

Efek Penambahan Serat *Polypropylene* terhadap Kuat Tarik Belah Beton Ringan

Ilman Nafiyanto A Hi. Bayan¹, Mufti Amir Sultan², Abdul Gaus³, Muhammad Taufik Yuda Saputra⁴, Irnawaty⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Khairun

Email: ilmanhibayan10@gmail.com¹; muftiasltn@unkhair.ac.id^{2*};

gaussmuhammad@gmail.com³; taufiqyudasaputra@gmail.com⁴; irnawaty@unkhair.ac.id⁵

ABSTRAK

Beton ringan adalah beton beratnya kurang dari 1840 kg/m³. Beton ringan cenderung memiliki kuat tarik yang rendah, dan karena karakteristik agregat ringan yang digunakan, maka dalam perencanaan campuran beton ditambahkan serat untuk meningkatkan kuat tarik dari beton ringan itu sendiri. Penelitian ini menganalisis pengaruh penambahan serat *polypropylene* pada campuran beton ringan dengan kadar volume 0,1 kg/m³, 0,3 kg/m³, 0,5 kg/m³, dan 0,7 kg/m³. Jumlah benda uji silinder 150x300 mm sebanyak 15 buah untuk pengujian kuat tarik belah. Pengujian menggunakan alat uji tekan, di mana benda uji silinder diletakkan secara horizontal lalu dibebani hingga beban maksimum yang dapat diterima. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene* pada beton ringan adalah dapat meningkatkan kuat tarik belah seiring dengan penambahan serat *polypropylene* sampai pada kadar volume 0,5 kg/m³, setelah melebihi 0,5 kg/m³ kuat tarik belah cenderung mengalami penurunan. Nilai kuat tarik belah maksimum sebesar 21,64 kg/cm² pada kandungan volume serat *polypropylene* 0,5 kg/m³. Kemampuan kerja beton serat cenderung menurun dengan adanya penambahan serat *polypropylene* ke dalam campuran beton ringan. Berat volume maksimum yang dihasilkan sebesar 1471 kg/m³ sehingga termasuk dalam kategori beton ringan.

Kata Kunci: beton ringan, *polypropylene*, tarik belah

ABSTRACT

Lightweight concrete is concrete weighing less than 1840 kg/m³. Lightweight concrete tends to have a low tensile strength, and due to the characteristics of the lightweight aggregate used, in planning the concrete mixture, fiber is added to increase the tensile strength of the lightweight concrete itself. This study analyzes the effect of adding polypropylene fiber to lightweight concrete mixtures with volume levels of 0.1 kg/m³, 0.3 kg/m³, 0.5 kg/m³ and 0.7 kg/m³. The number of 15x30 cm cylindrical specimens was 15 pieces for the split tensile strength test. The test uses a compression tester, where the cylindrical specimen is placed horizontally and then loaded to the maximum acceptable load. The results showed that adding polypropylene fiber to lightweight concrete increased the split tensile strength along with the addition of various polypropylene fibers up to 0.5 kg/m³. After exceeding 0.5 kg/m³, the split tensile strength decreased. The maximum split tensile strength value is 21.64 kg/cm² at a 0.5 kg/m³ volume polypropylene fiber. The workability of fiber concrete tends to decrease with the addition of polypropylene fiber into the lightweight concrete mixture. The maximum volume weight produced is 1471 kg/m³, categorized as lightweight concrete.

Key words: *lightweight concrete, polypropylene, splitting tensile*

| Submitted: | Reviewed: | Revised | Published: |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 30 Juni 2024 | 9 Agustus 2024 | 3 Februari 2025 | 7 Februari 2025 |

PENDAHULUAN

Sampai saat ini, beton sebagai bahan konstruksi bangunan sudah dikenal dan disukai oleh semua orang. Namun, kelemahan material ini adalah beratnya yang tinggi per meter kubik, yang berdampak besar pada beban mati bangunan.

Beton ringan adalah jenis beton yang terbuat dari agregat ringan. Jenis beton ini umumnya digunakan dalam proyek konstruksi di mana berat adalah masalah, seperti di bangunan tinggi atau jembatan. Beton ringan menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan dengan beton normal, termasuk mengurangi beban mati, meningkatkan

sifat termal, dan peningkatan ketahanan api (Brooks et al., 2018). Selain itu, beton ringan dapat dengan mudah diangkut dan dipindahkan, menjadikannya pilihan populer untuk banyak aplikasi konstruksi, karena dapat membantu mengatur suhu dalam ruangan dan mengurangi biaya energi (Kockal & Ozturan, 2011). Selain itu, peningkatan ketahanan api beton ringan dapat memberikan keamanan tambahan dan perlindungan bagi penghuni dalam kasus kebakaran. Secara keseluruhan, keaneka ragaman dan kepraktisan beton ringan menjadikannya bahan berharga untuk berbagai proyek konstruksi.

