat *Polypropylene* (*Fibermesh*)

Dalam hubungannya dengan pembuatan beton, beberapa sifat serat *polypropylene* yang terpenting ialah sebagai berikut:

- a. Tahan terhadap berbagai bahan kimia pada umumnya. Jika terjadi kontak dengan bahan kimia yang agresif, beton akan mengalami kerusakan terlebih dahulu dari pada serat *polypropylene*.
- b. Permukaan serat bersifat *hydrophobic*, sehingga serat tidak menjadi basah ketika ditambahkan ke dalam adukan beton, tidak menjadi kusut ketika diaduk dan tidak menyerap air dari pasta semen (absorpsi 0%).
- c. Pada saat diaduk, serat *polypropylene* terbuka dan agregat akan tersangkut di antara serat, sehingga terbentuk ikatan mekanis antara serat dan adukan beton.
- d. Berat jenis  $\pm 0.9$  sehingga dapat diaduk merata tanpa kesulitan.
- e. Kekuatan tarik  $\pm 0.56 - 0.77 \text{ kN/mm}^2$  (cukup tinggi).
- f. Modulus Young  $\pm 3.56 \text{ kN/mm}^2$  (rendah) berarti beton serat *polypropylene* akan mempunyai kekuatan retak lebih rendah dari beton *steel fiber*, dan menghasilkan regangan sangat besar sebelum proses retak selesai.
- g. Titik leleh cukup tinggi ( $160 - 170^\circ\text{C}$ ), tetapi karena dapat terbakar serat *polypropylene* akan meningkatkan porositas beton setelah kebakaran.

### Uji Karakteristik Mekanis Beton Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Pengujian kuat tekan benda uji silinder 15 x 30 cm menggunakan alat *Compression Testing Machine* kapasitas 1500 kN yang mengacu pada standar ASTM C39 - 01.

Kuat tekan beton dihitung dengan rumus :

$$f'_c = \frac{P}{A} = \frac{P}{1/4 \pi D^2} \quad (1)$$

### Kuat Lentur (*Flexural Strength*)

Pengujian kuat lentur benda uji balok 10 x 10 x 40 cm menggunakan alat *Flexural Testing Machine* kapasitas 50 kN dengan pembebanan 1/3 bentang (*three point loading*) yang mengacu pada standar ASTM C78 - 02. Kuat lentur untuk balok beton dihitung dengan persamaan :

- a. Jika keruntuhan yang terjadi di bagian tengah bentang.

$$f_r = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (2)$$

- b. Jika keruntuhan yang terjadi di bagian luar tengah bentang.

