

Pengaruh Serat *Polypropylene* pada Beton

MARDIANA OESMAN^{1*}, RISMA HERAWATI¹, ZALFA NUUR JAUZA¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia
Email: mardianaoesman@polban.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini melakukan pengujian pada campuran PFRSCC dan beton kontrol untuk mengetahui sifat mekanis beton tersebut. Komposisi campuran PFRSCC dan beton kontrol merujuk kepada penelitian Hafizhul (2023), melakukan penelitian terhadap UHPC (ultra high performance concrete) dengan menggunakan material lokal, yaitu pasir alam dan batu pecah lolos saringan 4,75mm. Komposisi PFRSCC dan beton kontrol menggunakan semen jenis Portland Slag Cement (PSC); 1% superplasticizer dari total binder; 30% Silica Fume dari total binder; serat Polypropylene sebesar 1% dari volume beton total; rasio pasir alam terhadap batu pecah 45%: 55%; rasio w/b sebesar 0,23. Namun demikian, campuran beton kontrol tidak mengandung serat PP. Hasil pengujian beton segar dengan flow table dicapai 250 mm dengan w/b 0,23. Hasil pengujian sifat mekanis PFRSCC pada umur 28 hari menunjukkan kuat tekan sebesar 42,73 MPa; kuat tarik sebesar 4,33 MPa; kuat lentur sebesar 8,98 MPa; serta modulus elastisitas sebesar 45,51 GPa. Sedangkan, hasil pengujian sifat mekanik beton kontrol pada umur 28 hari menunjukkan kuat tekan sebesar 47,66 MPa; kuat tarik sebesar 1,95 MPa; kuat lentur sebesar 6,29 MPa; serta modulus elastisitas sebesar 38,79 GPa. Apabila dibandingkan sifat mekanis PFRSCC terhadap beton kontrol, maka serat PP memberikan pengaruh dalam meningkatkan kuat tarik sebesar 2,38 MPa (122,05%), kuat lentur sebesar 2,67 MPa (42,77%), dan modulus elastisitas beton sebesar 6,67 GPa (17,32%). Namun, 1% serat PP menurunkan kuat tekan, lebih rendah 4,93 (10,34%) dibandingkan terhadap beton kontrol.

Kata kunci: SCC, PFRSCC, Polypropylene, sifat mekanis

ABSTRACT

This study conducted tests on a mixture of PFRSCC and control concrete to determine the mechanical properties of the concrete. The composition of the mixed PFRSCC and control concrete refers to Hafizhul's research (2023), research on UHPC (ultra high-performance concrete) using local materials, namely natural sand and crushed stone passing a 4.75mm filter. The composition of PFRSCC and control concrete uses Portland Slag Cement (PSC); 1% superplasticizer of total binder; 30% Silica Fume from total binder; Polypropylene fiber of 1% of the total concrete volume; ratio of natural sand to crushed stone 45%: 55%; w/b ratio of 0.23. However, the control concrete mix did not contain PP fiber. The results of testing fresh concrete with a flow table reached 250 mm with w/b ratio of 0.23. The results of testing the mechanical properties of PFRSCC at the age of 28 days showed a compressive strength of 42.73 MPa; tensile strength of 4.33 MPa; flexural strength of 8.98 MPa; and a modulus of elasticity of 45.51 GPa. Meanwhile, the results of testing the mechanical properties of the control concrete at the age of 28 days showed a compressive strength of 47.66 MPa; tensile strength of 1.95 MPa; flexural strength of 6.29 MPa; and a modulus of elasticity of 38.79 GPa. When compared to the mechanical properties of PFRSCC on control concrete, PP fiber has an influence in increasing the tensile strength of 2.38 MPa (122.05%), flexural strength of 2.67 MPa (42.77%), and the elastic modulus of concrete is 6.67 GPa (17.32%). However, 1% PP fiber decreased the compressive strength, 4.93 (10.34%) lower than the control concrete.

Keywords: SCC, PFRSCC, Polypropylene, sifat mekanis

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, perkembangan teknologi SCC untuk struktur salah satunya adalah *Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete* (FRSCC), yaitu beton yang memiliki kinerja yang tinggi karena dapat memadat sendiri tanpa melalui proses pemadatan dengan menggunakan alat getar dan menggunakan serat sebagai perkuatannya. Penerapan FRSCC pada elemen struktur dapat meningkatkan kemampuan beton terhadap gaya tarik terutama pada zona yang rentan terhadap retak atau daerah pada beton yang tidak terdapat tulangan.