Beberapa agregat ringan yang digunakan untuk produksi beton ringan antara lain agregat breksi, batu apung, skoria atau tufa, ini termasuk agregat ringan dari alam. Agregat ringan buatan dibuat dengan membekahkan melalui proses pemanasan bahan seperti terak dari peleburan besi, tanah liat, diatome, *fly ash*, batu sabak, batu serpih, batu lempung, perlit dan vermikulit.

Beberapa penelitian tentang beton ringan: penggunaan agregat ringan, seperti *styrofoam*, yang digunakan secara parsial sebagai pengganti agregat kasar. Beton ini memiliki berat volume rata-rata $<1850 \text{ kg/m}^3$, tetapi kekuatan tekan dan tarik belahnya lebih rendah daripada beton biasa (Karolina et al., 2018; Lukman et al., 2021; Priyono & Nadia, 2014; Tarihoran et al., 2020). Dengan menggunakan limbah plastik sebagai pengganti agregat kasar, berat volume beton rata-rata adalah 1378 kg/m^3 , kurang dari 1850 kg/m^3 , dan kekuatan tekan dan tarik belah beton cenderung lebih rendah daripada beton biasa (Basri & Mubarak, 2021; Rommel, 2015).

Materail alam yang sering digunakan untuk menghasilkan beton ringan antara lain batu apung (*pumice*) yang secara signifikan dapat mengurangi berat konstruksi (Gaus et al., 2020; Geoffrey et al., 2012; M. A. Sultan, Gaus, et al., 2021; Suseno et al., 2021). Material ringan sebagai pengganti agregat halus yaitu material pasir batu apung atau *pumice sand* (Abdullah et al., 2021; Gaus et al., 2022, 2023; Numan et al., 2021).

Banyak peneliti telah melakukan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat beton, khususnya ketangguhannya, untuk mengatasi masalah ini, seperti menambah serat ke dalam campuran beton. Penggunaan serat telah terbukti dapat meningkatkan sifat mekanik dan durabilitas beton. Sejumlah besar penelitian telah dilakukan untuk mempelajari kinerja dan keunggulan beton bertulang serat dalam beberapa dekade terakhir. Baja dan serat kawat adalah beberapa serat yang sering digunakan dalam beton (Anggara et al., 2022; M. A. Sultan et al., 2022), serat kaca (Mareno, 2022; Sunarwadi et al., 2023), serat *polyetylen* (Gunawan et al., 2014; Sainz-Aja et al., 2022), serat *polypropylene* (Shen et al., 2020), serat *polyvinyl alkohol* (Ling et al., 2019; Tang, 2022), serat *polyester* (Wang et al., 2023; Yeswanth & Praveenkumar, 2022), serat basal (Biradar et al., 2020; Li & Zhao, 2016) dan serat alami (Geremew et al., 2021; M. A. Sultan, Tuhuteru, et al., 2021). Ada tiga macam manfaat serat pada beton, yaitu mengurangi retak, sebagai penguat, dan ketangguhan.

Menurut penjelasan di atas, penggunaan batu apung sebagai agregat beton ringan dapat diperbaiki dengan menambah serat ke dalam campuran beton tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini menyarankan untuk menambahkan serat *polypropylene* sebagai bahan tambahan. Dibandingkan dengan serat lain, serat ini mampu memperbaiki sifat mekanis beton konvensional. Beberapa peneliti telah mengkonfirmasi hal tersebut antara lain: Liu melakukan kajian literatur daya tahan beton serat *polypropylene*, dikemukakan bahwa serat *polypropylene* memiliki sifat yang sangat baik dengan bobot ringan, kekuatan tarik tinggi, dan ketangguhan yang baik. Saat menambahkan serat *polypropylene*, beton memiliki porositas yang lebih rendah dan ketahanan retak yang lebih tinggi daripada yang tanpa serat *polypropylene*. Beton serat *polypropylene* memiliki daya serap air lebih rendah dan lebih kedap air, tahan terhadap klorida, sulfat, karbonasi, dan api. Penyusutan dapat dikurangi dengan menambahkan serat *polypropylene* karena serat *polypropylene* memiliki efek positif pada pencegahan deformasi. Namun, rangkai beton tidak berkurang dengan menggunakan serat *polypropylene* karena modulus elastisitas serat *polypropylene* lebih rendah daripada beton polos. Daya tahan beton serat *polypropylene* dapat lebih ditingkatkan dengan menggabungkan dengan jenis serat lainnya, terutama untuk serat baja (Liu et al., 2021).

