

Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Panjang Polypropylene Fibre terhadap Performa Beton

AKHMAD ILHAM RAMADHAN SABARA^{1*}, MUHAMMAD RYAN RIFQI¹,
VANESSA¹, MOHAMMAD FEBRIANT¹, DIANATI FADIAH¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Indonesia
Email: akhmad.ilham.sabara@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu inovasi untuk meningkatkan performa beton adalah penambahan serat, seperti serat polypropylene. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi panjang serat polypropylene terhadap kinerja beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa workability beton mengalami pengurangan akibat serat yang mengalami kekusutan terutama pada serat makro. Selain itu diamati juga terjadi peningkatan kuat tekan beton diakibatkan terjadinya peningkatan mechanical bonding. Kuat tarik belah dan lentur murni beton tidak mengalami perubahan signifikan dengan penambahan serat. Namun, Penambahan serat terbukti dapat membantu mengurangi pelebaran retak secara efektif. Penambahan serat pada campuran beton meningkatkan mekanisme keruntuhan beton dengan menyediakan daktilitas yang lebih baik terutama pada serat mikro. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi efektif dan ekonomis untuk meningkatkan kinerja beton dengan penambahan serat polypropylene.

Kata kunci: beton serat, serat Polypropylene, slump, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur murni, daktilitas beton

ABSTRACT

An innovative way to improve concrete performance could be the addition of fibers, such as polypropylene fibers. This research aims to study the effect of polypropylene fiber length variation on concrete performance. The results showed that the workability of concrete was reduced due to fiber tangling, especially in macro fibers. In addition, it was also observed that there was an increase in the compressive strength of concrete due to an increase in mechanical bonding. The split tensile and flexural strength of concrete did not change significantly with the addition of fibers. However, fiber addition was found to help reduce crack widening effectively. The addition of fibers to the concrete mix improves the collapse mechanism of concrete by providing better ductility especially in the case of micro fibers. This research is expected to provide an effective and economical solution to improve the performance of concrete with the addition of polypropylene fibers.

Keywords: fiber concrete, Polypropylene fibre, slump, compressive strength, split tensile strength, pure flexural strength, concrete ductility

1. PENDAHULUAN

Teknologi beton telah menjadi tulang punggung dalam pembangunan infrastruktur modern di seluruh dunia. Selain memiliki kekuatan tekan yang tinggi, beton juga mudah dibentuk sesuai kebutuhan dan perawatannya relatif mudah. Seiring perkembangan zaman, kemajuan dalam teknologi beton telah membantu meningkatkan performa beton konvensional. Terdapat berbagai inovasi yang dilakukan untuk meningkatkan performa beton, salah satunya beton serat. Secara umum, beton dapat mengalami *plastic shrinkage* yang menyebabkan retakan halus dan memperpendek umur beton. Untuk mengatasi masalah ini, telah dilakukan rekayasa material beton dengan menambahkan serat. Penambahan serat pada beton diharapkan dapat meningkatkan karakteristik beton, seperti kapasitas lentur, kekuatan tekan dan tarik, kontrol retakan pada elemen beton, penambahan daktilitas, dan mengurangi risiko terjadinya *bleeding*.

Serat telah banyak digunakan dalam beton, dan serat yang umum digunakan meliputi serat baja, serat kaca, serat karbon, serat alami, dan serat *polypropylene* yang terbuat dari plastik mutu tinggi. Penggunaan serat *polypropylene* dalam campuran beton untuk meningkatkan performa beton telah banyak dilakukan di Indonesia karena bahan ini mudah didapatkan dan diproduksi oleh berbagai pabrikan. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan *polypropylene* fiber pada beton dapat meningkatkan sampai dengan 3,62% kekuatan tekan dibandingkan beton normal (pada dosis 0,65 kg/m³), peningkatan sampai dengan 20,44% kekuatan tarik dibandingkan beton normal (pada dosis 0,65 kg/m³), dan peningkatan sampai dengan 11,26% kekuatan lentur dibandingkan beton normal (pada dosis 0,58 kg/m³) [11]. Penelitian lain seperti kajian mengenai penambahan bahan *polypropylene* fiber dengan variasi persentase penambahan untuk mencari dosis optimum [9] dan pengamatan terhadap properti beton segar dan beton keras dari beton mutu tinggi yang dicampur fiber dengan variasi jenis fiber dan dosis dari fiber tersebut [10] telah membahas terkait efek penambahan serat *polypropylene* pada beton. Diluar itu, institusi seperti American Concrete Institute [5] pun telah membuat laporan-laporan terkait hasil pengujian dari beton berserat pada ACI 544.2R-89 [1], ACI 544.1R-96 [2], dan ACI 544.5R-10 [4].

