

Pengaruh Penambahan Zat Epoxy Resin dan Polypropylene Fiber Mesh (PFM) Terhadap Kuat Lentur Beton

Samuel Huaso Hatongamon Sianturi¹, Lolom Evalita Hutabarat^{2(*)}, Setiyadi³

Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Jl. Mayor Jendral Sutoyo, Cawang, Kec. Kramat Jati, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 13630, Indonesia^{1,2,3}

E-mail: samuelsianturi241@gmail.com¹, lolom.hutabarat@uki.ac.id², setyadi@uki.ac.id³

Profil Korepondensi

Lolom Evalita Hutabarat, Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia.

Submission	Revision	Accepted
08/05/2023	30/07/2023	31/07/2023

Abstract

Polypropylene fiber is made from chemical hydrocarbon compounds (C₃H₆) in single filaments or thin fibrous networks. Because the plastic fibers of polypropylene fiber mesh function as anti-cracking and reduce the brittle properties of concrete, a mixture of PFM and epoxy resin can increase the compressive strength and flexibility of concrete referred to ACI Committee 544. The polypropylene fiber additions used in this study were 0.60 kg/m³, 0.70 kg/m³, and 0.80 kg/m³, with an addition of 8% epoxy resin. Sixteen blocks (15 cm x 15 cm x 60 cm) with a design compressive strength of f_c 25 MPa and a water-cement factor of 0.61. SNI 7656-2012 is referred to in the test standard. Compression and flexure tests were performed at 14 and 28 days of age. With the addition of 0.7 kg/m³ polypropylene fiber mesh, the compressive strength increased by 9.56% at 14 days of concrete age to 27.39 MPa. Meanwhile, at 28 days, it had risen by 20% or 30 MPa. Furthermore, for 14 days, the bending moment was 11943766.2 N.mm, and for 28 days, it was 13246692.5 N.mm.

Keywords: Compressive strength; Epoxy resin; Flexural strength; Polypropylene fiber.

Abstrak

Serat polypropylene adalah jenis serat plastik dari senyawa kimia hidrokarbon (C₃H₆) berupa filamen tunggal atau jaringan fibrosa tipis. Campuran polypropylene fiber mesh (PFM) dan Epoxy Resin dapat meningkatkan baik kuat tekan beton ataupun fleksibilitasnya karena serat plastik dari polypropylene fiber mesh berfungsi sebagai anti crack dan mengurangi sifat getas beton mengacu ke ACI Committee 544. Variasi penambahan serat polypropylene yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,60 kg/m³, 0,70 kg/m³, 0,80 kg/m³, Bersama dengan tambahan Epoxy Resin 8%. Benda uji berupa balok (15 cm x 15 cm x 60 cm) sebanyak 16 spesimen dengan kuat tekan rencana f_c 25 MPa serta faktor air semen 0,61. Standar pengujian mengacu pada SNI 7656-2012. Pengujian tekan dan lentur dilakukan pada umur 14 dan 28 hari. Hasil uji menunjukkan terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 9,56% pada umur beton 14 hari yaitu sebesar 27,39 MPa dengan tambahan polypropylene fiber mesh 0,7 kg/m³. Sedangkan pada umur 28 hari naik sebesar 20% yaitu sebesar 30 MPa. Selain itu juga didapatkan momen lentur sebesar 11943766,2 N.mm untuk umur 14 hari dan 13246692,5 N.mm untuk umur 28 hari.

Kata Kunci: Kuat lentur; Kuat tekan; Epoxy Resin; Serat polypropylene.



Copyright © 2023, Samuel Huaso Hatongamon Sianturi, Lolom Evalita Hutabarat, Setiyadi.