Sifat mekanis beton serat *polypropylene* diuji dengan campuran beton yang ditambahkan serat *polypropylene* dengan konsentrasi 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% terhadap berat semen. Benda uji kontrol tidak menggunakan serat *polypropylene* sama sekali. Benda uji berbentuk kubus ($150 \times 150 \times 150$) mm, silinder (150×300) mm dan balok ($150 \times 150 \times 700$) mm. Untuk meningkatkan *workability* digunakan *admixture* glemium B223 konsentrasi 0,3% terhadap berat semen. Panjang serat *polypropylene* 25 mm dan diameter 0,4 mm. Pada umur 28 hari, dilakukan tes kekuatan tekan, tarik belah, dan lentur. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan glemium B233 0,3% meningkatkan *workability*. Penggunaan serat *polypropylene* 1,0% menghasilkan kuat tekan maksimum 36 MPa meningkat 29,8% dibandingkan benda uji normal. Kuat tarik belah maksimum pada kadar serat *polypropylene* 1,0% sebesar 3,7 MPa meningkat 4,92% dibandingkan benda uji normal. Kuat lentur maksimum pada kadar serat *polypropylene* 1,0% sebesar 5,9 MPa meningkat 3,21% dibandingkan benda uji normal (Jayaram et al., 2022).

Salah satu keuntungan utama dari menggabungkan serat polipropilen ke dalam beton adalah

kemampuan untuk meningkatkan daya tahan dan kekuatan keseluruhan material. Dengan mengurangi kemungkinan retak dan kerusakan, struktur dapat mempertahankan integritas mereka untuk jangka waktu yang lebih lama, pada akhirnya menghemat waktu dan biaya pada pemeliharaan dan perbaikan (O. A. Ahmad & Awwad, 2015). Selain itu, penggunaan serat *polypropylene* juga dapat meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan tabrakan beton, membuatnya lebih tahan terhadap kekuatan eksternal seperti aktivitas seismik atau beban berat. Ini bisa sangat menguntungkan di daerah yang rentan terhadap bencana alam atau kondisi cuaca ekstrim, di mana integritas struktur bangunan sangat penting untuk keamanan. Secara keseluruhan, integrasi serat *polypropylene* dalam beton tidak hanya meningkatkan daya tahan, tetapi juga meningkatkan kinerja di bawah berbagai tekanan. Solusi inovatif ini memberikan cara yang hemat biaya untuk memperpanjang umur struktur dan memastikan stabilitas mereka dalam lingkungan yang ekstrim. Dengan manfaat tambahan dari peningkatan fleksibilitas dan ketahanan tabrakan, bangunan dapat menahan keadaan yang tidak terduga dan tetap aman bagi penghuni.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana penambahan serat *polypropylene* mempengaruhi kekuatan tarik beton ringan dengan menggunakan agregat batu apung dan pasir batu apung.

METODE PENELITIAN

Material

Agregat halus

Agregat halus adalah agregat yang berguna untuk meningkatkan kepadatan beton dan harus bersih dari bahan organik, lempung, dan partikel yang tidak lolos saringan No. 10 (Castillo et al., 2021). Agregat halus digunakan dalam penelitian ini adalah pasir batu apung (*pumice sand*) dari quarry Dowora di Pulau Tidore, visualiasi agregat pasir batu apung ditunjukkan pada gambar 1.

Agregat kasar

Pengujian ini menggunakan batu apung, atau pumice, dari quarry Dowora di Pulau Tidore. Agregat kasar sangat penting untuk pembuatan beton sebagai campuran semen dan air. Gambar 2 menunjukkan visualisasi agregat batu apung.

Semen

Dalam penelitian ini, semen jenis tipe 1 digunakan karena berfungsi sebagai pengikat campuran adonan saat membuat beton. Selain itu,

semen juga digunakan untuk menyediakan solusi yang ideal untuk bahan utama yang digunakan dalam pembuatan beton.