Saat beton dalam proses mencapai karakteristiknya, beton akan mengalami susut yang menyebabkan timbulnya retakan yang menjalar dan melakukan perpanjangan di ujung retakan. Serat yang terletak di dalam area retakan berfungsi sebagai jembatan penghubung dengan menghambat pemisahan beton yang retak sehingga meningkatkan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik. Oleh karena itu, penggunaan serat sebagai perkuatan akan meningkatkan kemampuan beton dalam menahan tarik secara volume dan dimensi karena serat akan terdistribusi secara merata pada area yang tidak terdapat tulangan. Kombinasi antara SCC dengan kandungan serat PP dapat menjadi alternatif dalam meningkatkan sifat mekanis beton, perpaduan tersebut dikenal dengan *Polypropylene Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete* (PFRSCC).

Pada umumnya, campuran beton menggunakan semen tipe *Ordinary Portland Cement* (OPC), ukuran gradasi agregat menggunakan 5 – 20 mm; sedangkan, penelitian ini menggunakan semen *Portland Slag Cement* (PSC), serat polypropylene (PP), agregat lokal lolos saringan 4,75 mm, silica fume, dan superplasticizer yang berbeda dari beton pada umumnya. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sifat mekanis beton PFRSCC. Proporsi campuran merujuk pada penelitian Hafizhul (2022) mengenai UHPC yang merupakan nano material menggunakan agregat lolos saringan 4,75 mm dan penambahan serat baja sehingga dapat mencapai mutu beton tinggi, sedangkan pada penelitian ini akan digunakan serat PP.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Self Compacting Concrete* (SCC)

Self Compacting Concrete (SCC) mengacu pada perilaku campuran beton segar yang mampu memadat sendiri mengalir dibawah beratnya sendiri, mengisi ruang pada bekisting, menghasilkan bahan yang padat dan cukup homogen tanpa perlu pemadatan [27]. Berdasarkan ACI 237R-3, SCC merupakan beton non-segregasi yang mudah mengalir dapat menyebar, mengisi bekisting, dan membungkus tulangan tanpa konsolidasi mekanis. SCC juga didefinisikan sebagai *self-compacting concrete*, *self-placing concrete*, dan *self-leveling concrete* [2]. Pada dasarnya SCC dibuat menggunakan material beton konvensional dan pada beberapa kasus ditambah dengan *viscosity-modifying admixture* (VMA).

2.2 *Fiber Reinforced Concrete* (FRC)

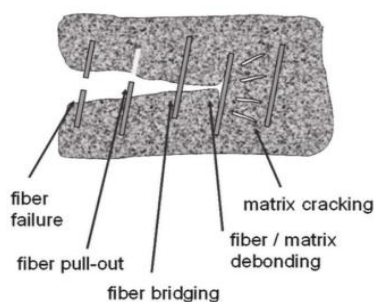
Menurut ACI CT-21 (2021), *Fiber Reinforced Concrete* (FRC) merupakan beton yang dibuat dari semen hidraulik, agregat, dan serat penguat dengan proporsi normal atau campuran yang secara khusus diformulasikan untuk aplikasi tertentu [6]. Klasifikasi beton yang diperkuat dengan serat berdasarkan ASTM C1116 (2006) [13] adalah sebagai berikut:

1. Tipe 1 *Steel Fiber Reinforced Concrete*.
2. Tipe 2 *Glass Fiber Reinforced Concrete*.
3. Tipe 3 *Synthetic Fiber Reinforced Concrete*.

Serat digunakan sebagai perkuatan tidak sama seperti tulangan. Serat didistribusikan secara merata dalam beton dengan jarak rata-rata antar serat lebih kecil daripada jarak tipikal untuk tulangan. Sehingga, tegangan tarik yang menyebabkan awal retakan akan ditanggung oleh serat, sehingga retakan tidak cepat berkembang dan pola retakan menjadi berubah. Ketika FRC tidak mengalami retakan, maka kondisi serat pada beton diasumsikan homogen, namun ketika retakan mulai terjadi, serat akan menjembatani retakan dan mulai memikul tegangan tarik yang memberikan peningkatan kapasitas beton dalam menahan beban akibat tarik pada kondisi retak (Buratti, dkk., 2011).