$$f_r = \frac{3P.a}{b.h^2} \quad (3)$$

### Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

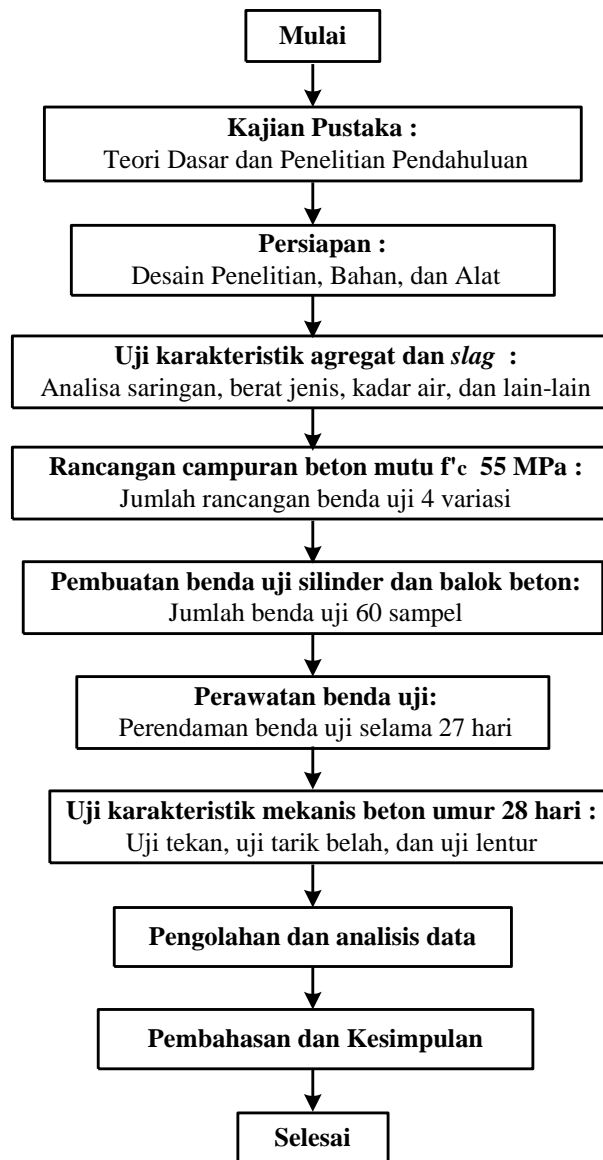
Pengujian kuat tarik belah benda uji silinder 15 x 30 cm menggunakan alat *Compression Testing Machine* kapasitas 1500 kN yang mengacu pada standar ASTM C449 - 90. Kuat tarik tidak langsung beton dihitung dengan persamaan :

$$f_t = \frac{2P}{\pi L D} \quad (4)$$

### Prosedur Penelitian

Rangkaian kegiatan penelitian terdiri atas persiapan bahan dan alat, pengujian karakteristik agregat, perancangan campuran, pembuatan sampel, dan pemeriksaan sifat-sifat mekanis beton. Secara umum prosedur penelitian dilakukan sebagai berikut:

- Persiapan bahan antara lain: semen PC, agregat halus dan kasar, limbah *slag* baja (Uk. Maksimum 20mm), serat *polypropylene fibermesh* diameter 0,09 mm (90 micron), panjang 19 mm, *specific gravity* 0,9., *superplasticizer* sikament N-N, *sikafume* dan air bersih.
- Pengujian karakteristik material agregat (agregat kasar limbah *slag* baja dan agregat halus) meliputi: analisa saringan, berat jenis, kadar air, keausan, berat isi, dan lain-lain.
- Selanjutnya dibuat rancangan beton (*mix design*) menggunakan metode DOE (*Department of Environment*) atau *The British Mix Design Method* dengan rencana mutu beton tinggi  $f'_c$  55 MPa. Rancangan beton dibuat sebanyak 4 variasi, masing-masing: variasi agregat kasar slag 100% yang dikombinasi dengan fraksi volume serat 0%, 0,1%, 0,2 dan 0,3%.
- Pembuatan benda uji meliputi: penakaran, pengadukan, pemadatan, dan perawatan beton dengan metode perendaman selama 27 hari. Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 40 silinder dan 20 balok untuk 4 variasi benda uji.
- Setelah mencapai umur 28 hari, selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik mekanis beton: uji kuat tekan silinder (standar ASTM C39 – 01) menggunakan alat *Compression Testing Machine* , uji kuat lentur balok (standar ASTM C78 – 02) menggunakan alat *Flexural Testing Machine* dengan pembebanan 1/3 bentang (*three point loading*), dan ujian kuat tarik belah silinder (standar ASTM C449 – 90) menggunakan alat *Compression Testing Machine*.
- Tahapan akhir dilakukan pengolahan data hasil pengujian, lalu dianalisis dan dibahas kemudian membuat kesimpulan hasil penelitian.