Gambar 1. Agregat pasir batu apung (*pumice sand*)



Gambar 2. Agregat batu apung (*pumice*)



Gambar 3. Serat *polypropylene*

Air

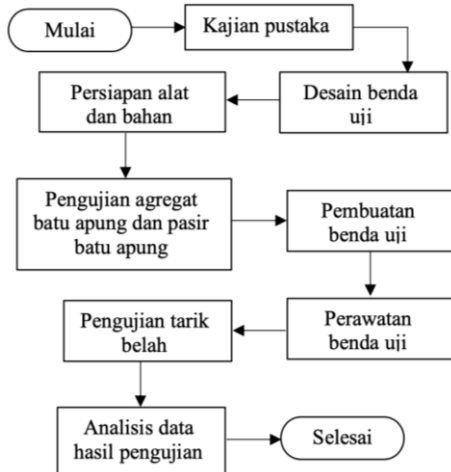
Air adalah bahan penting dalam pembuatan beton. Digunakan untuk membuat campuran semen, air harus steril dan tidak mengandung bahan yang dapat mengganggu proses.

Serat polypropylene

Serat yang digunakan adalah jenis *polypropylene* seperti pada gambar 3. Kadar serat 0,1 kg/m³, 0,3 kg/m³, 0,5 kg/m³ dan 0,7 kg/m³ terhadap volume beton. Serat ini digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton segar. Panjang serat 12 mm.

Tahapan Penelitian

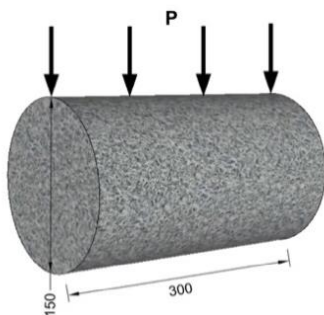
Tahapan penelitian seperti ditunjukkan dalam diagram alir pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Benda Uji

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder 150 mm x 300 mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Komposisi benda uji seperti ditunjukkan pada tabel 1, dengan menggunakan FAS konstan sebesar 0,42.



Gambar 5. Benda uji tarik belah beton

Tabel 1. Komposisi benda uji

| Kode Benda Uji | Kebutuhan Material (kg/m ³) | | | |
|----------------|---|------------|------------------|----------|
| | Semen | Batu Apung | Pasir Batu Apung | Serat PP |
| SS | 440,45 | 981,622 | 546,90 | 0 |
| SS-1 | 440,45 | 981,622 | 546,90 | 0,1 |
| SS-2 | 440,45 | 981,622 | 546,90 | 0,3 |
| SS-3 | 440,45 | 981,622 | 546,90 | 0,5 |
| SS-4 | 440,45 | 981,622 | 546,90 | 0,7 |

Tahap pembuatan benda uji sebagai berikut:

- Siapkan semen, batu apung, pasir batu apung, serat *polypropylene*, dan air.
- Timbang kebutuhan material yang sesuai rancangan campuran.
- Setelah material ditimbang, campurkan bahan-bahan dengan urutan tertentu. Batu apung, pasir batu apung, dan semen harus dicampur terlebih dahulu sebelum semuanya dicampur.
- Tambah air secara bertahap dan aduk lagi.
- Selama proses pengadukan, ditambahkan serat *polypropylene* yang telah ditimbang secara bertahap agar serat tidak menggumpal.
- Setelah campuran dicampur dengan baik, tuangkan campuran ke dalam tempat cetakan yang telah disiapkan. Isi tempat cetakan sampai penuh.
- Setelah campuran dimasukkan ke dalam tempat cetakan yang telah disediakan.
- Setelah sampel mengeras, keluarkan sampel pada tempat cetakan.
- Perawatan benda uji dengan perendaman selama 28 hari.

Pengujian

Pengujian kekentalan campuran

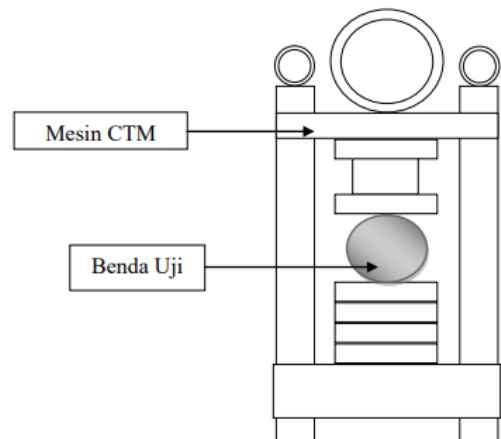
Standar Nasional Indonesia digunakan untuk menilai kekentalan campuran beton segar (SNI 1972, 2008).