Tahapan kegagalan FRC secara skematis ditunjukkan pada **Gambar 1** dan diringkas sebagai berikut:

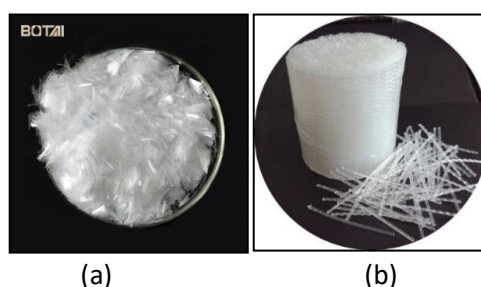
1. Retakan dalam matriks semen terbentuk.
2. Terjadi *debonding* dan *sliding* antara serat dan matriks.
3. Serat menjembatani retakan.
4. Serat mengalami geser gesekan kemudian mengalami deformasi jangkar dan akhirnya serat tertarik.
5. Potensi serat mengalami kegagalan saat diberikan tekanan, istilah kegagalan terjadi pada tahap akhir ketika serat tidak lagi mampu menahan tekanan yang terjadi.



Gambar 1 . Skema mekanisme kerja serat sebagai perkuatan
(Sumber: ACI 544.4R, 2018)

2.3 Serat *Polypropylene* (PP)

Polypropylene fibre atau serat PP merupakan filamen-filamen halus yang terbuat dari plastik yang memiliki sifat hidrofobik, yaitu tidak mengabsorpsi air. Dalam beberapa kasus, penambahan air pada beton serat bertujuan meningkatkan kemampuan pengerjaannya, namun dapat menyebabkan penurunan kuat tekan. Berdasarkan penelitian [28], disimpulkan bahwa penambahan serat PP dengan kadar 0,9 kg/m³ ke dalam beton dapat meningkatkan kuat tarik beton hingga 33,14% dibandingkan beton tanpa serat. Serat PP memiliki dua bentuk ditunjukkan pada **Gambar 2** yaitu serat monofilamen (2a) dan serat film (2b) [28].



Gambar 2. Serat polypropylene; (a) bentuk filamen; (b) bentuk film
(Sumber: *Google Images*)

2.4 Sifat Mekanis Beton

Beton PFRSCC memiliki sifat mekanis yang merupakan kualitas dan kemampuan yang dimiliki oleh beton, sifat-sifat mekanis tersebut diantaranya kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, dan modulus elastisitas.

1) Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan kemampuan beton menahan beban tekan sampai hancur. Kuat tekan PFRSCC akan lebih tinggi dari beton konvensional karena memiliki komposisi campuran yang berbeda disebabkan adanya penambahan serat PP dan *admixture* yaitu *superplasticizer* dan *silica fume* untuk mendapatkan kelecakan yang dibutuhkan. Kuat tekan PFRSCC yang didapatkan pada 7 hari, 14 hari, dan 28 hari berturut-turut 39,8 MPa; 52,0 MPa; 63,7 MPa [29].

2) Kuat Tarik Belah (*Split*)

Kuat tarik merupakan kelemahan yang dimiliki beton. Tujuan pengujian untuk mengetahui daya ikat antara semen dengan agregat dalam campuran beton. Pada umumnya, nilai kuat tarik belah beton berkisar 3-8 MPa atau $\frac{1}{8}$ dari nilai kuat tekan (Chandra, 2015). Beton dengan kandungan serat PP meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik lebih baik dibandingkan beton normal [27]. Serat *polypropylene* pada SCC memiliki perilaku sebagai tulangan yang dapat memberikan tegangan tarik pada beton dengan hasil beton mampu memiliki daktilitas yang tinggi.

3) Kuat Lentur

Kuat lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena beban dari luar. Jika beban bertambah, maka deformasi akan terjadi dan bertambahnya regangan mengakibatkan timbul retakan akibat lentur di sepanjang bentang balok [31]. Penggunaan serat PP dan *silica fume* pada campuran SCC dapat meningkatkan nilai kuat lentur.

4) Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan perbandingan nilai antara tegangan dengan regangan pada beton. Penambahan serat PP diketahui dapat meningkatkan nilai modulus elastisitas walaupun tidak signifikan [32]. Menurut ACI 318-89 nilai modulus elastisitas dapat diambil melalui perbandingan antara 45% tegangan maksimum terhadap regangan yang terjadi pada kondisi tegangan tersebut [3].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian mengenai pengaruh serat PP terhadap beton bertulang dilakukan melalui pengujian sifat mekanis beton terhadap benda uji yang dibuat menggunakan campuran beton PFRSCC dengan proporsi campuran merujuk pada penelitian UHPC dengan serat baja (Hafizhul, 2023); kemudian dibandingkan dengan beton kontrol. Penelitian dimulai dengan persiapan material; antara lain persiapan gabungan pasir alam dan batu pecah yang lolos saringan 4,75mm. Pengujian material dilakukan sebagai dasar pembuatan campuran PFRSCC dan beton kontrol. Campuran PFRSCC sama dengan beton kontrol, namun beton kontrol tidak mengandung serat PP. Campuran beton PFRSCC merujuk pada penelitian Hafizhul (2023). Pengujian beton segar dilakukan dengan metode *flow table* merujuk pada ASTM C1437-07 [9]. Nilai *flow* optimum yang ingin dicapai sebesar 250 mm, maka penambahan air akan dilakukan secara bertahap dan dilakukan sampai nilai *flow* terpenuhi. Pembuatan benda uji untuk PFRSCC dan beton kontrol terdiri dari benda uji untuk uji kuat tekan pada umur 7, 28, dan 56 hari menggunakan silinder diameter 100 mm dan 200 mm, uji kuat tarik umur beton 28 hari menggunakan silinder diameter 100 mm dan 200 mm, uji kuat lentur umur 28 hari menggunakan balok dengan

dimensi 100 x 100 x 500 mm, dan uji modulus elastisitas umur 28 menggunakan silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm; dimana masing-masing 3 buah benda uji sehingga, total keseluruhan benda uji sebanyak 18 benda uji. Metode perawatan dilakukan dengan cara *water curing* yaitu beton disimpan dalam curing tank untuk mencegah proses hidrasi yang menyebabkan beton kehilangan kelembapannya. Selanjutnya, dilakukan pengujian beton keras: kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, dan uji modulus elastisitas. Selama pengujian, juga diobservasi perbedaan proses keruntuhan benda uji PFRSCC dan beton kontrol.

4. ANALISIS DATA

4.1 Persiapan Studi Eksperimental

Material yang dipersiapkan meliputi semen PSC (*Portland Slag Cement*) yang diproduksi oleh PT. Indocement Tunggal Prakarsa; *silica fume*; *superplasticizer* tipe *Polycarboxylate Ether* dari PT. Sika Indonesia; agregat berupa pasir alam dan batu pecah gradasi lolos saringan ukuran 4,75 mm; dan serat PP. Sebelum dibuat campuran beton, material yang akan digunakan sudah dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristiknya sehingga memenuhi persyaratan. Hasil pengujian material penyusun beton ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pengujian Material

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji	Hasil
1.	Berat Jenis Semen	SNI 15-2049-2004	3,09 gr/cm ³
2.	Keaktifan <i>Silica Fume</i>		< 2 mm
3.	Berat Jenis <i>Silica Fume</i>		2,14 gr/cm ³
Batu Pecah (<i>Split</i>)			
	Berat jenis SSD (<i>saturated surface dry</i>)		2,63
	Berat jenis kering (<i>bulk</i>)	SNI 1969-2016	2,53
	Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	SNI 1970-2016	2,81
	Penyerapan air		3,93%
	Analisa Ayak		
	Ukuran saringan (mm)		Lolos kumulatif
4	4,75		99,70%
	2,36		55,85%
	1,18	ASTM C136-2012	13,03%
	0,60		4,09%
	0,30		0,79%
	0,15		0,66%
	0,075		0,51%
	Bobot isi padat	SNI 03-4804-1998	1,56 gr/cm ³
	Bobot isi gembur		1,44 gr/cm ³
	Kadar butir lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	4,96%
Pasir Alam			
	Berat jenis SSD (<i>saturated surface dry</i>)		2,50%
5	Berat jenis kering (<i>bulk</i>)	SNI 1969-2016	2,35%
	Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	SNI 1970-2016	2,75%
	Penyerapan air		6,16%
	Analisa Ayak		
	Ukuran saringan (mm)		Lolos kumulatif
	4,75		100%
	2,36		100%
1,18	ASTM C136-2012	99,94%	
0,60		68,81%	
0,30		42,40%	
0,15		13,88%	
0,075		4,23%	
	Bobot isi padat	SNI 03-4804-1998	1,38 gr/cm ³
	Bobot isi gembur		1,25 gr/cm ³
	Kadar butir lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	3,31%
	Zat organik agregat	SNI 2816-2014	No. 1

