

## PENGARUH PENAMBAHAN SERAT FABRIKASI (MICRO FIBERS) TERHADAP KUAT TEKAN DAN TARIK BELAH BETON

Arif Darmawan<sup>1\*</sup>, Abdul Halim<sup>2</sup>, Dafid Irawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PT. Bangun Konstruksi Persada

<sup>2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang

\*Email Korespondensi : [arif.tonyep@gmail.com](mailto:arif.tonyep@gmail.com)

### ABSTRAK

Beton merupakan bahan konstruksi yang umum digunakan untuk pekerjaan pembangunan konstruksi. Beton memiliki kelemahan yaitu bersifat getas sehingga tidak cukup kuat untuk menahan tarik. Untuk mengatasi kelemahan pada beton dapat dilakukan dengan menambahkan serat dalam campuran beton. Serat yang akan digunakan dalam campuran beton adalah serat fabrikasi *Micro Fibers*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan serat *Micro Fibers* sebagai bahan tambah dalam beton terhadap kuat tekan beton, mengetahui pengaruh beton terhadap kuat tarik belah beton dan untuk mengetahui nilai optimum serat *Micro Fibers* dalam campuran beton. Metode yang digunakan untuk pengambilan data dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang. Metode analisis yang digunakan untuk menganalisis dan observasi data yaitu metode statistik dengan menggunakan analisis *Anova single factor*, serta untuk kuat tarik dihitung dengan menggunakan Microsoft Excel. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serat *Micro Fiber* mempengaruhi kuat tekan beton, dimana hasil analisis anova menunjukkan F hitung 8,48099 > F tabel 2,866081. Penambahan serat *Micro Fiber* juga mempengaruhi kuat tarik belah, dimana hasil analisis anova menunjukkan F hitung 3,060887 > F tabel 2,866081. Nilai optimum kuat tekan beton dengan penambahan serat fabrikasi sebesar 2,59% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 25,67 Mpa.

**Kata kunci :** Beton, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Micro Fibers, dan Serat.

### ABSTRACT

*Concrete is a commonly used construction material for construction work. Concrete has the disadvantage of being brittle so it is not strong enough to withstand tensile. To overcome the weakness in concrete can be done by adding fiber in the concrete mixture. The fiber that will be used in the concrete mixture is Micro Fibers fabrication. This study aims to determine the effect of using Micro Fibers as an additive in concrete on the compressive strength of concrete, to determine the effect of concrete on the split tensile strength of concrete and to determine the optimum value of Micro Fibers in concrete mixtures. The method used for data collection in this study is the experimental method in the Laboratory of the Faculty of Engineering, Widyagama University Malang. The analysis method used to analyze and observe the data is statistical method using single factor Anova analysis, and for tensile strength calculated using Microsoft Excel. The results of this study indicate that the addition of Micro Fiber affects the compressive strength of concrete, where the results of anova analysis show F count 8.48099 > F table 2.866081. The addition of Micro Fiber also affects the split tensile strength, where the anova analysis results show F count 3.060887 > F table 2.866081. The optimum value of concrete compressive strength with the addition of 2.59% fabricated fiber produces a maximum compressive strength of 25.67 Mpa.*

**Keywords :** Concrete, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Micro Fibers, and Fibers.

### 1. PENDAHULUAN

Dalam pembangunan infrastruktur, Indonesia merupakan salah satu negara berkembang pesat di Asia saat ini. Saat ini di Indonesia konstruksi bangunan mengalami perkembangan yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya pembangunan yang dilakukan seperti bangunan gedung, jalan, irigasi saluran, ataupun konstruksi bangunan lainnya. Infrastruktur merupakan sarana penunjang untuk meningkatkan kemajuan ekonomi [1]. Material utama yang