Pengujian kuat tarik belah

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2491, 2002), pengujian dilakukan untuk mengukur kekuatan tarik belah beton benda uji, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.

Persamaan 1 dapat digunakan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik belah beton.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(1)$$

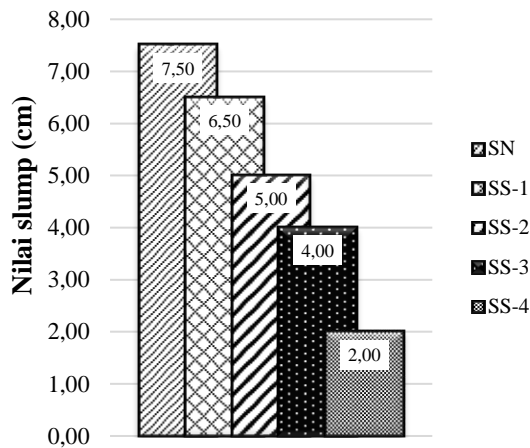


Gambar 6. Model pengujian tarik belah beton

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Slump Beton Serat

Hasil pengujian slump beton serat ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Efek Serat *Polypropylene* Terhadap Kekentalan Campuran Beton Ringan

Gambar 7 menunjukkan bahwa menambah serat *polypropylene* ke campuran beton ringan dapat menurunkan nilai *slump*. Beton ringan tanpa serat (SN) mempunyai nilai *slump* sebesar 7,5 cm, setelah ditambah serat 0,1 kg/m³ (SS-1), 0,3 kg/m³ (SS-2), 0,5 kg/m³ (SS-3) dan 0,7 kg/m³ (SS-4), menghasilkan nilai *slump* masing-masing sebesar 6,5 cm, 5,0 cm, 4,0 cm dan 2,0 cm. Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene* pada campuran beton ringan akan mengurangi *workability*. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan yang meningkat sebagai hasil dari penambahan material serat *polypropylene*. Volume fraksi serat *polypropylene* yang ditambahkan ke campuran beton sangat memengaruhi kemampuan kerja campuran beton serat. Efektif serat *polypropylene* terhadap kekecekan campuran dikonfirmasi oleh beberapa peneliti. Dalam perkerasan yang kaku, meningkatkan jumlah serat *polypropylene* dalam campuran beton akan mengurangi *workability*, di mana penambahan serat *polypropylene* sebesar 1,0% dari berat semen menghasilkan penurunan nilai *slump* sebesar 82,35% terhadap beton tanpa serat, tetapi serat *polypropylene* mengurangi permeabilitas air, mengurangi volume, dan mengurangi kedalaman karbonasi (Sheikh & Mohit Bajaj, 2017; T. A. A. Sultan et al., 2023). Hal lain yang menyebabkan penurunan kemampuan kerja beton adalah terciptanya gesekan yang besar antara serat *polypropylene* dengan partikel beton, nilai *slump* pada beton

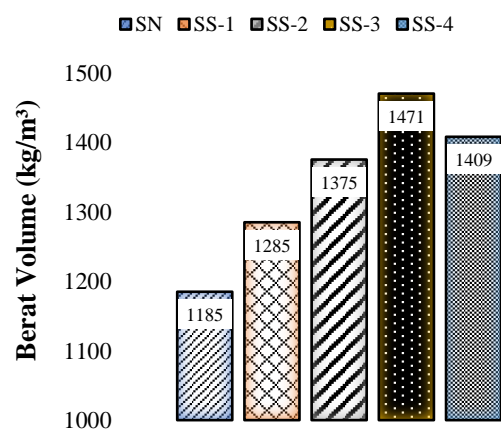
ringan tanpa serat sebesar 40 mm, dengan penambahan serat sebesar 0,72% terhadap volume fraksi nilai *slump* menjadi 8 mm dan penambahan serat *polypropylene* sebesar 0,96% nilai *slump* menjadi 0 (Hasan et al., 2019). Proses pengecoran dan pengujian slump ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Proses Pembuatan Benda Uji dan Pengujian Slump

Berat Volume Beton Serat

Berat volume beton serat ditunjukkan pada gambar 9. Berdasarkan gambar 9 dapat dilihat bahwa berat volume meningkat dengan penambahan serat *polypropylene* hingga variasi 0,5 kg/m³ kemudian menurun karena kurangnya kemampuan kerja yang mengakibatkan lebih banyak kekosongan pada beton yang sudah mengeras. Berat volume minimum adalah 1185 kg/m³ pada beton tanpa serat *polypropylene* (benda uji kontrol) sedangkan berat volume maksimum adalah 1471 kg/m³ dengan penambahan serat *polypropylene* 0,5 kg/m³ yaitu sekitar 24,11% lebih besar dari benda uji kontrol.