doi 10.30738/st.vol9.no2.a14784

Pendahuluan

Beton merupakan bahan konstruksi yang dapat menahan gaya tekan, tahan temperatur tinggi, dan dapat dengan mudah diterapkan pada semua desain konstruksi. Namun, terlepas dari keunggulan beton tersebut, kekurangan beton adalah pada kekuatan lenturnya yang lemah karena sifat beton yang rapuh. Umumnya kuat tarik lentur beton adalah 9%-15% dari kuat tekannya. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan didapatkan bahwa epoxy resin sangat baik digunakan untuk bahan tambah beton karena memiliki kekuatan daya ikat yang tinggi (Van Gemert et al., 2005). Bahan ini berbentuk cairan emulsi seperti lem yang dapat membeku dan mengeras sehingga dapat mengisi pori-pori pada beton. Saat terjadinya keretakan pada beton seperti pada kasus kejadian gempa bumi yang menimbulkan gaya geser yang cukup besar pada balok dapat diatasi dengan jalan injeksi epoxy. Injeksi ini diharapkan dapat mengisi celah-celah keretakan hingga tertutup keseluruhan dan menyatukan bagian-bagian beton yang terpisah (Herlambang & Setyono, 2019). Selain itu, Epoxy Resin juga menghasilkan panas saat bereaksi sehingga hal ini akan mengakibatkan proses pengerasan berlangsung dengan cepat dan beton dapat mencapai kuat tekan optimalnya juga dengan cepat dari semen (Arif & Husni, 2015). Tetapi perlu menjadi perhatian bahwa kekakuan beton akan menjadi turun sekalipun kapasitas beban ultimit meningkat (Nalini.S et al., 2017). Penelitian yang dilakukan menggunakan injeksi Epoxy Resin pada kubus beton terbukti memberikan hasil yang baik pada pengujian kuat tekan saat umur beton 7, 12, dan 21 hari (Setiyarto & Pradana, 2022).

Disisi lain serat polypropylene adalah jenis serat plastik yang merupakan senyawa kimia hidrokarbon dengan rumus C_3H_6 berupa filamen tunggal atau jaringan fibrosa tipis. Serat ini dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja beton (Hasanr et al., 2013; Khairizal et al., 2015). Serat plastik dari Polypropylene Fiber Mesh (PFM) dapat berfungsi sebagai anti crack karena sifat kimia C_3H_6 atau propene yang tinggi dapat memperbaiki struktural beton salah satunya getas (ACI 544 IR-82, 1982). PFM adalah bahan dengan berat jenis ringan di antara baja, kaca, dan serat karbon lainnya. Ketika dicampur dalam persentase tertentu, kekuatan tarik meningkat hingga 23,6% dan kekuatan lentur hingga 20%. Daktilitas juga meningkat. Kajian pengaruh penambahan jaring serat *polypropylene* terhadap sifat mekanik beton menunjukkan bahwa kandungan serat PFM 0,65 kg/m³ merupakan tingkat dosis yang dianjurkan karena kuat lentur meningkat 20,44% dari beton normal, dan kuat tekan meningkat 20,44%, 3,22% dari beton normal (Lisantono et al., 2016).

Penggabungan kedua bahan ini diharapkan dapat memperbaiki karakteristik beton secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan PFM dan Epoxy Resin terhadap kuat tekan beton dan juga momen lenturnya (Kartini, 2007). Perhitungan momen lentur mengacu pada ACI 440 1R-15 untuk Desain dan Konstruksi Struktur Beton Bertulang dengan Batang *Fiber-Reinforced Polymer* (FRP). Kuat tarik lentur yang terjadi akibat momen lentur pada beton dapat menyebabkan terjadinya retak akibat perubahan suhu dan kadar air. Sehingga penambahan PFM dan Epoxy Resin diperlukan untuk memperbaiki sifat getas beton (Al-Katib et al., 2018). Polypropylene Fiber Mesh (PFM) adalah termoplastik yang terbuat dari gas Propylene.

Gas propilena berasal dari produk samping minyak bumi atau perengkahan bahan baku gas alam. Di bawah suhu dan tekanan tinggi, propilena berpolimerisasi untuk membentuk rantai polimer yang panjang. Namun, hanya katalis khusus yang dapat digunakan untuk membuat serat polypropylene dengan susunan molekul yang diatur. Fungsinya sebagai anti retak karena sifat kimia C₃H₆ yang sering dikenal dengan high propene yang dapat memperbaiki sifat getas beton.

Metode

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia. Tahapan-tahapan dalam penelitian ini secara umum meliputi persiapan bahan baku, pembuatan sampel (mix design), perawatan sampel (curing) dan pengujian sampel sesuai Diagram alir penelitian (Gambar 2) dimulai dengan pengumpulan data dari penelitian sebelumnya, mencari bahan baku, Pengujian Agregat Halus, Pengujian Agregat Kasar, Analisis Uji Saringan agregat halus, Analisis Uji Saringan agregat kasar, Pengujian Berat Jenis agregat kasar dan halus, Pengujian Kadar Lumpur Agregat kasar dan halus, Pengujian Kandungan lumpur, Pengujian Kekerasan, Mix Design benda uji Beton sesuai SNI 7656-2012 dengan penambahan zat Epoxy Resin dan serat *polypropylene fiber* pada beton normal.