Gambar 3. Bagan Alir Prosedur Penelitian

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Mix Desain

Dari hasil mixdesain beton mutu tinggi *PolypropyleneFiber* yang menggunakan *slag* baja sebagai agregat kasar diperoleh komposisi material untuk 1 m<sup>3</sup> beton sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi material 1 m<sup>3</sup> beton

V <sub>f</sub> (%)	Berat ( Kg)						
	Fiber	Semen	Pasir	Slag Baja	Air	Silika Fume	Sikamen- NN
0	0	582,36	569	1208	190	50,64	6,33
0,1	0,9	582,36	569	1208	190	50,64	6,33
0,2	1,8	582,36	569	1208	190	50,64	6,33
0,3	2,7	582,36	569	1208	190	50,64	6,33

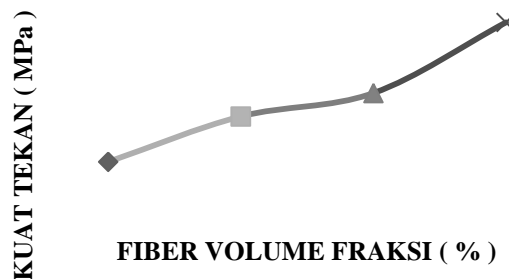
### Hasil Pengujian Karakteristik Mekanis Beton

#### Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan (*Compressive Strength*)beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 2..

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (Umur 28 Hari)

No.	Kode Sampel	Kuat Tekan, $f'_c$ (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Prosentase Kenaikan Kuat Tekan (%)
<b>Beton Slag Fiber 0%</b>				
1	SPF 00-01	59,45	56,0510	0,00
	SPF 00-02	53,79		
	SPF 00-03	56,62		
	SPF 00-04	54,92		
	SPF 00-05	55,48		
<b>Beton Slag Fiber 0,1 %</b>				
2	SPF 01-01	56,62	60,0142	7,07
	SPF 01-02	65,11		
	SPF 01-03	62,28		
	SPF 01-04	53,79		
	SPF 01-05	62,28		
<b>Beton Slag Fiber 0,2 %</b>				
3	SPF 02-01	62,28	62,0524	3,40
	SPF 02-02	59,45		
	SPF 02-03	65,11		
	SPF 02-04	66,81		
	SPF 02-05	56,62		
<b>Beton Slag Fiber 0,3 %</b>				
4	SPF 03-01	67,94	68,2236	9,94
	SPF 03-02	70,77		
	SPF 03-03	69,07		
	SPF 03-04	65,11		



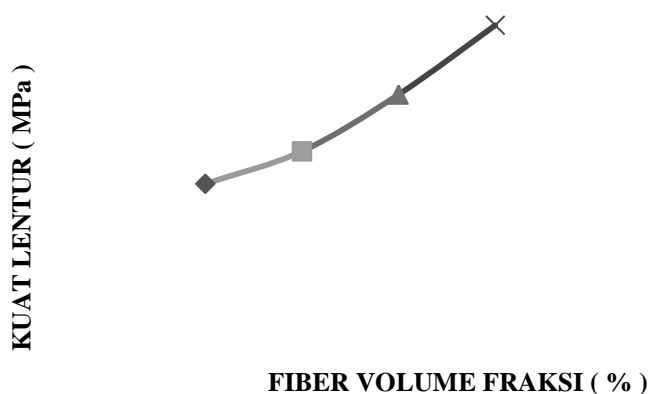
Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan - *Fiber Volume Fraction*

Dari tabel 2 dan gambar 4 memperlihatkan bahwa kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari diperoleh masing-masing benda uji SPF 0 % 56,05 MPa, benda uji SPF 0,1 % 60,01 MPa, benda uji SPF 0,2 % 62,05 MPa dan benda uji SPF 0,3 % sebesar 68,22 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa prosentase penambahan fiber polypropylene ke dalam matriks beton dapat meningkatkan kuat tekan. Peningkatan kuat tekan ini dipengaruhi oleh adanya kontribusi serat *Polypropylene* dalam membantu beton dalam menahan beban. Sedangkan hasil perhitungan prosentase kenaikan kuat tekan beton berdasarkan prosentase penambahan fiber diperoleh masing-masing benda uji SPF 0,1 % meningkat 7,07%, benda uji SPF 0,2 % sebesar 3,40% dan benda uji SPF 0,3 % sebesar 9,94%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fiber pada  $V_f$  0,1% merupakan prosentase penambahan fiber yang optimal karena dapat memberikan kenaikan kuat tekan yang signifikan dengan penggunaan fiber terkecil.