Gambar 9. Berat volume beton normal dengan beton serat *polypropylene*

Namun setelah kadar serat lebih besar dari 0,5 kg/m³ maka berat volume menjadi 1409 kg/m³. Beton yang dihasilkan masuk sebagai beton ringan dengan berat volume < 1850 kg/m³. Ini disebabkan

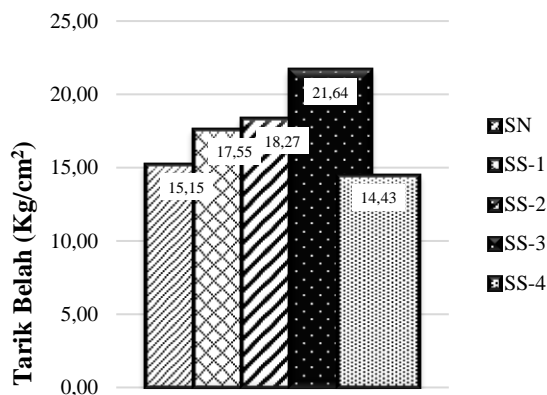
karena serat polypropylene membatasi penyebaran retakan susut yang diakibatkannya dalam lebih sedikit rongga pada beton yang mengeras, sehingga menghasilkan kepadatan yang lebih besar (J. Ahmad et al., 2021).

Kuat Tarik Belah Beton Serat

Dokumentasi pengujian Tarik belah ditunjukkan pada gambar 10, sedangkan hasil pengujian kuat beton belah ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 10. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Ringan



Gambar 11. Efek Serat Polypropylene Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Ringan

Berdasarkan gambar 11, kuat tarik belah benda uji tanpa serat polypropylene (SN) sebesar 15,15 kg/cm², setelah ditambahkan serat polypropylene dengan kadar volume sebesar 0,1 kg/m³, 0,3 kg/m³ dan 0,5 kg/m³ maka kuat tarik belah cenderung mengalami kenaikan masing-masing sebesar 15,87%, 20,63% dan 42,86% dibandingkan dengan beton ringan tanpa serat. Namun setelah penambahan melampaui 0,5 kg/m³ yaitu sebesar 0,7 kg/m³, maka kuat tarik belah mengalami penurunan sebesar 0,72 kg/cm² atau 4,76% terhadap beton ringan tanpa serat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa: Serat polypropylene dapat menurunkan kemampuan kerja beton serat dengan indikasi

bahwa semakin tinggi kadar serat polypropylene yang dimasukkan ke dalam campuran maka nilai slump akan menurun. Efek penambahan serat polypropylene terhadap beton ringan adalah dapat meningkatkan kuat tarik belah seiring dengan penambahan variasi serat polypropylene sampai pada kadar 0,5 kg/m³. Namun pada kadar lebih dari 0,5 kg/m³, kuat tarik belah beton cenderung mengalami penurunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Khairun, yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah PKUPT tingkat pascasarjana pada tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. M., Gaus, A., & Sultan, M. A. (2021). The Effect of Pumice Sand as Fine Aggregate on Tensile Strength of Precast Concrete. *E3S Web of Conferences*, 328, 10013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132810013>
- Ahmad, J., Aslam, F., Martínez-García, R., de Prado-Gil, J., Abbas, N., & Hechmi EI Ouni, M. (2021). Mechanical Performance of Concrete Reinforced with Polypropylene Fibers (PPFs). *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 16. <https://doi.org/10.1177/15589250211060399>
- Ahmad, O. A., & Awwad, M. (2015). The Effects of Polypropylene Fibers Additions on Compressive and Tensile Strengths of Concrete. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 37(1), 1701–8285.
- Anggara, R. D., Mahardana, Z. B., Wakhid, A. F. F. B., Pamungkas, F. R. R., Rohmatin, S., Widiastuti, L., & Aula, H. (2022). Pengaruh Kuat Tekan Beton f'c 10,38 MPa Dengan Penggunaan Steel Fiber Sejumlah 1,5 % Dari Agregat Kasar. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 26(1), 26–33.
- Basri, D. R., & Mubarak, H. (2021). Beton Ringan dengan Bahan Plastik sebagai Agregat Kasar untuk Konstruksi di Atas Lahan Gambut. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 8(1), 8–14. <https://doi.org/10.21063/jts.2021.v801.02>
- Biradar, S. V., Dileep, M. S., & Gowri, V. T. (2020). Studies of Concrete Mechanical Properties with Basalt Fibers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1006(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1006/1/012031>
- Brooks, A. L., Zhou, H., & Hanna, D. (2018). Comparative Study of The Mechanical and Thermal Properties of Lightweight