Pengujian Beton berupa Uji Kuat Lentur. Bahan tambah Epoxy Resin yang digunakan adalah Epoxy Resin tipe sikadur 732 buata PT. Sika Indonesia, sedangkan bahan tambah serat yang digunakan adalah serat polypropylene produksi PT. Fosfroc Indonesia, Jakarta dengan ukuran 12 mm tipe PPF M12. Pembuatan benda uji menggunakan balok dengan diameter 15 cm x 15 cm x 60 cm akan dibuat dua versi yaitu benda uji beton normal dan benda uji beton serat dan resin yang masing-masing umur 14 hari dan 28 hari dengan kuat tekan yang disyaratkan adalah $f'c$ 25 MPa. Sedangkan konsentrasi serat *polypropylene* yang diberikan pada setiap campuran beton 0,60 kg/m³; 0,70 kg/m³; 0,80 kg/m³ serta setiap campuran ditambahkan *Epoxy Resin* sebanyak 8% tiap 0,0135 m³ beton.



Gambar 1. (a) Material Aditif Polypropylene Fibre Mesh (PFM); (b) Epoxy Resin

Pembuatan campuran benda uji dilakukan menggunakan beberapa variasi penambahan zat Epoxy Resin dan Polypropylene Fiber Mesh (PFM). Benda uji yang telah dibuat kemudian diuji terhadap kuat tarik lentur beton pada umur beton 14 hari dan 28 hari mengingat kekuatan lentur beton maksimal tercapai pada umur 28 hari dan umumnya tidak terlalu banyak perubahan peningkatan kekuatan beton dalam periode waktu 1 minggu. Adapun variasi benda uji seperti terlihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** sebagai berikut.

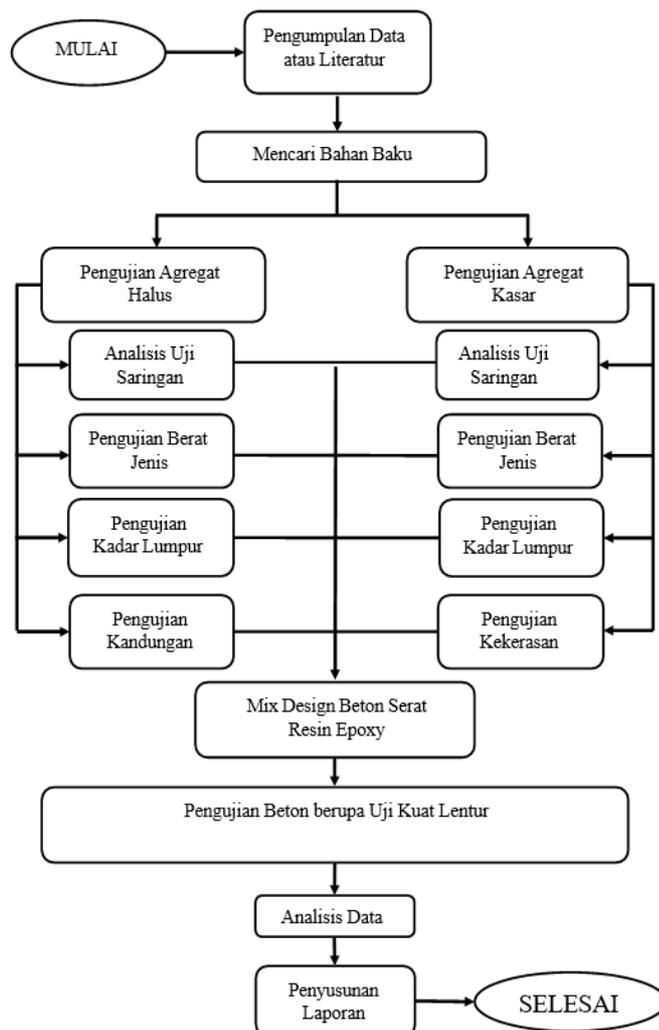
Tabel 1. Variasi Campuran Polypropylene Fiber Mesh (PFM) dan Zat Epoxy Resin

Benda Uji	Serat (kg/m ³) + Resin (%)	Hari	Jumlah
Beton Normal	0	14	2
PFM + Resin	0,6 + 8	14	2
PFM + Resin	0,7 + 8	14	2
PFM + Resin	0,8 + 8	14	2
Beton Normal	0	28	2
PFM + Resin	0,6 + 8	28	2
PFM + Resin	0,7 + 8	28	2
PFM + Resin	0,8 + 8	28	2

