

Pengaruh Penambahan Serat *Fiberglass* Pada Campuran Beton Terhadap Kinerja Beton

Novita Dwi Ramayati¹, Wahyu Kartini¹, Sumaidi¹

¹Teknik Sipil, Teknik,²Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya
ramayativita@gmail.com

Abstract

Concrete has several advantages such as high levels of strength, relatively affordable prices, ease of processing and maintenance, and the ability to be shaped easily. However, among these advantages, concrete also has weaknesses, one of which is low tensile strength. In order to overcome this weakness, innovation has been made by adding fiber to the concrete composition. This innovation uses fiberglass as an additional material to replace aggregate. The fiberglass fiber content applied included 4 variations including 0%, 0.25%, 0.5% and 0.75% of the total aggregate weight. In addition to adding fiber, there are also additives that play a role in reducing the amount of mixed water needed to produce concrete with a certain consistency and simultaneously increasing the level of compressive strength of concrete. The additional substance is a superplasticizer, which in this study was a product of Ertapast 35, and was applied at a ratio of 0.8% of the total weight of cement. The main objective of this research is to determine the optimal level of addition of fiberglass fiber to the level of compressive strength and split tensile strength of concrete, the impact of fiber on these two properties. In testing, the specimens used were cylinders measuring 15 x 30 cm. three cylinders were used to test the compressive strength, and three other specimens were used to test the split tensile strength, all at the age of 28 days. The planning process for concrete mixes refers to the SNI 756-2012 standard. The results showed that the addition of high enough fiberglass fiber to fresh concrete could result in a decrease in workability. However, the properties of the concrete after it hardens show that both the compressive strength and the split tensile strength have increased along with the increase in variations in the addition of fiberglass fibers. Keywords: fiberglass, superplasticizer, split tensile strength

Keywords: fiberglass, superplasticizer, split tensile strength, compressive strength

Abstrak

Beton memiliki beberapa keunggulan seperti tingkat kekuatan yang tinggi, harga relative terjangkau, kemudahan dalam proses pengerjaan dan perawatan, serta kemampuan untuk dibentuk dengan mudah. Namun, diantara sejumlah keunggulan tersebut, beton juga memiliki kelemahan, salah satunya adalah kekuatan tarik yang rendah. Guna mengatasi kelemahan ini, telah dilakukan inovasi melalui penambahan serat dalam komposisi beton. Inovasi ini menggunakan serat *fiberglass* sebagai bahan tambahan pengganti agregat. Kandungan serat *fiberglass* yang diterapkan mencakup 4 variasi diantaranya 0%, 0,25%, 0,5% dan 0,75% dari total berat agregat. Selain penambahan serat, terdapat juga zat tambahan yang berperan dalam mengurangi jumlah air campuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan sekaligus meningkatkan tingkat kekuatan tekan beton. Zat tambahan tersebut adalah *superplasticizer*, yang dalam penelitian ini merupakan produk Ertapast 35, dan diaplikasikan dengan perbandingan 0,8% dari total berat semen. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan kadar optimal penambahan serat *fiberglass* terhadap tingkat kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton, serat dampaknya terhadap kedua sifat tersebut. Dalam Pengujian, benda uji yang digunakan adalah silinder berukuran 15 x 30 cm. sebanyak tiga silinder digunakan untuk menguji kekuatan tekan, dan tiga benda uji lainnya digunakan untuk menguji kekuatan tarik belah, semuanya pada umur 28 hari. Proses perencanaan campuran beton mengacu pada standar SNI 756-2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat *fiberglass* yang cukup tinggi pada beton segar dapat mengakibatkan penurunan dalam hal kemampuan pengolahan. Namun, sifat beton setelah mengeras menunjukkan bahwa baik kekuatan tekan maupun kekuatan tarik belah mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan variasi penambahan serat *fiberglass*.