- Cementitious Composites. *Construction and Building Materials*, 159, 316–328. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.102>
- Castillo, H., Collado, H., Drogue, T., Sánchez, S., Vesely, M., Garrido, P., & Palma, S. (2021). Factors Affecting the Compressive Strength of Geopolymers: A review. In *Minerals* (Vol. 11, Issue 12, pp. 1–28). MDPI. <https://doi.org/10.3390/min11121317>
- Gaus, A., Imran, & Anwar, C. (2020). Analysis of the Mechanical Properties of Concrete Beams That Use Pumice as a Partial Substitution of Concrete Mixtures. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569(4), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042037>
- Gaus, A., Sultan, M. A., & Hakim, R. (2023). Efek Penggunaan Pasir Batu Apung Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Campuran Beton Ringan. *Paduraksa*, 12(1), 8–13. <https://doi.org/10.22225/pd.12.1.5269.8-13>
- Gaus, A., Sultan, M. A., Hakim, R., & Rauf, I. (2022). Effects of Using Pumice Sand as A Partial Replacement of Fine Aggregate in Lightweight Concrete Mixtures. *International Journal of Entrepreneurship and Business Development*, 5(4), 660–666.
- Geoffrey, M., Raphael, M., Walter, O., & Silvester, A. (2012). Properties of Pumice Lightweight Aggregate. *Civil and Environmental Research*, 2(10), 58–67. www.iiste.org
- Geremew, A., Winne, P. De, Demissie, T. A., & Backer, H. De. (2021). Treatment of Natural Fiber for Application in Concrete Pavement. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/6667965>
- Gunawan, P., Wibowo, W., & Muttaqin, M. A. (2014). Pengaruh Penambahan Serat Polyethylene Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Foam Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah Dan Modulus Elastisitas. *Matriks Teknik Sipil*, 4(3), 593–600.
- Hasan, A. H., Maroof, N. R., & Ibrahim, Y. A. (2019). Effects of Polypropylene Fiber Content on Strength and Workability Properties of Concrete. *Polytechnic Journal*, 9(1), 7–12. <https://doi.org/10.25156/ptj.v9n1y2019.pp7-12>
- Jayaram, M., Naresh, J., Thipparthi, K., & Kastro Kiran, V. (2022). Assessment on Mechanical Properties of Concrete with Polypropylene Fiber. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 982(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/982/1/012004>
- Karolina, R., Simanjuntak, R., Syahrizal, S., & Handana, M. A. P. (2018). The Effect of Polystyrene on Concrete Mechanical Properties. *2nd Annual Conference of Engineering and Implementation on Vocational Education (ACEIVE 2018)*, 1–13. <https://doi.org/10.4108/eai.3-11-2018.2285654>
- Kockal, N. U., & Ozturan, T. (2011). Strength and Elastic Properties of Structural Lightweight Concretes. *Materials and Design*, 32(4), 2396–2403. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.12.053>
- Li, J.-J., & Zhao, Z.-M. (2016). Study on Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete. *5th International Conference on Environment, Materials, Chemistry and Power Electronics (EMCPE 2016)*, 583–587.
- Ling, Y., Zhang, P., Wang, J., & Chen, Y. (2019). Effect of PVA Fiber on Mechanical Properties of Cementitious Composite with and without Nano-SiO₂. *Construction and Building Materials*, 229, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117068>
- Liu, Y., Wang, L., Cao, K., & Sun, L. (2021). Review on the Durability of Polypropylene Fibre-Reinforced Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/6652077>
- Lukman, W., Sumirin, S., & Antonius, A. (2021). Experimental Study Of Lightweight Concrete Mechanical Quantity With Heated Styrofoam Material. *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, 2(6), 212–223. <https://doi.org/10.7777/jiemar>
- Mareno, R. (2022). Pengaruh Penambahan Fiberglass Dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Serat. *Jurnal Rekayasa Teknik Dan Teknologi*, 6(2), 108–112. <https://doi.org/10.51179/rkt.v6i2.1377>
- Numan, N., Gaus, A., & Sultan, M. A. (2021). Comparison of Compressive Strength Value of Concrete Using Pumice Sand with Ordinary Sand as Fine Aggregate. *E3S Web of Conferences*, 328, 1–4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132810017>