#### Kuat Lentur Beton

Hasil pengujian kuat lentur (*Flexural Strength*) beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 3.  
 Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton (Umur 28 Hari)

No.	Kode Sampel	Kuat Lentur, fr (MPa)	Kuat Lentur Rata-Rata (MPa)	Prosentase Kenaikan Kuat Lentur (%)
<b>Beton Slag Fiber 0%</b>				
1	BPF 00-01	6,25	6,22	0,00
	BPF 00-02	6,55		
	BPF 00-03	6,25		
	BPF 00-04	6,36		
	BPF 00-05	5,70		
<b>Beton Slag Fiber 0,1 %</b>				
2	BPF 01-01	6,60	6,56	5,46
	BPF 01-02	6,18		
	BPF 01-03	6,62		
	BPF 01-04	6,84		
	BPF 01-05	6,57		
<b>Beton Slag Fiber 0,2 %</b>				
3	BPF 02-01	7,14	7,15	8,99
	BPF 02-02	7,23		
	BPF 02-03	7,11		
	BPF 02-04	7,08		
	BPF 02-05	7,20		
<b>Beton Slag Fiber 0,3 %</b>				
4	BPF 03-01	7,86	7,87	10,06
	BPF 03-02	7,96		
	BPF 03-03	8,01		
	BPF 03-04	8,04		
	BPF 03-05	7,50		



Gambar 5. Grafik Hubungan Kuat Lentur - Fiber Volume Fraction

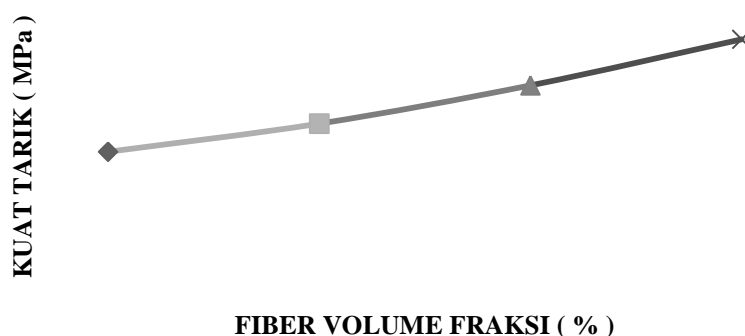
Dari tabel 3 dan gambar 5 dapat dilihat bahwa kuat lentur rata-rata beton pada umur 28 hari diperoleh masing-masing benda uji BPF 0 % 6,22 MPa, benda uji BPF 0,1 % 6,56 MPa, benda uji BPF 0,2 % 7,15 MPa dan benda uji BPF 0,3 % sebesar 7,87 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa prosentase penambahan fiber polypropylene ke dalam matriks beton dapat meningkatkan kuat lentur beton. Peningkatan kuat lentur ini dipengaruhi oleh adanya kontribusi serat *Polypropylen* yang berfungsi sebagai jembatan (*bridging action*) sehingga membantu beton dalam menahan beban. Selain itu, dari hasil perhitungan prosentase kenaikan kuat lentur beton berdasarkan prosentase penambahan fiber diperoleh masing-masing benda uji BPF 0,1 % meningkat 5,46%, benda uji BPF 0,2 % sebesar 8,99% dan benda uji BPF 0,3 % sebesar 10,06%. Hal ini menunjukkan hubungan antara penambahan fiber dengan prosentase kenaikan kuat lentur mendekati linier, yaitu semakin besar penambahan fiber semakin tinggi kenaikan kuat lentur yang terjadi.