Tabel 2. Mix Design Spesimen Uji dengan Penambahan 8% Epoxy Resin tiap 0,0135 m³ (sesuai SNI 7656-2012)

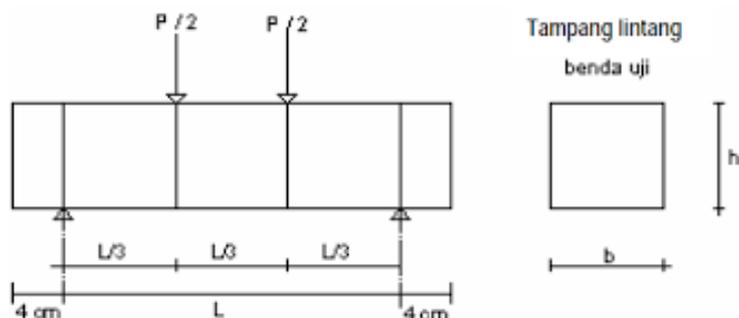
Presentasi aditif (%)	Semen (kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Serat Polypropylene (kg)	Epoxy Resin (kg)
0	4,2	11,93	11,93	2,57	0	336,40
3	4,2	11,93	11,93	2,57	8,10	336,40
5	4,2	11,93	11,93	2,57	9,45	336,40
7	4,2	11,93	11,93	2,57	10,8	336,40

Benda uji menggunakan balok dengan diameter lebar 15cm × tinggi 15cm × panjang 60 cm akan dibuat dua versi yaitu benda uji beton normal dan benda uji beton serat dan resin yang masing-masing umur 14 hari dan 28 hari dengan kuat tekan yang disyaratkan adalah f'_c 25 MPa. Sedangkan konsentrasi serat polypropylene yang diberikan pada setiap campuran beton adalah 0 kg/m³; 0,60 kg/m³; 0,70 kg/m³; 0,80 kg/m³ serta setiap campuran ditambahkan Epoxy Resin sebanyak 8% tiap 0,0135 m³ beton.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Pengujian lentur dilakukan berdasarkan pada perilaku momen pada benda uji yang menerima momen maka akan terjadi deformasi lentur sehingga mengakibatkan Sebagian benda uji tertarik dan sebagiannya tertekan. Tegangan tarik yang terjadi bisa dihitung dengan menggunakan rumus mekanika sederhana. Pengujian didasarkan pada peraturan ACI 440.1R-15 – *Guide for the design and Construction of Structural Concrete Reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) Bars*.



Gambar 3. Uji Momen Lentur (Sumber: ACI 440.1R-15)

Hasil dan Pembahasan Pengujian Slump

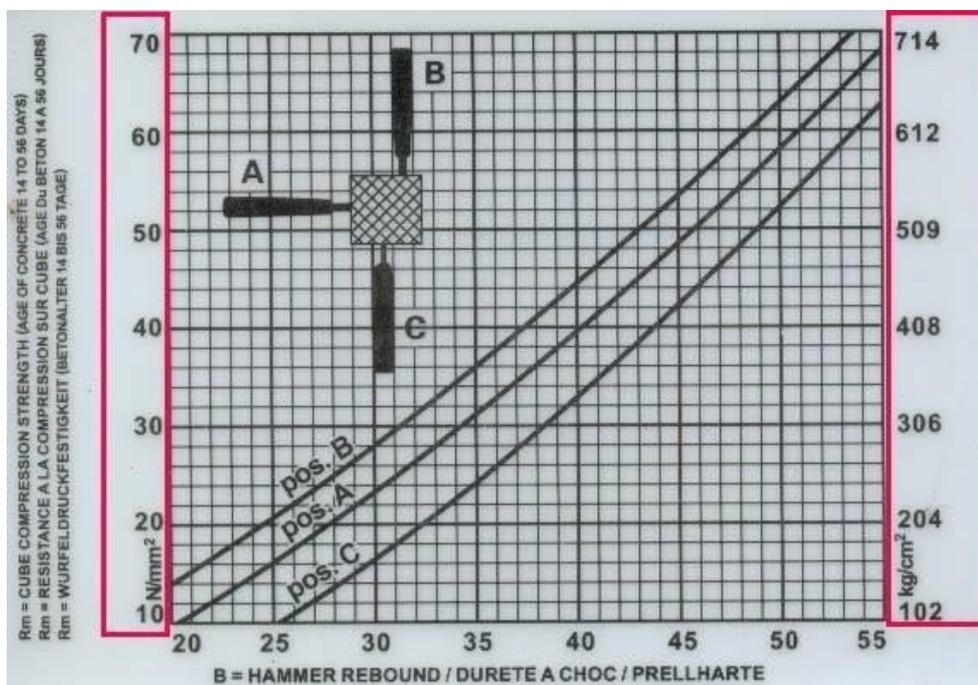
Uji slump dilakukan sebelum dituangkan dalam cetakan beton untuk mengetahui kekentalan dari mortar beton seperti terlihat pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Hasil Uji Slum Beton