dibutuhkan untuk membuat semua infrastruktur tersebut salah satunya yaitu beton [2]. Beton memiliki banyak kelebihan di antaranya yaitu mudah dalam pengerjaannya, dapat menyesuaikan bentuk sesuai dengan keinginan. Dapat bertahan terhadap perubahan cuaca dan lingkungan sekitar, serta tidak membutuhkan banyak biaya untuk perawatannya. Di samping kelebihannya beton juga memiliki kelemahan yaitu mempunyai kuat tarik yang rendah dan bersifat getas sehingga untuk pemakaiannya terbatas. Oleh sebab itu, untuk menambah nilai kuat tarik beton, perlu ditambahkan tulangan pada komponen beton [3]. Harga tulangan beton selalu meningkat menyebabkan pembuatan beton relatif mahal sehingga, perlu adanya bahan tambah yang relatif lebih murah dan mudah untuk diperoleh agar mendapatkan struktur beton yang efisien dan memiliki kekuatan yang cukup baik [4]. Salah satu alternatif bahan tambah yang dapat digunakan adalah penambahan serat fabrikasi *Micro Fibers*. Ide dasarnya serat *Micro fibers* disebarkan secara merata ke dalam campuran beton dengan orientasi dapat dijadikan sebagai tulangan pada beton, sehingga beton tidak mengalami retakan-retakan yang terlalu dini akibat pembebanan ataupun panas hidrasi [5]. Dengan penambahan serat kuat tarik beton dapat ditingkatkan [6]. Gaya tarik yang berada pada daerah tarik dapat ditahan oleh serat tanpa mengalami retakan. Serat *Micro Fibers* merupakan produk dari Kratos PT Indo Kordsa. Kordsa berdiri pada tahun 1973 anak dari perusahaan Sabanci Holding. Kratos *Micro Synthetic Fibers Reinforcement* merupakan perkuatan serat sintetik yang diproduksi dari *Polyamide 6.6* dan dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam mencegah retak susut plastis serta susut jangka panjang beton. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengamati perilaku kinerja beton serat dengan bahan tambah serat fabrikasi *Micro Fibers* yang merupakan produk dari Kordsa. Kinerja beton yang akan diamati yaitu kinerja terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan tambahan serat fabrikasi *Micro Fibers* pada campuran beton [7].

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Beton

Beton merupakan semen Portland atau semen hidrolis lainnya yang dicampur dengan agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran yang membentuk massa padat menggunakan agregat alam yang tidak dipecah maupun yang dipecah [8]. Beton akan semakin mengeras seiring dengan penambahan umurnya, dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f_c$ ) pada usia beton 28 hari. sifat-sifat beton yang perlu diketahui adalah keawetan (*Durability*), Kuat Tekan, Kuat Tarik, Berat Jenis, Modulus Elastisitas, Susut, dan Kelecekan. Bahan penyusun beton pada umumnya terdiri dari air, semen, agregat halus, dan agregat kasar.

### 2.2 Serat

Tipe serat secara umum untuk perkuatan beton yang telah diklarifikasi oleh (ACI Committee 544, 2002) [9], yaitu antara lain:

- SRFC (*Steel Fiber Reinforced Concrete*)
- GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*)
- SNFRC (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)
- NFRC (*Natural Fiber Reinforced Concrete*)

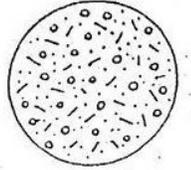
Semua jenis serat sebenarnya dapat dijadikan sebagai bahan tambah untuk memperbaiki sifat beton. Namun, yang perlu diperhatikan saat menggunakan serat sebagai bahan tambah adalah ketahanan serat terhadap alkali. Sifat berbagai macam serat dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Sifat dari bermacam serat

No	Jenis serat	Kuat tarik	Perpanjangan saat putus (%)	Berat jenis
1	<i>Acrylic</i>	204 – 408	25 – 45	1,1
2	<i>Asbes (Asbestos)</i>	544 – 952	0,6	3,2
3	<i>Kaca (Glass)</i>	1020 – 3740	1,5 – 3,5	2,5
4	<i>Nylon</i>	748 – 816	16 – 20	1,1
5	<i>Baja (Steel)</i>	272 – 2720	0,5 – 35	7,8

### 2.3 Beton Serat

Beton serat (*fibre concrete*) merupakan bahan komposit yang terdiri dari beton normal dengan campuran bahan tambah berupa serat [10]. Umumnya serat berupa batang-batang yang memiliki diameter antara 0,005 sampai 0,5 mm dengan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm . Penyebaran serat dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan adanya penambahan serat tersebut beton mengalami perbaikan dari kuat lentur kuat Tarik menjadi meningkat, ketahanan dan terhadap beban kejut (*impact resostance*), penyusutan berkurang, dan daktilitas meningkat [11].