Kata kunci : fiberglass, superplasticizer, kuat tarik belah, kuat tekan

PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya pertumbuhan ekonomi baik di Indonesia maupun di seluruh dunia, disertai dengan peningkatan jumlah fasilitas pendukungnya seperti bangunan dan jalan yang Sebagian besar menggunakan konstruksi dari beton. Oleh karena itu, perkembangan teknologi beton juga terus berlangsung. Beton memiliki beberapa keunggulan, antara lain kekuatan yang tinggi, biaya relative terjangkau, kemudahan dalam proses pengerjaan dan perawatan, serta fleksibilitas dalam pembentukannya.

Namun, beton memiliki kelemahan, salah satunya adalah ketahanan tarik yang rendah. Untuk mengatasi kelemahan ini, berbagai cara telah diusulkan, termasuk penggunaan serat dalam campuran beton guna meningkatkan ketahanan tariknya. Beton yang diperkuat

dengan serat disebut beton serat, di mana serat *fiberglass* menjadi salah satu pilihan serat yang digunakan.

Fiberglass merupakan bahan yang terbuat dari cairan kaca yang diubah menjadi serat tipis yang berukuran diameter mulai dari 0,005 mm hingga 0,01 mm. Bahan ini umumnya digunakan sebagai komponen dalam bahan komposit yang dikenal sebagai *Glass Reinforced Plastic*.

Kelebihan *fiberglass* meliputi bobot yang ringan dan kekuatan tarik serta ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan serat baja. Penggunaan serat *fiberglass* dalam beton dapat mengurangi retakan yang terjadi. Studi menunjukkan bahwa beton yang mengandung serat *fiberglass* cenderung memiliki retakan yang lebih sedikit daripada beton tanpa serat. Namun, perlu diingat bahwa penambahan serat secara berlebihan dapat menghambat proses pematangan beton dan akhirnya mempengaruhi kekuatan tekan beton.

Untuk mengevaluasi dampak dari penambahan serat *fiberglass*, dilakukan pengujian terhadap kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah dengan menggunakan benda uji silinder yang berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm. metode *mix design* campuran mengacu pada standart 7656:2012.

Beton adalah komponen kunci dalam konstruksi, sebuah substansi yang mirip dengan batu yang dihasilkan melalui pencampuran proporsi yang ditentukan dari semen, pasir, batu pecah serta air. Proses ini mengakibatkan campuran tersebut mengeras di dalam cetakan structural sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan untuk struktur tersebut.

Terdapat beberapa keunggulan dari beton, seperti kekuatan tinggi, biaya relative terjangkau, kemudahan dalam pengerjaan dan perawatan, serta kelenturan dalam proses pembentukannya. Namun, di antara berbagai kelebihan tersebut, beton juga memiliki kelemahan, di mana salah satunya adalah ketahanan terhadap gaya tarik yang rendah. Terdapat beberapa solusi mengatasi kelemahan ini, salah satunya telah dilakukan inovasi dengan cara menambahkan serat ke dalam campuran beton.

Beton serat (*fiber-reinforced concrete*) merupakan jenis beton yang terbentuk dari pencampuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta serat (*fiber*) yang diintegrasikan secara merata dalam harapan bahwa penambahan serat tersebut dapat mengurangi retakan yang terjadi pada area yang mengalami gaya tarik akibat beban. *Fiberglass* merupakan serat yang dihasilkan dari kaca yang ditarik hingga mencapai ukuran diameter antara 0,005 mm hingga 0,01 mm, membentuk serat yang tipis. Komposisi dari *fiberglass* melibatkan kandungan sekitar 50-60% SiO₂, serta oksida lainnya seperti Al, Ca, Mg, Na dan sejenisnya. Oleh karena itu, material *fiberglass* merupakan salah satu jenis bahan serat komposit yang memiliki keunggulan dalam hal kekuatan yang tinggi namun tetap memiliki bobot yang ringan.