Selain itu salah satu aspek penting lainnya yaitu terkait panjang serat, perbedaan panjang serat yang ditambahkan berpengaruh pada campuran beton yang dihasilkan, semakin panjang serat yang digunakan terbukti membuat beton memiliki *workability* yang lebih rendah, hal ini menyebabkan juga potensi berkurangnya kekuatan karena penyebaran serat yang tidak merata. Selain itu serat panjang juga memiliki resiko terjadinya kusut yang lebih tinggi halmana dapat menyebabkan kinerja beton yang direncanakan tidak tercapai. Kinerja beton dalam mencegah keretakan meningkat seiring peningkatan panjang total serat yang digunakan. Namun penggunaan serat panjang juga memiliki kelebihan yaitu kekuatan sisa untuk mempertahankan bentuk setelah terjadi retak akan lebih baik dibanding serat pendek [13]. Salah satu penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh dari panjang dan dosis penggunaan serat fiber sintesis *polypropylene* terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada beton telah dilakukan pada tahun 2018 [12].

Dalam penelitian ini, penulis akan mencoba melihat pengaruh dari variasi kombinasi panjang *polypropylene* fiber pada campuran beton terhadap kinerja beton tersebut, sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi meningkatkan kinerja beton dengan aspek yang lebih efektif dan ekonomis.

2. METODOLOGI

Dalam rangka memastikan penelitian memiliki fokus yang jelas dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, terdapat beberapa batasan masalah yang diterapkan. Pertama, mutu beton rencana yang digunakan adalah f'_c 25 MPa untuk merepresentasikan mutu beton normal. Selanjutnya, aspek properti beton segar yang ditinjau berupa nilai *slump*, dan untuk aspek properti beton keras yang ditinjau mencakup kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan kuat lentur beton.

Menurut BS EN 14889-2 [8], *polypropylene* fiber dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: *microfiber* dan *macrofiber*. Perbedaan dua jenis *polypropylene* fiber tersebut tidak hanya didasari oleh panjang, namun perbedaan lebih penting yaitu fungsi serat tiap jenis yang mempengaruhi performa pada beton. *Macrofiber* biasanya disebut fiber *structural* yang dapat menggantikan perkuatan tradisional dalam bentuk tulangan baja dan transfer beban yang bekerja pada struktur. Sedangkan, *microfiber* tidak dapat menanggung gaya dari load-bearing melainkan memiliki fungsi untuk menahan *microcrack* agar tidak membesar. Jenis serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *polypropylene* fiber dengan dua varian yaitu ukuran mikro 12 mm dan ukuran makro 18 mm. Selanjutnya, kadar serat fiber yang digunakan adalah 0,6 kg/m³ berdasarkan dosis optimum yang diperoleh dari studi literatur dan sesuai petunjuk penggunaan dari Technical Data Sheet produk yang digunakan. Variasi yang digunakan pada spesimen berupa variasi perbandingan komposisi campuran dari 2 ukuran panjang serat fiber (12 mm dan 18 mm), yaitu:

Tabel 1. Kadar Serat Fiber

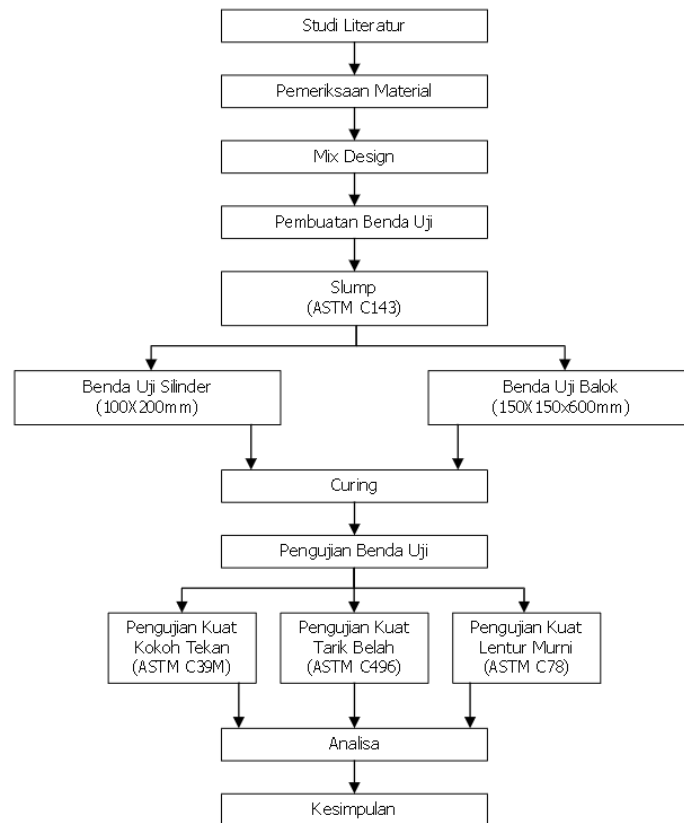
No.Varian	Kadar Serat Fiber	12mm [%]	18mm [%]
1	0 kg/m ³ (kontrol)	0	0
2	0,6 kg/m ³	100	0
3		0	100