4.2 Komposisi Campuran Beton PFRSCC dan Beton Kontrol

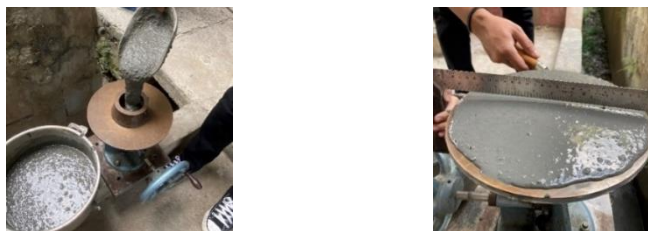
Campuran PFRSCC dan beton kontrol dengan komposisi yang sama ditunjukkan pada **Tabel 2**, namun pada PFRSCC digunakan serat *Polypropylene* (PP); sedangkan, pada beton kontrol tidak menggunakan serat. Perancangan campuran PFRSCC merujuk pada penelitian Hafizhul (2023). Perancangan komposisi PFRSCC menggunakan semen jenis *Portland Slag Cement* (PSC); 1% *Superplasticizer* dari total *binder*; 30% *Silica Fume* dari total *binder*; serat *Polypropylene* sebesar 1% dari volume beton total; rasio pasir alam terhadap batu pecah 45%: 55%; dan rasio w/b sebesar 0,22.

Tabel 2. Komposisi Campuran Beton

Material	Berat
Semen	750,4 kg/m ³
Pasir Alam	454,95 kg/m ³
Batu Pecah	556,05 kg/m ³
<i>Silica fume</i>	321,6 kg/m ³
<i>Superplasticizer</i>	10,72 kg/m ³
Serat PP	9,1 kg/m ³
Air	225,12 kg/m ³
<i>Binder</i> (S + SF)	1.072 kg/m ³
w (sp + air)	235,84 kg/m ³

4.3 Pengujian Beton Segar

Campuran PFRSCC maupun beton kontrol bersifat SCC, sehingga dilakukan pengujian *flow table test* sesuai ASTM C230, seperti terlihat pada **Gambar 3**. Tujuan pengujian yaitu mengecek kelecakan atau workabilitas beton segar untuk menyesuaikan kemudahan beton mengalir (*flow*) pada bekisting. Nilai *flow* pada penelitian ini ditetapkan sebesar 250 mm dan air dimasukkan secara bertahap sampai nilai *flow* memenuhi. Pada benda uji sifat mekanis baik PFRSCC maupun beton kontrol; kadar air awal yang dibutuhkan pada komposisi campuran beton adalah sebanyak 225,12 kg/m³ dengan rasio w/b awal sebesar 0,22. Karena belum mencapai *flow* yang diinginkan dilakukan penambahan air ke dalam campuran; sehingga didapatkan kadar air akhir pada komposisi campuran setelah dikoreksi menjadi 242,44 kg/m³ dengan rasio w/b 0,23.



Gambar 3. Pengujian *flow table*

4.4 Kuat Tekan

Kuat tekan PFRSCC dan beton kontrol didapatkan melalui pengujian kuat tekan sesuai SNI 03-1974-1990 pada benda uji umur 7 hari, 28 hari, dan 56 hari, masing-masing sebanyak 3 (tiga) buah benda uji [20]. Hasil pengujian kuat tekan untuk benda uji PFRSCC tercantum pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** untuk beton kontrol.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata PFRSCC pada umur 7 hari, 28 hari, dan 56 hari adalah 39,67 MPa; 42,73 MPa; dan 43,65 MPa; secara berurutan. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan PFRSCC umur 7 hari ke 28 hari sebesar 7,71%; serta mengalami peningkatan sebesar 3,05% pada umur 28 hari ke 56 hari.

Tabel 3. Kuat Tekan PFRSCC

No	Kode Benda Uji	Beban Maksimum [kN]			Kuat Tekan [MPa]		
		7 hari	28 hari	56 hari	7 hari	28 hari	56 hari
1	PFRSCC 1	290	312	381	36,66	39,48	47,75
2	PFRSCC 2	351	358	348	44,61	44,93	44,03
3	PFRSCC 3	301	344	312	37,73	43,79	39,16
Rata-rata					39,67	42,73	43,65

Tabel 4. Kuat Tekan Beton Kontrol

No	Kode Benda Uji	Beban Maksimum [kN]			Kuat Tekan [MPa]		
		7 hari	28 hari	56 hari	7 hari	28 hari	56 hari
1	B. Kontrol 1	330	376	470	41,04	47,11	59,65
2	B. Kontrol 2	385	392	420	47,19	49,23	53,56
3	B. Kontrol 3	365	368	477	46,80	46,64	60,86
Rata-rata					45,01	47,66	58,02