Kuat Tekan

Kekuatan beton dalam menahan tekanan dapat diukur melalui perbandingan antara beban yang diterapkan pada suatu area tertentu yang mengakibatkan benda uji berbentuk silinder beton hancur, dan beban tersebut dihasilkan oleh mesin tekan. Parameter ini dikenal sebagai kuat tekan beton, yang menggambarkan seberapa besar beban aksial yang dapat diterapkan pada suatu beton sebelum terjadi kerusakan, dibandingkan dengan luas penampangnya. Penelitian ini menggunakan metode sesuai standar SNI 1974-2011 untuk menguji kuat tekan beton. Dalam proses pengujian, silinder beton dibuat dan dirawat dengan cara direndam dalam air tawar (*curing*) untuk memastikan perolehan nilai kuat tekan dilakukan secara procedural. Perhitungan kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan 2.1 :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dengan :

f'c = Kuat tekan beton (Mpa)
P = Beban Maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²)

Kuat Tarik Belah

Kekuatan tarik belah merupakan salah satu faktor penting dalam mengevaluasi ketahanan beton. Nilai kekuatan tarik belah diukur melalui serangkaian pengujian lateral pada benda uji berbentuk dilinder di laboratorium hingga mencapai titik maksimalnya.

Dalam penelitian ini, pengujian kekuatan tarik belah beton merujuk pada panduan SNI 2491 : 2014. Perhitungan nilai kekuatan tarik belah beton didasarkan pada luas permukaan luar silinder beton, yang memungkinkan untuk menggunakan rumus 2.2 dalam perhitungannya.

$$T = \frac{2.P}{\pi L.D} \quad (2.2)$$

Dengan :

- T = Kuat tarik belah (MPa)
P = Beban Maksimum (N)
L = Panjang benda uji (mm)
D = Diameter benda uji (mm)

METODE PENELITIAN

Proses Penelitian ini dimulai dengan Langkah – Langkah seperti pengujian bahan, pembuatan formula campuran (*job mix*), pengukuran konsistensi (*slump test*), serta pengujian kekuatan tekan beton dan kekuatan tarik belah beton. Semua pengujian ini memperhitungkan periode perawatan benda uji selama 28 hari.

Tahap awal pelaksanaan penelitian ini melibatkan persiapan bahan dan pengujian material. Bahan – bahan yang terlibat termasuk agregat halus (pasir), agregat kasar (batu pecah), semen Portland tipe 1, air, serat *fiberglass*, dan *superplasticizer*. Proses pengujian material mencakup pengukuran berat jenis, analisis tingkat kelembaban, penyerapan air, pengukuran berat volume, serta analisis gradasi agregat.

Setelah mendapatkan hasil pengujian material, Langkah selanjutnya adalah melakukan perencanaan desain campuran dengan menggunakan metode *Design of Experiments (DoE)* yang merujuk pada standar SNI 7656:2012. Untuk pembuatan benda ujia, digunakan cetakan berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. sebanyak 12 benda uji dipersiapkan untuk menguji kekuatan tekan, sementara 12 benda uji lainnya digunakan untuk menguji kekuatan tarik belah. Pengujian kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah dilakukan setelah benda uji direndam dalam air selama 28 hari.

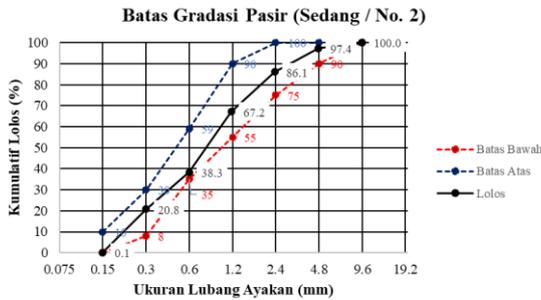
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pengujian material melibatkan beberapa aspek, termasuk penentuan berat jenis dan kemampuan agregat menyerap air, analisis fraksi agregat melalui proses penyaringan, perhitungan berat volume agregat, serta uji kemampuan lolos saringan ukuran no. 200.