Tabel 2. Spesifikasi Serat Fiber

Parameter	Material Fiber	
	Serat Mikro	Serat Makro
Bahan	<i>Polypropylene</i>	<i>Polypropylene</i>
Tipe Bahan	<i>Monofilamen</i>	<i>Macro</i>
Berat Jenis [g/cm ³]	0,91 ± 0,01	0,91 ± 0,01
Panjang [mm]	12 ± 1	18 ± 1
Diameter	15-20 µm	3 ± 0,03 mm
<i>Tensile Strength</i> [MPa]	≥ 450 MPa	≥ 480 MPa
<i>Crack Elongation</i> [%]	20 ± 5	≥ 15

Untuk melakukan pengujian, digunakan 3 buah silinder beton dengan ukuran 100x200 mm untuk setiap varian komposisi campuran untuk masing-masing pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah. Namun, untuk pengujian kuat lentur, dikarenakan keterbatasan jumlah cetakan balok, hanya digunakan 1 buah benda uji balok dengan ukuran 150x150x600 mm pada setiap varian komposisi campuran. Setiap benda uji akan dites pada umur 28 hari. Dengan mengikuti batasan masalah ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan hasil yang terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Skema pelaksanaan pengujian dilakukan sesuai alur pada **Gambar 1** berikut.



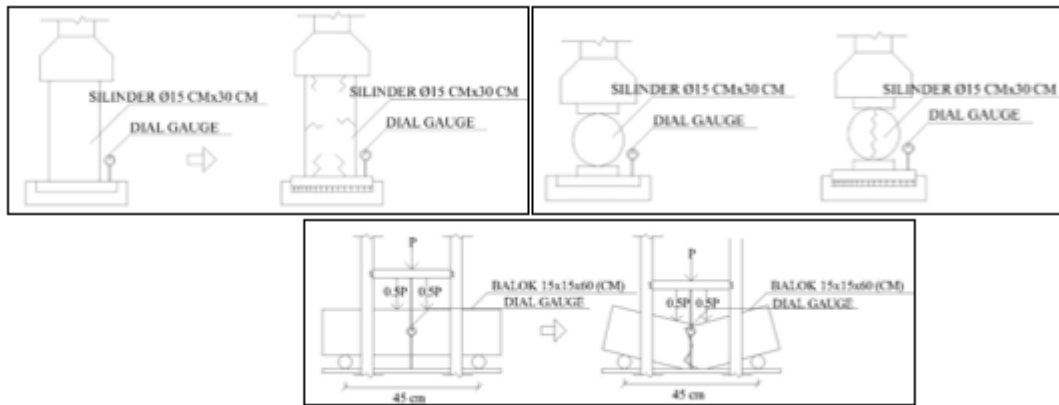
Gambar 1. Bagan alir pengujian

Dalam penelitian ini, pembuatan benda uji diterapkan dengan 3 macam *mix design* dengan perbedaan terletak pada variasi ukuran *polypropylene* fiber yang digunakan. Proses mix design dilakukan menggunakan acuan metode ACI. Tahap perencanaan dan pembuatan sampel akan mengacu pada ketentuan yang berlaku sesuai dokumen Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete [7]. Berdasarkan ACI 544.3R-08 [3], penggunaan microfibre kurang dari $1,8 \text{ kg/m}^3$ dapat ditambahkan tanpa merubah komposisi campuran beton yang telah diperhitungkan. Sehingga berdasarkan perhitungan maka proporsi campuran beton yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