Gambar 1. Penyebaran Serat

### 2.4 Serat Fabrikasi Micro Fibers

Kratos *Micro Synthetic Fiber Reinforcements* merupakan serat sintetik dengan perkuatan yang diproduksi dari polyamide 6.6 sesuai dengan standar EN 14889-2 *class 1*, memberikan hasil lebih baik untuk mencegah retak susut plastis dan susut beton jangka panjang bila dibandingkan dengan serat *polypropylene* dan basalt [12]. Kratos *Micro* berbeda dari serat sintesis yang lain karena mampu untuk menyerap kelembapan hingga 5%. Kelembapan yang ditahan oleh serat dapat dilepaskan kembali ke dalam beton saat pengerasan setelah beton dituangkan, serta dapat menghasilkan efek *curing* [13]. Adapun spesifikasi teknis dari serat *Micro Fiber* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi teknis serat Kratos Micro Fibers

Keterangan	Karakteristik Serat Micro Fibers
Kelas serat	EN 14889-2 Kelas I
Bahan baku	Poliamida 6.6
Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	1,38
Panjang (mm)	12
Kuat tarik (Mpa)	800 – 1100
Ketahanan terhadap alkali	Sangat baik
Ketahanan terhadap korosi	Sangat baik
Titik leleh (°C)	255 – 265
Jumlah serat/kg	200 juta

### 2.5 Rancangan Campuran Beton

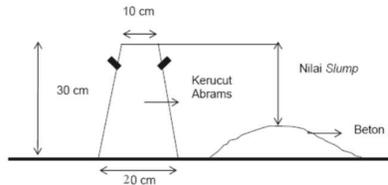
Rancangan campuran beton atau yang biasa disebut dengan *Mix design* merupakan proses pemilihan unsur-unsur beton yang sesuai dengan komposisi perbandingan tertentu sehingga dapat mencapai kriteria minimum dalam kelecakan (*workability*), keawetan (*durability*), dan kekuatan (*strength*) [14].

### 2.6 Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan guna mengetahui kandungan yang terdapat pada agregat halus maupun kasar [15].

### 2.7 Pengujian Slump Beton

Pengujian slump beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000 [14] menggunakan beton segar untuk mendapatkan angka slump beton. Slump beton merupakan besaran kekentalan dari beton sega. Pengujian slump beton dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

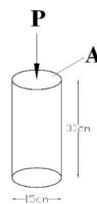


Gambar 2. Slump Beton

**2.8 Pengujian Kuat Tekan Beton**

Pengujian kuat tekan beton dilakukan berdasarkan SNI 03-1974, 2011 menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan maksud untuk mengetahui besaran kuat tekan (*compressive strength*) [16]. Kuat tekan beton merupakan besaran beban yang mengakibatkan benda uji hancur ketika dibebani oleh mesin tekan dan dinyatakan dalam satuan luas [16] seperti pada Gambar 3. Untuk rumus perhitungan kuat tekan rumus yang digunakan adalah rumus berikut:

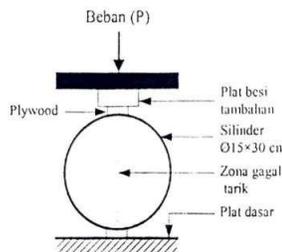
$$\text{Kuat Tekan Beton} = P / A \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 3. Kuat Tekan Beton

**2.9 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton**

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan berdasarkan (SNI-03-2491, 2002) [17] menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan maksud untuk mengevaluasi ketahanan geser suatu komponen struktur berbahan beton dengan agregat ringan [18]. Pengujian dilakukan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kuat Tarik Belah Beton

Perhitungan kuat tarik belah beton dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$F_{ct} = 2P/III_d \dots\dots\dots (2)$$

**3. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan cara melakukan eksperimen, membuat benda uji yang bertujuan untuk menguji benda uji tersebut sehingga dapat mengetahui pengaruh penambahan serat fabrikasi (*micro fibers*) terhadap kuat tekan dan tarik belah beton. Eksperimen ini mulai dari pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Widyagama Malang.