Table 1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

| Uraian | Hasil Pengujian |
|--------------|-----------------|
| Berat Jenis | 2,671 |
| Resapan | 1,29 |
| Kelembaban | 2,975 |
| Berat Volume | 1358.2 |



Gambar 1 Gradasi Agregat Halus

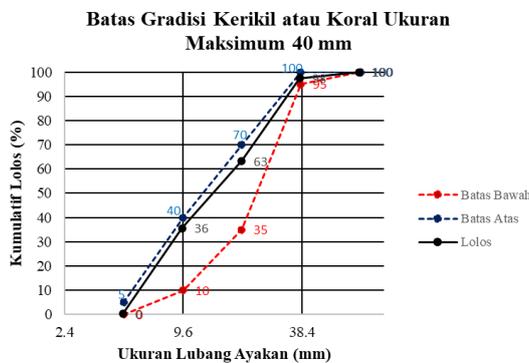
Presentase pasir yang lolos sudah masuk ke dalam batas atas dan batas bawah spesifikasi gradasi agregat halus. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan gradasi agregat halus berada pada zona 2 (kasar). Pasir yang masuk spesifikasi mempunyai susunan butir gradasi yang baik. Gradasi yang baik akan mempengaruhi mutu beton.

Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan material yang dilakukan yaitu berat jenis dan penyerapan air pada agregat, analisis saringan agregat, berat volume padat/gembur agregat, dan uji lolos saringan No. 200.

Table 2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

| Uraian | Hasil Pengujian |
|--------------|-----------------|
| Berat Jenis | 2,8005 |
| Resapan | 1,09 |
| Kelembaban | 0,925 |
| Berat Volume | 1484.3 |



Gambar 2 Gradasi Agregat Kasar

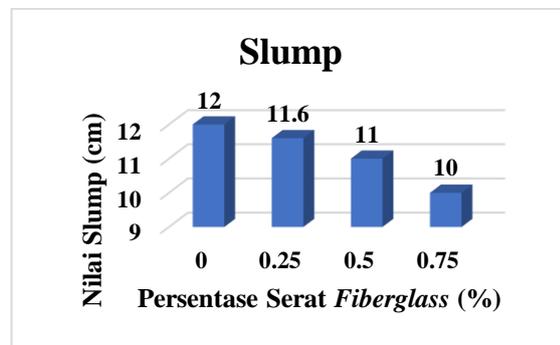
Presentase batu pecah yang lolos sudah masuk ke dalam batas atas dan batas bawah spesifikasi gradasi agregat kasar. Batu pecah yang masuk spesifikasi mempunyai

susunan butir (gradasi) yang baik. Perbedaan antara diameter dan varian butiran berdampak pada sifat homogen beton, yang menyebabkan suatu rongga pada beton. Rongga atau kerapatan pada beton tersebut akan berpengaruh terhadap mutu beton.

Pengujian Slump

Table 3 Pengujian Slump

| Sample Benda Uji | Persentase Serat <i>Fiberglass</i> (%) | Slump |
|------------------|--|-------|
| BN | 0 | 12 |
| BF 1 | 0,25 | 11,6 |
| BF 2 | 0,5 | 11 |
| BF 3 | 0,75 | 10 |



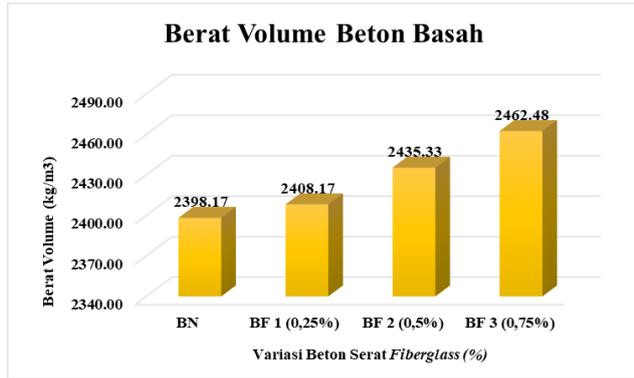
Gambar 3 Pengujian Slump

Berdasarkan pengujian slump pada gambar 4.3 dengan penambahan serat *fiberglass* variasi benda uji 0,25% mengalami penurunan sebesar 0,4%; variasi benda uji 0,5% mengalami penurunan sebesar 1%; variasi benda uji 0,75% mengalami penurunan sebesar 2%. Slump terendah terjadi pada variasi penambahan serat *fiberglass* 0,75% sebesar 10 cm dengan penambahan *superplasticizer* 0,8% dari berat semen. sedangkan nilai *slump* tertinggi terjadi pada variasi penambahan serat *fiberglass* 0,25% sebesar 11,6 cm dengan penambahan *superplasticizer* 0,8% dari berat semen. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi persentase penambahan serat *fiberglass* dalam campuran beton, maka nilai *slump* (*workabilitas*) akan semakin menurun.