Beton	FAS	Nilai Slump (mm)
Normal	0,61	44
Beton Serat 0,6 kg/m ³ + Resin 8% tiap 0,0135 m ³	0,61	40
Beton Serat 0,7 kg/m ³ + Resin 8% tiap 0,0135 m ³	0,61	33
Beton Serat 0,8kg/m ³ + Resin 8% tiap 0,0135 m ³	0,61	30

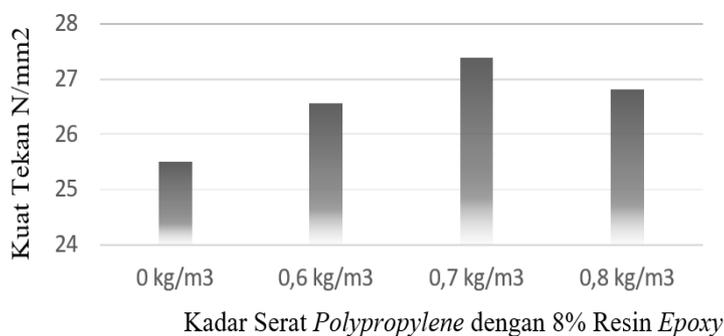
Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pada penelitian ini digunakan hammer test untuk pengujian kuat tekan beton. Pengujian dilakukan dengan membagi benda uji menjadi 3 bagian dengan masing-masing panjang 20 cm, setelah itu benda uji dibagi menjadi 3 bagian kemudian dibuat 3 titik pada masing- masing bagian yaitu pada kiri, tengah dan kanan sebagai titik pengujian hammer test. Dilanjutkan dengan melakukan penembakan pada masing-masing titik serta mencatat hasil pengujian. Kalibrasi dilakukan sebelum pengujian sebesar 80/r dimana r adalah nilai pantul dari anvil yaitu 78 (ASTM C 805-02). Rata-rata setelah kalibrasi = Rata-rata *Rebound* x Faktor koreksi alat. Seadngkan kuat tekan (σ_b) (N/mm²) dibaca pada grafik Gambar 4 sebagai berikut:

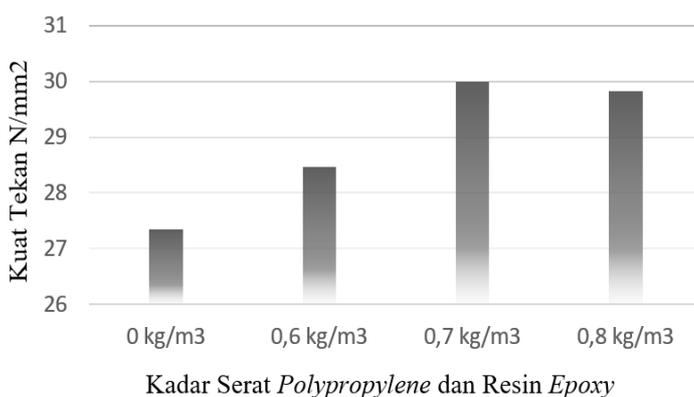


Gambar 4. Grafik Hammer Test

Pengujian dilakukan setelah beton mencapai umur 14 dan 28 hari seperti terlihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6** sebagai berikut.