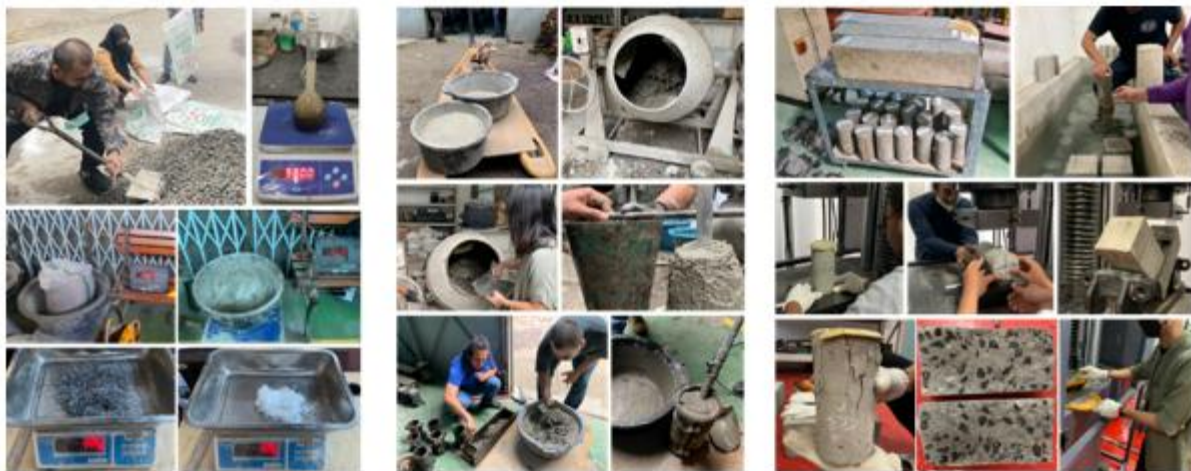
Tabel 3. Mix Design Varian

No	Varian	Fiber [kg/m^3]	Semen [kg/m^3]	Air [kg/m^3]	Ag. Kasar [kg/m^3]	Ag. Halus [kg/m^3]
1.	Beton Kontrol	0	370	185	746,59	957,20
2.	Serat 12 mm	0,04	370	185	746,59	957,20
3.	Serat 18 mm	0,04	370	185	746,59	957,20

Proses pembuatan spesimen dilakukan kurang lebih sama dengan pembuatan spesimen beton konvensional, yaitu dengan mengacu pada ketentuan dokumen Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory [6]. Perbedaan hanya dilakukan penambahan serat saat pencampuran dengan molen, penambahan serat dilakukan dilakukan perlahan bersamaan dengan penambahan semen dan dimasukkan dengan cara di tebar agar tidak menggumpal dan tersebar secara merata. Hasil spesimen yang ada nantinya akan dilakukan beberapa pengujian, antara lain: pengujian slump (ASTM C143), pengujian kuat kokoh tekan (ASTM C39M), kuat tarik belah (ASTM C496), dan kuat lentur murni (ASTM C78). Visualisasi pengujian ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Visualisasi konfigurasi pengujian spesimen



Gambar 3. Dokumentasi eksperimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sifat Beton Segar

Penambahan serat pada adukan beton dapat menimbulkan masalah pada fiber dispersion dan kelecakan (*workability*) adukan. Fiber dispersion dapat diatasi dengan memberikan bahan tambah berupa *superplasticizer* ataupun dengan meminimalkan diameter agregat maksimum. Pada campuran yang ada penulis telah menambahkan aditif *superplasticizer* sesuai ketentuan dalam kemasan. Selanjutnya dalam proses pembuatan spesimen, *job mix design* (JMD) yang telah dihitung sebelumnya dikoreksi untuk memperhitungkan pengaruh kondisi kadar air dan penyerapan material agregat yang digunakan sehingga menghasilkan *job mix formula* (JMF) seperti **Tabel 4** di bawah.

Dari hasil kalkulasi yang ada dilakukan pencampuran dan pengamatan terhadap sifat beton segar campuran. Sifat beton segar yang diamati pada penelitian ini adalah kelecakan/*workability* berdasarkan parameter nilai slump. Pada keberjalanannya dalam proses pencampuran beton kontrol, terdapat penambahan air sebanyak 1 liter. Hal ini dilakukan untuk mencapai target slump 60 mm, penambahan diluar perhitungan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti kurangnya akurasi dari hasil pengujian material dan pengaruh dari kondisi lapangan (waktu pencampuran, cuaca, kondisi alat, suhu pencampuran, dsb). Terkait hal tersebut, untuk menyeragamkan campuran beton, penambahan air dengan jumlah yang sama juga diberikan untuk varian campuran mikro dan makro. Rangkuman dari hasil pengamatan nilai slump pada campuran tertampil pada **Tabel 5** di bawah.