Berat Volume Beton Basah

Table 4 Berat Volume Beton Basah

| Benda Uji | Berat Rata - Rata Silinder Beton (kg) | Berat Volume (kg/m ³) |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| BN | 16.78 | 2398.17 |
| BF 1 (0,25%) | 16.85 | 2408.17 |
| BF 2 (0,5%) | 17.04 | 2435.33 |
| BF 3 (0,75%) | 17.23 | 2462.48 |



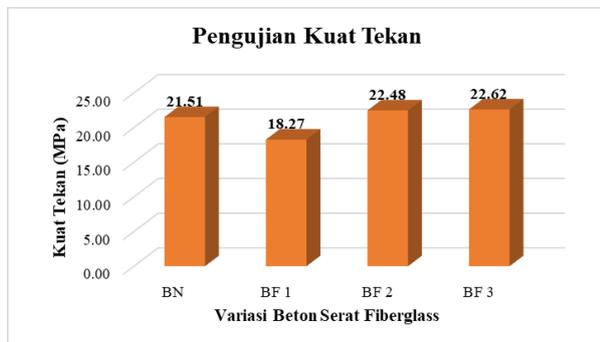
Gambar 4 Berat Volume Beton Basah

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan, ditemukan bahwa berat volume beton dalam keadaan basah yang olaing tinggi adalah pada variasi campuran beton dengan penambahan serat *fiberglass* sebesar 0,75%, mencapai angka 2462,48kg/m³. Menurut ketentuan dalam standar SNI 03-3449-2002, sebuah beton dikategorikan sebagai beton normal jika berat volume berada dalam kisaran 2200 kg/m³ hingga 2500 kg/m³. Oleh karena itu, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar penambahan serat *fiberglass*, maka berat volume beton yang dihasilkan juga semakin tinggi. seluuh benda uji yang telah dibuat dapat dikelompokkan ke dalam kategori beton normal berdasarkan kriteria tersebut.

Pengujian Kuat Tekan

Table 5 Pengujian Kuat Tekan

| Benda Uji | Luas Permukaan (mm ²) | Beban Maks (KN) | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat Tekan Rata - Rata (Mpa) | Peningkatan (%) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------|-----------------|
| BN | 1 17855.80 | 363.00 | 20.33 | 21.34 | 0.00 |
| | 2 17926.94 | 399.00 | 22.26 | | |
| | 3 17678.57 | 378.80 | 21.43 | | |
| BF 1 | 1 17643.23 | 327.00 | 18.53 | 18.19 | -14.75 |
| | 2 17938.81 | 323.00 | 18.01 | | |
| | 3 17690.36 | 319.00 | 18.03 | | |
| BF 2 | 1 17619.69 | 366.50 | 20.80 | 22.55 | 5.67 |
| | 2 17513.96 | 416.50 | 23.78 | | |
| | 3 17737.55 | 409.00 | 23.06 | | |
| BF 3 | 1 17950.68 | 393.50 | 21.92 | 22.52 | 5.54 |
| | 2 17808.45 | 422.00 | 23.70 | | |
| | 3 17502.23 | 384.00 | 21.94 | | |



Gambar 5 Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan data dalam grafik, titik acuan yang diambil adalah nilai kuat tekan pada beton normal. Hasil pengujian kekuatan tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa nilai kekuatan tekan tertinggi terdapat

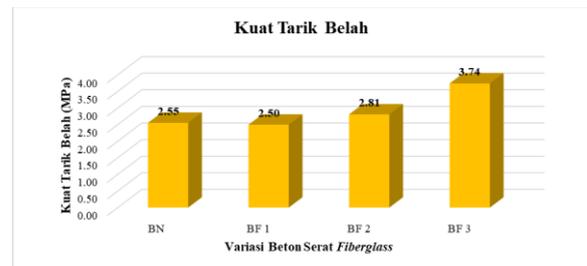
pada campuran beton yang ditambahkan serat *fiberglass* sebanyak 0,75%, yakni mencapai 22,62 MPa. Pada variasi penambahan serat sebesar 0,25%, nilai kekuatan tekan adalah 18,27 MPa, mengalami penurunan sebesar 15,06% dibandingkan dengan beton normal. Sementara itu, pada variasi penambahan serat sebesar 0,5%, didapatkan nilai kekuatan tekan sebesar 22,48 MPa, mengalami peningkatan sekitar 4,51% jika dibandingkan dengana beton normal.