**3.1 Pembuatan Benda Uji**

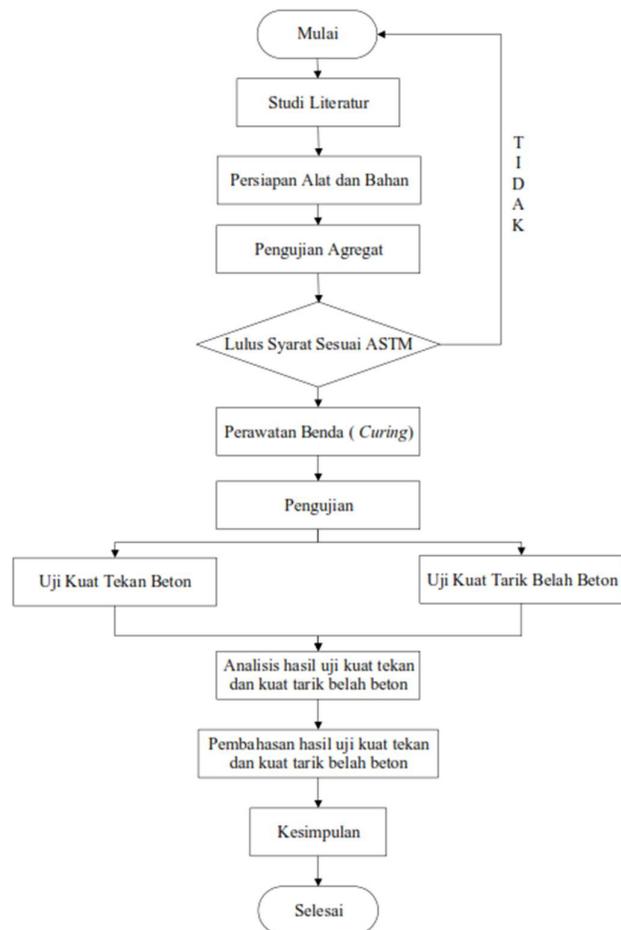
Benda uji yang akan dibuat terbuat dari silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setiap variasi terdiri dari 5 (lima) benda uji silinder. Adapun variasi benda uji dengan tambahan serat fabrikasi Micro fiber dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Populasi Benda Uji Silinder

No	Penambahan serat fabrikasi <i>Micro Fibers</i>	Umur beton	Uji kuat tekan	Uji kuat tarik belah
1	Beton normal	28 hari	5	5
2	Beton serat 300 gr/m <sup>3</sup>	28 hari	5	5
3	Beton serat 450 gr/m <sup>3</sup>	28 hari	5	5
4	Beton serat 600 gr/m <sup>3</sup>	28 hari	5	5
5	Beton serat 750 gr/m <sup>3</sup>	28 hari	5	5
Jumlah			25	25
Total benda uji			50	

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Agar lebih memahami dalam pelaksanaan prosedur penelitian, berikut disertakan bagan alir prosedur penelitian. Bagan alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Agregat

Hasil dari pengujian agregat halus dan agregat kasar yang dilakukan saat penelitian. Hasil pengujian kadar air, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan, modulus kehalusan, dan berat volume telah memenuhi standar yang ditetapkan. Untuk hasil dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Rekap Hasil Uji Agregat

Pengujian	Agregat Halus			Agregat Kasar		
	Hasil	Standart SNI	Keterangan	Hasil	Standart SNI	Keterangan
Kadar air (%)	3,54	3% - 5%	Memenuhi	3,30	3% - 5%	Memenuhi
Kadar lumpur (%)	1,74	Maks. 5%	Memenuhi	0,56	Maks. 1%	Memenuhi
Berat jenis (g/cm <sup>3</sup> )	2,56	2,5 - 2,7	Memenuhi	2,59	2,58 - 2,83	Memenuhi
Penyerapan (%)	2,99	-	Memenuhi	0,93	-	Memenuhi
Modulus halus (%)	3,36	1,5 - 3,8	Memenuhi	6,57	6,0 - 7,1	Memenuhi
Berat Volume (cm <sup>3</sup> )	Padat : 1,54	1,20 - 1,60	Memenuhi	Padat : 1,48	1,20 - 1,60	Memenuhi
	Gembur : 1,21			Gembur : 1,25		