Tabel 4. Job Mix Design (JMD) dan Job Mix Formula (JMF)

Material	JMD [kg/m ³]	JMF [kg/m ³]	Vol [m ³]	Varian [kg/0,3 m ³]		
				Kontrol	Serat mikro	Serat makro
Semen	370	370		11,10	11,10	11,10
Agregat Kasar	747	752		22,6	22,6	22,6
Agregat Halus	957	985		29,6	29,6	29,6
Air	185	152	0,3	4,55	4,55	4,55
Superplasticizer	3,52	3,52		0,10	0,10	0,10
Fiber PP 12 mm (mikro)	0,6	0,6		0	0,018	0
Fiber PP 18 mm (makro)	0,6	0,6		0	0	0,018

Tabel 5. Hasil Pengukuran Slump

Varian Campuran	Kontrol	Fiber 12 mm Mikro	Fiber 18 mm Makro
Slump Rata-rata [mm]	60 mm	60 mm	58 mm

Dilihat dari nilai *slump* yang dihasilkan dari campuran kontrol, mikro, dan makro, penambahan serat dengan dosis 0,6 kg/m³ tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kelecakan beton segar. Hal ini terlihat dari tidak terdapat perbedaan signifikan dari nilai *slump* yang dihasilkan. Selain itu dilakukan juga pengamatan terhadap perbedaan nilai *slump* pada kedua sampel beton serat dengan perbedaan panjang. Berdasarkan panjangnya, semakin panjang fiber yang digunakan semakin menurunkan kelecakan beton segar walaupun tidak signifikan, hal ini disebabkan karena pada dosis yang lebih banyak, fiber dengan ukuran panjang memiliki kemungkinan terjadinya kusut yang lebih tinggi sehingga mempengaruhi *workability*.



Gambar 4. Nilai slump campuran beton kontrol (kiri), campuran beton mikro (tengah), dan campuran beton makro (kanan)

3.2 Sifat Beton Keras

3.2.1 Uji Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton untuk rencana f'_c 25 MPa pada umur 28 hari dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Kuat Tekan Beton

Kode	Kuat Tekan Beton [MPa]
Normal	21,84
Mikro	22,76
Makro	22,35

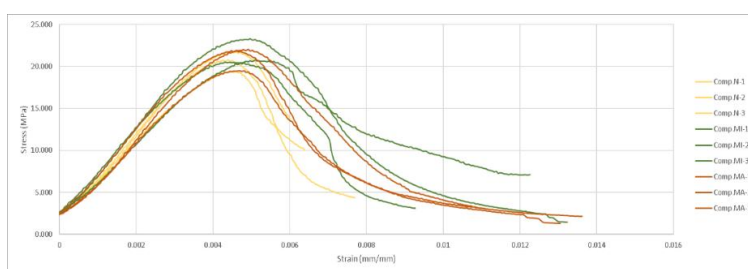
Hasil uji tekan yang didapatkan masih di bawah rencana kuat tekan karakteristik diakibatkan dilakukannya penambahan jumlah air untuk mencapai nilai slump yang direncanakan; penambahan air membuat *w/c ratio* yang digunakan berubah dari 0,5 menjadi 0,9; sehingga

dengan standar deviasi dan faktor risiko yang sama; nilai w/c ratio 0,59 setara dengan kuat tekan karakteristik rencana sebesar 18,35 MPa.

Selain itu, dari hasil yang didapat diamati bahwa terjadi peningkatan kuat tekan rata-rata beton terhadap beton kontrol yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 4,20% (serat mikro) dan 2,35% (serat makro). Pada dosis yang sama, serat dengan ukuran lebih kecil akan memberikan peningkatan kuat tekan yang lebih besar dibanding dengan serat dengan ukuran lebih besar. Pengaruh penambahan serat terhadap peningkatan kekuatan kemungkinan diakibatkan oleh kemampuan ikatan mekanis yang dihasilkan oleh penambahan serat tersebut, ukuran serat berpengaruh dikarenakan dengan jumlah dosis yang sama kemampuan ikatan mekanis yang dihasilkan oleh penambahan serat kecil akan lebih baik dibanding serat yang lebih besar. Ikatan mekanis dari serat berpengaruh dengan jumlah total panjang serat dan penyebaran serat pada beton, halmana dengan penggunaan serat mikro di dosis yang sama dengan makro, akan menghasilkan total panjang yang lebih dan penyebaran yang lebih merata.