Gambar 5. Penambahan Serat Polypropylene dan Epoxy Resin Terhadap Kuat Tekan Beton umur 14 hari



Gambar 6. Penambahan Serat Polypropylene dan Epoxy Resin Terhadap Kuat Tekan Beton umur 28 hari

Pembahasan dan Analisa

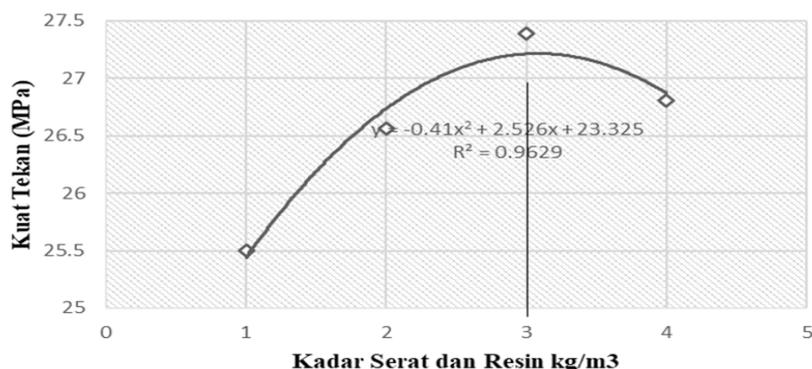
Dari data tersebut dapat dilihat hasil yang paling optimal pada penambahan serat polypropylene dan Epoxy Resin dengan dosis 0,70 kg/m³ setelah itu grafiknya menurun. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya dosis serat maka akan semakin besar pori-pori yang dihasilkan serat di dalam adukan beton sehingga didapatkan beton yang kurang padat dan kuat tekan yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Untuk mendapatkan nilai optimum menggunakan regresi polinomial mendapatkan nilai R= 0,97, dengan persamaan.

$$y = -0,41x^2 + 2,526x + 23,325 \quad (1)$$

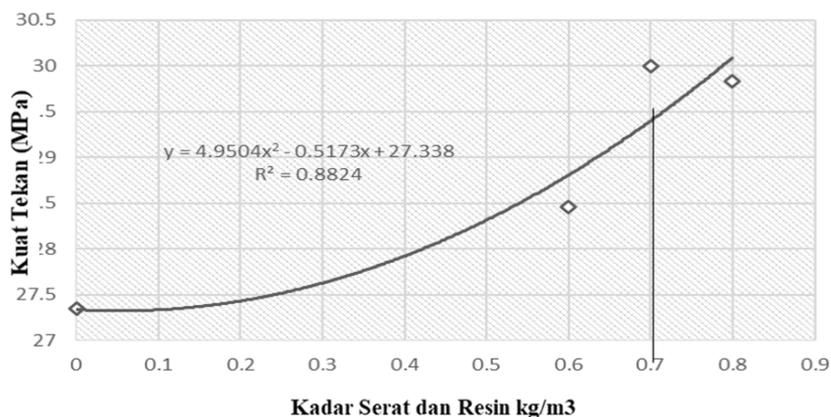
Sehingga nilai kuat tekan optimum beton umur 14 hari didapat sebesar 27,39 MPa atau naik 9,56% dari beton normal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa terbuktinya penambahan serat polypropylene dan Epoxy Resin meningkatkan kuat tekan beton (**Gambar 5**). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya dimana penambahan 1% serat propylene menghasilkan mekanik tertinggi pada beton (Małek et al., 2020; Niaki et al., 2018; Wu et al., 2007). Sedangkan untuk beton dengan umur 28 hari didapatkan hubungan peningkatan kuat tekan beton dengan R= 0,88 sebagai berikut.

$$y = 4,9504x^2 - 0,5173x + 27,338 \quad (2)$$

Sehingga nilai kuat tekan optimum beton umur 28 hari didapat sebesar 30 MPa atau naik 20% dari beton normal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa terbuktinya penambahan serat polypropylene dan Epoxy Resin meningkatkan kuat tekan beton (Gambar 6).



Gambar 5. Peningkatan Kuat Tekan Beton Umur 14 hari



Gambar 6. Peningkatan Kuat Tekan Beton Umur 28 hari

Sedangkan nilai momen lentur optimum beton umur 14 hari dan 28 hari seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Terlihat nilai momen lentur optimum pada penambahan kadar serat sebesar 0,7 kg/m³ dan resin 8% yaitu sebesar 11943766,2 N.mm. Peningkatan ini menunjukkan bahwa terbuktinya penambahan serat polypropylene dan Epoxy Resin dapat meningkatkan momen lentur beton yang dapat terlihat pada grafik. Nilai momen lentur optimum beton umur 28 hari didapat pada penambahan kadar serat 0,7 kg/m³ dan resin 8% sebesar 13246692,5 N.mm. Momen lentur beton dihitung dengan rumus:

$$Mu = \rho f \cdot f f (1 - 0,59 \rho f \cdot f f) b d^2 \quad (2.2)$$

$$\rho f = Af / b d^2 \quad (2.2)$$

dimana: Mu = nilai momen lentur ultimate (N.mm).