#### 4.2 Mix Desain

Perencanaan campuran beton dapat dilakukan dalam berbagai metode, dalam penelitian ini perencanaan campuran beton dilakukan dengan SNI 03-2834-2000. Maka diperoleh proporsi campuran setiam m<sup>3</sup> sebagai berikut :

- Semen = 372,7273 kg
- Air = 205 kg
- Agregat halus = 658,3991 kg
- Agregat kasar = 1113,8736 kg

Dengan volume untuk setiap 1 silinder benda uji sebagai berikut :

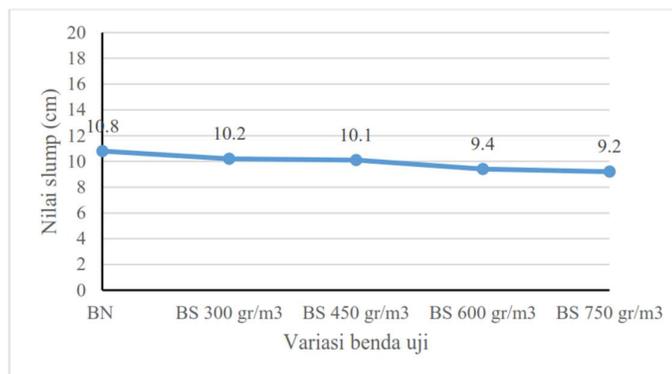
$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk proporsi campuran setiap 1 benda uji yakni sebaga berikut :

- Semen = 372,7273 x 0,0053 = 1,9755 kg
- Air = 205 x 0,0053 = 1,0865 kg
- Agregat halus = 658,3991 x 0,0053 = 3,4895 kg
- Agregat kasar = 1113,8736 x 0,0053 = 5,9035 kg

#### 4.3 Hasil Uji Slump Beton

Berdasarkan nilai slump yang dihasilkan dapat dinyatakan bahwa secara umum penambahan serat Micro Fiber pada campuran beton memberikan pengaruh dalam penurunan nilai slump. Penurunan nilai slump dapat dilihat pada Gambar 6.

**Gambar 6.** Hasil Uji Slump

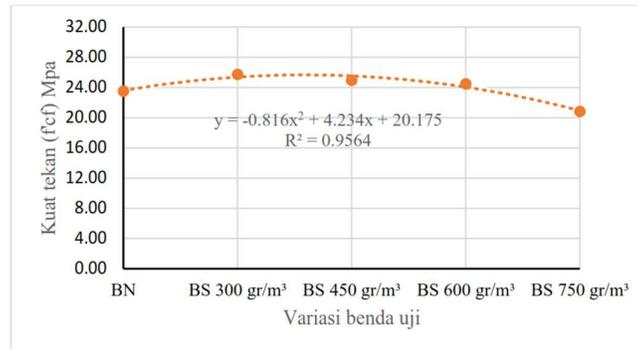
#### 4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* sehingga dapat diperoleh beban maksimum saat beton mengalami kehancuran. Hasil rerata dari pengujian kuat tekan beton dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kuat tekan rata-rata} = \frac{20,3822 + 17,7792 + 24,3454 + 12,2986 + 23,7792}{5}$$

$$= 23,5169 \text{ MPa}$$

Dari hasil pengujian dapat diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penggunaan bahan tambah serat fabrikasi Micro Fiber pada campuran beton terhadap kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik hubungan variasi benda uji dengan kuat tekan Mpa

Berdasarkan grafik pengujian diatas beton campuran fiber mengalami kenaikan kekuatan dibandingkan dengan beton normal. Diperoleh pendekatan persamaan untuk penambahan serat terhadap kuat tekan beton yaitu  $y = -0,816x^2 + 4,234x + 20,175$ .