**Kuat Tarik Belah**

Hasil pengujian kuat tarik belah (*Splitting Tensile Strength*) beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton (Umur 28 Hari)

No.	Kode Sampel	Kuat Lentur, ft (MPa)	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)	Prosentase Kenaikan Kuat Lentur (%)
<b>Beton Slag Fiber 0%</b>				
1	SPF 00-06	4,95	4,94	0,00
	SPF 00-07	5,11		
	SPF 00-08	4,95		
	SPF 00-09	4,88		
	SPF 00-10	4,80		
<b>Beton Slag Fiber 0,1 %</b>				
2	SPF 01-06	5,22	5,23	5,87
	SPF 01-07	5,15		
	SPF 01-08	5,38		
	SPF 01-09	5,29		
	SPF 01-10	5,09		
<b>Beton Slag Fiber 0,2 %</b>				
3	SPF 01-06	5,45	5,61	7,26
	SPF 02-07	5,80		
	SPF 02-08	5,56		
	SPF 02-09	5,60		
	SPF 02-10	5,66		
<b>Beton Slag Fiber 0,3 %</b>				
4	SPF 03-06	6,11	6,08	8,37
	SPF 03-07	5,96		
	SPF 03-08	6,14		
	SPF 03-09	6,06		
	SPF 03-10	6,14		



Gambar 6. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah - *Fiber Volume Fraction*

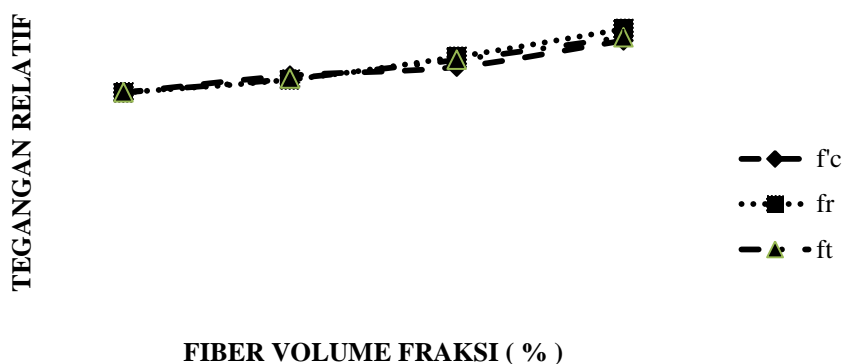
Dari tabel 4 dan gambar 6 memperlihatkan bahwa kuat tarik rata-rata beton pada umur 28 hari diperoleh masing-masing benda uji SPF 0 % 4,94 MPa, benda uji SPF 0,1 % 5,23 MPa, benda uji SPF 0,2 % 5,61 MPa dan benda uji SPF 0,3 % sebesar 6,08 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan fiber polypropylene ke dalam matriks beton dapat meningkatkan kuat tarik beton. Peningkatan kuat tariknya dipengaruhi oleh adanya kontribusi serat *Polypropylene* yang berfungsi sebagai jembatan (*bridging action*) sehingga beton dapat bersifat daktil dalam menahan beban. Hasil perhitungan prosentase kenaikan kuat tarik beton berdasarkan prosentase penambahan fiber diperoleh masing-masing benda uji SPF 0,1 % meningkat 5,87%, benda uji SPF 0,2 % sebesar 7,26% dan benda uji SPF 0,3 % sebesar 8,37%. Hal ini menunjukkan hubungan antara penambahan fiber dengan prosentase kenaikan kuat tarik mendekati linier, yaitu semakin besar penambahan fiber semakin tinggi kenaikan kuat tarik yang terjadi.



Rangkuman dari hasil pengujian karakteristik beton disajikan pada tabel 5 dengan harga tegangan relatif seperti yang ditunjukkan pada grafik gambar 7.