3.2.1.1 Stress-Strain Curve

Selain kuat tekan, dari hasil pengujian tekan beton kita dapat melihat perubahan sifat daktilitas beton tersebut. Pada umumnya, beton biasa memiliki sifat getas. Namun penambahan serat pada beton dapat merubah perilaku getas tersebut menjadi lebih daktil. Perilaku beton ketika menerima beban dapat dilihat pada grafik hubungan antara tegangan dan regangannya seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Stress-strain curve hasil uji kuat tekan beton

Perilaku awal beton normal dan beton dengan penambahan serat di dalam menahan tegangan tekan cenderung sama. Namun semakin bertambahnya tegangan, perbedaan perilaku antara beton normal dan beton dengan penambahan serat semakin terlihat. Hal ini diperkirakan akibat pengaruh serat yang ada baru bekerja menahan tegangan saat terjadi *microcracking*.

Dari **Gambar 5** juga kita dapat mengamati bahwa pada beton normal tanpa penambahan serat menghasilkan kemampuan untuk meregang lebih besar dibandingkan dengan beton yang ditambahkan serat mikro dan serat makro. Efek tersebut menandakan penambahan serat akan mempengaruhi dalam sifat daktilitas beton.

Peningkatan daktilitas yang diamati diatas terjadi akibat kemampuan serat menahan propagasi retak ketika masih berukuran mikro. pada penambahan serat berukuran kecil menghasilkan daktilitas yang lebih tinggi terlihat dari kurva tegangan-regangan yang dihasilkan memiliki kemampuan meregang yang lebih tinggi, hal ini kemungkinan diakibatkan dengan dosis yang sama besar luas permukaan untuk menahan *microcrack* menjadi lebih besar.

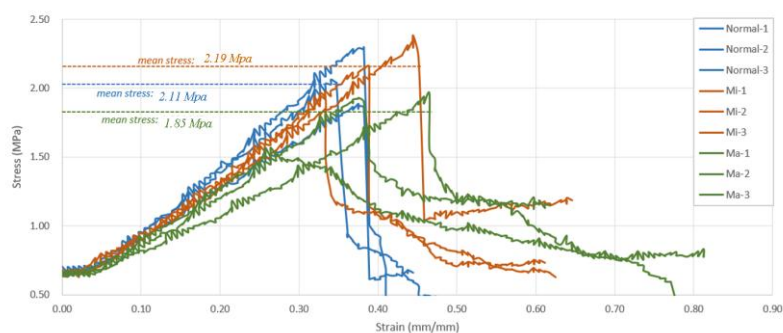
3.2.2 Uji Tarik Belah

Hasil pengujian kuat tarik belah beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil Kuat Tarik Beton

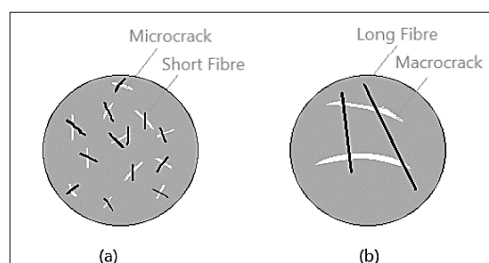
Kode	Kuat Tarik Beton [MPa]
Normal	2,11
Mikro	2,19
Makro	1,85

Berdasarkan hasil di atas, didapati bahwa dengan dosis yang sama, penambahan serat menggunakan serat lebih kecil dapat meningkatkan kuat tarik belah beton lebih baik dibandingkan dengan penambahan serat fiber menggunakan serat lebih besar, hal ini kemungkinan diakibatkan oleh kemampuan serat menahan *microcrack* bekerja lebih baik pada serat lebih kecil. Kemampuan menahan retak oleh serat dipengaruhi oleh total panjang fiber yang digunakan [13], pada penggunaan serat dengan dosis yang sama, serat ukuran lebih kecil akan memiliki total panjang yang lebih tinggi karena secara ukuran diameter seratnya juga lebih kecil.



Gambar 6. Stress-strain curve hasil uji kuat tarik belah beton

Mekanisme keretakan pada beton pertama kali terbentuk pada daerah transisi antar muka penyusun ketika pembebanan tarik dikenakan pada beton dan menghasilkan *microcrack*. Peningkatan pembebanan menghasilkan propagasi retak sehingga *microcrack* membesar menjadi *macrocrack*. Serat lebih kecil akan efektif dalam menahan *microcrack* namun tidak terlalu efektif saat sudah berhadapan dengan *macrocrack*, hal ini berbeda dengan serat yang lebih besar halmana dapat lebih efektif dalam berhadapan dengan *macrocrack*. Fenomena ini tergambar dari kurva *stress-strain* halmana untuk beton dengan penambahan serat mikro memiliki kurva lebih curam di awal namun lebih landai pada saat mencapai regangan tertentu bila dibandingkan dengan beton dengan penambahan serat makro.