Perhitungan variasi penambahan serat micro fiber kuat tekan beton menggunakan rumus pendekatan persamaan sebagai berikut :

$$y = -0,816x^2 + 4,234x + 20,175$$

$$y' = -1,632x + 4,234$$

Nilai optimum didapatkan dari x pada saat  $y' = 0$

$$0 = -1,632x + 4,234$$

$$x = 4,234/1,632 = 2,59$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa variasi penambahan serat fabrikasi micro fiber nilai optimum kuat tekan sebesar 2,59%, maka kuat tekan maksimum adalah :

$$y = -0,816(2,59)^2 + 4,234(2,59) + 20,175$$

$$y = -5,474 + 10,966 + 20,175$$

$$y = 25,67 \text{ MPa}$$

#### 4.5 Analisis Data Anova Kuat Tekan

Analisis data dan perhitungan diperoleh kuat lentur untuk mengetahui pengaruh atau tidak perlakuan bahan yang digunakan dalam pembuatan beton maka perlu ada sebuah rancangan untuk mengetahui pada penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK). Dengan hasil dari analisis *Anova Single Faktor* dengan hasil sebagai berikut :

**Tabel 5.** Hasil analisis *Anova Single Faktor* kuat tekan

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	71,63094	4	17,90774	8,48099	0,00036	2,866081
Within Groups	42,23028	20	2,111514			
Total	113,8612	24				

Hipotesis:

H0 = BS tidak berpengaruh terhadap kuat tekan beton

H1 = BS berpengaruh terhadap kuat tekan beton

H0 = F hitung < F tabel ; H1 = F hitung > F tabel

F hitung 8,48099 > F tabel 2,866081

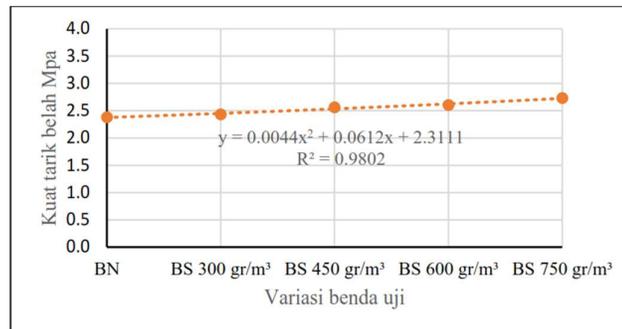
H1 = BS berpengaruh terhadap kuat tekan beton.

#### 4.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* sehingga dapat diperoleh beban maksimum saat beton mengalami kehancuran. Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton dapat diperoleh kuat Tarik belah rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik belah (fcr) rata-rata} &= \frac{1,9816+2,4305 \text{ ,}4470+ \text{ ,}4936+ \text{ ,}5478}{5} \\ &= 2,3801 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penggunaan bahan tambah serat fabrikasi *Micro Fiber* pada campuran beton terhadap kuat Tarik belah beton yang dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Grafik hasil uji kuat tarik belah beton

Beton dengan penambahan serat fabrikasi *Micro Fiber* mengalami peningkatan kuat tarik belah jika dibandingkan dengan beton normal. Dari hasil tersebut didapatkan persamaan pendekatan yaitu  $y = 0,0044x^2 + 0,0612x + 2,3111$ . Dengan persamaan tersebut dapat diketahui pengaruh penambahan serat *Micro Fiber* terhadap kuat tekan beton. Pada beton dengan variasi penambahan serat 300 gr/m<sup>3</sup> hingga 750 gr/m<sup>3</sup> mengalami peningkatan kekuatan yang signifikan dapat dilihat pada Gambar 8.

#### 4.7 Analisis Data Anova Kuat Tarik Belah

Analisis data dan perhitungan diperoleh kuat tarik belah untuk mengetahui pengaruh atau tidak perlakuan bahan yang digunakan dalam pembuatan beton maka perlu ada sebuah rancangan untuk mengetahui pada penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Dengan hasil dari analisis *Anova Single Faktor* dengan hasil sebagai berikut :

**Tabel 6.** Hasil analisis *Anova Single Faktor* kuat tarik belah

ANOVA						
Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,390302	4	0,097575	3,060887	0,040445	2,866081
Within Groups	0,637563	20	0,031878			
Total	1,027865	24				

Hipotesis

H0 = BS tidak berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton

H1 = BS berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton

H0 = F hitung < F tabel

H1 = F hitung > F tabel

F hitung 3,060887 > F tabel 2,866081

H1 = BS berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton.