ρf = rasio penguatan polimer yang diperkuat serat (mm).

Af = area yang tedapat serat (mm²).

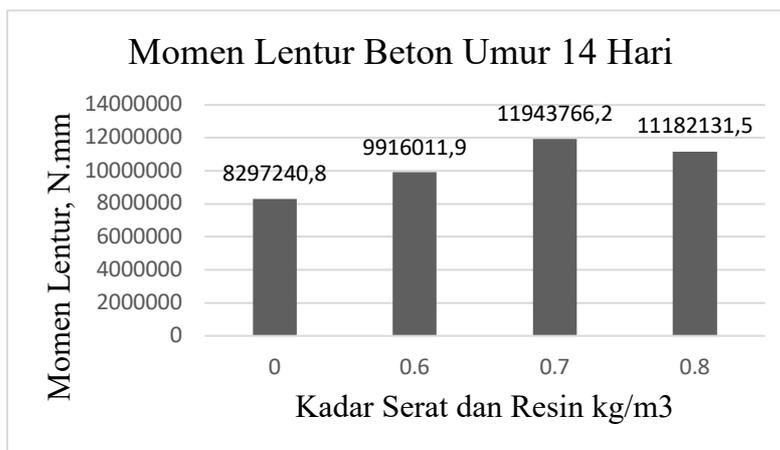
b = lebar penampang (mm).

d = tinggi penampang (mm).

$f f$ = beban tekan (MPa).

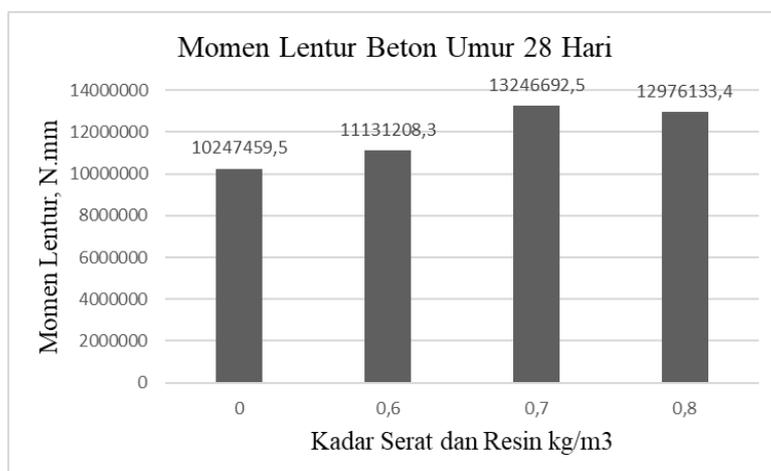
f'_c = kuat tekan beton (MPa).

Peningkatan ini menunjukkan bahwa terbuktinya penambahan serat polypropylene dan Epoxy Resin dapat meningkatkan momen lentur beton yang dapat dibuktikan pada grafik trendline.



Gambar 7. Peningkatan Peningkatan Momen Lentur Beton umur 14 hari

Peningkatan kuat lentur akibat penambahan Resin sangat signifikan tetapi tetap memiliki kelemahan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yaitu pada batas proporsional resin dengan perendaman air selama 6 bulan akan meningkatkan Modulus Elastisitas tetapi sebaliknya Kekuatan Impak justru menurun secara signifikan (Sasaki et al., 2016).



Gambar 8. Peningkatan Peningkatan Momen Lentur Beton umur 28 hari

Kesimpulan

Menurut hasil penelitian dari pengujian yang sudah dilakukan terhadap kuat lentur beton menggunakan serat polypropylene dan Epoxy Resin dapat disimpulkan bahwa penambahan serat polypropylene pada beton justru menyerap air sehingga dapat mempengaruhi kebutuhan air yang digunakan dalam campuran beton ditandai dengan menurunnya workability beton. Disisi lain berdasarkan studi eksperimental yang dilakukan terlihat bahwa penggunaan Epoxy Resin sebagai bahan tambah pada beton terbukti dapat mempercepat proses peningkatan pada kuat tekan dan kuat lentur beton di umur 14 dan 28 hari. Kuat tekan dan kuat lentur beton optimum terjadi pada penambahan