Tabel 5. Hasil Pengujian Karakteristik Beton (Umur 28 Hari)

No.	Vf (%)	f'c (MPa)	fr (MPa)	ft (MPa)	Rasio fr/f'c	Rasio ft/f'c
1	0,0 %	56,05	6,22	4,94	0,1109	0,0881
2	0,1 %	60,01	6,56	5,23	0,1093	0,0871
3	0,2 %	62,05	7,15	5,61	0,1152	0,0904
4	0,3 %	68,22	7,87	6,08	0,1153	0,0891



Gambar 7. Grafik Hubungan Tegangan Relatif- *Fiber Volume Fraction*

Tabel 5 dan gambar 7 masing-masing memperlihatkan rangkuman hasil pengujian karakteristik beton dan harga tegangan relatif dari 3 parameter kekuatan yang telah diuji pada umur 28 hari. Tabel 9 nilai rasio kuat lentur (fr) terhadap kuat tekan (f'c) diperoleh sebesar 0,1109 (11,09%) untuk beton normal Vf 0% dan nilai maksimum untuk beton fiber sebesar 0,1153 (11,53%). Hal ini menjelaskan bahwa kuat lentur beton mutu tinggi yang menggunakan steel slag sebagai agregat kasar mendekati 11,09% dari kuat tekan dan perkiraan kuat lentur beton slag *fiber polypropylene* mendekati 11,53% dari kuat tekannya. Selanjutnya, rasio kuat tarik (ft) terhadap kuat tekan (f'c) diperoleh sebesar 0,0881 (8,81%) untuk beton normal Vf 0% dan nilai maksimum untuk beton fiber sebesar 0,0904 (9,04%). Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat dijelaskan bahwa kuat tarik beton mutu tinggi yang menggunakan steel slag sebagai agregat kasar mendekati 8,81% dari kuat tekan dan perkiraan kuat tarik beton slag *fiber polypropylene* sebesar 9,04% dari kuat tekannya.

Pada gambar 7 memperlihatkan bahwa peningkatan tegangan relatif paling besar terjadi pada grafik kuat lentur kemudian disusul oleh kuat tarik dan kuat tekan. Hal ini dapat menunjukkan bahwa penambahan *fiber polypropylene* ke dalam matriks beton yang menggunakan steel slag sebagai agregat kasar lebih efektif terhadap peningkatan kuat lentur beton.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan yang dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pengaruh *Polypropylene Fiber* pada matriks beton mutu tinggi yang menggunakan slag baja sebagai agregat kasar dapat meningkatkan sifat mekanis beton antara lain; kuat tekan meningkat sebesar 7,07% pada Vf 0,1%, 3,40% pada Vf 0,2%, dan 9,94% pada Vf 0,3% terhadap beton normal Vf 0%. Kuat lentur meningkat sebesar 5,46% pada Vf 0,1%, 8,99% pada Vf 0,2%, dan 10,06% pada Vf 0,3% terhadap beton normal Vf 0%. Sedangkan kuat tarik beton dapat meningkat sebesar 5,87% pada Vf 0,1%, 7,26% pada Vf 0,2%, dan 8,37% pada Vf 0,3% terhadap beton normal Vf 0%.
2. Hubungan korelasi penambahan *Polypropylene Fiber* pada sifat mekanis beton cenderung sama pada kuat lentur dan kuat tarik, yang mana semakin meningkat prosentase penambahan fiber semakin meningkat pula kekuatan karakteristik betonnya yang diperoleh pada Vf 0,3% dan mempunyai grafik mendekati linier. Sebaliknya, pada karakteristik kuat tekan beton cenderung tidak berbanding lurus, yang mana penambahan

fiber pada  $V_f$  0,1% merupakan prosentase penambahan fiber yang optimal. Pengaruh penambahan *PolypropyleneFiber* pada beton mutu tinggi dengan slag baja sebagai agregat kasar menghasilkan peningkatan teganganterbesar pada kuat lentur kemudian disusul oleh kuat tarik dan kuat tekan.