## 5. KESIMPULAN

Penambahan serat fabrikasi *Micro Fiber* ke dalam campuran beton berpengaruh pada kuat tekan beton. Dengan menggunakan analisis anova pada F hitung, diperoleh nilai 8,48099 lebih besar dari pada F tabel yang memiliki nilai 2,866081 sehingga berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Penambahan serat fabrikasi *Micro Fiber* ke dalam campuran beton juga

berpengaruh pada kuat tarik belah beton. Dengan menggunakan analisis anova pada F hitung, diperoleh nilai 3,060887 lebih besar dari pada F tabel yang memiliki nilai 2,866081 sehingga berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton. Nilai optimum kuat tekan beton dengan penambahan serat fabrikasi *Micro Fiber* sebesar 2,59% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 25,67 Mpa.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. R. H. Lubis, "Pemanfaatan Serat Ijuk Pada Campuran Beton Dengan Bahan Tambah Viscocrete 3115n Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah (Studi Penelitian)," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [2] Anon, "State-of-The-Art Report On High-Strength Concrete.," *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 81, no. 4, 1984, doi: 10.14359/10692.
- [3] W. Rante Paganggi and A. Makmur, "Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan dan Nilai Permeabilitas pada Beton Berpori," 2021.
- [4] K. Miswar, R. D. I. Kurnia, and R. Yusmananda, "Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Belah," *Jurnal Rekayasa Teknik dan Teknologi*, vol. 7, no. 1, 2023, doi: 10.51179/rkt.v7i1.1829.
- [5] P. Soroushian and Z. Bayasi, "Silica Fume Effects on the Pull-Out Behavior of Randomly Oriented Steel Fibers from Concrete," *MRS Proceedings*, vol. 114, 1987, doi: 10.1557/proc-114-187.
- [6] H. Hasanr, B. Tatong, and J. Tole, "Pengaruh Penambahan Polypropylene Fiber Mesh Terhadap Sifat Mekanis Beton," *Majalah Ilmiah Mektek*, no. 1, 2013.
- [7] Y. Khairizal, A. Kurniawandy, and A. Kamaldi, "Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanis Beton Normal," 2015.
- [8] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Bsn*, 2019.
- [9] J. I. Daniel *et al.*, "Report on Fiber Reinforced Concrete Reported by ACI Committee 544," *Change*, vol. 96, no. Reapproved, 2009.
- [10] ACI Comite 544.3R, "Guide for specifying , proportioning , and production of fiber-reinforced concrete," *American Concrete Institute*, 2008.
- [11] A. Bhutta, M. Farooq, and N. Bantia, "Performance characteristics of micro fiber-reinforced geopolymer mortars for repair," *Constr Build Mater*, vol. 215, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.210.
- [12] P. N. Ojha, A. Singh, B. Singh, and V. Patel, "Mechanical and durability properties of cement mortar and concrete reinforced with glass micro fibre," *Research on Engineering Structures and Materials*, vol. 8, no. 2, 2022, doi: 10.17515/resm2021.350ma1007.
- [13] Y. Mohammadi and M. Bagheripour Asil, "Utilization of Steel Micro-fiber and Carbon Nanotubes in Self-compacting Lightweight Concrete," *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, vol. 36, no. 5, 2023, doi: 10.5829/ije.2023.36.05b.12.
- [14] SNI 03-2834-2000, "SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal," *Sni 03-2834-2000*, 2000.
- [15] SNI 1970, "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus," *Badan Standar Nasional Indonesia*, 2008.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder,SNI 1974-2011," *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 2011.
- [17] sni 03 2491 2002, "SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton," *Badan Standar Nasional Indonesia*, 2002.
- [18] E. Vougioukas and M. Papadatou, "A model for the prediction of the tensile strength of fiber-reinforced concrete members, before and after cracking," *Fibers*, vol. 5, no. 3, 2017, doi: 10.3390/fib5030027.