Dari hasil penelitian ini, dapat dinyatakan bahwa peningkatan persentase serat *fiberglass* mengakibatkan peningkatan dalam kekuatan tekan beton. Hal ini disebabkan oleh efek dari penambahan serat yang menghasilkan ketidakmerataan dalam campuran adukan, yang pada gilirannya mendorong kinerja yang kurang optimal dari bahan pengikat. Serat *fiberglass* digunakan sebagai pengisi untuk mengisi celah – celah serta sebagai penghubung material , yang pada akhirnya dapat meningkatkan kekuatan tekan beton. Namun, perlu diperhatikan bahwa penambahan serat *fiberglass* dalam proses pencampuran adukan, yang dapat menyebabkan terbentuknyaa ruang – ruang kecil yang tidak terisi dengan baik dalam beton dan menghasilkan pori – pori yang tidak diinginkan.

Pengujian Kuat Tarik Belah

Table 6 Pengujian Kuat Tarik Belah

| Benda Uji | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | Beban Maks (KN) | Kuat Tarik Belah (Mpa) | Kuat Tekan Rata - Rata (Mpa) | Peningkatan (%) |
|-----------|---------------|-------------|-----------------|------------------------|------------------------------|-----------------|
| BN | 1 150.75 | 300.05 | 215.00 | 3.02 | 2.55 | 0.00 |
| | 2 151.05 | 301.10 | 212.00 | 2.97 | | |
| | 3 150.00 | 300.45 | 118.00 | 1.67 | | |
| BF 1 | 1 149.85 | 300.00 | 191.00 | 2.70 | 2.50 | -2.21 |
| | 2 151.10 | 299.95 | 156.44 | 2.20 | | |
| | 3 150.05 | 299.90 | 183.00 | 2.59 | | |
| BF 2 | 1 149.75 | 299.80 | 202.00 | 2.86 | 2.81 | 9.99 |
| | 2 149.30 | 300.00 | 218.00 | 3.10 | | |
| | 3 150.25 | 301.10 | 175.00 | 2.46 | | |
| BF 3 | 1 151.15 | 299.50 | 219.00 | 3.08 | 3.74 | 46.49 |
| | 2 150.55 | 299.95 | 189.20 | 2.67 | | |
| | 3 149.25 | 299.20 | 384.00 | 5.47 | | |



Gambar 6 Pengujian Kuat Tarik Belah

Dalam pengujian kekuatan tarik belah beton dengan penambahan serat *fiberglass* pada umur 28 hari, hasil pengujian menunjukkan adanya pengaruh dari peningkatan konsentrasi serat *fiberglass* terhadap kuat tarik belah beton. Rata – rata nilai kuat tarik belah beton meningkat seiring dengan peningkatan persentase serat *fiberglass* mulai dari 0% hingga 0,75%. Titik kadar optimum tercapai pada variasi dengan penambahan serat *fiberglass* sebesar 0,75%, yang mencapai kekuatan tarik belah tertinggi sebesar 3,74 MPa. Nilai ini mengalami

kenaikan sebesar 46,49% bila dibandingkan dengan kekuatan tarik belah pada beton normal.

Disisi lain, kuat tarik belah terendah terjadi pada BF 1 dengan penambahan serat *fiberglass* 0,25%, yang mencapai nilai 2,55 MPa. Hal ini mengindikasikan adanya penurunan kuat tarik belah sebesar 2,21% jika dibandingkan dengan beton normal.