#### Daftar Notasi

$f'_c$  = tegangan tekan beton ( $\text{kg/cm}^2$ , MPa)  
P = beban tekan maksimum (kg, N)  
A = luas penampang silinder ( $\text{cm}^2$ ,  $\text{mm}^2$ )  
D = diameter silinder beton (cm, mm)  
 $f_r$  = modulus of rupture ( $\text{kg/cm}^2$ , MPa)  
P = beban lentur maksimum (kg, N)  
L = panjang balok (cm, mm)  
b = lebar balok (cm, mm)  
h = tinggi balok (cm, mm)  
a = jarak rata-rata dari garis keruntuhan dari titik perletakan  
 $f_t$  = tegangan tarik belah ( $\text{kg/cm}^2$ , MPa)  
P = beban maksimum (kg, N)  
L = panjang silinder (cm, mm)

#### Daftar Pustaka

- ACI Committee 544.1R-96. *State of The Art Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.1R,2R,3R,4)*, (Reapproved 2002). American Concrete Institute. U.S.A.
- ACI Committee 363 R-92. *State of The Art Report on High-Strength Concrete*, (Reapproved 1997). American Concrete Institute. U.S.A.
- Achmadi, Ali. 2007. *Kajian Beton Mutu Tinggi Menggunakan Slag Sebagai Agregat Halus dan Agregat Kasar Dengan Aplikasi Superplasticizer dan Silicafume*. Tesis Magister. Semarang. Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Adianto, Yohanes L.D., & Joewono, Tri Basuki. 2006. Penelitian Pendahuluan Hubungan Penambahan Serat Polymeric Terhadap Karakteristik Beton Normal. *Journal of Civil Engineering Volume 8*. No. 1 : 34 – 40.
- Adiwijaya. 2010. Studi Eksperimental Perilaku Geser Balok-T Beton Bertulang Yang Menggunakan *Polypropylene Fiber-Mesh*. Tesis Magister. Makassar. Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
- Aitcin, P.C. 1998. *High-Performance Concrete*. Taylor & Francis. New York.
- American Standart for Testing and Material. 2002. *Annual Book of ASTM Standart Volume 04.02. Concrete and Agregates*. Philadelphia.
- Amri, Sjafei. 2005. *Teknologi Beton A - Z*. Penerbit UI-Press. Jakarta.
- Atis, Cengiz D., Okan Karahan, Kamuran Ari, and Ozlem Celik Sola. 2009. Relation Between Strength Properties (Flexural and Compressive) and Abrasion Resistance Of Fiber (Steel and Polypropylene) Reinforced Fly Ash Concrete. *Journal Of Materials In Civil Engineering*. August 2009 : 402 – 408.
- Balaguru, P.N. and Surendra P. Shah. 1992. *Fiber Reinforced Cement Composites*. McGraw-Hill, Inc. Singapore.
- Caldarone, Michael A. 2009. *High-Strength Concrete : A Practical Guide*. Taylor & Francis. New York.
- Federation Highway Administration (FHWA). 2005. *High Performance Concrete : Structural Desiger's Guide*. U.S.A.
- Hannant, D.J., 1978. *Fibre Cements and Fibre Concrete*. John Wiley & Sons, A Wiley-Interscience Publication. New York.
- Moon, Han Young, Jung Hoon Yoo, and Seong So Kim. 2002. A Fundamental Study on the Steel Slag Aggregate for Concrete. *Geosystem Engineering*. No. 5 (2) : 38 – 45.
- Nawy, Edward G., 1985. *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*. Terjemahan oleh Bambang Suryoatmono. 1990. Bandung. PT. Eresco Bandung.
- Nugraha, Paul., dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton (Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi)*. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta.
- Rashid, M.A., M.A. Mansur, and P. Paramasivam. 2002. *Correlations between Mechanical Properties of High Strength Concrete*. *Journal of Material in Civil Engineering*. Vol. 14, No. 3 : 230 – 238.
- Song, P.S, S. Hwang, and B.C. Sheu. 2005. Strength Properties Of Nylon and Polypropylene Fiber Reinforced Concretes. *Cement and Concrete Research Journal*. No. 35 : 1546 – 1550.