Sedangkan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton kontrol pada umur 7 hari, 28 hari, dan 56 hari adalah 45,01MPa; 47,66 MPa; dan 58,02 MPa; secara berurutan. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan beton kontrol umur 7 hari ke 28 hari sebesar 5,89% dan mengalami peningkatan sebesar 21,75% pada umur 28 hari ke 56 hari.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa PFRSCC memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan terhadap beton kontrol pada umur 28 hari yaitu sebesar 4,93 MPa (10,34%). Menurut Zhu, dkk (2011), kuat tekan beton akan mengalami penurunan seiring dengan penambahan serat PP karena adanya pengaruh porositas [34].



(a) Kuat Tekan PFRSCC



(b) Kuat Tekan Beton Kontrol

Gambar 4. Pola keruntuhan setelah uji kuat tekan

Pola keruntuhan akibat tekan pada beton PFRSCC dan beton kontrol menunjukkan perilaku yang berbeda. Benda uji silinder PFRSCC dengan kandungan serat PP sebesar 1% (**Gambar 4a**) mengalami keruntuhan dengan ditandai adanya retakan memanjang dari permukaan. Sementara pada bagian bawah silinder hanya terjadi retak rambut, bagian beton yang hampir terkelupas juga ditahan oleh serat sehingga tidak langsung terpisah dengan beton. Sedangkan, benda uji beton kontrol tanpa serat (**Gambar 4b**) mengalami keruntuhan getas dimana dari retakan yang terjadi seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan, menyebabkan beton terpisah (*spalling*) karena tidak ada yang menahan.

4.5 Kuat Tarik Belah (*Split*)

Uji kuat tarik PFRSCC dilakukan pada benda uji PFRSCC dan beton kontrol sesuai SNI 03-2491-2002 [22] pada umur 28 hari untuk mengetahui kuat tarik belah dari kedua komposisi beton, masing-masing sebanyak tiga buah benda uji. Hasil dari uji tarik belah dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perbandingan Kuat Tarik PFRSCC Terhadap Beton Kontrol

PFRSCC [MPa]	Beton Kontrol [MPa]	Perbandingan [%]
4,33	1,95	122,05

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian kuat tarik belah PFRSCC sebesar 4,33 MPa; dan kuat tarik belah beton kontrol sebesar 1,95 MPa. Dengan demikian, PFRSCC memiliki kuat tarik lebih besar, dengan selisih 2,38 MPa (122,05%) dibandingkan terhadap beton kontrol. Dengan demikian, serat PP memberikan pengaruh dalam meningkatkan kuat tarik belah beton.



(a) Kuat Tarik PFRSCC



(b) Kuat Tarik Beton Kontrol

Gambar 5. Pola Keruntuhan Setelah Uji Kuat Tarik Belah

Gambar 5 memperlihatkan kondisi PFRSCC dan beton kontrol setelah dilakukan pengujian kuat tarik belah. Setelah dibebani PFRSCC tidak terbelah menjadi dua bagian seperti halnya beton kontrol. Hal tersebut dikarenakan adanya serat yang menahan retakan melebar. Sehingga, retak hanya terjadi pada permukaan saja, dengan kata lain keruntuhan pada beton kontrol terjadi secara getas.

4.6 Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji umur 28 hari sesuai ASTM 78 dengan campuran PFRSCC dan beton kontrol, masing-masing sebanyak tiga buah benda uji. Hasil pengujian kuat lentur PFRSCC dapat dilihat pada **Tabel 6** dan kuat lentur beton kontrol pada **Tabel 7**.

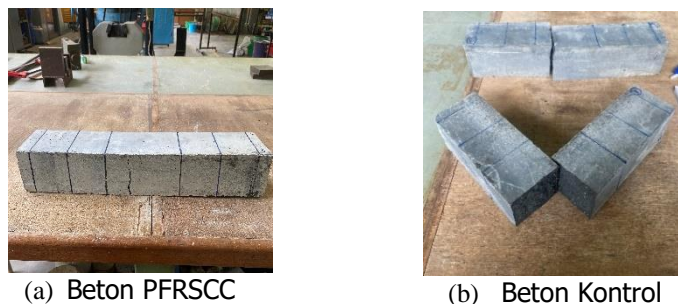
Tabel 6. Kuat Lentur PFRSCC

No	Kode Benda Uji	Beban Lentur [kN]	Kuat Lentur [MPa]
1	PFRSCC 1	18,34	8,86
2	PFRSCC 2	18,52	8,80
3	PFRSCC 3	18,92	9,27
Rata-rata Kuat Lentur			8,98