- Priyono, Y. J., & Nadia, N. (2014). Pengaruh Penggunaan Styrofoam Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton. *Konstruksia*, 55(2), 55–61.
- Rommel, E. (2015). Pembuatan Beton Ringan Dari Agregat Buatan Berbahan Plastik. *Jurnal Gamma*, 9(1), 137–147.
- Sainz-Aja, J. A., Sanchez, M., Gonzalez, L., Tamayo, P., Del Angel, G. G., Aghajanian, A., Diego, S., & Thomas, C. (2022). Recycled Polyethylene Fibres for Structural Concrete. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(6), 1–20. <https://doi.org/10.3390/app12062867>
- Sheikh, T. A., & Mohit Bajaj, E. (2017). A Review Study Of Polymer Fibre Reinforced Concrete With Conventional Concrete Pavement. *International Journal of Latest Research In Engineering and Computing (IJLREC)*, 5(3), 98–1000. www.ijlrec.com
- Shen, D., Liu, X., Zeng, X., Zhao, X., & Jiang, G. (2020). Effect of Polypropylene Plastic Fibers Length on Cracking Resistance of High Performance Concrete at Early Age. *Construction and Building Materials*, 244, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117874>
- SNI 03-2491. (2002). *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1972. (2008). Cara Uji Slump Beton. In *Badan Standardisasi Nasional* (p. 11).
- Sultan, M. A., Gaus, A., Hakim, R., & Imran, I. (2021). Review of The Flexural Strength of Lightweight Concrete Beam Using Pumice Stone as of Substitution. *International Journal of GEOMATE*, 21(85), 154–159.
- Sultan, M. A., Hakim, R., Muchtar, B., & Adingku, J. (2022). Tinjauan Kuat Lentur Balok Beton Ringan Dengan Penambahan Serat Kawat. *Teras Jurnal*, 12(2), 483. <https://doi.org/10.29103/tj.v12i2.783>
- Sultan, M. A., Tuhuteru, E., & Abdullah, M. F. F. (2021). Kapasitas Lentur Balok Beton Ringan Dengan Penambahan Serat Ijuk. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar*, 7(2), 163–171.
- Sultan, T. A. A., Ali, I. W., Gaus, A., & Sultan, M. A. (2023). Efek Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Perkerasan Kaku. *Rancang Bangun*, 9(1), 49–55.
- Sunarwadi, S. H. W., Kartika, D., Erfan, M., & Dermawan, A. S. (2023). Kajian Eksperimental Dan Simulasi Numerik Penggunaan Fiberglass Sebagai Bahan Serat Pada Balok Beton. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 27(1), 38–45. www.kelistrikanku.com/2022/10
- Suseno, H., Wijaya, M. N., & Firdausy, A. I. (2021). Correlation Between Destructive and Non-destructive Characteristics of Pumice and Scoria Lightweight Concretes. *Engineering Journal*, 25(8), 113–126. <https://doi.org/10.4186/ej.2021.25.8.113>
- Tang, L. (2022). Nano-SiO₂ and PVA Fiber Synergistically Strengthened Concrete to Optimize the Antifreeze, Antipermeability, and Anticorrosion Performance of Roads. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/7597690>
- Tarihoran, E., Kumaat, E. J., & Windah, R. S. (2020). Pengaruh Penggunaan Styrofoam Sebagai Substitusi Parsial Agregat Kasar Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan. *Jurnal Sipil Statik*, 8(6), 859–866.
- Wang, J., Li, M., Chen, J., Zhao, Z., Zhao, H., Zhang, L., & Ren, J. (2023). Investigation on Shrinkage Characteristics of Polyester-Fiber-Reinforced Cement-Stabilized Concrete Considering Fiber Length and Content. *Buildings*, 13(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/buildings13041027>
- Yeswanth, M., & Praveenkumar, S. (2022). A Study On Polyester Fiber Reinforced Concrete With Addition Of Silica Fume. *International Research Journal of Modernization in Engineering*, 4(1), 553–556. www.irjmets.com