Dengan demikian, penambahan serat *fiberglass* pada beton memiliki potensi meningkatkan kuat tarik belah, dan kadar optimumnya adalah 0,75%. Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa penambahan serat *fiberglass* yang terlalu tinggi dapat berdampak negative terhadap kuat tarik belah beton.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada beton dengan penambahan serat *fiberglass*, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama diantaranya :

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis dampak penambahan serat *fiberglass* terhadap kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton. Penelitian mencakup beberapa variasi penambahan serat *fiberglass* yakni 0%, 0,25%, 0,5%, dan 0,75%. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan nilai kuat tekan beton seiring dengan meningkatnya persentase serat *fiberglass*. secara berturut – turut, nilai kuat tekan adalah 21,51 MPa, 18,27 MPa, 22,48 MPa, dan 22,62 MPa. Demikian pula, nilai kuat tarik belah juga mengalami kenaikan dengan adanya penambahan serat *fiberglass*. Nilai – nilai kuat tarik belah secara berurutan adalah 10,29 MPa, 10,01 MPa, 11,23 MPa, dan 14,95 MPa.

Hasil menunjukkan bahwa campuran beton dengan penambahan serat *fiberglass* sebanyak 0,75% menghasilkan nilai tertinggi baik dalam kuat tekan maupun kuat tarik belah. Sebaliknya, campuran dengan penambahan serat *fiberglass* sebanyak 0,25% memiliki nilai terendah dalam kedua aspek tersebut. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh peran serat *fiberglass* dalam memperkuat matriks beton, menghambat retakan dan menyebarkan retakan yang ada, serta meningkatkan resistensi terhadap gaya tarik.

Selain itu, diperhatikan bahwa ikuat tarik belah dan kuat tekan beton memiliki hubungan yang sejalan, menunjukkan bahwa penambahan serat *fiberglass* berdampak positif pada kedua aspek ini. Namun, dampak yang dihasilkan oleh penambahan serat *fiberglass* dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk jenis serat, jumlah serat yang ditambahkan, distribusi serat dalam campuran, dan metode pencampuran yang digunakan.

Secara keseluruhan, penambahan serat *fiberglass* dalam campuran beton mampu meningkatkan baik kuat tarik belah maupun kuat tekan beton, dengan variasi kadar serat memberikan pengaruh pada hasil pengujian. Efek ini dapat dijelaskan oleh peran serat dalam menghambat terjadinya retakan dan meningkatkan kinerja mekanis beton.

DAFTAR PUSTAKA

D. K. Widodo, “*Effect of Glass Fiber on Compressive, Flexural and Splitting Strength of Reactive*

Powder Concrete,” *MATEC Web Conf.*, vol. 138, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1051/mateconf/201713803010.

R. Mareno, “Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Serat,” vol. 6, no. 2, 2022.

Subandi, S. Yatnikasari, M. Damaiyanti, R. Azzahra, and Vebrian, “*Effect of additional fiberglass fiber on concrete performance*,” *Ann. Chim. Sci. des Mater.*, vol. 43, no. 5, pp. 287–292, 2019, doi: 10.18280/acsm.430502.

A. Mat Serudin, M. A. Othuman Mydin, M. N. Mohd Nawi, R. Deraman, M. W. Sari, and M. F. Abu Hashim, “*The Utilization of a Fiberglass Mesh-Reinforced Foamcrete Jacketing System to Enhance Mechanical Properties*,” *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 17, pp. 1–17, 2022, doi: 10.3390/ma15175825.

M. Dzikri and M. Firmansyah, “Pengaruh Penambahan Superplasticizer Pada Beton Dengan Limbah Tembaga (*Copper Slag*) Terhadap Kuat Tekan Beton Sesuai Umurnya,” *J. Rekayasa Tek. Sipil*, pp. 1–9, 2018.

R. S. Riwayatani and F. F. T. Bolon, “Pengaruh Penambahan Polypropilene Fibre dan superplasticizer terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Fc’25 Mpa,” *Tek. J. Tek.*, vol. 5, no. 1, p. 56, 2018, doi: 10.35449/teknika.v5i1.85.

R. Armidion and T. Rahayu, “Peningkatan nilai kuat tarik belah beton dengan campuran limbah botol plastik *polyethylene terephthalate* (pet),” *J. Konstr.*, vol. 10, no. 1, pp. 117–126, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksia/article/view/3877>