Tabel 7. Kuat Lentur Beton Kontrol

No	Kode Benda Uji	Beban Lentur [kN]	Kuat Lentur [MPa]
1	Beton Kontrol 1	12,52	6,27
2	Beton Kontrol 2	12,69	6,26
3	Beton Kontrol 3	13,16	6,33
Rata-rata Kuat Lentur			6,29

Berdasarkan **Tabel 6** dan **Tabel 7**, hasil pengujian lentur benda uji PFRSCC pada umur 28 hari sebesar 8,98 MPa dan kuat lentur beton kontrol sebesar 6,29 MPa; artinya kuat lentur PFRSCC lebih besar dibandingkan beton kontrol sebesar 2,69 MPa (42,77%). Hal tersebut menunjukkan bahwa serat PP berpengaruh meningkatkan kuat lentur pada beton.



(a) Beton PFRSCC (b) Beton Kontrol
Gambar 6. Pola keruntuhan setelah uji kuat lentur

Gambar 6 menunjukkan kondisi beton PFRSCC dan beton kontrol setelah diuji terlihat bahwa serat pada beton bekerja menjembatani retakan. Sehingga, benda uji tidak belah setelah menerima beban lentur maksimum. Sementara, benda uji beton kontrol belah menjadi dua bagian setelah menerima beban lentur maksimum.

4.7 Modulus Elastisitas

Uji modulus elastisitas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perilaku beton dalam menahan defleksi plastis yang diakibatkan adanya beban yang bekerja. Pengujian dilakukan pada beton PFRSCC dan beton kontrol sesuai ASTM C 469-1994 pada umur 28 hari masing-masing sebanyak tiga buah benda uji. Hasil pengujian modulus elastisitas ditunjukkan pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

No	Benda Uji	Modulus Elastisitas [MPa]	Modulus Elastisitas [GPa]
1	PFRSCC	45.512,60	45,51
2	Beton Kontrol	38.786,95	38,79

Hasil pengujian modulus elastisitas PFRSCC didapatkan sebesar 45,51 GPa; sedangkan, modulus elastisitas beton kontrol sebesar 38,79 GPa. Sehingga, beton PFRSCC memiliki nilai modulus elastisitas lebih besar dibandingkan beton kontrol sebesar 6,67 GPa (17,32%).

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sifat mekanis PFRSCC dan beton kontrol (tanpa kandungan serat PP), diketahui hal berikut:

1. Nilai rata-rata *flow table* yang dicapai ditetapkan sebesar 250 mm dengan rasio w/b 0,23.
2. Hasil uji kuat tekan rata-rata PFRSCC sebesar 42,73 MPa. Kuat tekan lebih rendah dibandingkan terhadap beton kontrol sebesar 47,66 MPa. Kuat tekan PFRSCC lebih rendah 4,93 MPa (10,34%) dibandingkan beton kontrol. Pola keruntuhan akibat tekan pada PFRSCC adanya retakan memanjang dan ditahan oleh serat sehingga tidak langsung terkelupas dari beton inti. Sedangkan, benda uji beton kontrol tanpa serat mengalami keruntuhan getas dimana dari retakan yang terjadi menyebabkan beton terpisah (*spalling*).
3. Hasil uji kuat tarik belah rata-rata PFRSCC sebesar 4,33 MPa; sedangkan, untuk beton kontrol sebesar 1,83 MPa. Sehingga, kuat tarik belah PFRSCC lebih tinggi 2,38 MPa (122,05%).

4. Hasil uji kuat lentur rata-rata PFRSCC sebesar 8,98 MPa; sedangkan, nilai kuat lentur beton kontrol sebesar 6,29 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa kuat lentur PFRSCC 2,67 MPa (42,77%) lebih tinggi dari kuat lentur beton kontrol.
5. Hasil uji modulus elastisitas PFRSCC sebesar 45,51 GPa; sedangkan, modulus elastisitas beton kontrol sebesar 38,79 GPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa modulus elastisitas PFRSCC lebih tinggi 6,67 GPa (17,12%) dibandingkan beton kontrol.