kadar serat 0,7 kg/m³, resin 8% dan 0,8 kg/m³, resin 8% lalu menurun pada penambahan kadar serat 0,6 kg/m³, resin 8%. Nilai rata-rata kuat tekan beton tertinggi terdapat pada campuran beton PPF 0,7 sebesar 27,39 MPa pada umur 14 hari atau naik 9,56% dari beton normal dan 30 MPa pada umur 28 hari atau naik 20% dari beton normal. Nilai rata-rata momen lentur beton tertinggi terdapat pada campuran beton PPF 0,7 pada umur 14 hari sebesar 11943766,2 N.mm atau naik pada peneletian sebelumnya yang dilakukan oleh (Hasanr et al., 2013) sebesar 11,43% dan pada umur 28 hari sebesar 13246692,5 N.mm atau naik 33,38%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa penambahan serat polypropylene dan Epoxy Resin pada beton normal mengakibatkan peningkatan nilai momen lentur. Dengan demikian penggabungan kedua bahan ini terbukti efektif dalam memperbaiki karakteristik beton secara keseluruhan.

Daftar Pustaka

- ACI 544 IR-82. (1982). Fiber Reinforced Concrete. *State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete - Report*, Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Al-Katib, H. A. A., Alkhudery, H. H., & Al-Tameemi, H. A. (2018). Behavior of Polypropylene Fibers Reinforced Concrete Modified With High Performance Cement. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(5), 1066–1074.
- Arif, J., & Husni, H. R. (2015). Pengaruh Resin Epoksi Terhadap Mortar Polimer Ditinjau dari Kuat Tekan , Kuat Tarik Belah , Daya Serap Air dan Scanning Electron Microscope Struktur Bahan. *Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Dan Laboratorium*, 3(3), 361–370.
- Hasanr, H., Tatong, B., & Tole, J. (2013). Pengaruh Penambahan Polypropylene Fiber Mesh Terhadap Sifat Mekanis Beton. *Majalah Ilmiah Mektek*, 15(1), 12–19.
- Herlambang, F. S., & Setyono, E. Y. (2019). Analisis Injeksi Epoxy Pada Perbaikan Retak Beton Terhadap Beban Lentur. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 23(2), 47-55.
- Kartini, W. (2007). Penggunaan serat polypropylene untuk meningkatkan kuat tarik belah beton. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 4(1), 1–12.
- Khairizal, Y., Kurniawandy, A., & Kamaldi, A. (2015). Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanis Beton Normal. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Dan Sains*, 2(2), 1–11.
- Lisantono, A., Kung, F., & Mikhael. (2016). Pengaruh Komposisi Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanik Beton. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 10, Universitas Atmajaya Yogyakarta, 26-27 Oktober 2016 ISBN 978-602-60286-0-0*, 41–45.
- Małek, M., Jackowski, M., Łasica, W., & Kadela, M. (2020). Characteristics of recycled polypropylene fibers as an addition to concrete fabrication based on portland cement. *Materials*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/MA13081827>.
- Nalini,S, Annapurani.M, & S, S. (2017). Experimental Study on Epoxy Injection on Concrete. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 8(12), 227–234.
- Niaki, M. H., Fereidoon, A., & Ghorbanzadeh Ahangari, M. (2018). Mechanical properties of epoxy/basalt polymer concrete: Experimental and analytical study. *Structural Concrete*, 19(2), 366–373. <https://doi.org/10.1002/suco.201700003>.

- Sasaki, H., Hamanaka, I., Takahashi, Y., & Kawaguchi, T. (2016). Effect of long-term water immersion or thermal shock on mechanical properties of high-impact acrylic denture base resins. *Dental Materials Journal*, 35(2), 204–209. <https://doi.org/10.4012/dmj.2015-291>.
- Setiyarto, Y. D., & Pradana, D. (2022). Pengaruh Penggunaan Zat Epoxy Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 3(1), 12-21.
- Van Gemert, D., Czarnecki, L., Maultzsch, M., Schorn, H., Beeldens, A., Łukowski, P., & Knapen, E. (2005). Cement Concrete and Concrete-polymer Composites: Two merging worlds: A report from 11th ICPIG Congress in Berlin, 2004. *Cement and Concrete Composites*, 27(9–10), 926–933. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.05.004>.
- Wu, B., Xu, X., Luo, S., Yan, D., Song, K., Zhang, X., & He, F. (2007). Study on the Mechanical Properties and Microstructures. *Vacuum*, 29(1), 950–957.