Gambar 7. Microcrack dan Macrocrack

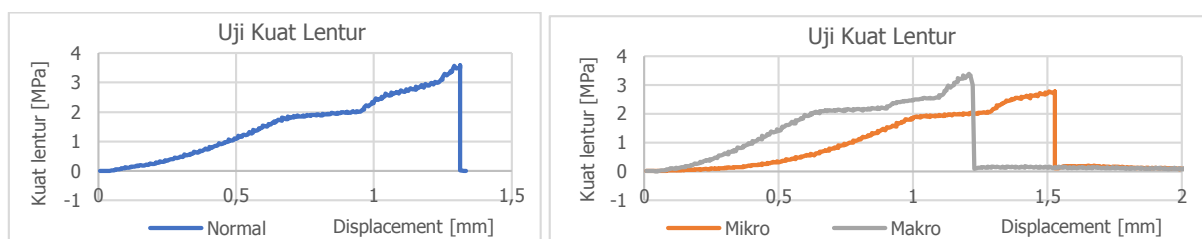
3.2.3 Uji Lentur

Hasil pengujian kuat lentur murni beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Kuat Lentur Beton

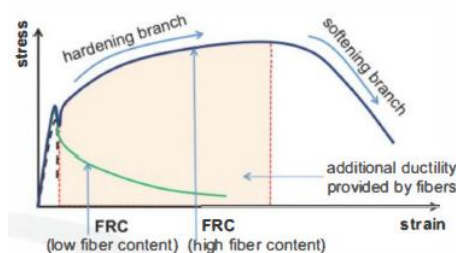
Kode	Kuat Lentur Murni [MPa]
Normal	3,952
Mikro	3,062
Makro	3,734

Berdasarkan hasil pengujian dapat terlihat bahwa penambahan serat sebanyak 0,6 kg/m³ pada campuran beton tidak mempengaruhi penambahan kuat lentur murni pada beton. Hal ini dapat disebabkan karena rendahnya modulus elastisitas dan tingginya tingkat elongasi dari serat tersebut menyebabkan serat tidak berkontribusi dalam penambahan kuat lentur. Faktor lain yang mempengaruhi adalah jumlah benda uji untuk setiap jenis penambahan serat hanya berjumlah satu buah. Minimnya jumlah benda uji dapat mempengaruhi kualitas hasil pengujian.



Gambar 8. Pengujian kuat lentur murni

Kontribusi penambahan serat pada campuran beton terlihat pada mekanisme keruntuhan beton. Pada beton tanpa penambahan serat terlihat ketika beton retak langsung terjadi keruntuhan. Hal berbeda terjadi pada beton dengan penambahan serat, beton dengan penambahan serat ketika beton retak tidak langsung runtuh namun masih ada kontribusi daktilitas dari serat seperti terlihat pada gambar di atas. Pada beton dengan penambahan serat mikro lebih terlihat kontribusi serat dalam menambah daktilitas beton. Pada beton dengan serat mikro terlihat *macrocrack* baru terjadi pada saat *displacement* menyentuh 1,5 mm sedangkan pada beton tanpa penambahan serat terjadi *macrocrack* saat *displacement* menyentuh 1,3 mm dan langsung terjadi keruntuhan. Hal tersebut disebabkan oleh peningkatan *mechanical bond* antara pasta semen dan fiber. Dikarenakan ukurannya yang kecil, serat mikro berperan dalam menahan laju penambahan *microcrack* terjadi sehingga dapat menunda keruntuhan beton. Pada beton dengan penambahan serat makro terjadi *macrocrack* pada saat *displacement* menyentuh 1,2 mm lalu beton sudah tidak dapat menahan beban lagi hingga runtuh. Serat makro berperan dalam menahan laju *macrocrack* yang terjadi pada beton. Dalam kasus ini, beton dengan penambahan serat makro mengalami keruntuhan pada nilai *displacement* tidak jauh berbeda dibanding beton normal tanpa penambahan serat. Hal ini dapat disebabkan karena jumlah serat makro yang sedikit sehingga tidak mampu menahan laju penambahan *macrocrack*.