5.2 Saran

Studi ini hanya menggunakan komposisi dengan 1 (satu) jenis persentase serat PP. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya dibuat variasi terhadap persentase serat dengan komposisi beton yang sama sehingga diketahui persentase serat optimum. Diketahui bahwa dengan serat pada beton akan menambah porositas pada beton yang mengakibatkan turunnya mutu beton; namun demikian, perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh w/b terhadap sifat mekanis beton terhadap persentase serat pada beton. Karena, w/b merupakan salah satu faktor yang akan mempengaruhi daripada kepadatan serta workabilitas beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Neegeri Bandung yang telah membantu pendanaan guna mendukung penelitian ini. dan terimakasih kepada seluruh pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu. Semoga penelitian ini meberikan manfaat dalam bidang akademis dan pengetahuan dikemudian hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI Committee 116. (2000). *ACI 116R-00: Cement and Conrete Terminology*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [2] ACI Committee 237. (2007). *ACI 237R-07: Self-Consolidating Concrete*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [3] ACI Committee 318. (1989). *ACI 318-89: Building Code Requirements for Reinforced Concrete Commentary*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [4] ACI Committee 544. (2018). *ACI 544.4R-18: Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [5] Ahmad, J. e. (2022). A Review on Failure Modes and Cracking Behaviors of Polypropylene Fibers Reinforced Concrete. *Buildings*, 12(11), 1951.
- [6] American Concrete Institute. (2021). *ACI CT-21 ACI Concrete Terminology*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- [7] ASTM International. (1994). *ASTM C469-94 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [8] ASTM International. (2003). *ASTM C188-95 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [9] ASTM International. (2007). *ASTM C1437-07 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [10] ASTM International. (2008). *ASTM C33-03 Standard Specification for COncrete Aggregates*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [11] ASTM International. (2020). *ASTM C1240-20 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixture*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [12] ASTM International. (2021). *ASTM C230/C230M-20 Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [13] ASTM International. (2023). *ASTM C1116/C1116M-23 Standard Specification For Fiber Reinforced Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

- [14] ASTM International. (2023). *ASTM C40/C40M-20 Standard Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [15] ASTM International. (2023). *ASTM C618-22 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw of Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [16] Aulia, S. &. (2022). *Perkuatan Struktur Pelat dengan Lapisan Ultra High Performance Concrete. Tugas Akhir*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [17] Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1968-1990 tentang Metode Uji untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [18] Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1969-1990 tentang Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [19] Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1970-1990 tentang Metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [20] Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1974-1990 tentang Metode pengujian kuat tekan beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [21] Badan Standardisasi Nasional. (1996). *SNI 03-4142-1996 tentang Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan nomor 200 (0,0075 mm)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [22] Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2491-2002 tentang Metode pengujian kuat tarik belah beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [23] Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2004 tentang Semen portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [24] EFNARC. (2005). *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*. Norfolk: EFNARC.
- [25] Jawahar, J. S. (2012). A Simple Tool for Self Compacting Concrete Mix Design. *IJAET (International Journal of Advances in Engineering & Technology)*, 3(2), 550-558.
- [26] Karimipour, A. E. (2021). Biaxial mechanical behaviour of polypropylene fibres reinforced. *Construction and Building Materials*, 122416, 1-13.
- [27] Khayat, K. &. (2014). *Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 228-MPS on Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete*. Heidelberg New York Dordrecht London: Springer.
- [28] Kung, M. (2015). *Pengaruh Komposisi Serat Polypropylene terhadap Sifat Mekanik Beton. Laporan Tugas Akhir*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- [29] Long, W. L. (2013). Mechanical Properties of Fiber Reinforced Self Compacting Concrete. *Applied Mechanics and Materials*, 470, 797-801.
- [30] Oesman, M. e. (2022). *Sifat Mekanik Beton UHPC dengan Agregat Kasar Material Lokal. Penelian Polban Kompetitif (PPS)*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [31] Suryani, A. D. (2018). Korelasi Kuat Lentur Beton Dengan Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sainis*, 18(2), 43-54.
- [32] Suryawan, N. (2014). *Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene pada Beton Ringan dengan Teknologi Foam terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Modulus Elastisitas. Skripsi*. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- [33] Wirma, R. K. (2016). Sifat Mekanis Beton Akibat Pengaruh Steel Slag Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus dengan Agregat Lokal Riau. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, 3(2), 1-11.
- [34] Zhu, Y. C. (2011). The Effect of Polypropylene Fiber on The Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete. *Advances Material Research*, 168-170, 1325-1329.