Gambar 9. Kontribusi fiber terhadap kinerja tarik/lentur (Sumber: ACI Committee 544, 2018)

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, disimpulkan bahwa penambahan polypropylene fiber 12 mm (mikro) dan 18 mm (makro) dapat mengubah sifat beton segar dan beton keras berdasarkan hasil uji pada spesimen eksperimental yang dilakukan. Untuk sifat beton segar, penambahan polypropylene fiber pada beton menunjukkan pengurangan *workability*, hal tersebut kemungkinan dapat terjadi disebabkan karena adanya serat fiber yang mengalami kekusutan di dalam campuran beton sehingga mengurangi *workability* beton tersebut.

Selanjutnya terkait sifat beton keras, hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan kuat tekan beton meningkat dengan adanya penambahan fiber pada beton disebabkan oleh peningkatan *mechanical bonding* pada beton dari penambahan fiber. Terjadi peningkatan kuat tekan rata-rata beton terhadap beton kontrol yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 4,20% (serat mikro) dan 2,35% (serat makro); sedangkan untuk kekuatan tarik dari beton, penambahan serat menggunakan serat lebih kecil dapat meningkatkan kuat tarik belah beton lebih baik dibandingkan dengan penambahan serat fiber menggunakan serat lebih besar, hal ini kemungkinan diakibatkan oleh kemampuan serat menahan *microcrack* bekerja lebih baik pada serat lebih kecil. Terjadi perubahan kuat tarik rata-rata beton terhadap beton kontrol yang tidak terlalu signifikan yaitu kenaikan sebesar 3,65% (serat mikro) dan penurunan 12,45% (serat makro).

Selain itu, penambahan fiber sangat membantu dalam mengurangi pelebaran retak secara efektif. Penambahan serat mikro pada beton dapat meningkatkan daktilitas terhadap beban lentur pada beton. Peran serat mikro dalam menghambat laju pertumbuhan retak mikro pada beton dapat menambah daktilitas pada beton ketika dibebani beban lentur. Tetapi pada hasil pengujian menunjukkan penurunan nilai kuat lentur terhadap beton kontrol yaitu 22,52% (serat mikro) dan 5,52% (serat makro). Rendahnya modulus elastisitas serat dan tingginya tingkat elongasi serat kemungkinan menjadi penyebab serat tidak berkontribusi dalam peningkatan kekuatan lentur. Selain itu minimnya jumlah benda uji yang digunakan dalam pengujian juga dapat mempengaruhi kualitas hasil pengujian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan rezeki, kesehatan jasmani dan rohani sehingga penelitian ini dapat disusun dengan baik. Penulis juga berterimakasih kepada Bapak Dr. Eng. Aris Aryanto, ST., MT. yang telah memberikan waktu dan kritik serta saran yang membangun. Terima kasih juga kepada laboratorium struktur Institut Teknologi Bandung atas bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI Committee 544. (1999). Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete Reported. In *ACI* (Vol. 544).
- [2] ACI Committee 544. (2001). *Report on Fiber Reinforced Concrete*.
- [3] ACI Committee 544. (2008). *Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete Reported*.
- [4] ACI Committee 544. (2010). *Report on the physical properties and durability of fiber-reinforced concrete*. American Concrete Institute.
- [5] ACI Committee 544. (2018). *Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete*.
- [6] ASTM. (2002). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*.
- [7] ASTM. (2015). *Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete*.

- [8] British Standards Institution. (2006). *Fibres for concrete. Part 2, Polymer fibres - definitions, specifications and conformity*.
- [9] Dharan, D. S., & Lal, A. (2016). Study The Effect of Polypropylene Fiber in Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- [10] Grzesiak, S., Pahn, M., Schultz-Cornelius, M., Harenberg, S., & Hahn, C. (2021). Influence of fiber addition on the properties of high-performance concrete. *Materials*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/ma14133736>
- [11] Hasan, H., Tatong, B., & Tole, J. (2013). Pengaruh Penambahan Polypropylene Fiber Mesh Terhadap Sifat Mekanis Beton. *Majalah Ilmiah Mektek, Tahun XV*(1).
- [12] Memon, I. A., Jhatial, A. A., Sohu, S., Lakhiar, M. T., & Khaskheli, Z. H. (2018). Influence of Fibre Length on the Behaviour of Polypropylene Fibre Reinforced Cement Concrete. *Civil Engineering Journal*, 4(9), 2124–2131. <https://doi.org/10.28991/cej-03091144>
- [13] Mike McPhee. (2016). *The Long and Short of It: How Steel Fiber Length and Strength Affect Concrete Floors*. https://www.concreteconstruction.net/business/the-long-and-short-of-it-how-steel-fiber-length-and-strength-affect-concrete-floors_o